

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**  
**Přírodovědecká fakulta**

**Badatelsky orientovaná výuka**  
**k tématu sinic a řas**

Bakalářská práce

**Petr Březina**

Školitel: Mgr. Josef Juráň, Ph.D.

České Budějovice 2021

Březina, P. 2021. *Badatelsky orientovaná výuka k tématu sinic a řas*. [Inquiry-based learning of Cyanobacteria and Algae, Bc. Thesis, in Czech]. University of South Bohemia, Faculty of Science, České Budějovice, 63 pp.

**Annotation:**

The thesis deals with subject of high school inquiry-based learning (IBL) with focus on phycology. A research of schools' lab equipment, feasibility of IBL and attitude of teachers towards this approach was made. Five inquiry-based exercises were assembled, along with methodical notes and suggestions for teachers. The issues with general phycology teaching and implementing IBL in Czech education system were discussed.

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne 13. 4. 2021

.....

Petr Březina

**Poděkování:**

Rád bych poděkoval svému školiteli, Mgr. Josefu Juráňovi, Ph.D. za svatou trpělivost a obětavou pomoc při vedení mé práce a Mgr. Jarmile Ichové za cenné postřehy.

## Obsah

1	Úvod.....	1
1.1	Badatelsky orientovaná výuka.....	1
1.2	Badatelsky orientovaná výuka – proč ano, proč ne? .....	3
1.3	Role učitele v BOV .....	4
1.4	Realizace BOV v českém školství.....	4
2	Cíle práce .....	6
3	Dotazníkové šetření.....	7
3.1	Výsledky.....	9
4	Úlohy pro badatelsky orientovanou výuku .....	14
4.1	Jsou mezi námi .....	15
4.1.1	Výchozí text .....	15
4.1.2	Metodické pokyny.....	19
4.2	Mikroskopičtí pionýři.....	21
4.2.1	Výchozí text .....	21
4.2.2	Metodické pokyny.....	25
4.3	Musíme si pomáhat .....	27
4.3.1	Výchozí text .....	27
4.3.2	Metodické pokyny.....	31
4.4	Zhluboka dýchat .....	34
4.4.1	Výchozí text .....	34
4.4.2	Metodické pokyny.....	36
4.5	Životní výpočty .....	38
4.5.1	Výchozí text .....	38
4.5.2	Metodické pokyny.....	42
5	Diskuse.....	45
5.1	Dotazníkové šetření .....	45

5.2	Výuka sinic a řas v České republice .....	46
5.3	Úlohy pro badatelsky orientovanou výuku .....	47
6	Závěr .....	48
7	Seznam literatury .....	49
8	Příloha.....	55

# 1 Úvod

Sinice (Cyanobacteria) a řasy (Algae) jsou skupiny organismů, které jsou, ačkoli všudypřítomné a v přírodě velmi významné, ve výuce často upozadřovány (Nolčová & Vágnerová, 2016). Nepříznivou pozici sinic a řas ve vzdělávacím systému dokládají i kurikulární dokumenty, například rámcový vzdělávací program pro gymnázia sinice a řasy explicitně vůbec nezmiňuje (VÚP, 2007).

Výuka fykologie se obecně potýká s několika problémy. Kromě nejednotného přístupu k systematice sinic a řas v učebnicích (Juráň & Kaštovský, 2016) je to mj. i jejich velikost a dostupnost. Sinice a mikroskopické řasy lze podrobněji zkoumat pouze s příslušným laboratorním vybavením. A naopak dobře pozorovatelné makroskopické řasy jsou většinou k nalezení pouze v moři (Nolčová & Vágnerová, 2016). Právě nutnost pozorování v laboratoři a také velký biologický a hospodářský potenciál sinic a řas přímo vybízí k jejich aplikaci v tzv. badatelsky orientované výuce.

## 1.1 Badatelsky orientovaná výuka

Badatelsky orientovaná výuka (zkráceně BOV, v angličtině *inquiry-based learning*) je vzdělávací styl, který spočívá v aktivní učební činnosti vykonávané studentem relativně samostatně (Dostál, 2015a). Cílem badatelského přístupu ve vzdělávání je umožnit studentovi pomocí vytváření vhodných situací aktivně a samostatně objevovat (Dostál, 2013).

