

Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci

Katedra botaniky



# Epifytické sinice a jejich využití ve výuce

Bakalářská práce

Alena Čeplová

Studijní program: B1501 Biologie

Studijní obor: Biologie – Geografie

Forma studia: Prezenční

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

Olomouc 2021

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala sama pod vedením doc. RNDr. Petra Hašlera, Ph.D. a čerpala jsem pouze z uvedené odborné literatury.

V Olomouci dne:

Podpis:



## **Poděkování**

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce doc. RNDr. Petru Hašlerovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, podporu a cenný čas, který mi při psaní práce věnoval. Další velké díky patří mé rodině a kamarádům, kteří mi byli po celou dobu studia velikou podporou.

## **Bibliografická identifikace**

<b>Jméno a příjmení autora:</b>	Alena Čeplová
<b>Název práce:</b>	Epifytické sinice a jejich využití ve výuce
<b>Typ práce:</b>	Bakalářská práce
<b>Pracoviště:</b>	Katedra botaniky, PřF UP Olomouc Šlechtitelů 27, 783 71 Olomouc – Holic
<b>Vedoucí práce:</b>	doc. RNDr. Petr Hašler, Ph.D.
<b>Rok obhajoby práce:</b>	2021

**Abstrakt:** Předložená bakalářská práce se zaměřuje na vytvoření uceleného přehledu základních charakteristik sinic a epifytonu. Práce by měla sloužit především studentům druhého stupně a středních škol k rozšíření dosavadně získaných informací či získání nových komplexních informací. Teoretickou částí bakalářské práce je literární rešerše, ve které je zpracován obecný úvod do problematiky sinic, přehled o základních charakteristikách, ekologii a jejich taxonomii. Dále se práce věnuje zařazení sinic do výuky a do jednotlivých učebnic pro základní a střední školy. Součástí práce jsou pracovní listy, které mohou být zařazeny jak do vyučovacích hodin, tak i na exkurzi a vyplnění během laboratorního cvičení. Pracovní listy slouží především jako motivační prvek pro studenty.

**Klíčová slova:** biologie, sinice, epifyton, perifyton, disturbance, výuka, pracovní list, terénní výuka

<b>Počet stran:</b>	52
<b>Jazyk:</b>	český

## **Bibliographical identification**

**Author's first name and surname:** Alena Čeplová

**Title of thesis:** Epiphytic cyanobacteria and their use in education

**Type of thesis:** Bachelor thesis

**Department:** Department of Botany, Faculty of Science,  
Palacký University in Olomouc Šlechtitelů 27,  
783 71 Olomouc – Holic

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

**The year of presentation:** 2021

**Abstract:** The submitted bachelor thesis is focused on an establishment of complete overview of basic characteristics of cyanobacteria and epiphyton. The thesis is intended for middle and high school students to obtain a new complex of knowledge or to broaden present knowledge. The theoretical part of the bachelor's thesis is a literature search, which is a general introduction to cyanobacteria, an overview of basic characteristics, ecology and their taxonomy. Furthermore, the paper deals with the classification of cyanobacteria into teaching and also in particular textbooks for middle and high schools. Part of the paper are worksheets, which can be included both in the lessons and on the excursion and filling in during the laboratory exercise. Worksheets serve primarily as a motivating element for students.

**Keywords:** biology, cyanobacteria, epiphyton, periphyton, disturbance, education, worksheet, field teaching

**Number of pages:** 52

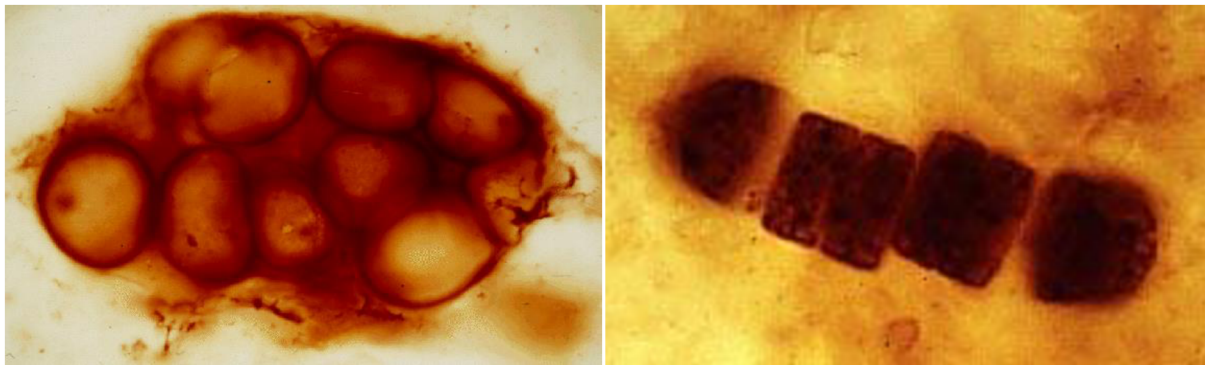
**Language:** Czech

# Obsah

1. ÚVOD A CÍLE PRÁCE.....	7
2. SINICE.....	8
2.1. Obecná charakteristika sinic.....	8
2.1.1. Morfologie.....	9
2.1.2. Vlastnosti a využití.....	12
2.1.3. Výskyt.....	14
2.1.3.1. Sinice extrémních podmínek.....	14
2.1.3.2. Vodní květ.....	15
2.2. Charakteristika vybraných řádů a rodů sinic.....	16
2.2.1. Řád Chroococcales.....	16
2.2.2. Řád Oscillatoriales.....	17
2.2.3. Řád Nostocales.....	18
2.2.4. Řád Stigonematales.....	19
2.3. Životní cyklus sinic.....	20
3. EPIFYTON.....	21
3.1. Faktory ovlivňující epifyton.....	21
3.1.1. Zdroje.....	21
3.1.2. Disturbance.....	22
3.2. Interakce s hostitelskou rostlinou.....	23
4. SINICE VE VÝUCE.....	24
4.1. Sinice v rámcových vzdělávacích programech.....	24
4.2. Sinice v učebnicích na ZŠ.....	25
4.3. Sinice v učebnicích na SŠ.....	26
5. NÁVRH PRACOVNÍHO LISTU PRO POTŘEBY VÝUKY SINIC NA ZŠ A SŠ.....	29
6. NÁVRH LABORATORNÍHO CVIČENÍ.....	37
PRO ZŠ A SŠ.....	37
7. DISKUZE.....	47
8. ZÁVĚR.....	48
9. POUŽITÁ LITERATURA.....	49

# 1. ÚVOD A CÍLE PRÁCE

Předpokládá se, že sinice samy o sobě se vyvinuly v prekambriu dlouho před paleozoickou hranicí. Je to potvrzeno existencí mikrofosílií ze středního a pozdního proterozoika, které jsou morfologicky téměř totožné s některými současnými sinicemi. Následně v období kambria, které bylo zhruba před 600 miliony lety, se sinice staly dominantními organismy na Zemi. Díky tomu se začal zvyšovat obsah kyslíku v atmosféře. Podle některých výzkumů právě sinice sehrály nejdůležitější roli při vzniku kyslíkaté atmosféry, díky produkci kyslíku jakožto vedlejšího produktu oxygenní fotosyntézy, a vytvořily prostředí světa, jak jej známe nyní (Castenholz, 2015).



Obrázek 1: Starodávné fosilní sinice: Na obrázku jsou dva druhy sinic ze střední Austrálie, datované do pozdního proterozoika, staré asi 850 milionů let. Vlevo je koloniální forma *Chroococcus* a vpravo je vláknitá *Palaeolyngbya*.  
Dostupné z: <https://ucmp.berkeley.edu/bacteria/cyanofr.html>

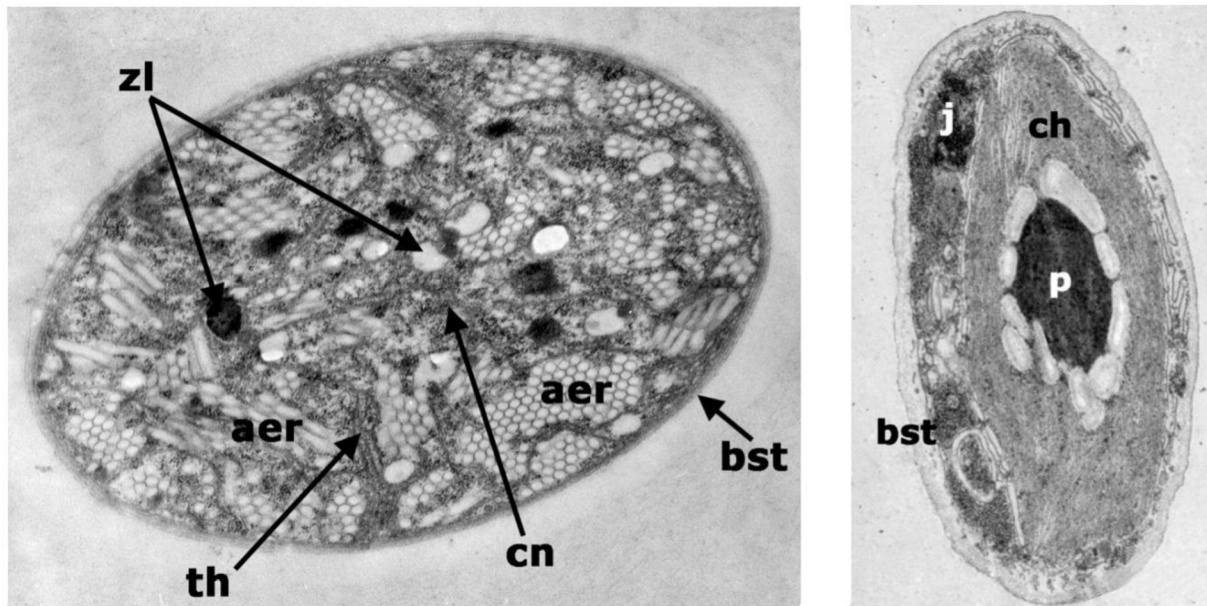
Jedním z cílů této práce je vypracování literární rešerše k epifytickým sinicím a jejich využití ve výuce. V práci se zabývám obecnou charakteristikou sinic a jejich rozdělením, morfologií, také jejich výskytem, významem a využitím. Cílem praktické části práce bylo vytvoření pracovních listů k výuce sinic na základních a středních školách a v neposlední řadě posouzení možností využití epifytických sinic ve výuce. Součástí práce je návrh vyučovacích hodin, ve kterých je kladen důraz především na aktivitu žáků. Podle Pettyho (2004) se věci naučíme snáze, když je sami děláme, než pokud jen posloucháme nebo se díváme. Samostatná práce dává žákům příležitost nejen procvičovat znalosti a dovednosti, ale také je používat v podmínkách odpovídajícím skutečnosti. Rovněž Vinter a Králíček (2016) v publikaci *Začínající učitel biologie* uvádějí, že aktivním učením můžeme zvýšit zájem žáků o biologii. Součástí navrhovaných hodin je exkurze (terénní výuka), při které žáci odeberou vzorky sinic v okolí školy a budou s nimi dále pracovat při praktickém cvičení ve školní laboratoři.

## 2. SINICE

### 2.1. Obecná charakteristika sinic

Sinice jako oddělení patří do říše Bakterie, které společně s Archebakteriemi tvoří Prokaryota. Sinice, zvané také cyanobakterie, jsou jedny z nejstarších autotrofních organismů, které jsou obvykle 1 – 10  $\mu\text{m}$  velké a rozmnožují se pouze nepohlavním dělením buněk. Jedná se o fotoautotrofní, mikroskopické organismy, které jsou schopné fotosyntetizovat a mají funkci primárních producentů. Díky vzniku kyslíkaté atmosféry sinice ovlivnily celkový ekosystém a umožnily tak vývoj dalším druhům organismů, včetně člověka. Typ buňky je prokaryotní, typický evolučně pro velmi staré organismy, které jsou schopné žít téměř ve všech biotopech. Nacházejí se ve slané i sladké vodě, na skalách, sněhu, v rašeliništích, ale i v horkých pramenech. Mohou se vyskytovat jako jednotlivé buňky, kolonie nebo vlákna.

V 19. stol. byly sinice spojovány s eukaryotními řasami kvůli jejich podobným ekologickým nárokům (vztah k vodě a vlhkému prostředí) a způsobu výživy (fotosyntéza) (Šejnohová a Maršálek, 2005).



Obrázek 2: Porovnání ultrastruktury sinic a řas: Transmisní elektronová mikroskopie (TEM) vlevo sinice r. *Microcystis*, vpravo zelené řasy r. *Stichococcus* (Šejnohová a Maršálek, 2005).

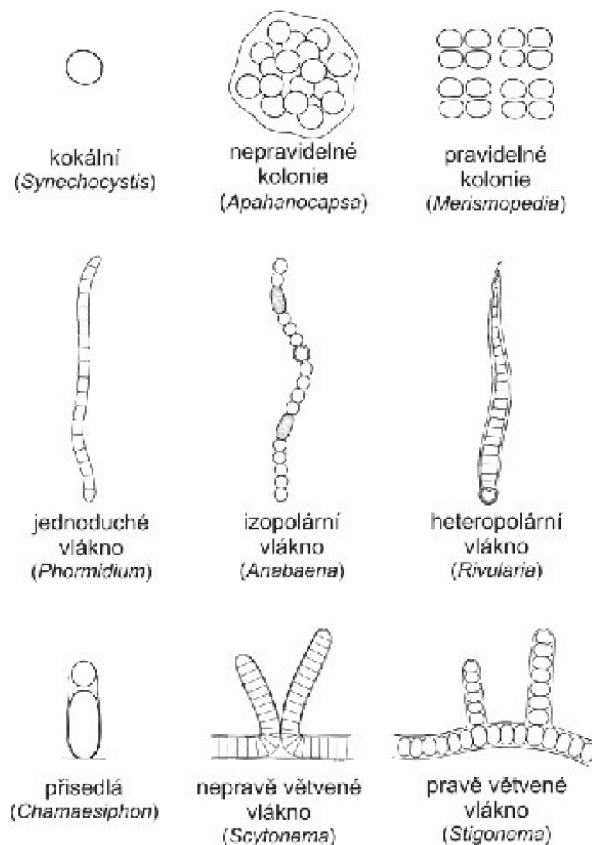
Oproti sinicím je buňka řas viditelně členěna na kompartmenty (obrázek 2 vpravo). Buňka obsahuje organely, jež jsou ohraničené membránami. Patří zde jádro (j), chloroplast (ch), který často obsahuje pyrenoid (p) obklopený škrobovými zrny, mitochondrie a diktyozomy. Prokaryotická buňka tyto ohraničené organely neobsahuje. U sinic nenajdeme žádné jádro ani chloroplast, tudíž DNA je volně uložena v oblasti centroplazmy (cn) ve formě kruhové molekuly. Volně se také nacházejí tylakoidy (th), které jsou v těchto prokaryotických buňkách fotosyntetické a nejsou tak uzavřené v chloroplastech jako je tomu u buněk eukaryotických. Dále zde najdeme aerotopy (aer) složené z plynových váčků a granula zásobních látek (zl). V cytoplazmě se nachází fototické pigmenty, které jsou uloženy ve fykobilizomech a v tylakoidech (chlorofyl *a*, nebo chlorofyly *a+b*, *a+c*, *a+d*). Tylakoidy obsahují pouze chlorofyl *a*. Sinice postrádají mikrotubuly, cytoskelet a bičíky. Díky pevné buněčné stěně

můžeme sinice řadit mezi gramnegativní bakterie (při Gramově barvicí metodě nedochází k obarvení buněčného obsahu). Buněčná stěna (bst) je vícevrstvá. Na necytosolovém povrchu buněčné membrány se nachází glykokalyx složený z liposacharidů. Slouží především k ochraně buňky před mechanickým a chemickým poškozením. Tato vrstva bývá vyvinutá v rozličné míře a její struktura je fibrilární. U některých sinic tvoří nápadný obal, zvaný pochva. Tento obal může být homogenní nebo vrstevnatý. Pevná část buněčné stěny, která se nachází mezi oběma membránami, se skládá z peptidoglykanu, kde hlavní složkou je murein. Mureinová vrstva je tenká a může být odbourána lysozymem. V buněčné stěně jsou přítomné transportní kanály, které umožňují difuzi iontů nebo malých molekul pasivně díky proteinu porin. Buněčná stěna obsahuje také kanály se specifickými vazebnými místy a zvláštní druhy pórů, které připomínají plasmodesmy. Pohyb je možný především u jednobuněčných sinic a také u sinic z řádu Oscillatoriales. Pohybují se díky svazkům kontraktálních bílkovinných filamentů a můžeme rozdělit do dvou druhů: rotační a klouzavý. Sinice rodu *Oscillatoria* (české jméno „drkalka“) se pohybují tzv. drkáním, což je příklad pohybu rotačního. Pohyby rychlosti a směru sinic jsou také ovlivněny intenzitou světla, jde o fototaktické pohyby (Kalina a Váňa, 2005; Pouličková a Jurčák, 2001; Hoek *et al*, 1995).