Klíčovým pojmem je zde slovo bádání (*inquiry*). Stuchlíková (2010) označuje bádání jako „*cílevědomý proces formulování problémů, kritického experimentování, posuzování alternativ, plánování zkoumání a ověřování, vyvozování závěrů, vyhledávání informací, vytváření modelů studovaných dějů, rozpravy s ostatními a formování koherentních argumentů*“. Je důležité rozlišovat žákovské bádání od bádání vědeckého. Vědecké bádání představuje rozličné metody, kterými vědci zkoumají přírodu a přicházejí s vysvětleními různých jevů založenými na výsledcích jejich práce. Žákovské bádání pak zahrnuje aktivity studentů, při kterých mají nejen možnost nabývat nové znalosti, ale také pochopit podstatu a principy vědecké práce (National Research Council, 1996).

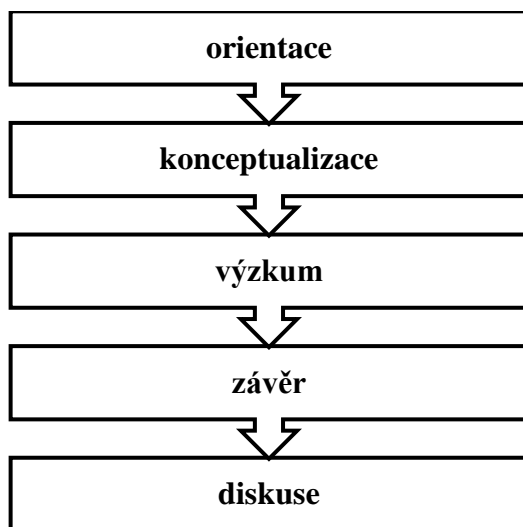
Zejména studenti, kteří se s tímto stylem výuky dříve nesetkali, mohou mít se samostatným bádáním zprvu problémy (Teplá et al., 2018). Při implementaci BOV je tak vhodné začínat od jednodušších, méně samostatných úloh a následně míru autonomie

postupně zvyšovat (Banchi & Bell, 2008). Tento přístup se též nazývá postupné uvolňování zodpovědnosti (Carpinetti et al., 2015).

Bádání je možné rozdělit do následujících úrovní podle způsobu práce a množství vstupních informací, které mají studenti k dispozici (Banchi & Bell, 2008):

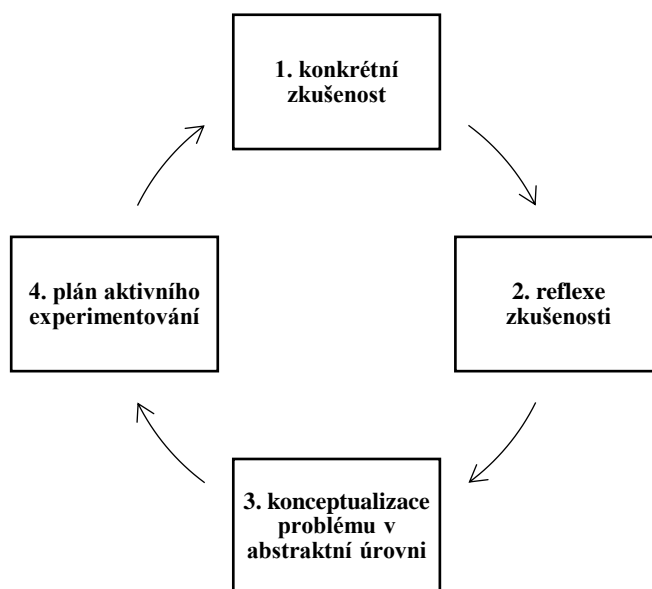
1. potvrzující bádání – studenti potvrzují již dříve dosažené výsledky (mají k dispozici výzkumnou otázku, postup i řešení);
2. strukturované bádání – učitel položí výzkumnou otázku, studenti pracují s předem daným postupem;
3. nasměřované bádání – učitel položí výzkumnou otázku a studenti pracují podle samostatně vytvořeného postupu;
4. otevřené bádání – studenti sami formulují otázky a sami vytváří pracovní postup.

Pedaste et al. (2015) definují obecný rámec (viz Obrázek 1), který popisuje jednotlivé fáze bádání. Ve fázi **orientace** dochází k povzbuzování zájmu o dané téma a k definování zkoumaného problému, který je předložen buď vyučujícím, anebo samotným studentem. Během **konceptualizace** jsou postulovány výzkumné otázky a hypotézy. Následuje **výzkum**, během kterého student experimentálně testuje vyslovené hypotézy a následně vyhodnocuje a interpretuje získaná data. V **závěru** student konstatuje, zda výsledky výzkumu potvrdily či alespoň podpořily jeho badatelskou hypotézu. Konečnou fází je **diskuse**, při které jsou získané výsledky prezentovány a prodebatovány s ostatními. Student by zde zároveň měl kriticky zhodnotit průběh celého experimentu, např. „Co jsem udělal?“, „Proč a jak jsem to udělal?“, „Byl jsem úspěšný?“, „Mohl jsem něco udělat jinak?“ apod.



Obrázek 1: Fáze badatelsky orientované výuky (Pedaste et al., 2015).

Podobný koncept popisuje také Petty (2013), který hovoří obecně o tzv. učení ze zkušenosti. Podle Pettyho však praxe sama o sobě negarantuje efektivitu učení. Abychom se z ní totiž něco opravdu naučili, musíme o ní přemýšlet, propojit ji s teoretickými znalostmi a naplánovat případné změny při opakování experimentu (Petty, 2013). Toto zjednodušeně znázorňuje tzv. Kolbův učební cyklus, jehož schéma je vyobrazeno na Obrázku 2.



**Obrázek 2: Kolbův učební cyklus (podle Petty, 2013).**

## 1.2 Badatelsky orientovaná výuka – proč ano, proč ne?

Mezi přínosy tohoto vzdělávacího stylu patří vytváření obecných schopností k bádání (postulování otázek, řízení bádání a vyhodnocování výsledků), získávání specifických dovedností pro různé badatelské metody a porozumění principům vědecké práce (Edelson et al., 1999).

Na druhou stranu je třeba zmínit také potenciální překážky při realizaci BOV. Studenti musí mít k bádání motivaci, v opačném případě může být tato aktivita kontraproduktivní. Dále je nutné, aby student měl jisté základní povědomí, ovládal používané metody, byl schopen porozumět cílům bádání a interpretovat jeho výsledky. V neposlední řadě je třeba mít na paměti také logistická omezení – časová dotace, materiál, technologie a jiné (Edelson et al., 1999).

Rokos & Lišková (2020) podnikli dotazníkové šetření na množině 41 praktikujících učitelů a 32 studentů učitelství přírodopisu na Pedagogické fakultě Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Respondenti odpovídali mj. na otázku „*Co považujete za největší*



*překážku pro zavádění BOV do výuky? “. Nejčtenější odpovědí byl nedostatek času, jako další problém byly označeny nedostatečné dovednosti žáků v kontextu badatelské aktivity. Průzkum tak do jisté míry potvrdil úskalí BOV uvedená mj. Edelsonem et al. (1999).*

### 1.3 Role učitele v BOV

Ve srovnání se standardní frontální výukou se pozice učitele výrazně proměňuje. Ten nyní nepředává studentům hotové, zpracované informace, nýbrž vytváří prostředí pro řešení problémů. S tím přichází také vyšší nároky na připravenost a schopnosti učitele (Papáček, 2010).

O zvýšených požadavcích na kompetence učitelů v kontextu BOV hovoří i Dostál (2015b). Ten vytvořil čtyři okruhy sestávající z celkem čtyřiceti kompetencí učitele vázaných na badatelsky orientovanou výuku. V okruhu kompetencí k plánování a přípravě BOV je zmíněno mj. získávání materiálních prostředků, posouzení vhodnosti zařazení badatelských aktivit, jejich plánování s ohledem na zařazení do výuky a možnosti realizace. Ke kompetencím k provádění BOV patří využívání badatelských aktivit k upevnování učiva, jejich realizace v návaznosti na dosavadní dovednosti žáků, integrace mezioborových poznatků a mezipředmětových vztahů, motivace žáků a realizace badatelských aktivit na vědecké bázi. Oddíl kompetencí k rozvoji žáka zmiňuje rozvíjení myšlení, vnímání, představivost, samostatné objevování, schopnost prezentovat výsledky atd. V neposlední řadě Dostál (2015b) zmiňuje kompetence ke sdílení a získávání znalostí o BOV. Zde hovoří o předávání nabytých poznatků ostatním kolegům a rozvíjení didaktických a předmětově-oborových znalostí a dovedností spojených s BOV.