### 2.1.1. Morfologie

Sinicím říkáme rostliny stélkaté, protože se jejich tělo nerozlišuje na kořen, stonk a list, ale je tvořeno právě stélkou a řadíme je proto do nižších rostlin (Pouličková *et al*, 2015).

Typ stélky je jedním z prvních znaků, na který se při určování sinic zaměřujeme. Evolučně nejstarší jsou jednobuněčné sinice s kulovitou (kokální) stélkou. Buňky se vyskytují buď

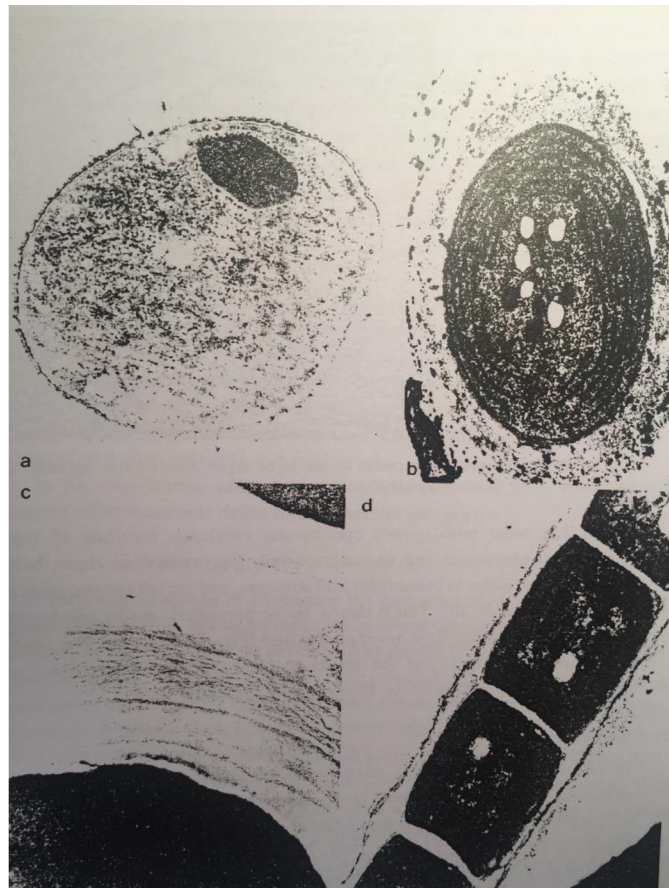


Obrázek 3: Typy stélek sinic.

Dostupné z: <https://slidetodoc.com/fylogeneze-a-diverzita-as-a-hub-asy-a-2/>

jednotlivě, nebo tvoří různé typy kolonií. U jednotlivých buněk se zaměřujeme na jejich tvar a velikost, kdežto u kolonií je navíc důležitá také vrstva slizu a způsob uložení buněk v koloniích (Šejnohová a Maršálek, 2005).

Buněčná stěna je v podstatě stejná pro všechny sinice, jedná se o tří až čtyřvrstevnou strukturu gramnegativního typu složenou převážně z peptidoglykanů, lipidů proteinů a lipopolysacharidů. Nicméně u různých rodů se vyskytují různé typy modifikací buněčné stěny, které mohou být rozhodující při zařazování sinic. Vnější slizové pochvy se liší konzistencí a strukturou a nejsou nedílnou součástí buněčné stěny. Je to jasně viditelné zvláště během buněčného dělení, kterého se slizový obal nikdy neúčastní (Komárek & Anagnostidis, 1986). Slizový obal bývá nápadnější. Může mít vícevrstevnou strukturu a být zbarvený karotenoidy, obecně nazývanými jako scytonemin (Kalina a Váňa, 2005).



Obrázek 4: Modifikace slizové pochvy u jednobuněčných sinic: a - *Synechocystis aquatilis*, b - *Chamaesiphon polymorphus*, c - *Stanieria* sp., d - *Chamaesiphon confervicola* (Stevenson et al., 1996).

Dalším typem stélky je vlákno, které může být nevětvené, pravě větvené anebo nepravě větvené, tzn. vlákna spolu nejsou propojena fyziologicky, ale pouze slizovou pochvou. Jedná se o místo, ve kterém se přerušilo vlákno (např. při tvorbě heterocytů či odumření buňky), rod *Petalonema*. Proto je pro jejich určení nutná znalost více znaků: nejen velikosti buněk (šířka a délka), typ větvení a tvar vlákna, ale také tvar buněk uložený uvnitř vlákna a jejich vzájemné



propojení a tvar buněk na konci vlákna či přítomnost nebo nepřítomnost slizového obalu, který vlákno obklopuje (Šejnohová a Maršálek, 2005).

Jako evolučně vyspělejší se pokládá pravé větvení, u něhož vzniká nové boční vlákno kolmo k mateřskému (rod *Hapalosiphon*). Boční vlákno vzniká tak, že se rovina dělení v jedné z vegetativních buněk změní. Nejvíce se však setkáváme s vlákny, která jsou nevětvená a jsou buď přímá (rod *Planktothrix*) anebo všelijak stočená do spirály (některé morfotypy rodu *Anabaena*). U některých rodů sinic se vytváří heterocyty a akinety, ale pouze za speciálních podmínek. Proto dalším z důležitých znaků pro rozpoznání sinic je velikost a tvar heterocytů a akinet a také jejich umístění ve vláknu. Avšak ne všechny sinice mají schopnost tyto struktury vytvářet (viz. Tab.1) (Šejnohová a Maršálek, 2005).

Tabulka 1: Třída Cyanophyceae obsahuje čtyři řády s následujícími charakteristikami (Šejnohová a Maršálek, 2005):

Řád	Typ stélky	Heterocyty	Akinety	Zástupci
Chroococcales	Kokální	Ne	Ne	<i>Microcystis, Chroococcus</i>
Oscillatoriales	Vláknitá nevětvená	Ne	Ne	<i>Planktothrix, Oscillatoria, Phormidium, Spirulina, Trichodesmium</i>
Nostocales	Vláknitá nevětvená nebo s nepravým větvením	Ano	Ano	<i>Nostoc, Anabaena, Aphanizomenon, Tolypothrix, Gloetrichia</i>
Stigonematales	Vláknitá s pravým větvením	Ano	Ano	<i>Hapalosiphon, Stigonema</i>

Akinety jsou tlustostěnné buňky plné zásobních látek, které umožňují sinicím přežít období s nepříznivými podmínkami pro jejich růst. Takovými podmínkami jsou například sucho, chlad, nedostatek živin atd. Akinety se vyvíjí z vegetativních buněk a obsahují velké množství polypeptidu kyanofycinu a kyanofycinový škrob, ale ne polyfosfát. Akinety jsou často produkovány stárnoucími populacemi ve velkém množství – jako u stárnoucích vodních květů, a zajišťují přežití, kdy většina populace začíná umírat. Přesné faktory indukující jejich vznik však zůstávají nejasné. U některých druhů se tvorba akinet zdá být vyvolaná nedostatkem fosfátů, kdežto u dalších se zdá být zodpovědný nedostatek energie (světlo nebo karbohydráty). U ještě dalších druhů je diferenciací akinet vyvolaná konkrétními organickými sloučeninami, které jsou samy vylučovány akinetami, takže jejich tvorba je autokatalytický proces (Hoek *et al*, 1995).

Heterocyty jsou specializované buňky, které se vytváří v důsledku reakce na nízký obsah dusíkatých látek v prostředí. Vytvoří se v průběhu 24 hodin, kdy začátek vývoje heterocytu je řízen regulačním genem *hetR*. Známe je jen u sinic z řádu Nostocales a Stigonematales. Ve spoustě vegetativních buněk je můžeme rozeznat díky čirému obsahu a tlusté buněčné stěny, která bývá mnohdy pokryta slizovým obalem. Heterocyty obsahují thylakoidy tvořící kyslík, jelikož jsou zde fungující jenom komplexy fotosystému I. K omezení přítomnosti kyslíku v heterocytech slouží redukující látky pronikající z vegetativních buněk, naopak dusíkaté sloučeniny se pohybují ve směru do vegetativních buněk. Důležité jsou kvůli své schopnosti

vázat vzdušný dusík a syntetizovat amonné sloučeniny pomocí enzymu nitrogenázy (Kalina a Váňa, 2005).



Obrázek 5: Nevětvené spirální vlákno r. *Anabaena* s kulovitým heterocytem (H) a oválnou akinetou (A) (Šejnohová a Maršálek, 2005).

### 2.1.2. Vlastnosti a využití

Podle teorie vzniku plastidů a dalších organel, došlo kdysi ve vývoji k pohlcování primitivních prokaryotických buněk fagotrofními měňavkami, které namísto stravení kořisti s ní začaly žít v endosymbióze (vzájemně výhodný vztah). Z těchto endosymbiontů se časem vyvinuly organely, jako například mitochondrie, chloroplast a bičík. Původně anaerobní améba se stává aerobním organismem díky pohlcení bakterie, která je schopná využít světelnou energii. Dalším krokem je endosymbióza předchůdce spirochet, které se mohly přeměnit na bičík eukaryot díky přítomnosti mikrotubulů. Tento aerobní bičíkovec se stal rostlinným organismem díky pohlcení sinice (Pouličková et al, 2015).

Podle této teorie se eukaryotické buněčné organely (například mitochondrie a chloroplasty) měly vyvíjet jako nezávislé, volně žijící prokaryotní buňky. Chloroplasty měly vzniknout z buněk modrozelených řas a mitochondrie z bakterií (Hoek *et al*, 1995).

Některé planktonní sinice produkují silné cyanotoxiny, které podle nebezpečnosti dělíme do dvou druhů. Svou účinností jedu se mohou srovnávat s jedem kobry, v porovnání se strychninem jsou však ještě více toxické. V první skupině jsou alkaloidové neurotoxiny, peptidové hepatotoxiny a anatoxiny, které způsobují smrtelné otravy. Patří sem toxiny produkované druhy z rodu *Microcystis*, *Trichodesmium*, *Anabaena flos-aquae*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Planktothrix rubescens*. K otravám dochází u dobytka, který je kontaminovanou vodou napájen. Do druhé skupiny patří cytotoxiny, které nezpůsobují smrtelné otravy. Problémy vznikají požitím vody s těmito sinicemi nebo při koupání. Vlivem kontaktu s vodním květem (viz. dále) je reakcí kožní alergie či zánět spojivek. Ačkoliv mohou způsobit trvalé poškození organismu a chronické otravy, používají se také jako cytotoxická antibiotika s protinádorovými účinky (Kalina a Váňa, 2005).

Další nápadnou vlastností sinic je fenoplasticita, což je proměnlivost znaků vlivem vnějších podmínek. Důkazem mohou být publikace, které se zabývají kultivací stejného kmenu sinice a vzniku jiných morfotypů i přesto, že byly dodrženy stejné podmínky. Například původně teplomilné sinice mohou změnit své nároky na teplotu a přizpůsobit se výrazně nižší teplotě při kultivaci. Značná přizpůsobivost prostředí je způsobena účinnými opravnými mechanismy DNA a genového transferu. A současné sinice jsou geneticky odlišné od sinic fosilních, které jsou jim však podobné morfologicky. Díky tomu mají sinice neobvyklý typ vývoje, který se nazývá stagnující evoluce (Kalina a Váňa, 2005).

Spousta sinic má schopnost vázat vzdušný dusík a syntetizovat amonné sloučeniny pomocí enzymu nitrogenázy. Nitrogenáza se v přítomnosti kyslíku inaktivuje, proto fixace dusíku musí probíhat v anaerobních podmínkách (Kalina a Váňa, 2005). Fotoautotrofní sinice, zejména ty druhy, které fixují vzdušný dusík, jsou nejméně nutričně závislé organismy v biosféře. Díky této výživové nezávislosti a vysoké toleranci vůči fyzikálně-chemickým extrémům jsou sinice všudypřítomné jak v globálních vodních, tak suchozemských stanovištích, pokud jsou stanoviště osvětlena. Nejvíce studované symbiózy sinic (převážně s houbami), jsou z řádu Nostocales (*Anabaena*, *Calothrix*, *Nostoc a Scytonema*). Selektivní tlak na vznik těchto asociací je pravděpodobně ta skutečnost, že sinice rostlině poskytuje fixaci vzdušný dusík pro její růst, a naopak rostlina poskytuje sinici prostředí pro vývoj (Meeks, 1998). Jak již bylo zmíněno, fixace dusíku probíhá v heterocytech. Známe také druhy sinic (*Trichodesmium*, *Lyngbya aestuarii*), které heterocyty nemají a řeší problém spojený se separací fotosyntézy a fixací dusíku jejich časovým oddělením. Fixace dusíku proto probíhá v noci, kdy je fotosyntéza nejnižší (Kalina a Váňa, 2005).

### ***Azolla-anabaena***

Symbióza *Azolla-Anabaena* je vzájemný mutualistický vztah mezi drobnou vodní vzplývavou kapradinou *Azolla* z rodu nepukalkovitých a sinicí navazující dusík *Anabaena* a endosymbiotickými bakteriemi. Toto symbiotické spojení získalo pozornost díky svému potenciálu sloužit jako biohnojiva a doplňková krmiva pro zvířata (Lechno-Yossef a Nierzwicki-Bauer, 2002).

Druhy *Azolla* jsou hojně rozšířené v tropických a mírných ekosystémech sladkých vod. Růst rodu *Azolla* není díky fixaci dusíku omezen jeho přísunem. Omezen je však na růst v klidnějších rybnících, nádržích, močálech a rýžových polích. *Azolla* se může rychle vegetativně rozmnožovat ve vhodném vodním prostředí, ve kterém jsou hladiny dusíku (N) omezující pro jiné vodní organismy (Peters *et al.*, 1982). Právě díky jejímu rychlému růstu a vysoké schopnosti fixovat vzdušný dusík se její využití především na rýžových polích stává stále atraktivnější (Tung a Shen, 1985). Druhy *Azolla* téměř vždy obsahují endofytní cyanobakterie fixující N<sub>2</sub>. Tato endofytní sinice patří do rodu *Nostocaceae* a obecně se označuje jako *Anabaena azollae* Strasburger. Vyskytuje se ve specializovaných dutinách vytvořených v hřbetních listových lalocích kapradiny, a může poskytnout celkové potřeby rodu *Azolla* na dusík prostřednictvím fixace atmosférického N<sub>2</sub>. Spojením *Azolla-Anabaena* vzniká jediná známá symbióza rostlinných sinic, které mají zemědělský a potravinářský potenciál. Zralý oddenek má relativně jednoduchou anatomickou charakteristiku kapradiny a cévním svazkem je protostélé. Adventivní kořeny mají vrchol kořene zakrytý pouzdrem, kořenová vlášení se nacházejí na zralé části. Listy rostou ve dvou bočních řadách a mohou se překrývat až do takové míry, že zakrývají oddenek. Každý list má dva laloky (Peters *et al.*, 1982). V hřbetním laloku

listu se nachází dutina, v níž jsou sinice a bakterie umístěny na jejím okraji. Mikrobionti jsou uzavřeni ve slizovitém materiálu mezi vnitřním a vnějším obalem. Vnitřní obal je bohatý na lipidy, avšak nemá typickou strukturu membrány. Vnější obal je třívrstevný a je odolný vůči působení enzymů degradujících buněčnou stěnu (Lechno-Yossef a Nierzwicki-Bauer, 2002). Během rozmnožování rodu *Azolla* je udržována kontinuita symbiózy a vylučuje se tak nutnost rodu *Anabaena* žít volně mimo *Azollu* (Peters *et al.*, 1982).

### 2.1.3. Výskyt

Kapitola vychází z těchto zdrojů: Castenholz, 2015; Townsend *et al.*, 2010; Šejnohová a Maršálek, 2005 a Stevenson *et al.*, 1996.

Sinice se vyskytují téměř všude díky tomu, že dokážou snášet i velké výkyvy teplot a rychlou ztrátu vody, což jim umožňuje přežít jak v termálních pramenech či v pouštích, mohou přežít i na zamrzlých antarktických skalách či ve vodách ledovcových jezer. Sinice jsou euryvalentní a nacházejí se v širokém rozpětí teplot 2–74 °C.

Výskyt a převaha sinic v naprosté většině stanovišť je výsledkem několika obecných charakteristik a některých znaků charakterizujících určité shluky různých druhů sinic. Mnoho druhů jsou generalisté a tudíž snášejí širokou škálu podmínek prostředí. Obecně generalisté (polyfágové) na rozdíl od specialistů, kteří jsou vyhrazeni na určitou kořist, mají ve svém jídelníčku mnoho různých druhů kořisti, ačkoliv mají jisté preference a dané pořadí, které kořisti dávají přednost, pokud by zde byla možnost výběru. U „nižších rostlin“ jako specialisty označujeme například sněžné řasy, které jsou adaptované na extrémní, ale stabilní podmínky. Naopak generalisté jsou přizpůsobeni na výrazné denní či sezonní výkyvy podmínek.

Environmentální proměnné, jako je světlo, chemie vody, nebo predace ovlivňují perifytonová společenství. Na rozsahu teplotní variability v jezeře se do značné míry podílí místní podnebí. Například permanentně zamrzlá amiktická jezera Antarktidy poskytují naprosto odlišný habitat než dimiktická jezera mírného podnebného pásu (Stevenson *et al.*, 1996).

#### 2.1.3.1. Sinice extrémních podmínek

Sinice mají schopnost přežít v extrémních podmínkách, které by pro eukaryotní organismy byly smrtelné. Sinice mohou přežít v termálních pramenech, horkých i v arktických pouštích a polárních oblastech. Termální oblasti jsou místa s vulkanickou aktivitou, kde je velmi vysoká teplota, ale také kvůli množství rozpuštěných solí i extrémní hodnoty pH. Jelikož tyto faktory působí dohromady, není možné je úplně oddělit. První popsáný termální druh, *Mastigocladus laminosus*, se nacházel v Karlových Varech. Klasickou lokalitou pro výzkum termálních bakterií a sinic je Yellowstone národní park v USA, nacházející se převážně ve státě Wyoming. S oblastmi s vulkanickou aktivitou se spojují prostředí s velmi nízkou hodnotou pH, která může klesat až na hodnoty 0,05 z důvodu vysoké koncentrace kyseliny sírové. Přestože v příliš kyselém prostředí se sinicím nedaří, můžeme zde ale najít sirné bakterie nebo jednobuněčnou rudochu *Cyanidium*. Zásadité prostředí je v přírodě vzácnější, nejvyšší možné naměřené pH, při kterém se ještě vyskytuje život (sinice rodu *Leptolyngbya* z řádu Nostocales) je 13,5. Osmoregulaci v podmínkách s vysokou salinitou



obstarávají sinice díky produkci osmoticky aktivních látek, proto mohou také dominovat v prostředí nejen s vysokou teplotou, ale i velkou koncentrací solí. Jedná se o slaná jezera, např. Mrtvé moře a hypersalinní sírné prameny, ve kterých koncentrace solí převyšuje 200 ‰. Často v takových biotopech můžeme nalézt vláknitý druh *Microcoleus chthonoplastes* (Kalina a Váňa, 2005).

Voda, která obsahuje příliš dusíkatých nebo fosforečnanových sloučenin v důsledku vyplavování živin z půdy kvůli zemědělství, má na svědomí změnu „zdravých“ oligotrofních jezer (což jsou jezera s nízkou koncentrací živin a také nízkou produktivitou rostlin, avšak s čistou vodou a velkým množstvím rostlin) na jezera eutrofní, u nichž vysoká koncentrace přitékajících živin zvyšuje produktivitu planktonních řas a sinic (občas také s převládajícími toxickými druhy, které vytváří vodní květ) (Townsend *et al.*, 2010).

### 2.1.3.2. Vodní květ

Vznik vodního květu je obecně považován za významnou produkci biomasy během krátké doby v korelaci se snížením diverzity fytoplanktonu (Merel *et al.*, 2013). Projevuje se hlavně v letních měsících a způsobuje hygienické problémy na koupalištích a u zdrojů pitné vody (Kalina a Váňa, 2005). Ve skutečnosti jsou květy sinic často mono-specifické (nebo téměř) a mohou vytvořit velmi hustou vrstvu buněk na povrchu vody viditelnou pouhým okem (Merel *et al.*, 2013). Vodní květ je tedy výraznou složkou fytoplanktonu sladkovodních eutrofních nádrží a je v našich podmínkách častý v letních měsících. Tvorba vodního květu se obecně odvíjí od tří hlavních podmínek prostředí. Jedním z nich je teplota vody, protože spousta druhů sinic ji preferuje teplejší, okolo 25 ° C či vyšší. Dalším faktorem, který ovlivňuje množství sinic, je jejich vystavení se světlu. Ačkoliv lze některé druhy pokládat za heterotrofní nebo chemotrofní, většina z nich potřebuje přístup ke světlu, aby mohla proběhnout fotosyntéza. Existují však druhy, které jsou extrémně flexibilní v reakci na vystavení se světlu a mohou přetrvávat taktéž v jeskyních i několik měsíců prakticky bez světla. Po opětovném vystavení se světlu jsou ihned schopné růstu. Přesto jsou kvalita a intenzita trvání světla pro každý druh specifické. Jelikož většina z nich jsou primárně fototrofní mikroorganismy, podzemní voda není tolik ovlivněna tvorbou vodního květu jako je tomu u povrchových vod. Při tvorbě vodního květu se sinicím více daří ve stojatých vodách s relativně vysokými koncentracemi živin primárních řas, jako jsou dusík, fosfor a uhlík. Třetím faktorem vedoucím k tvorbě vodního květu je trofický stav vodního systému. Vodní květy se vyskytují nejvíce v eutrofních nádržích, kdy je poměr dusíku a fosforu (N / P) od 10 do 15. Avšak jiná studie, která zkoumala 99 nádrží, značí, že výskyt přemnožení sinic koreluje s celkovou koncentrací N a celkovou koncentrací P více, než s jejich poměrem N / P (Merel *et al.*, 2013).

Sinice vodních květů rozpoznáme tak, že se vznášejí na hladině díky aerotopům. Jedná se o seskupené plynové váčky v plazmě, naplněné směsí vzduchu a dusíku, které mají funkci plovacích měchýřů. Díky tomu, že aerotopy snižují specifickou hmotnost buněk, umožní tak sinicím vystoupat k hladině, kde je dostatek světla pro fotosyntézu, a vznášet se na ní. Každý z měchýřků může být až 1000 nm dlouhý a 70-75 nm široký. Jejich počet je kontrolován buněčnými mechanismy. Největší podíl při tvorbě vodního květu mají kokální sinice rodu *Microcystis*, které tvoří kolonie. Z vláknitých sinic to jsou například *Anabaena*, *Planktothrix* a *Aphanizomenon*. V některých jezerech na severu Evropy můžeme najít *Planktothrix rubescens*, které svými vlákny tvoří červený vodní květ. Eutrofizace vod probíhá kromě sladkých vod také

v mořích. Mezi často se vyskytující, vláknitou sinici tvořící vodní květ v mořích, patří červeně zbarvená *Trichodesmium erythraeum*. Sinice svým velkým přemnožením působí problémy nejenom ve vodním sloupci (pelagiálu), ale také na dně a na pobřeží vodní masy. Jejich husté povlaky způsobují výrazné snížení biodiverzity celého ekosystému (Šejnohová a Maršálek, 2005). Děje se tak nejen kvůli produkci toxických látek, ale hlavně z důvodu vyčerpání kyslíku sinicemi, což způsobuje rozklad biomasy a s ním spojené hnilobné procesy, které také snižují saturaci kyslíku ve vodě (Kalina a Váňa, 2005). Ne vždy se musíme setkat pouze s koloniemi nebo vlákny, ale narazíme i na jednotlivé sinicové buňky, které jsou většinou buňky malých rozměrů (0,2–2  $\mu\text{m}$  = pikoplankton; 2–20  $\mu\text{m}$  = nanoplankton), a mohou tak způsobit zřetelné zabarvení vody při jejich velkém namnožení (Šejnohová a Maršálek, 2005). Odstranění vodního květu je velmi náročné, protože jsou sinice schopné se velmi dobře adaptovat na změnu podmínek prostředí (Kalina a Váňa, 2005).

## 2.2. Charakteristika vybraných řádů a rodů sinic

Sinice patří mezi prokaryotní organismy. Systematický přehled zařazení sinic uvedený v knize Nový přehled biologie (2004): Imperium — Prokarya; Říše — Bacteria; Oddělení — Cyanophyta (Cyanobacteria), Třída — Cyanophyceae. Do pojmenování taxonů se promítají oba nomenklatorické kódy, proto můžeme používat koncovky –phyta, –phyceae, určené botanickým kódem, i –bacteria podle mikrobiologického kódu. Oba názvy Cyanophyta i Cyanobacteria považujeme proto za synonyma (jsou si rovnocenné). Naproti tomu český název sinice, používaný již od r. 1930, je k oběma kódům neutrální a nahradil tak vůbec první název „sinné řasy“, který může být zavádějící. Taxonomie sinic je velmi složitá nejenom na úrovni morfotypů, ale i na úrovni vyšších taxonomických jednotek, jako jsou řád, třída. Do stávající doby bylo popsáno kolem 130 rodů sinic s několika tisíci morfotypy, přičemž tento počet není samozřejmě zdaleka definitivní. Taxonů může přibývat z důvodu málo prozkoumaných tropických oblastí, ale bude jich také ubývat, vzhledem k vysoké fenoplasticitě sinic (Šejnohová a Maršálek, 2005).

### 2.2.1. Řád Chroococcales

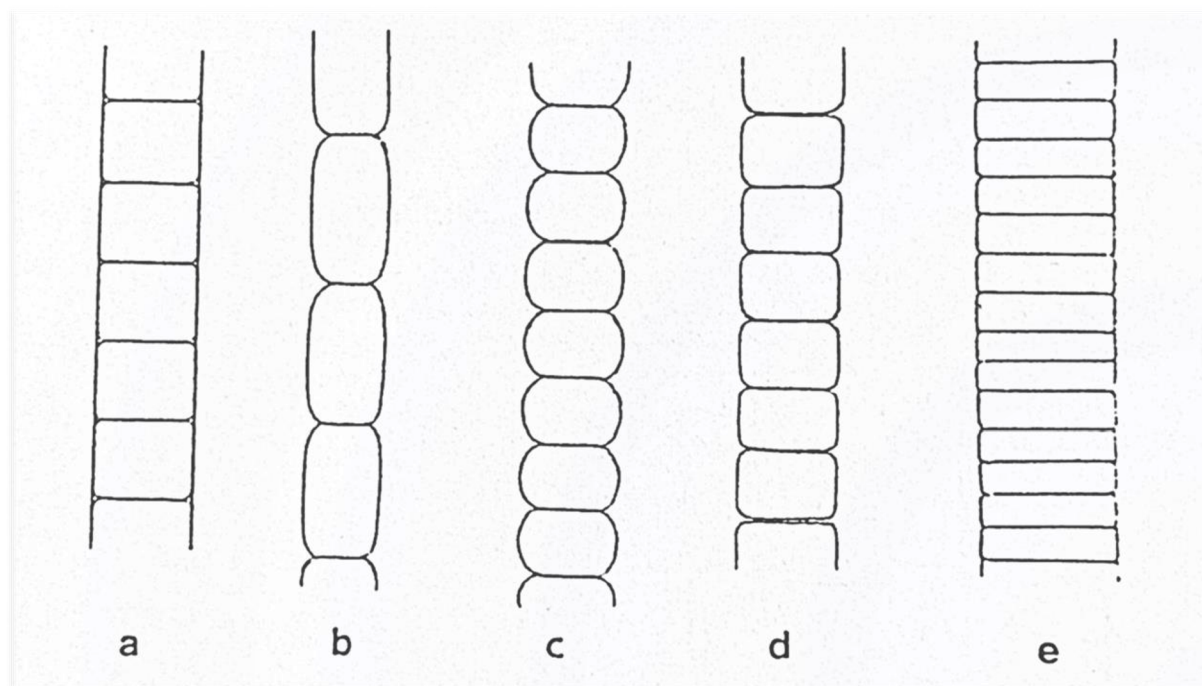
Jedná se o jednobuněčné sinice s kulovitými či vejčitými buňkami, které se rozmnožují příčným dělením nebo exocytou. Některé druhy se rozmnožují drobnými buňkami, jež vznikly několikanásobným dělením buňky mateřské (baeocytou) (Hoek *et al*, 1995).

Mezi hlavní znaky řádu Chroococcales patří jednobuněčný nebo koloniální způsob života, absence pravého větvení. Spojení mezi buňkami a buněčné dělení probíhá v jedné, dvou nebo více na sebe kolmých rovinách. Řád se tradičně dělil do dvou rodů, a to *Chroococcaceae* a *Entophysalidaceae*. Hlavní odlišovací rys obou rodů je založen na morfologii stélky. U rodu *Chroococcaceae* jsou charakteristické osamocené buňky nebo kolonie s nepravidelně umístěnými buňkami, kdežto u rodu *Entophysalidaceae* jsou koloniální buňky orientované pravidelně (Komárek a Anagnostidis, 1986).

V systému dle Komárek a Anagnostidis (1986) je z řádu Chroococcales rozeznáno 7 rodů.

## 2.2.2. Řád Oscillatoriales

Jedním z typických znaků řádu Oscillatoriales je charakteristická vláknitá stélka, tj. buňky uspořádané uniseriálně a spojené příčnými buněčnými stěnami umožňujícími oboustrannou fyziologickou komunikaci (trichomy). Specializované buňky jako akinety či heterocyty chybí. Druhy jsou běžně rozmístěné v různých biotopech po celé biosféře. Buňky se dělí kolmo k podélné ose trichomu. Vlákna jsou složena z trichomů a fakultativně ze slizovitých obalů. Rozmnožování probíhá v různě modifikovaných fragmentaci trichomů v krátkých úsecích. Hormogonie, které slouží k reprodukci, jsou obvykle krátké (1 – 50 stejných buněk), aktivně a fakultativně pohyblivé buňky, ale mohou být také součástí dlouhých částí trichomů (Komárek a Anagnostidis, 1988). Koncové buňky plně vyvinutých trichomů (morfologicky jako řada buněk a vlákno) jsou ukončené buňkou, která nese čepičku. Některé druhy se pohybují pomocí drkavého nebo plíživého pohybu, proto je jejich rodové jméno odvozené od tohoto typického drkavého pohybu. Zařazení drkalek bylo obtížné, protože rod obsahoval okolo 100 druhů, které byly těžko rozeznatelné. Na základě nově stanoveném souhrnu znaků můžeme drkalky zařadit do rodů *Planktothrix*, *Limnothrix*, *Pseudoanabaena*, *Jaaginema*, *Leptolyngbya* a dalších (Kalina a Váňa, 2005).



Obrázek 6: Hlavní typy buněk v trichomech řádu Oscillatoriales: **a** - Phormidiaceae, Homoeotrichaceae; **b** - Pseudanabaenaceae; **c** - Borziaceae, Phormidiaceae; **d** - Phormidiaceae, Homoeotrichaceae; **e** - Oscillatoriaceae (Komárek a Anagnostidis, 1988).

### Rod *Pseudoanabaena*

Vláknité nevětvené sinice (velmi vzácně nepravé větvení) s celkem výrazným zaškrcováním na příčných přehrádkách, cylindrickými nebo kubickými buňkami. Vlákna obvykle tvoří kolonie, ale nachází se často ve větším počtu jedinců. U tohoto rodu je charakteristická absence slizové pochvy, ale ve stacionárních fázích růstu se výjimečně a fakultativně vyskytují jemné slizové obaly. Pro determinaci druhů je důležitý znak morfologie

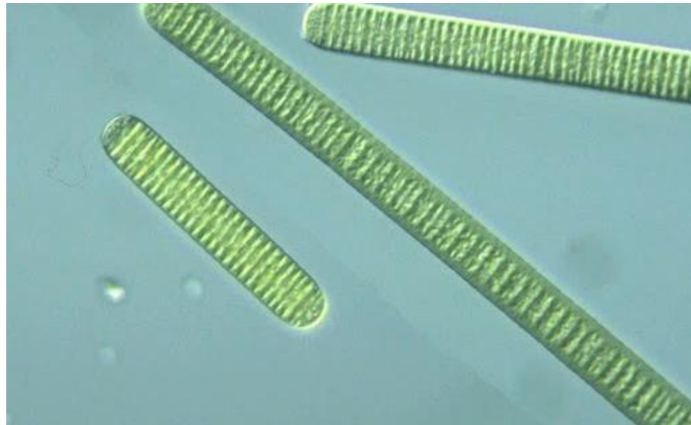
vlákna a buňky, přítomnost a charakter granulí nebo aerotopů a ekologie druhu (Anagnostidis a Komárek, 1988).

### Rod *Phormidium*

Hlavní znaky rodu jsou válcovité trichomy, které jsou mírně až intenzivně zvlněné, šroubovitě, nebo mírně zúžené u příčných stěn, široké 1–12  $\mu\text{m}$ . Mají schopnost vytvářet slizové pochvy kolem trichomů v závislosti na podmínkách prostředí. Pochvy jsou pevné, přilnavé k trichomu. Trichomy jsou pohyblivé uvnitř pochvy i bez pochvy (klouzání, resp. plížení a chvění). Nepravé větvení není přítomno, buňky jsou zpravidla širší než delší. Nemají aerotopy (Anagnostidis a Komárek, 1988).

### Rod *Oscillatoria*

Rod tvoří vláknitou stélku, vlákna jsou rovná. Jednotlivé buňky jsou vždy širší než delší (8 mikrometrů) a slizová pochva nebývá až na výjimky přítomna. Samotná vlákna jsou nápadně pohyblivá. Buňky vláken obsahují výrazná granula, velmi často u příčných přehrádek, aerotopy chybí nebo se vyskytují jen vzácně (Anagnostidis a Komárek, 1988).