U role vyučujícího v konkrétním bádání lze rozlišit dva aspekty: míru vedení a míru regulace. První atribut udává rozsah řízení badatelské aktivity učitelem – tedy zda nechává studentům v bádání volnost, jestli sám určuje, co studenti budou dělat, anebo zda zodpovědnost za průběh bádání rozdělí mezi sebe a studenty. Míra regulace pak označuje způsob řízení. Je možné rozlišit tři úrovně regulace: metakognitivní (zaměřená na plánování, kontrolu a hodnocení), sociální (řízení kooperativních procesů) a konceptuální (předávání informací k danému tématu a vedení studentů k pochopení jeho pojetí) (Dobber et al., 2017).

### 1.4 Realizace BOV v českém školství

Zatímco aktivizující metody v obecném pojetí mají dlouhou historii, badatelsky orientovaná výuka jako taková je v českém prostředí pojmem relativně novým. Zavádění a rozšiřování badatelsky orientované výuky biologie v ČR bylo zahájeno v roce 2009

(Petr et al., 2014), související terminologii a podstatu BOV vytyčili o rok později jako jedni z prvních Stuchlíková (2010) a Papáček (2010). Velmi podrobně se problematice věnuje také Dostál (2013; 2014; 2015a, b).

Rámcové vzdělávací programy (RVP) tento pojem přímo nezmiňují. Nicméně se dá říct, že BOV podporuje rozvoj klíčových kompetencí v RVP definovaných (Teplá et al., 2018), zejména pak kompetence k řešení problémů. Tabulka 1 uvádí některé požadavky na žáky vyňaté z Rámcového vzdělávacího programu pro gymnázia a k nim příslušné fáze BOV.

**Tabulka 1: Souvislost klíčových kompetencí žáka uvedených v RVP G a fází BOV.**

Požadavek	Kompetence	Fáze BOV
<i>„Žák si své učení a pracovní činnost sám plánuje a organizuje, využívá je jako prostředku pro seberealizaci a osobní rozvoj.“</i>	k učení	konceptualizace, výzkum
<i>„Žák rozpozná problém, objasní jeho podstatu, rozčlení ho na části.“</i>	k řešení problémů	orientace, konceptualizace
<i>„Žák prezentuje vhodným způsobem svou práci i sám sebe před známým i neznámým publikem.“</i>	komunikativní	diskuse
<i>„Žák respektuje různorodost hodnot, názorů, postojů a schopností ostatních lidí.“</i>	občanská	diskuse

V ČR je možné nalézt několik nezávislých expertních center, která poskytují vzdělávací programy založené na BOV (Činčera, 2014). Sdružení TEREZA nabízí program GLOBE, který se soustředí na oblasti meteorologie, hydrologie, fenologie, pedologie a vegetačního pokryvu ([www.terezanet.cz](http://www.terezanet.cz)). Stejná instituce pak na webové stránce [www.badatele.cz](http://www.badatele.cz) nabízí řadu metodických materiálů pro badatelsky orientovanou výuku. Středisko ekologické výchovy SEVER nabízí několik pobytových programů odehrávajících se částečně v Horním Maršově a částečně v Krkonošském národním parku. V rámci programu „Týden pro udržitelný život aneb Člověk a prostředí“ studenti mj. zkoumají místní přírodu a hledají řešení vybraných ekologických problémů (<https://sever.ekologickavychova.cz/>).

Již zmíněný průzkum (viz část 1.2), který provedli Rokos & Lišková (2020), pokládal praktikujícím učitelům otázku, jak často zařazují do výuky badatelské úlohy. Z dotázaných 29,3 % uvedlo, že tyto aktivity nezahrnují, ale rádi by s tím začali. Stejný počet pak uvedl, že BOV do výuky zařazují jednou za pololetí a necelá čtvrtina učitelů pak jednou za čtvrtletí.

## 2 Cíle práce

Hlavními cíli bakalářské práce byly:

1. Rešerše k tématu využitelnosti badatelsky orientované výuky v rámci výuky botaniky, s případným detailnějším zaměřením na sinice a řasy.
2. Analýza realizovatelnosti úloh na středních školách – dotazníkové šetření mezi SŠ vyučujícími.
3. Příprava detailních podkladů pro několik badatelsky orientovaných prací věnujících se biologii a ekologii sinic a řas.
4. Ověření úloh na vybraných středních školách, hodnocení studenty (dotazníková forma).