Obrázek 7: Rod *Oscillatoria*,

Dostupné z: <https://naturaevision.wordpress.com/2016/08/02/bacteria-oscillatoria/>

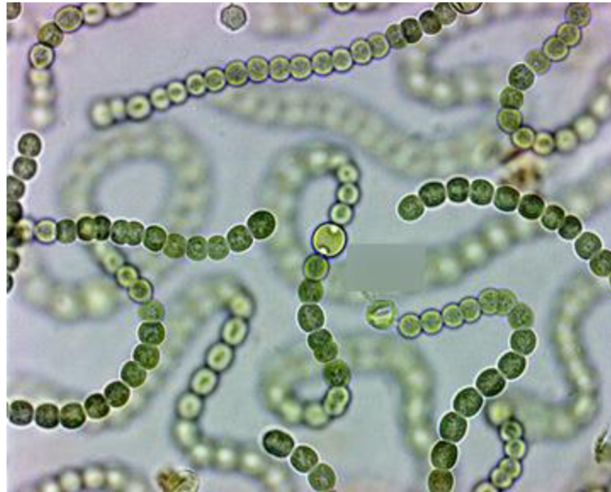
## 2.2.3. Řád Nostocales

Struktura vláken je složená z trichomu (řada buněk za sebou spojených buněčnou stěnou s plazmodezmaty) a širokého nebo úzkého slizovitého pouzdra. Morfologie stélky může být mírně ovlivněna prostředím, ale hlavní struktura je v přírodních podmínkách vždy stejná. Rody z řádu Nostocales jsou morfologicky diferencované již natolik, že struktura vláken a morfologie stélky jsou víceméně specifické a stabilní. Mnoho vláknitých sinic vykazuje pozoruhodnou diferenciaci buněk na dva odlišné typy: vegetativní buňky a heterocyty, přičemž heterocyty se nevyskytují v žádné další skupině organismů (včetně bakterií). Heterocyty jsou obklopeny silným obalem obsahujícím vnitřní laminovanou vrstvu, centrální homogenní vrstvu a vnější vláknitou vrstvu. Sinice jsou tradičně klasifikovány jako všudypřítomné a běžné kosmopolitní organismy, např. u *Nostoc commune* byl hlášen výskyt z různých druhů půd, planktonu jezer a oceánů, bentosu antarktických jezer, pouští nebo z vlhkých kamenitých stěn ve vysokých horách (Komárek a Anagnostidis, 1990).



## Rod *Nostoc*

Jsou to epipelické, epilimnické a epifytické druhy, které se vyskytují v čistých vodách, rybnících nebo tůních. Mohou mít mikroskopickou nebo makroskopickou stélku amorfního, nebo kulovitěho tvaru a vyskytují se buď jednotlivě nebo mohou vytvářet kolonie. Typickými znaky je přítomnost heterocytů a akinet. Nenachází se u nich žádný typ větvení (pravé ani nepravé). Tento rod má specifický životní cyklus, během něhož vytváří několik fází. Buňky se dělí do kříže. Reprodukce probíhá pomocí pohyblivých hormogonií nebo nepohyblivých hormocyt (Komárek a Anagnostidis, 1990).



Obrázek 8: Rod *Nostoc*,  
Dostupné z: <https://quizlet.com/319247551/parts-of-nostoc-diagram/>

## Rod *Anabaena*

Jedná se o volně žijící planktonní nebo bentické druhy. Vlákna jsou samostatná, nebo v malých shlucích, rovná nebo mírně obloukovitě zahnutá či pravidelně šroubovitá. Buňky jsou více či méně zahnuté, konce vláken nebývají zúžené a koncové buňky jsou zaoblené nebo kuželovité. Buňky jsou bez plynových váčků (aerotopů) (Komárek a Anagnostidis, 1990).

### 2.2.4. Řád Stigonematales

Stigonematales jsou morfologicky nejvíce diferencovaný a komplikovaný řád a zdá se, že patří mezi vysoce vyvinutou skupinou sinic. Řád je charakterizovaný komplikovaným životním cyklem a je také zajímavý z různých dalších aspektů (buněčná diferenciace, vývoj a morfogeneze, fylogenetické vztahy). Spousta druhů dominuje v biotopech s velmi specializovanými (extrémními) podmínkami. Vyskytuje se zde nejvíce variabilně strukturovaná a komplikovaná stélka. Jejich konečná podoba závisí na specializované struktuře plíživých a vzpřímených rozvětvených nebo nerozvětvených vláken, hustotě a stabilitě kolonií, na ekologických a fyziologických faktorech (struktura substrátu a stav živin v biotopech). Heterocyty jsou většinou přítomny. Patří sem např. *Stigonema*, *Fisherella*, *Hapalosiphon* a další (Anagnostidis a Komárek, 1990).

### 2.3. Životní cyklus sinic

Jediná známá forma rozmnožování sinic je nepohlavní rozmnožování. Kokální sinice se rozmnožují pouze obyčejným dělením, tedy zaškrcením buňky nebo rozpadem kolonie (Šejnohová a Maršálek, 2005). Dělení buněk začíná tvorbou příčné přehrádky, která poté prorůstá po celém obvodu buňky směrem z povrchu dovnitř k centru buňky (Kalina a Váňa, 2005). V mnoha jednobuněčných a koloniálních formách je reprodukce vegetativní a vyskytuje se při dělení buněk. Pokud je rychlý rytmus dělení buněk, tedy kdy buněčná dělení následují rychle jedno po druhém, jsou někdy produkovány nanocyty (trpasličí buňky), neboť dceřiné buňky nemají dostatek času na dokončení růstu do jejich plné velikosti před dalším dělením. Dceřiné buňky zvané endospory vznikají tak, že buňka zvětší svůj objem a každý protoplast se dělí na množství dceřiných buněk uvnitř mateřské buněčné stěny. Buňky jsou sice pohyblivé, ale bez bičíků. Bez bičíků jsou také exospory, jež jsou malé buňky vzniklé pučením z větší mateřské buňky (Hoek *et al*, 1995).

Vláknité sinice se množí hormogoniemi, kdy se z mateřského vlákna oddělí několikabuněčné části vlákna (Šejnohová a Maršálek, 2005). Fragменты se pravděpodobně odlomí od mateřských vláken na příčných prstencích pórů přes peptidoglykanovou vrstvu buněčné stěny. Buňky, jejichž stěny jsou rozbité, zemřou (Hoek *et al*, 1995). Ke konstantnímu přežívání a šíření buněk slouží tlustostěnné struktury, akinety. Protože sinice se nerozmnožují pohlavně, netvoří se obrvené rozmnožovací buňky, gamety či jiné pohlavní orgány (Šejnohová a Maršálek, 2005).

## 3. EPIFYTON

Následující kapitola vychází z: Stevenson *et al.*, 1996

### 3.1. Faktory ovlivňující epifyton

Kvantita a kvalita perifytonu v ekosystému stojatých vod je přímo i nepřímo závislá na biotických a abiotických faktorech. Interakce mezi těmito parametry mohou být komplexní z důvodu pozice perifytonu na trofické úrovni a rozhraní mezi biotickými a abiotickými složkami ekosystému.

#### 3.1.1. Zdroje

Zdroje jsou definované jako spotřební materiál pro udržení a růst populace. Zdroji perifytonu jsou světlo, živiny (většinou anorganické) a prostor. Všechny tyto zdroje hrají roli ve strukturním uspořádání společenstva perifytonu.

Prostor často není považován za zdroj, ale je nezbytný pro růst perifytonu. Hoagland *et al.* (1982) popisovali postupný sled událostí v omezeném prostoru stanoviště vedoucí ke komplexním trojrozměrným společenstvím. V širokých mělkých pobřežních zónách s dostatkem živin se zdál perifyton omezen prostorem. Víceméně každý vhodný podklad v příbřežní zóně byl pokryt druhem *Cladophora glomerata*, který sám o sobě slouží jako substrátový prostor a tímto se zvýšila funkční plocha litorálu až 2000 násobně. V systémech stojatých vod se tedy prostor příležitostně jeví jako omezený zdroj, zejména v horní litorální zóně.

Bentické řasy vyžadují velké množství anorganických živin, například uhlík, kyslík, vodík, dusík, fosfor, vápník, železo, draslík. Hojnost živin v ekosystému stojatých vod hraje důležitou roli v kvalitě, kvantitě a rozmístění perifytonu. Anorganické zdroje živin ve vodním sloupci mohou pocházet z atmosféry, povrchového či podpovrchového přítoku, nebo z uvolnění ze sedimentu. Nehledě na zdroje, živiny ve vodním sloupci jsou však ve větším kontaktu s fytoplanktonem než s perifytonem. S velkým množstvím nárůstu fytoplankton může zastínit perifyton a z místa limitovaného živinami se stává místo s limitujícím faktorem – světlem. Tento jev byl demonstrován na subarktických švédských jezerech, která byla obohacena o živiny. Kontrolní jezero, jezero Stugsjön, které neobsahovalo žádné uměle dodané živiny udržovalo relativně vysoké hustoty perifytonu, které představovaly 70-83 % z celkové primární produkce jezera, kdežto podíl bentických řas na primární produkci jezera obohaceným dusíkem a fosforem (jezero Hymenjaure) se po dodání živin snížil z 50 % na 22 %. V jezeře Hymenjaure po dodání živin fytoplankton zastínil perifyton. Dále bylo prokázána spojitost mezi živinami vodního sloupce a biomasou řas, kdy byla mnohem silnější pro fytoplankton než pro perifyton. Nicméně, perifyton může slabě reagovat na živiny ve vodním sloupci a v některých případech signalizovat časná stadia eutrofizace dříve než fytoplankton.

Světlo je tlumeno nejen se zvyšující se hloubkou vody, ale i kvůli nerozpuštěným látkám a fytoplanktonu. Na rozdíl od fytoplanktonu, který může aktivně nebo pasivně měnit hloubku, je u perifytonu stojatých vod větší pravděpodobnost, že se projeví rozdíly ve struktuře a funkci společenstva podle hloubkového gradientu. V oligotrofních vodách (vody s nízkým obsahem živin) může fotická zóna zasahovat daleko hlouběji pod termoklinu, např. v jezeře Tahoe, na hranici států Nevada a Kalifornie, přibližně 1 % světla proniká do hloubky až 60 m. Mnoho badatelů zařadilo světlo jako důležitou proměnnou, která ovlivňuje složení společenství perifytonu a vzájemně souvisí s hloubkovým gradientem. Experimenty *in situ*, kde by intenzita

anebo kvalita světla ve stojatých vodách byla měněná, kdežto ostatní proměnné zůstaly konstantní, jsou poměrně vzácné. Hoagland a Peterson (1990) provedli experiment a manipulovali se společenstvím perifytonu ve velkých nádržích přesunem substrátů do různých hloubek. Přestože identifikovali řady taxonů řas, které vykazovaly jisté hloubkové preference, příčinný mechanismus byl zastíněn skutečností, že světlo a disturbance se měnily podle hloubkového gradientu. Proto v souvislosti s dalším experimentem Hudson a Bourget (1983) došli k závěru, že struktura společenství perifytonu, fyziogonomie a hustota jsou závislé na hloubce i na intenzitě světla.

### 3.1.2. Disturbance

Disturbance zahrnuje formy abiotických jevů, hlavně mechanických a chemických, jako například turbulence, abraze, toxické chemikálie. Dále biotické faktory jako například pastva heterotrofních organismů. Avšak co je pro jednu populaci považované za disturbance, může pro jinou populaci sloužit neutrálně nebo pozitivně.

Ukázalo se, že vodní turbulence (pohyb vln) v jezerech mají pozitivní vztah k biomase perifytonu, zvláště tak na vláknité řasy, rozsivky. Nicméně pokud jsou společenstva zvyklá na relativně klidné prostředí vystavena změnám (činnost vln), jsou některá společenstva ovlivněna nepříznivě. Hoagland (1983) zkoumal dopad epizodické bouřkové události a následného nárůstu turbulencí na strukturu společenství perifytonu v eutrofní nádrži a zjistil, že starší společenstva ztratila větší procentuální zastoupení biomasy než mladší společenstva, avšak rozmanitost společenstev nebyla významně ovlivněna.

Chemické disturbance, tedy extrémní překračující normální chemické složení ve vodě, jsou většinou způsobována lidskou činností. Chemická disturbance perifytonu ve stojatých vodách byla tradičně méně závažná, protože byla mnohem méně studovaná než disturbance v rychle tekoucích vodách. Tento fenomén pravděpodobně reflektuje obecně větší objem jezer a také jejich schopnost ředit množství chemikálií, které by převyšovaly toleranci perifytonu v tekoucích vodách. Nejvíce studované a dokumentované jsou pravděpodobně chemické disturbance jezer způsobené atmosférickou depozicí látek vedoucí k okyselení vod. Zdá se, že okyselení jezer ovlivňuje fytoplankton více než perifyton. Obecný jev sledovaný v okyseleném jezeře byl takový, že se snížila hojnost fytoplanktonu, která vedla ke zvýšenému pronikání světla a prohloubení fotické zóny s výsledným zvýšením biomasy perifytonu.

Biotická disturbance je obvykle spojovaná s aktivitou spásáčů. Spásáči perifytonu v ekosystému stojatých vod jsou od prvoků (<100  $\mu\text{m}$  délky) až k rybám, dlouhým několik decimetrů. Spásáči ovlivňují perifytonová společenství jak přímou konzumací buněk řas, tak jejich uvolňováním ze substrátu. Intenzita spásání ve stojatých vodách v některých případech podléhá druhotně větším rybám. Demonstrováno to bylo v mezotrofních jezerech ve Wisconsinu, kdy biomasa perifytonu a struktura společenství byla regulována v potravních sítích tzv. *top-down* regulací rodu Slunečnic z čeledi *okounoviti* a hlemýžďů (Stevenson *et al.*, 1996). *Top-down* kontrola společenstva neboli kontrola shora je taková, kdy začínáme od nejvyšší trofické hladiny a na trofické kaskády se díváme „shora“. Příkladem u potravního řetězce s více hladinami predátor kontroluje hojnost býložravců a ti zase kontrolují hojnost rostlin (Townsend *et al.*, 2010). Musíme brát v potaz to, že pravidelné snižování společenstva perifytonu na monovrstvu *Cocconeis pediculus* (Medlin, 1981) stálou pastevní aktivitou husté populace plžů, by nepředstavovalo disturbance jakožto jev, který by překračoval hranice

přirozené variability prostředí v daném stanovišti. Jako příklad biotické disturbance stojatých vod perifytonu severoamerických jezer je považovaný invazní druh exotické Slávičky mnohotvárné (*Dreissena polymorpha*), vyskytující se v poměrně velkém měřítku. Od jejich zavlečení do těchto vod v 80. letech 20. století se množily a nyní udržují hustotu populace v řádu desítek tisíc na metr čtvereční, přičemž modifikují stanoviště perifytonu v pobřežní zóně.

### 3.2. Interakce s hostitelskou rostlinou

Mezi všemi typy bentických substrátů jsou nejčastěji studovanými interakce s rostlinami. Pro kolonizaci je vhodný rostlinný materiál, včetně listů a stonků ponořených cévnatých rostlin, stonků vznikajících cévnatých rostlin, kořenového dřeva, kůry a spadlých listů ze stromů podél jezer. Vhodné jsou také stélky vodních mechorostů, kapradin a makrořas.

Několik důkazů nepřímo podporuje hypotézu o volné nezávazné interakci živin mezi epifyty a jejich hostitelskými rostlinami. Výhodou kolonizace rostlin pro epifyty zahrnují poskytování výhodného stanoviště pro růst, tj. vyvýšené místo ve vodním sloupci, kde je větší přístup ke světlu než na povrchu sedimentu, a přístup k druhému zdroji živin (substrát i vodní sloupec). Další důkazy naznačují negativní interakci, ve které makrofyty soutěží s epifytními řasami o zdroje živin a uvolňují alelopatické látky, které potlačují růst epifytů. Zvažovaná byla také třetí hypotéza, že makrofyty slouží pouze jako neutrální místo pro navázání nebo zanedbatelně přispívají k zásobování epifytu živinami. Každá z těchto hypotéz může být platná v závislosti na ročním období, stavu rostlinného substrátu a dostupnosti živin ve vodním sloupci. Načasování syntézy, skladování a uvolňování alelopatických látek se liší v závislosti na druhu hostitelské rostliny, přičemž mladá rostlinná tkáň je strukturálně nejméně porušená, a se stárnutím tkáně se vylučování zvyšuje. Tento proces lze posílit biologickými mechanismy, například celulolytickými bakteriemi, které rozpouštějí kutikulu cévnatých hostitelských rostlin, dále kolonizující mikroflóra, která pohlcuje živiny a další látky vylučované z podkladové rostliny.

## 4. SINICE VE VÝUCE

### 4.1. Sinice v rámcových vzdělávacích programech

Rámcové vzdělávací programy (RVP) představují obecně závazný rámec pro tvorbu školních vzdělávacích programů škol všech oborů vzdělání od předškolního věku, přes základní, základní umělecké, jazykové až středoškolské vzdělávání. V České republice byly zavedeny rámcové vzdělávací programy zákonem č. 561/2004 Sb., o předškolním, základním, středním, vyšším odborném a jiném vzdělávání (školský zákon). Rámcové vzdělávací programy mají stanovit zejména konkrétní cíle vzdělání, formy, délku a povinný obsah. Podle zaměření daného oboru vzdělání se rozlišuje vzdělání všeobecné a odborné, jeho organizační uspořádání, profesní profil, podmínky průběhu a ukončování vzdělávání a také zásady pro tvorbu školních vzdělávacích programů. Dále stanovuje podmínky pro vzdělávání žáků se speciálními potřebami ke vzdělání a nezbytné materiální, personální a organizační podmínky a předpoklady bezpečnosti a ochrany zdraví. Podle těchto hledisek jsou rámcové vzdělávací programy upravovány, aby podléhaly nejnovějším poznatkům. Tvorbu a oponenturu rámcových vzdělávacích programů zajišťují příslušná ministerstva, která je také vydávají po náležité konzultaci s odborníky vědy a praxe, včetně pedagogiky a psychologie. Na základě RVP a pravidel v nich ustanovených si jednotlivé školy tvoří své programové dokumenty – školní vzdělávací programy.

Zkoumáním přírody se zabývá na základní škole oblast Člověk a příroda. V této oblasti žáci poznávají přírodu jako systém, jehož součásti jsou vzájemně propojeny a působí na sebe. Na tomto je založeno i pochopení důležitosti udržování přírodní rovnováhy pro existenci živých soustav i člověka, včetně možných ohrožení z přírodních procesů, z lidské činnosti a zásahů člověka do přírody. Vzdělávací obory oblasti Člověk a příroda jsou Fyzika, Chemie, Přírodopis a Zeměpis, svým charakterem výuky umožňují žákům hlouběji porozumět zákonitostem přírodních procesů, a tím si uvědomovat i užitečnost přírodovědných poznatků a jejich následné aplikaci v praktickém životě (Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání, 2017).

#### **Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání a nižší stupeň víceletých gymnázií**

V části Biologie rostlin najdeme učivo o řasách, které jsou zde zmíněny jako součást systému rostlin, které by měl student být schopen poznat a zařadit některé zástupce běžných druhů. Ačkoliv pojem sinice zde není uveden konkrétně, učivo o sinicích patří do celku učiva Obecná biologie a genetika. S řasami se ještě setkáme v okruhu Ekosystémy v rámci tématu Environmentální výchova, kde se objevuje pojem mořské řasy (Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání, 2017).

#### **Rámcový vzdělávací program pro gymnázia**

Biologie jako předmět je rozdělený do několika tematických celků. Pojem sinice zde není konkrétně uveden, ale v tematickém celku Obecná biologie je probírané učivo stavby a funkce buněk prokaryotických i eukaryotických. Témata by mohla být pravděpodobně probírána dále v rámci celků Ekologie. Učivo o řasách je součástí celku nazvaného Biologie protist a dále Biologie rostlin. Pojem řasy se zde nevyskytuje, nicméně v části „očekávané výstupy“ je bod, kdy žák by měl být schopný porovnat společné a rozdílné vlastnosti stélkatých a cévnatých rostlin (Rámcový vzdělávací program pro gymnázia, 2017).



## 4.2. Sinice v učebnicích na ZŠ

V učebnicích pro základní školy nacházíme několik obecných skutečností. Ačkoliv je pochopitelné, že informace jsou zde hodně zjednodušené, nemělo by však docházet ke ztrátě smyslu sdělení nebo k podávání mylných informací. Při bližším pohledu do některých učebnic byly nalezeny chyby či nepřesnosti (Kaufnerová a Vágnerová, 2013).

Tabulka č. 2: Seznam učebnic pro ZŠ využitých při hodnocení

Název	Autor	Nakladatelství	Rok vydání
<b>Přírodopis 6</b>	Jurčák, Froněk	Prodos	2009
<b>Přírodopis pro 6. ročník základní školy a primu víceletého gymnázia</b>	Čabradová, Hasch, Sejpka, Vaněčková	Fraus	2012
<b>Ekologický přírodopis pro 7. ročník základní školy, druhá část</b>	Kvasničková	Fortuna	2013

### **Přírodopis 6**

Jurčák, J., Froněk, J. (2009). Přírodopis 6 pro základní školy, zoologie a botanika. – 127 pp., Prodos, Praha.

Učebnice obsahuje učivo od jednobuněčných organismů až po hmyz. Sinice jsou zde zařazeny mezi jednobuněčné rostliny, přestože se jedná o organismy prokaryotní. V úvodu je chybně uvedeno, že jsou sinice příbuzné bakteriím, avšak ve skutečnosti se jedná o jednu skupinu bakterií. V kapitole o bakteriích se sinice vůbec nevyskytují, jsou až v kapitole s názvem „Jednobuněčné rostliny“. Dvě strany textu obsahují informace věnované sinicím a jsou zde vloženy texty zabývající se planktonem, fotosyntézou, přeměnou látek a ekologickými dopady škodlivých látek, které se dostávají do vod. Celkově dochází k překrývání informací v jednotlivých podkapitolách a z toho důvodu je možná pro žáky těžší si utřídit informace a poznatky. V učebnici se uvádí, že sinice mají ve svých buňkách dutinky (vakuoly) naplněné dusíkem, takže se vznášejí při hladině. Tímto termínem jsou označeny aerotopy, které nejsou naplněny čistým dusíkem, ale směsí plynů. Navíc ne všechny rody sinic aerotopy vůbec obsahují. V textu jsou použité výrazy, které nekorespondují s moderní terminologií. Například je použitý pojem „drobnohledný“ namísto „mikroskopický“ či „zeleň listová“ místo „chlorofyl“. Kapitola je doplněna ilustracemi různých druhů sinic. V učebnici chybí uvedení nejčastěji se vyskytujících zástupců. Učebnice je doplněna pracovním sešitem a příručkou pro učitele.

### **Přírodopis pro 6. ročník základní školy a primu víceletého gymnázia**

Čabradová, V., Hasch, F., Sejpka, J., Vaněčková, I. (2012). Přírodopis pro 6. ročník základní školy a primu víceletého gymnázia. – 120 pp., Fraus, Plzeň.

Orientace v textu učebnice může být pro žáky poněkud složitější, protože text učebnice není členěn do podkapitol. Učivo s tematikou sinic se v této učebnici nachází v kapitole Sinice – modrozelené organismy. Kapitola v úvodu pojednává o rizicích spojených s koupáním ve vodě obsahující vodní květ. Ačkoliv je zde učivo rozebráno více podrobněji než v předchozí učebnici, je text vysvětlen jednoduše a pro žáky tak, aby jej dobře pochopili. Najít zde můžeme informace o stavbě buňky sinice a také způsobu rozmnožování. V textu je uvedeno několik konkrétních zástupců sinic s ilustracemi. K demonstraci stavby buňky sinic by bylo dobré použít k ilustraci i fotografii. Při popisu buňky je použitý pojem jaderná hmota, což může být pro žáky zavádějící, vzhledem k tomu, že se u nich jádro nevyskytuje. Výkladový text je rozmanitý a celkově velmi čtivý. Nachází se zde doplňující informace v postranních lištách. Na konci tématu je text stručně shrnutý do zeleného rámečku a nachází se zde i několik otázek a úkolů na procvičení.

### **Ekologický přírodopis pro 7. ročník základní školy, druhá část**

Kvasničková, D. (2013). Ekologický přírodopis pro 7. ročník základní školy, druhá část. – 72 pp., Fortuna, Praha

Učebnice je rozdělena do dvou dílů. První část učebnice se zabývá organismy žijícími v ekosystémech tvořenými a využívanými lidmi (v zahradách, uvnitř našich obydlí i v jejich nejbližším okolí). Ukazuje a popisuje základní principy vztahů organismů, ekosystémy na souši i v moři, systematický přehled organismů a zdůrazňuje odpovědnost člověka za ochranu rozmanitosti přírody. Druhá část učebnice se zaměřuje na charakteristické znaky a souvislosti mezi stavbou a funkcí těla jednobuněčných organismů, rostlin a bezobratlých živočichů, které žáci už znají z předcházejícího učiva.

### **4.3. Sinice v učebnicích na SŠ**

V učebnicích pro střední školy je kladen větší důraz na systém a také celkový rozsah učiva je výrazně větší. V učebnicích je častěji používaná latinská terminologie, zejména u učebnic gymnaziálního typu, protože se studenti s jejím využitím mohou setkat v přijímacích testech na vysoké školy (Kaufnerová a Vágnerová, 2013).



Tabulka č. 3: Seznam učebnic pro SŠ využitých při hodnocení

Název	Autor	Nakladatelství	Rok vydání
<b>Biologie pro gymnázia</b>	Jelínek, Zicháček	Nakladatelství Olomouc	2011 (9. vydání)
<b>Odmaturuj! Z biologie</b>	Benešová, Hamplová, Knotová, Lefnerová, Pfeiferová, Sáčková, Satrapová	Didaktis	2013
<b>Biologie v kostce pro SŠ</b>	Hančová, Vlková	Fragment	1997

### **Biologie pro gymnázia**

Jelínek, J., Zicháček, V. (2011): *Biologie pro gymnázia*. – 579 pp., Nakladatelství Olomouc, Olomouc.

Učebnice je určena jako materiál k výuce pro všechny ročníky čtyřletého gymnázia a pro vyšší ročníky víceletých gymnázií. Organismy jsou klasifikovány do tří domén: Bakterie (*Bacteria*), Archea (*Archaea*) a Eukarya (*Eukarya*). Doména *Eukarya* je rozdělena dále do pěti říší: Rostliny (*Plantae*), Houby (*Fungi*), Chromisté (*Chromista*), Prvoci (*Protozoa*) a Živočichové (*Animalia*). Sinice (*Cyanophyta*) jsou zařazené do podkapitoly *Prokaryota*. U sinic jsou zmíněna jednotlivá barviva, stavba buňky sinice, rozdělení sinic na jednobuněčné a vláknité, a některé specializované struktury sinic. Dále proces jejich rozmnožování, ekologie a stáří této skupiny. U rozdělení sinic se můžeme seznámit s některými zástupci, např. rod *Chroococcus*, *Anabaena*, *Lyngbya*, *Oscillatoria*, *Nostoc* a *Trichodesmium*. Jednotlivá témata jsou přehledně oddělena a na začátku větších celků doplněna o systematické zařazení, které žákům pomáhá při orientaci v systému. Část o sinicích je doplněna několika ilustracemi. Ačkoliv z nich nejsou patrné typické znaky pro dané rody, dávají žákům ponětí o tom, jak mohou být sinice rozmanité. Vhodnější je použití fotografií, které se vyskytují až za větším celkem, nikoliv hned u probírané látky a mohou být studenty lehce přehlédnuty. V popisu buňky sinice se vyskytuje pojem jaderná hmota, který může být zavádějící vzhledem k prokaryotické stavbě buňky. Text by mohl být doplněn o odstavec s významem nebo využitím sinic.

### **Odmaturuj! z biologie**

Benešová, M., Hamplová, H., Knotová, K., Lefnerová, P., Pfeiferová, E., Sáčková, I., Satrapová, H. (2013): *Odmaturuj! z biologie*. 2. vydání. – 256 pp., Didaktis, Brno.

*Odmaturuj! z biologie* je druhé, přepracované vydání známého titulu z edice *Odmaturuj!* Knížku je vhodné využít při přípravě na maturitní zkoušku, případně na přijímací zkoušky na vysokou školu. Kniha je rozdělena do devíti hlavních částí, které se zabývají obecnými zákonitostmi živých soustav, viry a prokaryotickými organismy, protisty, rostlinami, houbami, biologií člověka, genetikou a ekologií. Sinice jsou zařazeny do druhé části (Viry a prokaryotické organismy). Kapitola zabývající se sinicemi je rozdělena do několika bodů,

kterými jsou obecná charakteristika, význam, stavba, rozmnožování a zástupci. Ze zástupců jsou zde uvedeni *Spirulina*, *Nostoc*, *Anabaena* a *Trichodesmium*. Strukturovaný text do odrážek, odstavců s vyznačenými důležitými pojmy a žlutými indexy odkazujícími na obrázkový materiál usnadňuje vyhledávání v textu a dobrou přehlednost. Na okraji stran jsou doplňující informace k objasnění pojmů z hlavního textu, přinášejí zajímavosti, nebo poukazují na praktické využití. Součástí kapitoly je fotografie s popisky stavby buňky.

### **Biologie v kostce pro SŠ**

Hančová, H., Vlková, M. (1997): *Biologie v kostce. I, Obecná biologie, mikrobiologie, botanika, mykologie, ekologie, genetika.* – 112 pp., Fragment, Havlíčkův Brod.

Jedná se o doplňkovou učebnici pro střední školy. Učebnice shrnuje to podstatné, co student potřebuje při studiu střední školy a také na přípravu k maturitě či na přijímací zkoušky na vysokou školu. Studentům jsou doporučeny další výukové obrazové materiály. Publikace obsahuje obory biologie od obecné biologie přes botaniku, zoologii, biologii člověka až ke genetice. *Biologie v kostce* obsahuje veškerá témata z biologie, ve velmi stručném pojetí. Kniha se dělí do částí obecná biologie, mikrobiologie, botanika, mykologie, ekologie a genetika. Sinice jsou zařazeny v části mikrobiologie, do domény *Bacteria* do podříše Sinice (*Cyanobacteria*). V knize jsou velmi zjednodušeně obsaženy informace o ekologii, stavbě buňky, výživě sinic, rozmnožování a významu. Ze zástupců jsou v textu uvedeny rody *Anabaena*, *Microcystis*, *Nostoc* a *Oscillatoria* včetně českých názvů a velmi stručných popisů. V textu se nachází odstavec s názvem pohyb, kde je uvedena pouze informace „pomocí slizu“, bez dalšího upřesnění, jakým způsobem či u jakých rodů se tak děje, což by mohla být pro studenty zavádějící informace. Text není doplněn o obrázky ani další informace.

# 5. NÁVRH PRACOVNÍHO LISTU PRO POTŘEBY VÝUKY SINIC NA ZŠ A SŠ

Pracovní list pro výuku sinic na ZŠ (6.-9. třída)

## Sinice

Jméno:

Sinice a řasy bývají často spojovány dohromady, ačkoliv se jedná o rozdílné skupiny. Sinice patří k organismům zvaným Prokaryota. Jedná se o bakterie, které získaly schopnost fotosyntézy. Oproti tomu řasy patří do velké skupiny organismů, Eukaryota.



Tradiční dělení řas je na řasy zelené, hnědé a červené.

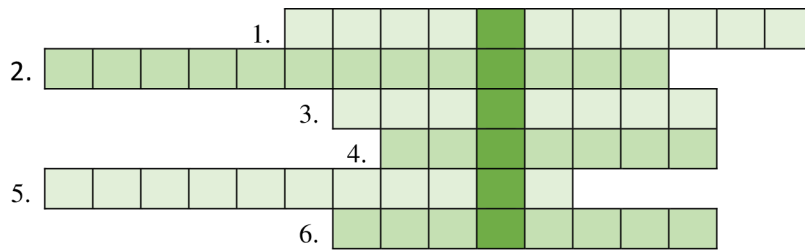


1. Co nikdy **nenajdeme** v buňkách sinic?
2. Co znamená pojem „autotrofní“?
3. Jsou sinice jednobuněčné, mnohobuněčné organismy, nebo mohou být obojí?
4. Doplňte:  
Jednobuněčné sinice se shlukují do \_\_\_\_\_ .  
Sinice obsahují barvivo \_\_\_\_\_, které jim umožňuje \_\_\_\_\_ .  
(+rovnice: \_\_\_\_\_ )  
V letních měsících se mohou sinice přemnožovat a způsobit na hladině tzv. \_\_\_\_\_ .

Zkus napsat, proč by mohlo být koupání ve vodě se sinicemi nebezpečné:

5. Kde se mohou vyskytovat sinice (alespoň 5 míst)

6. Doplň křížovku:



1. Proces, kdy si rostliny samy vyrábí potravu
2. Typ buňky charakteristický pro bakterie
3. Mikroskopické organismy vznášející se ve vodě
4. Klidové (nepohyblivé) stadium sinic a řas
5. Obohacování vod o živiny
6. Symbiont se sinicemi

Tajenka: \_\_\_\_\_ .



**Věděli jste, že...?**

...někdo má doma místo domácího mazlíčka řasokouli zelenou (*Cladophora aegagropila*)? Jedná se o druh vláknité řasy, která slouží nejen jako dekorace. Je nenáročná, protože si výživu obstarává ze sluníčka. Ikdyž se nejedná o mazlíčka, ráda se nechá pomazlit pod proudem studené vody. Pokud byste ji chtěli rozmazlovat, můžete jí do vody hodit kostičku ledu a pár zrníček soli.



## Vyhodnocení pracovního listu pro výuku sinic na ZŠ (6.-9. třída)

### Sinice

### Jméno:

Sinice a řasy bývají často spojovány dohromady, ačkoliv se jedná o rozdílné skupiny. Sinice patří k organismům zvaným Prokaryota. Jedná se o bakterie, které získaly schopnost fotosyntézy. Oproti tomu řasy patří do velké skupiny organismů, Eukaryota.



Tradiční dělení řas je na řasy zelené, hnědé a červené.



1. Co nikdy nenajdeme v buňkách sinic?
    - **pravé jádro**
  2. Co znamená pojem „autotrofní“?
    - **sami si vyrábí potravu – fotosyntéza**
  3. Jsou sinice jednobuněčné, mnohobuněčné organismy, nebo mohou být obojí?
    - **Sinice jsou jednobuněčné i mnohobuněčné, protože vláknité stélky jsou mnohobuněčné útvary**
  4. Doplňte:  
Jednobuněčné sinice se shlukují do **kolonií** .  
Sinice obsahují barvivo **chlorofyl** , které jim umožňuje **fotosyntetizovat** .  
(+rovnice:  **$6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2$**  )  
V letních měsících se mohou sinice přemnožovat a způsobit na hladině tzv. **vodní květ** .
- Zkus napsat, proč by mohlo být koupání ve vodě se sinicemi nebezpečné:
- **Sinice vylučují nebezpečné látky – toxiny, způsobují alergie**
5. Kde se mohou vyskytovat sinice (alespoň 5 míst)
    - **sladká voda, slaná voda, povrch půdy, na skalách, uvnitř jeskyní**

## 6. Doplň křížovku:

					1.	f	o	t	o	s	y	n	t	é	z	a	
2.	p	r	o	k	a	r	y	o	t	i	c	k	á				
					3.	p	l	a	n	k	t	o	n				
					4.	a	k	i	n	e	t	a					
5.	e	u	t	r	o	f	i	z	a	c	e						
					6.	l	i	š	e	j	n	í	k				

1. Proces, kdy si rostliny samy vyrábějí potravu
2. Typ buňky charakteristický pro bakterie
3. Mikroskopické organismy vznášející se ve vodě
4. Klidové (nepohyblivé) stadium sinic a řas
5. Obohacování vod o živiny
6. Symbiont se sinicemi

Tajenka: Sinice .



**Věděli jste, že...?**

...někdo má doma místo domácího mazlíčka řasokouli zelenou (*Cladophora aegagropila*)? Jedná se o druh vláknité řasy, která slouží nejen jako dekorace. Je nenáročná, protože si výživu obstarává ze sluníčka. Ikdyž se nejedná o mazlíčka, ráda se nechá pomazlit pod proudem studené vody. Pokud byste ji chtěli rozmazlovat, můžete jí do vody hodit kostičku ledu a pár zrníček soli.





## Pracovní list pro výuku sinic na SŠ

Jméno:

1. Je koupání ve vodě se sinicemi zdraví škodlivé? (ano/ne) Pokud ano, napiš proč.



2. **Teorie:** Z hlediska ekologie jsou řasy a sinice podobné druhy. Řasy však využívají sluneční záření a živiny účinněji než sinice, ale i přesto **sinice ve vodním květu dominují**. Je to z toho důvodu, že jsou sinice méně náročné na světlo, a rostou tak i v zastíněných vrstvách vodního sloupce, kde mohou tvořit hojnou biomasu. Sinice mají speciální struktury, **aerotopy**. Jejich stěna je propustná pro všechny plyny rozpuštěné ve vodě, a proto se mohou pohybovat vodním sloupcem podle potřeby. V případě výskytu vodního květu jich u hladiny bývá tolik, že vyčerpají všechny dostupné živiny, a poté se potopí do hlubších vrstev, kde je živin více. V hlubších vrstvách je ovšem málo světla nezbytného pro fotosyntézu, proto se pohybují zpět k vodní hladině, kde mají světla dostatek. Řasy nemají tuto možnost změny hloubky ve vodním sloupci, proto mohou trpět nedostatkem živin, a z tohoto důvodu se sinicím daří lépe.

- a) Jak se jmenuje speciální struktura sinic sloužící k pohybu ve vodním sloupci:

**Experiment:** Zda jsou ve vodě sinice nebo řasy, lze poměrně dobře rozeznat následujícím způsobem:

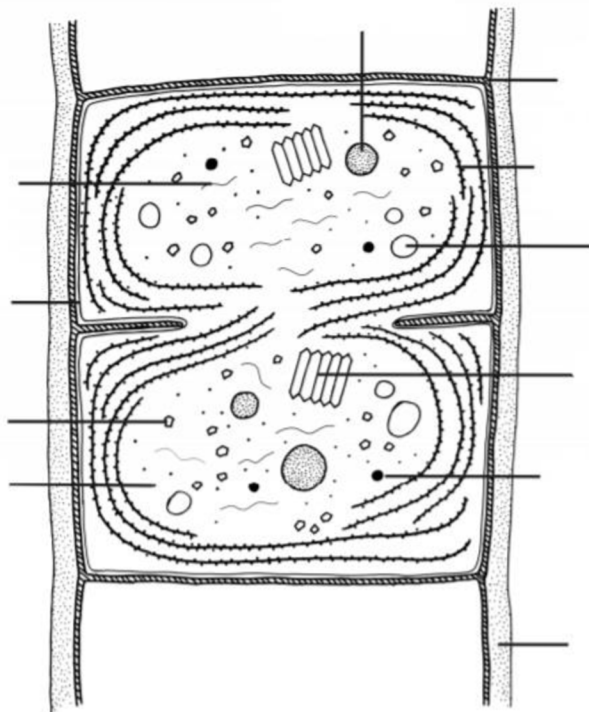
Potřebujeme láhev se zúženým hrdlem (lze použít třeba průhlednou lahev od balené vody), které naplníme vodou a necháme alespoň 20 minut stát v klidu na světle. Pokud se u hladiny vytvoří zelený kroužek tvořený zelenými organismy a voda přitom zůstane čirá, jedná se s největší pravděpodobností o sinice a není doporučeno se v takové vodě koupat. Jestliže zůstane voda zakalena rovnoměrně nebo se začne tvořit větší zákal u dna, půjde pravděpodobně o řasy.



- b) Proveď experiment a zhodnoť, zda se v daném vzorku vyskytují sinice či řasy a zdůvodni svoji odpověď.

3. Přiřaď následující pojmy do schématu stavby a struktury buňky sinice:

DNA – buněčná stěna – škrob – aerotopy – cytoplazmatická membrána – slizová pochva – ribozom – thylakoid s fykobilizomy – cyanofycin – karboxyzom – tuk



4. Napiš název další specializované struktury a k čemu slouží:



## Vypracování pracovního listu pro výuku sinic na SŠ Jméno:

1. Je koupání ve vodě se sinicemi zdraví škodlivé? (ano/ne)  
Pokud ano, napiš proč.

- Sinice mohou produkovat různé toxiny
- Způsobují alergické reakce, vyrážky, zarudlé oči



2. **Teorie:** Z hlediska ekologie jsou řasy a sinice podobné druhy. Řasy však využívají sluneční záření a živiny účinněji než sinice, ale i přesto **sinice ve vodním květu dominují**. Je to z toho důvodu, že jsou sinice méně náročné na světlo, a rostou tak i v zastíněných vrstvách vodního sloupce, kde mohou tvořit hojnou biomasu. Sinice mají speciální struktury, **aerotopy**. Jejich stěna je propustná pro všechny plyny rozpuštěné ve vodě, a proto se mohou pohybovat vodním sloupcem podle potřeby. V případě výskytu vodního květu jich u hladiny bývá tolik, že vyčerpají všechny dostupné živiny, a poté se potopí do hlubších vrstev, kde je živin více. V hlubších vrstvách je ovšem málo světla nezbytného pro fotosyntézu, proto se pohybují zpět k vodní hladině, kde mají světla dostatek. Řasy nemají tuto možnost změny hloubky ve vodním sloupci, proto mohou trpět nedostatkem živin, a z tohoto důvodu se sinicím daří lépe.

- a) Jak se jmenuje speciální struktura sinic sloužící k pohybu ve vodním sloupci:
- **aerotop**

**Experiment:** Zda jsou ve vodě sinice nebo řasy, lze poměrně dobře rozeznat následujícím způsobem:

Potřebujeme láhev se zúženým hrdlem (lze použít třeba průhlednou lahev od balené vody), které naplníme vodou a necháme alespoň 20 minut stát v klidu na světle. Pokud se u hladiny vytvoří zelený kroužek tvořený zelenými organismy a voda přitom zůstane čirá, jedná se s největší pravděpodobností o sinice a není doporučeno se v takové vodě koupat. Jestliže zůstane voda zakalena rovnoměrně nebo se začne tvořit větší zákal u dna, půjde pravděpodobně o řasy.

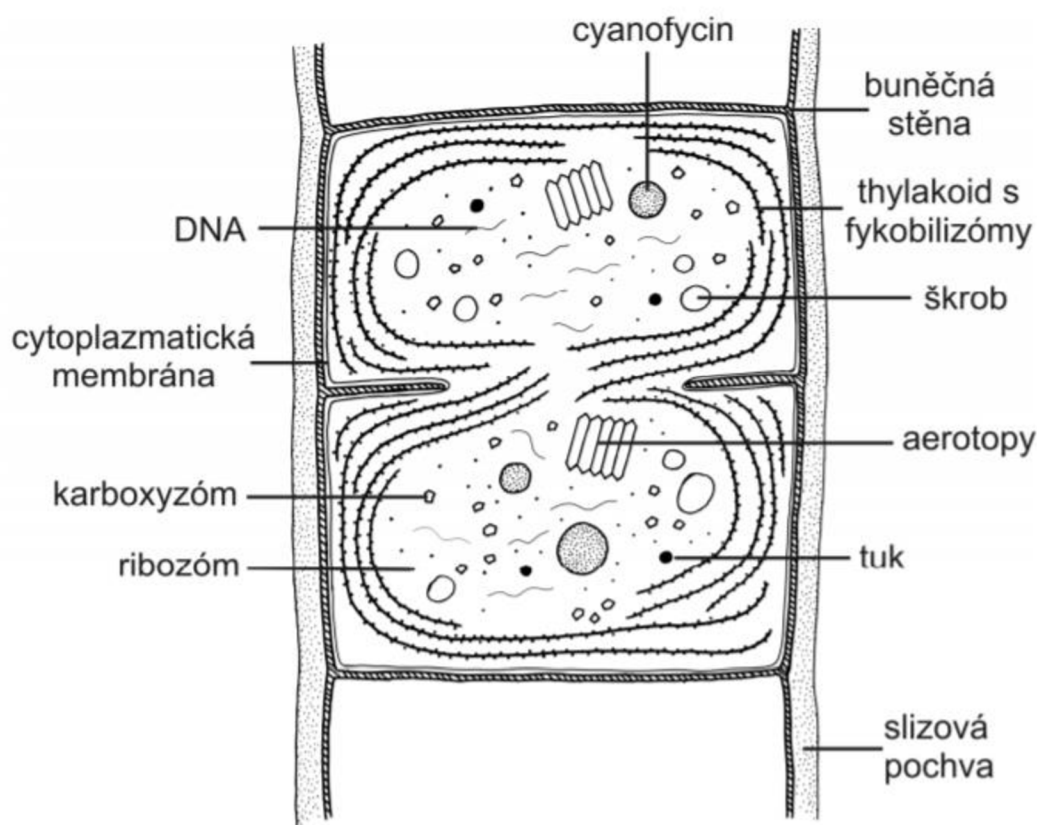


b) Proveď experiment a zhoď, zda se v daném vzorku vyskytují sinice či řasy a zdůvodni svoji odpověď.

- Pokud je na hladině po dvaceti minutách viditelný kroužek a zbytek láhve se zdá být čirý, jedná se o sinice, které díky aerotopům mohou vystoupat na hladinu vody, kde jsou nejvíce vystavené světlu
- v takové vodě není doporučeno se koupat

3. Přiřaď následující pojmy do schématu stavby a struktury buňky sinice:

DNA – buněčná stěna – škrob – aerotopy – cytoplazmatická membrána – slizová pochva – ribozóm – thylakoid s fykobilizomy – cyanofycin – karboxyzóm – tuk



4. Napiš název další specializované struktury a k čemu slouží:

- **Akinety:** nepohyblivé klidové stadium u sinic a řas
- **Heterocyty:** buňky fixující vzdušný dusík

# 6. NÁVRH LABORATORNÍHO CVIČENÍ

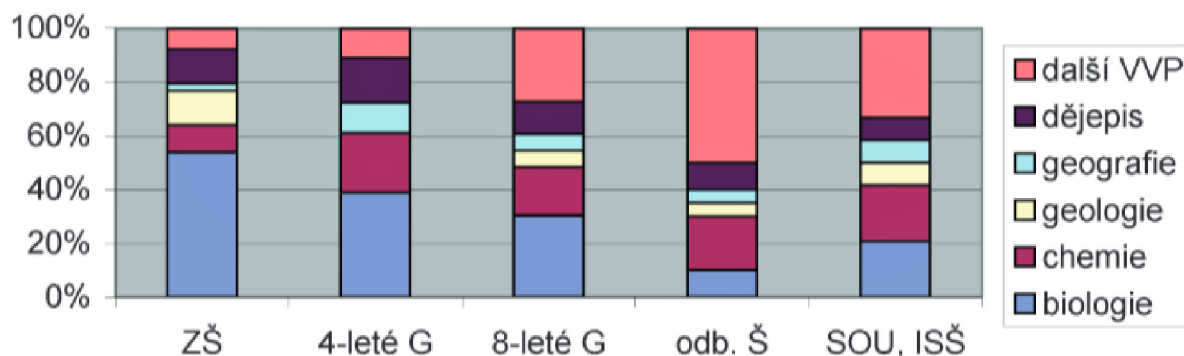
## PRO ZŠ A SŠ

### Didaktická část

Je obecně známo, že se věci snáze naučíme, když je sami děláme, než když se jen díváme nebo posloucháme. Terénní výuka spojená s praktickou výukou v laboratoři může být pro studenty zajímavou a zábavnou zkušeností, v níž se aktivně účastní výuky. Cílem vyučovacích hodin věnovaných sinicím je propojení teoretické části s praktickým životem studentů. Studenti se seznámí se základní charakteristikou, morfologickými znaky a také s ekologií některých rodů sinic. Hlavním cílem terénní výuky je nejen propojení teoretických znalostí a praxe, ale také prohloubení a upevnění již získaných znalostí.

Exkurze je jedna z forem výuky, která se koná mimo školní prostředí. Má přímý vztah k výuce, kterou doplňuje a rozšiřuje a přináší žákům zkušenosti. Jedná se o významný aspekt rozvíjení mezipředmětových vztahů a jejich propojením. Z pedagogicko-psychologického hlediska má exkurze dopady nejen na rozvíjení vědomostí a procvičení učiva, ale i na senzomotorické dovednosti studentů s přírodninami a literaturou. Dále upevňuje vztahy nejen mezi učitelem a žáky, ale také mezi žáky samotnými (Švecová, 2012).

Po didaktické stránce musí mít exkurze své didaktické části, aby byla exkurze provedena správně. První fází je samotná příprava na exkurzi. Žáci musí být obeznámeni o bezpečnosti při exkurzi, o vhodném oblečení, obutí a pomůckách, které budou potřebovat. Je vhodné úkoly pro žáky zpracovat do pracovních listů, aby se žáci mohli seznámit s úkoly v pracovních listech již před samotnou exkurzí. Druhou fází je samotná exkurze, při které je vhodné využít autodidaktické metody zakládající se na práci s literaturou. Mezi nezbytnou literaturu patří k exkurzi jsou určovací klíče a atlasy vhodné k determinaci přírodnin. Žáci se učí pracovat s odbornými materiály tak, aby ke správné odpovědi byli schopni přijít sami. Moderním trendem je zařazení badatelských prvků do výuky, což spočívá v práci s přírodninami přímo v terénu, odebírání vzorků pro další zpracování v laboratorním cvičení či fotografická dokumentace. Žáci se učí evidovat přírodniny a značit je etiketami. Poslední fází je hodnocení exkurze, které může probíhat formou referátu, či komentářům k daným úkolům. Na konci exkurze je vhodné uspořádat výstavku přírodnin či prezentaci fotografií z exkurze (Švecová, 2012).



Obrázek 9: Zařazení exkurzí ve VVP na ZŠ a SŠ (Švecová, 2012)

**Praktická část:**

**Téma:** Sinice v okolí školy

**Ukotvení v RVP:** vzdělávací oblast člověk a příroda, předmět biologie, tematický okruh biologie rostlin

**Zařazení do výuky:** první ročník čtyřletého gymnázia, třetí ročník šestiletého gymnázia, pátý ročník (kvinta) na osmiletém gymnáziu

**Mezipředmětové vztahy:** zeměpis (práce s mapou, případně kompasem, vytvoření trasy), chemie, fyzika (chemické a fyzikální vlastnosti vody), ekologie (vztahy prostředí a organismů)

**Průřezová témata:** Environmentální výchova (ekosystémy, základní podmínky života, vztah člověka k prostředí a problémy životního prostředí), Osobnostní a sociální výchova (rozvoj schopností komunikace, spolupráce, řešení problémů a rozhodovací dovednosti)

**Didaktické cíle:**

- Orientace studenta v mapě
- Vybrání vhodného místa pro odběr vzorků
- Příprava preparátu k mikroskopování.
- Popis stavby buněk sinic
- Určení některých zástupců podle morfologických znaků
- Posouzení významu sinic

**Metody výuky:** výklad, rozhovor, brainstorming, práce s literaturou, experiment

**Organizační formy:** vycházka do terénu, skupinová spolupráce, laboratorní práce

**Místo realizace:** okolí Gymnázia v Olomouci - Hejčíně, město Olomouc

**Pomůcky:** plastové lahvičky s víčkem vhodné na odběr (objem cca 100 ml), odběrové sáčky, nožik, polévková lžice, pipeta, mikroskopy, podložní a krycí sklíčka, kapátko, destilovaná voda, papíry, psací potřeby, odborná literatura, určovací klíče

**Časová náročnost:** 3 vyučovací hodiny (135 minut)

## Exkurze spojená s laboratorním cvičením

### Využití epifytonu

**Jméno:**

**Pomůcky k exkurzi:** sportovní oblečení vhodné do přírody, pevná obuv, pracovní listy, psací potřeby, pomůcky na sběr vzorků

**Pomůcky k laboratornímu cvičení:** školní mikroskop, podložní skla, krycí sklíčka, kapátko nebo pipeta, pinzeta, pracovní listy, psací potřeby a určovací klíče

V současné době je známo několik druhů mikroskopů: metalurgický, polarizační (fungující díky dvěma polarizačním filtrům, lomu a následné interferenci světla), elektronový, fluorescenční. Optický (světelný) mikroskop se skládá ze dvou částí, z mechanické a optické části. Funguje na využití světla a optických objektivů různého zvětšení. Mezi mechanické části patří stojan, tubus, okulár, objektiv a stolek. Optická část obsahuje zdroj světla (lampa nebo zrcadlo), kondenzor a irisová clona. Zvětšovací objektivy zvětšují 5x, 10x, 45x a 100x. Při použití zvětšení 100x je potřeba použít imerzní olej. Objektiv má čočky s malou ohniskovou vzdáleností a světlo z objektivu přechází do okuláru, jehož optický systém přidává další zvětšení. Výsledné zvětšení získáme násobením zvětšení objektivu a okuláru. Zvětšení optického mikroskopu je 40–3 000krát.



**Epifyton:** Společenstva můžeme dělit podle typu podkladu nárstu na epifyton (na rostlinách), epizoon (na živočiších), epiliton (na skalnatém podkladu) a epixylon (na dřevu). Epifyton je tedy společenstvo organismů žijících **přisedle na ponořených rostlinách.**

1. Vyjmenuj základní části **SVĚTELNÉHO** mikroskopu.
2. Připravte si preparáty pro mikroskopické pozorování z odebraných vzorků.
3. Pozorujte preparáty v mikroskopu a všimněte si nápadných znaků.
4. Pokuste se určit rody sinic ze vzorku pomocí determinačního klíče.
5. Proveďte nákresy nejvíce zastoupených druhů.
6. Vyhledejte na internetu zajímavé informace o daném druhu a napište je.
7. Porovnejte výsledky s dalšími spolužáky. Jaké rody byly nejvíce zastoupeny?
8. Zhodnot' svoji práci v terénu i v laboratoři.
9. Doplnkové úkoly:



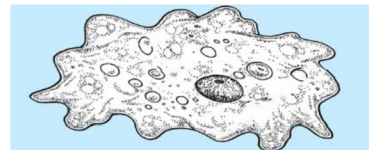
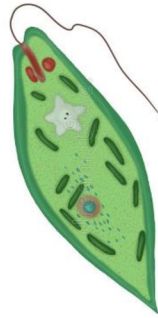
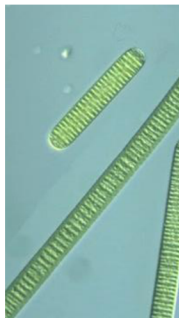
a) V přírodě dokážou vzdušný dusík fixovat také kromě některých druhů sinic i bakterie rodu *Rhizobium*. Tyto bakterie často vstupují do symbiózy s jednou z čeledí krytosemenných rostlin v hlízkách na kořenech rostlin. Rostlina dodává bakterii energii, bakterie na oplátku rostlině dusíkaté organické látky.

- O jakou čeleď rostlin se jedná? Zakroužkujte správnou odpověď:  
hluchavkovité – miříkovité – bobovité – lipnicovité – brukvovité

b) Různé organismy se pohybují odlišnými způsoby, většinou s využitím speciálních struktur. Spojte jednotlivé zástupce s obrázkem a s příslušným způsobem pohybu:

- (1) *Oscillatoria* (sinice)
- (2) *Amoeba*, měňavka (prvok)
- (3) *Euglena*, krásnoočko (řasy)
- (4) *Daphnia*, hrotnantka (korýš)

- panožky
- brvy
- drkání
- bičíky



c) Jak se jmenuje úkaz na obrázku?



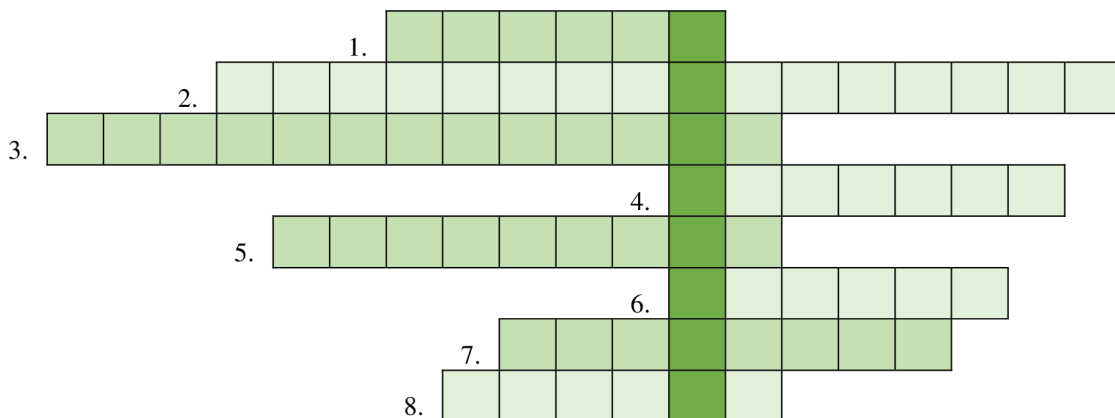
Napiš, které sinice daný jev mohou způsobovat:



d) Rozhodněte, zda je tvrzení v tabulce pravdivé či nikoliv. Pomoci si můžete vyhledáním informací na internetu.

	ANO	NE
Sinice rodu <i>Microcystis</i> a <i>Dolichospermum</i> nejčastěji tvoří vodní květ.	✓	
Sinice vodních květů produkují pro člověka nebezpečné toxiny.		
Rozvoj sinic vodních květů souvisí s eutrofizací vod.		
Při odumření a uhnívání velké biomasy vodního květu může docházet k vyčerpání kyslíku ve vodě a k úhynu ryb.		
Velká biomasa sinic ovlivňuje pH vody v rybníce během dne.		
Rozvoj vodních květů nesouvisí s vysokým obsahem dusičnanů ve vodě.		

e) Doplň tajenku:



1. Kmen gramnegativních bakterií
2. Rostlinná fotosyntetická doplňková barviva; vyskytují se hlavně u sinic a ruduch
3. Latinský název sinic
4. Sinice mohou \_\_\_\_\_ (= vázat) vzdušný dusík
5. Specializovaná buňka sinic
6. Sinice vytvářející „vodní květ“ produkují také \_\_\_\_\_, kvůli nimž jsou zdraví nebezpečné
7. Čeleď rostlin schopná fixace dusíku
8. Typický pohyb sinic druhu *Oscillatoria*

Tajenka: \_\_\_\_\_ je společenstvo organismů žijících přisedle na rostlinách.

## Návrh na vypracování laboratorního cvičení pro ZŠ a SŠ

### Laboratorní cvičení: Sinice

Jméno:

**Pomůcky k laboratornímu cvičení:** školní mikroskop, podložní sklo, krycí sklíčko, kapátko nebo pipeta, pinzeta, pracovní list a psací potřeby

V současné době je známo několik druhů mikroskopů: metalurgický, polarizační (fungující díky dvěma polarizačním filtrům, lomu a následné interferenci světla), elektronový, fluorescenční. Optický (světelný) mikroskop se skládá ze dvou částí, z mechanické a optické části. Funguje na využití světla a optických objektivů různého zvětšení. Mezi mechanické části patří stojan, tubus, okulár, objektiv a stolek. Optická část obsahuje zdroj světla (lampa nebo zrcadlo), kondenzor a irisová clona. Zvětšovací objektivy zvětšují 5x, 10x, 45x a 100x. Při použití zvětšení 100x je potřeba použít imerzní olej. Objektiv má čočky s malou ohniskovou vzdáleností a světlo z objektivu přechází do okuláru, jehož optický systém přidává další zvětšení. Výsledné zvětšení získáme násobením zvětšení objektivu a okuláru. Zvětšení optického mikroskopu je 40–3 000krát.

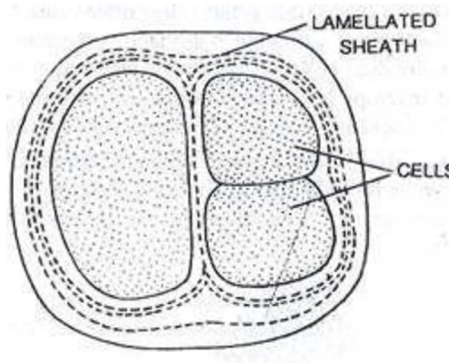
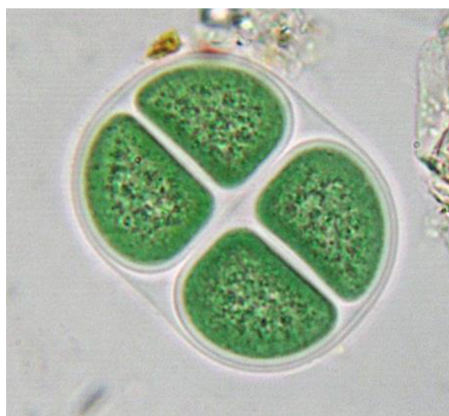


Úkol č. 1: Vyjmenuj základní části **SVĚTELNÉHO** mikroskopu.

- **Mechanická část:** stojan, tubus, okulár, objektiv a stolek
- **Optická část:** zdroj světla, kondenzor a irisová clona

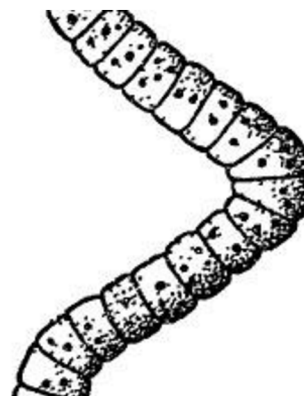
Úkoly 2–7:

- Vzorek č. 1: *Chroococcus*
- *Chroococcus giganteus* je druh sinice z řádu Chroococcales, který vytváří kolonie dvou až osmi buněk obalených slizem. Velikost jedné buňky je 50 – 60  $\mu\text{m}$ , a představuje největší buňky sinic a dokonce celkově jedny z největších prokaryotních buněk. Tento druh se vyskytuje převážně ve stojatých vodách nebo v mokřadních biotopech, vyskytuje se i v ČR.



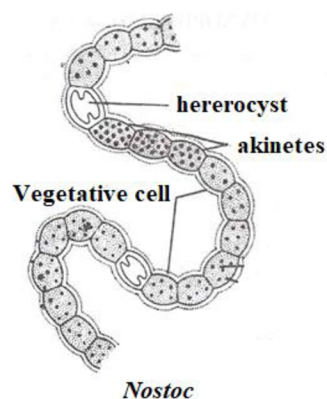
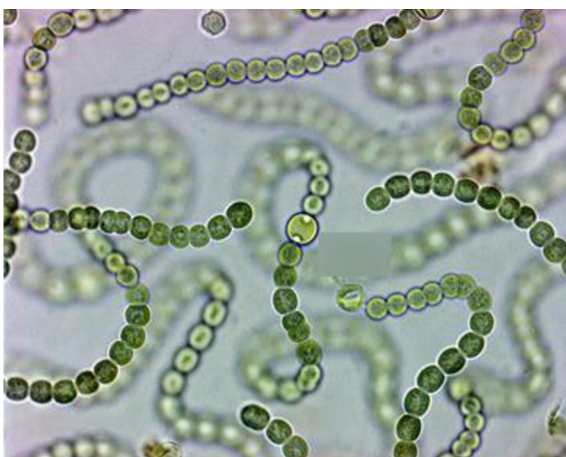
Zvětšení: 400x

- Vzorek č. 2: *Arthrospira*
- Některé sinice se dají využít jako zdroj různých látek pro lidský organismus. Z nich nejvíce využívaná je sinice rodu *Arthrospira* (obchodní název Spirulina). Tato sinice se pěstují ve velkých venkovních nádržích a sklizenou biomasu pak prodávají ve formě zmíněných „zdravých“ přípravků.
- Podobně se pěstují také zelené řasy rodů *Chlorella*, *Dunaliella* anebo *Haematococcus*, díky vysokému obsahu bílkovin či barviv.



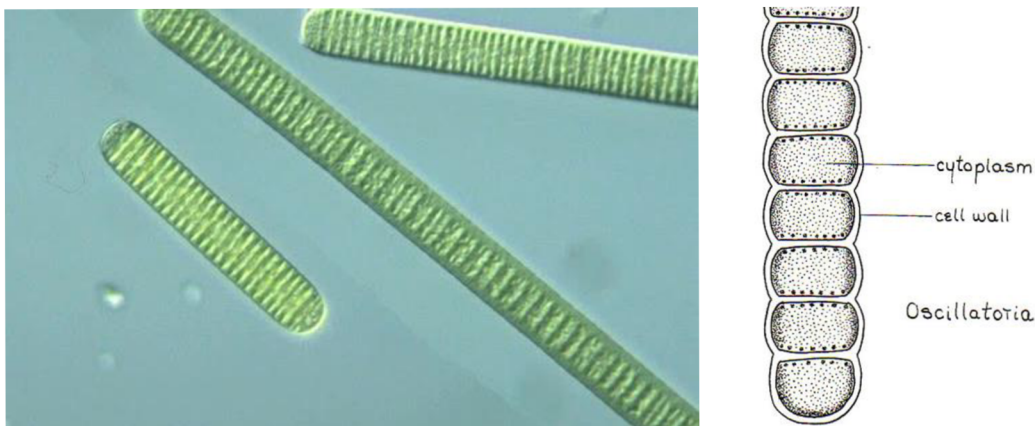
Zvětšení: 100x

- Vzorek č. 3: *Nostoc*
- Velkou část sinic můžeme najít v půdě nebo na jejím povrchu. Rod *Nostoc* vytváří okem viditelné slizové kolonie na povrchu půdy. Pozorováním pod mikroskopem uvidíte řetízky vláken tvořené malými kuličkami (řetízek na šňůrce). Občas se mezi nimi objeví na první pohled prázdná buňka, tzv. heterocyt. Jedná se o specializovanou buňku, která má v sobě složité a na energii náročné biochemické dráhy, které jí umožňují zachytávat vzdušný dusík z atmosféry. Ten pak ve formě dusíkatých organických sloučenin „vyměňuje“ s okolními buňkami. Sinice s heterocyty proto netrpí nedostatkem dusíkatých látek ani na místech, kde je jich nedostatek.



Zvětšení: 100x

- Vzorek č. 4: *Oscillatoria*
- Některé druhy sinic se mohou hýbat, právě jako sinice rodu *Oscillatoria*. Tento pohyb se česky překládá jako drkání (díky němuž získala český název „drkalka“). Tuto sinici můžeme najít především v na bahnitěm dně rybníků ve společenstvu, které označujeme jako bentos.



Zvětšení: 100x

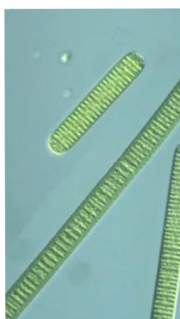
Úkol č. 9: Doplňkové úkoly:

- a) O jakou čeleď rostlin se jedná? Zakroužkujte správnou odpověď:  
 hluchavkovité – miříkovité – bobovité – lipnicovité – brukvovité
- b) Různé organismy se pohybují odlišnými způsoby, většinou s využitím speciálních struktur. Spojte jednotlivé zástupce s obrázkem a s příslušným způsobem pohybu

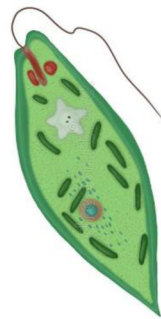
- |   |       |         |
|---|-------|---------|
| (4) <i>Oscillatoria</i> (sinice)        | ————— | panožky |
| (5) <i>Amoeba</i> , měňavka (prvok)     | ————— | brvy    |
| (6) <i>Euglena</i> , krásnoočko (řasy)  | ————— | drkání  |
| (4) <i>Daphnia</i> , hrotnantka (korýš) | ————— | bičinky |



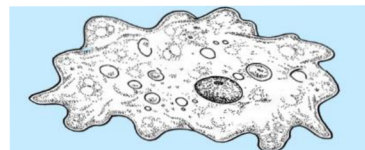
4



1



3



2



c) Jak se jmenuje úkaz na obrázku?

- přemnožení sinic – vodní květ



Napiš, které sinice daný jev mohou způsobovat:

- *Microcystis*, *Dolichospermum*

d) Rozhodněte, zda je tvrzení v tabulce pravdivé či nikoliv. Pomoci si můžete vyhledáním informací na internetu.

	ANO	NE
Sinice rodu <i>Microcystis</i> a <i>Dolichospermum</i> nejčastěji tvoří vodní květ.	✓	
Sinice vodních květů produkují pro člověka nebezpečné toxiny.	✓	
Rozvoj sinic vodních květů souvisí s eutrofizací vod.	✓	
Při odumření a uhnívání velké biomasy vodního květu může docházet k vyčerpání kyslíku ve vodě a k úhynu ryb.	✓	
Velká biomasa sinic ovlivňuje pH vody v rybníce během dne.	✓	
Rozvoj vodních květů nesouvisí s vysokým obsahem dusičnanů ve vodě.		✓





## 7. DISKUZE

Studie taxonů sinic jsou důležité pro celosvětovou vědeckou komunitu, zejména proto, že výrazné množství prospěšných kmenů, jež patří do řádu Nostocales, fixují atmosférický dusík, a tím přispívají k úrodnosti zemědělských půd po celém světě. Zatímco jiné druhy jsou „na obtíž“ ve vodních ekosystémech kvůli jejich přemnožení a vytváření toxického vodního květu. Navzdory jejich ekologickému významu a environmentálním problémům je jejich identifikace a taxonomie stále problematická, často vychází ze současných morfologických a fyziologických studií, které vytvářejí matoucí klasifikační systémy a obvykle se za různých podmínek liší (Galhano *et al.*, 2010).

Přestože sinice a řasy tvoří běžnou složku vodních i terestrických společenstev, jsou tyto organismy stále opomíjeny při praktické výuce biologie na základních i středních školách. V některých případech může být důvodem výuka algologické tematiky v období vegetačního klidu, a není proto možné získat vhodné přírodní vzorky (Kaufnerová, 2015).

Na základních a středních školách jsou sinice probírány v rámci celku biologie bakterií. Na základních školách je tento celek zařazen do učiva probíraného v šestém ročníku. Na středních školách v prvním ročníku, v případě šestiletého studia v ročníku třetím a na osmiletém gymnáziu je toto učivo probíráno v kvintě. Nolčová a Vágnerová (2016) ve své práci uvádějí, že se žáci na základních a středních školách setkávají s výukou řas a sinic obvykle v úvodních částech problematiky biologie rostlin a jedná se o téma pro žáky obtížné, protože je poměrně abstraktní a zřídka v nich zanechává dlouhodobější stopu. Podle autorek je chybou nedostatečná motivace studentů ale i učitelů, kteří by měli jevit zájem o dané téma a nadšení pro něj. Dále například nezajímavá prezentace daného tématu, absence praktických cvičení nebo malý důraz na provázanost tématu s životem. Učitel by měl ukázat význam probíraného tématu pro reálný život – praktické využití, konkrétní aplikace učiva, ukázka reálných výrobků. Proto by v dnešní době bylo vhodné přidat informace z aplikovaných odvětví jako jsou biotechnologie, potravinářství či farmacie, kde mají sinice a řasy velký význam. Díky těmto snadno představitelným věcem si student dokáže vzpomenout na propojení sinic a řas s reálně využitelnými věcmi. Proto by bylo vhodné zařadit do učebnice komplexní text jak biologický, tak i praktický.

Součástí méj bakalářské práce je návrh vyučovacích hodin, ve kterých je kladen důraz na aktivitu žáků a poskytnutí podkladů pro zkvalitnění výuky a přiblížení sinic a řas žákům základních a středních škol na osobní úrovni, aby danou látku pochopili a bavila je. Součástí navrhovaných hodin je také kromě pracovních listů i exkurze (terénní výuka), při níž žáci odeberou vzorky sinic v okolí školy, a následně s nimi budou pracovat při praktických cvičeních ve školní laboratoři.

## **8. ZÁVĚR**

První část bakalářské práce se zabývá rešerší sinic obecně, například obecnou charakteristikou, morfologií, vlastnostmi a využitím sinic, výskytem a charakteristikou vybraných rodů sinic. Dále se zde zabývám epifytonem, konkrétně které faktory epifyton ovlivňují a dále interakce s hostitelkou rostlinou. Poté jsem se zabývala analýzou několika vybraných učebnic pro základní a střední školy, ve kterých jsem se dívala na kapitoly obsahující učivo o sinicích. Učebnice byly hodnocené z hlediska přehlednosti pro žáky, návaznosti textu, míry obtížnosti a rozsahu učiva. Závěrečná část práce je věnovaná návrhu vyučovacích hodin spojených s terénním cvičením a laboratorním cvičením, jejichž hlavním úkolem je zatraktivnit výuku sinic ve školách aktivním zapojením žáků.

## 9. POUŽITÁ LITERATURA

ANAGNOSTIDIS, K. a KOMÁREK, J. (1988): *Modern approach to the classification system of cyanophytes 3 Oscillatoriales*. Algological Studies 50: 327-472.

ANAGNOSTIDIS, K. a KOMÁREK, J. (1990): *Modern approach to the classification system of cyanophytes 5 Stigonematales*. Algological Studies 59: 1-73.

CASTENHOLZ, Richard W. (2015). *General characteristics of the cyanobacteria*. *Bergey's Manual of systematics of Archaea and Bacteria* [online]. 2001, 1-23 [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: doi:10.1002/9781118960608.cbm00019

GALHANO, V., de FIGUEIREDO, D. R., ALVES, A., CORREIA, A., PEREIRA, M. J., LARANJO, J. G., PEIXOTO, F. (2010): *Morphological, biochemical and molecular characterization of Anabaena, Aphanizomenon and Nostoc strains (Cyanobacteria, Nostocales) isolated from Portuguese freshwater habitats*. – *Hydrobiologia* 663: 187–203.

HOEK, C. van den, D. G. MANN a Hans Martin JAHNS. (1995). *Algae: an introduction to phycology*. Cambridge: Cambridge University Press, 5, xiv, 623 s. ISBN 0-521-31687-1.

KALINA, Tomáš a Jiří VÁŇA. (2005). *Sinice, řasy, houby, mechorosty a podobné organismy v současné biologii*. Praha: Karolinum. ISBN isbn80-246-1036-1.

KAUFNEROVÁ, V. (2015): *Metody izolace a kultivace sinic a řas pro potřeby výuky na základních a středních školách*. – *Arnica* 4 (1–2): 7–12.

KAUFNEROVÁ, V., VÁGNEROVÁ, P. (2013). *Sinice a řasy v učebnicích pro základní a střední školy*. *Arnica*, 1–2, 9–18. Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň. ISSN 1804-8366.

KOMÁREK, J. a ANAGNOSTIDIS, K. (1990): *Modern approach to the classification system of cyanophytes 4 Nostocales*. Algological Studies 56: 247-345.

KOMÁREK, J. and ANAGNOSTIDIS, K. (1986). *Modern Approach to the Classification System of Cyanophytes 2. Chroococcales*. *Archiv für Hydrobiologie*, 73, 157-226.

LECHNO-YOSSEF, Sigal a Sandra A. NIERZWICKI-BAUER. (2002). *Azolla-Anabaena symbiosis. Cyanobacteria in symbiosis*. Troy, NY: Kluwer academic publishers, s. 153-178. ISBN 978-0-306-48005-8.

MEEKS, John C. (1998). *Symbiosis between Nitrogen-Fixing Cyanobacteria*. *BioScience*. Oxford University Press, 48(4), 266-276. Dostupné z: doi:10.2307/1313353

MEREL, S., D. WALKER, R. CHICANA, S. SNYDER, E. BAURÉS a O. THOMAS, (2013). *State of knowledge and concerns on cyanobacterial blooms and cyanotoxins*. *Environment International* [online]. 2013, (59), 303-327 [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: doi:10.1016/j.envint.2013.06.013

NOLČOVÁ, L. a VÁGNEROVÁ, P. (2016). *Zajímavá a motivující výuka řas a sinic na základních a středních školách*. *Arnica* 5, 1–2, 32–38. Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň. ISSN 1804-8366.

PETERS, Gerald A., Harry E. CALVERT, Drora KAPLAN, Osamu ITO a Robert E. TOIA, JR., (1982). *The Azolla-Anabaena symbiosis: morphology, physiology and use*. *Israel journal of botany*. Ohio: Yellow Springs, (31), 305-323.

PETTY G. (2004): *Moderní vyučování*. 3. vydání, 380 pp. Portál, Praha.

POULÍČKOVÁ, Aloisie a Jaroslav JURČÁK. (2001). *Malý obrazový atlas našich sinic a řas*. Olomouc: Univerzita Palackého, 81 s. ISBN 8024402424.

POULÍČKOVÁ, Aloisie, Petr DVOŘÁK a Petr HAŠLER. (2015). *Průvodce mikrosvětlem sinic a řas*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 46 s. Ostatní odborné publikace. ISBN 978-80-244-4408-6.

STEVENSON, R. Jan, M. L. BOTHWELL a Rex L. LOWE. (1996). *Algal ecology: freshwater benthic ecosystems*. San Diego: Academic Press. ISBN 0126684502.

ŠEJNOHOVÁ, Lenka a Blahoslav MARŠÁLEK. (2005). *Pohled do mikroskopického světa sinic*. *Živa* [online]. **2005**(3), 105-111 [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://ziva.avcr.cz/2005-3/pohled-do-mikroskopickeho-sveta-sinic.html>

ŠVECOVÁ, M. (2012). *Školní projekty v environmentální výchově a jejich využití ve školní praxi*. Vysoká škola evropských a regionálních studií, České Budějovice, 100 s. ISBN 978-80-87472-36-1.

TOWNSEND, Colin R., Michael BEGON a John L. HARPER. (2010). *Základy ekologie*. V Olomouci: Univerzita Palackého. ISBN 978-80-244-2478-1.

VINTER, V. a KRÁLÍČEK, I. (2016): *Začínající učitel biologie*, 1. vydání. – 256 pp., Univerzita Palackého, Olomouc.

### **Seznam hodnocených učebnic**

BENEŠOVÁ, M., HAMPLOVÁ, H., KNOTOVÁ, K., LEFNEROVÁ, P., PFEIFEROVÁ, E., SÁČKOVÁ, I., SATRAPOVÁ, H. (2013): *Odmaturuj! z biologie*. 2. vydání. – 256 pp., Didaktis, Brno.

ČABRADOVÁ, V., HASCH, F., SEJPKA, J. et VANĚČKOVÁ, I. (2012). *Přírodopis pro 6. ročník základní školy a primu víceletého gymnázia*. – 120 pp., Fraus, Plzeň.

HANČOVÁ, H., VLKOVÁ, M. (1997): *Biologie v kostce. I*, Obecná biologie, mikrobiologie, botanika, mykologie, ekologie, genetika. – 112 pp., Fragment, Havlíčkův Brod

JELÍNEK, J., ZICHÁČEK, V. (2005): *Biologie pro gymnázia*. – 575 pp., Nakladatelství Olomouc, Olomouc.

JURČÁK, J. a FRONĚK, J. (2009). *Přírodopis 6 pro základní školy, zoologie a botanika*. – 127 pp., Prodos, Praha.

KVASNIČKOVÁ, D. (2013). *Ekologický přírodopis pro 7. ročník základní školy, druhá část*. – 72 pp., Fortuna, Praha.

## Použité obrázky

- [1] J. William Schopf. Fosiilní bakterie. In: *The Biology and Evolution of Fossil Plants* [online]. Prentice Hall, New Jersey. Dostupné z: <https://ucmp.berkeley.edu/bacteria/cyanofr.html>
- [2] Markéta Krajtová. Typy stélek sinic. Dostupné z: <https://slidetodoc.com/fylogeneze-a-diverzita-as-a-hub-asy-a-2/>
- [3] Šejnohová a Maršálek. Porovnání ultrastruktury sinic a řas. In: *Živa* [online]. 2005. Dostupné z: <https://ziva.avcr.cz/2005-3/pohled-do-mikroskopickeho-sveta-sinic.html>
- [4] Stevenson *et al.* Modifikace slizové pochvy u jednobuněčných sinic. 1996.
- [5] Šejnohová a Maršálek. Nevětvené spirální vlákno r. *Anabaena*. In: *Živa* [online]. 2005. Dostupné z: <https://ziva.avcr.cz/2005-3/pohled-do-mikroskopickeho-sveta-sinic.html>
- [6] Komárek a Anagnostidis. Hlavní typy buněk v trichomech řádu Oscillatoriales, 1988.
- [7] Rod *Oscillatoria*, Dostupné z: <https://naturaevision.wordpress.com/2016/08/02/bacteria-oscillatoria/>
- [8] Rod *Nostoc*, Dostupné z: <https://quizlet.com/319247551/parts-of-nostoc-diagram/>
- [9] Švecová. Zařazení exkurzí ve VVP na ZŠ a SŠ. 2012.

## Obrázky použité v pracovních listech:

- [*Arthrospira* schéma], dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/322465390\\_Basics\\_of\\_Aquaculture\\_and\\_Hydrobiotechnology/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/322465390_Basics_of_Aquaculture_and_Hydrobiotechnology/figures?lo=1)
- [*Arthrospira*], dostupné z: [https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Arthrospira\\_platensis](https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Arthrospira_platensis)
- [Červené řasy], dostupné z: <https://prozeny.eshopeiffel.cz/cervene-rasy/d3354.htm>
- [*Chroococcus* I], dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chroococcus\\_turgidis.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chroococcus_turgidis.png)
- [*Chroococcus* II], dostupné z: <https://cz.pinterest.com/pin/438678819938815129/>
- [*Daphnia*], dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Hrotnatka\\_\(Daphnia\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Hrotnatka_(Daphnia))
- [*Entamoeba*], dostupné z: <https://euroclean.cz/slovník/ameba-menavka/>
- [*Euglena*], dostupné z: <https://www.dreamstime.com/green-euglena-illustration-white-background-image175621284>
- [Hnědé řasy], dostupné z: <http://mynatureproduct.com/chaluha-bublinata/>
- [Mikroskop], dostupné z: <https://www.kalist.cz/p/svetelny-mikroskop-kern-obe-112>

[*Nostoc* schéma], dostupné z: <https://www.meritnation.com/ask-answer/question/draw-diagram-of-nostoc-and-label-its-two-parts/plant-kingdom/11627705>

[*Nostoc*], dostupné z: <https://quizlet.com/319247551/parts-of-nostoc-diagram/>

[*Oscillatoria* schéma], dostupné z: <https://apchute.com/botany/index.html>

[*Oscillatoria*], dostupné z: <https://naturaevision.wordpress.com/2016/08/02/bacteria-oscillatoria/>

[Pokus se sinicemi], dostupné z: [https://www.idnes.cz/hobby/zahrada/jak-funguje-test-na-sinice-pomoci-petky-na-seberaku-se-osvedcil.A110713\\_143544\\_hobby-zahrada\\_bma](https://www.idnes.cz/hobby/zahrada/jak-funguje-test-na-sinice-pomoci-petky-na-seberaku-se-osvedcil.A110713_143544_hobby-zahrada_bma)

[Řasokoule], dostupné z: <https://cz.pinterest.com/pin/369506344434862964/>

[Smajlík], dostupné z: <https://pixers.cz/plysove-deky/smiley-otaznik-30610321#modalMedia>

[*Spirulina*], dostupné z: <https://www.mojezdravi.cz/zdravy-zivotni-styl/superpotravina-spirulina-ucinky-na-zdravi-uzivani-davkovani-6034.html>

[Stavba buňky sinice], dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/26>

[Test na sinice], dostupné z: <https://zelenenoviny.cz/marsalkuv-test-vam-prozradi-jestli-jsou-ve-vode-rasy-ci-sinice/>

[Vodní květ], dostupné z: <https://inovacevsrdci.cz/blog/botanicky-ustav-varuje-pred-sinicemi/#botanicky-ustav-varuje-pred-sinicemi>

[Vtip sinice], dostupné z: <https://dikobraz.cz/sinice>

[Zelené řasy], dostupné z: <https://www.e15.cz/magazin/vedci-umeji-efektivneji-zpracovat-rasy-1368945>