### 3 Dotazníkové šetření

Pro zjištění technické vybavenosti a přístupu středoškolských učitelů biologie k badatelsky orientované výuce byl s použitím online aplikace Formuláře Google (*Google Forms*) sestaven dotazník, který byl následně rozeslán prostřednictvím e-mailu do 300 středních škol v České republice. Respondenti odpovídali na následující dotazy:

#### Část 1: Obecné informace

1. Zvolte prosím typ vaší školy.
  - a. Gymnázium
  - b. Střední odborná škola
2. Vyberte prosím kraj, kde se nachází vaše škola.
3. Provádíte se svými studenty badatelsky orientovanou výuku biologie?
  - a. Ano, pravidelně téměř ke každému tématu.
  - b. Ano, několikrát do pololetí.
  - c. Ano, příležitostně.
  - d. Ne.
4. Pokud ne, proč?
  - a. Nedostatečné vybavení či absence školní laboratoře.
  - b. Vysoká náročnost pro studenty i vyučujícího.
  - c. Nedostatek modelových úloh.
  - d. Jiný důvod

#### Část 2: Laboratorní vybavení

1. Máte ve škole k dispozici demonstrační mikroskop s možností projekce přes počítač?
  - a. Ano.
  - b. Ne.
2. Pokud ano, uveďte prosím model (pokud neznáte, uveďte alespoň výrobce).
3. Jaký typ osvětlení využívají vaše studentské mikroskopy?
  - a. Zrcátko
  - b. Žárovka
4. Jaké je maximální zvětšení vašich studentských mikroskopů?
  - a. 100×
  - b. 200×

- c. 400×
  - d. 1000×
  - e. Jiné
5. Uved'te výrobce vámi používaných studentských mikroskopů.
- a. Motic
  - b. Euromex
  - c. Optika
  - d. Olympus
  - e. Leica
  - f. Nikon
  - g. Jiný

### Část 3: Výuka sinic a řas

1. Jaké učebnice používáte pro výuku botaniky, resp. fykologie?
  - a. Při výuce nevyužívám učebnice.
  - b. Kincl a kol.: Biologie rostlin pro gymnázia (nakl. Fortuna)
  - c. Kubát a kol.: Botanika (nakl. Scientia)
  - d. R. Závodská: Biologie buněk (nakl. Scientia)
  - e. V. Zicháček: Biologie pro gymnázia (nakl. Olomouc)
  - f. V. Kubišta: Obecná biologie (nakl. Fortuna)
2. Myslíte, že středoškolské učebnice dostatečně podtrhují téma sinic a řas? (hodnocení na škále; 1 – vůbec ne, 5 – rozhodně ano)
3. Kolik hodin výuky věnujete sinicím a řasám?
4. Realizujete laboratorní cvičení k tématu sinic a řas?
  - a. Ano
  - b. Ne
5. Jakým způsobem získáváte materiál pro laboratorní cvičení?
  - a. Sbíráám je sám (sama) v přírodě (např. okolí školy).
  - b. Pověřím sběrem organismů studenty.
  - c. Využíváme sbírku trvalých preparátů.
  - d. Objednávám kultury ze sbírek (např. BÚ AV ČR)
  - e. Jinak

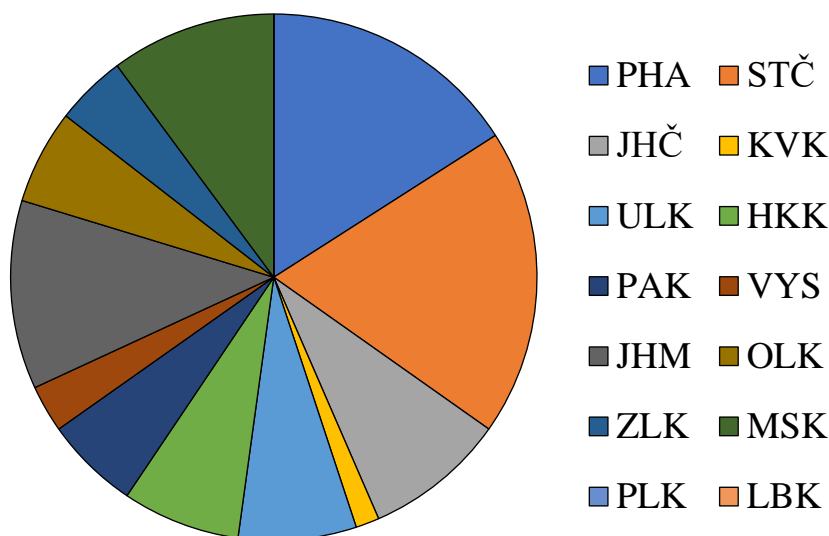
6. Máte možnost realizovat praktickou výuku biologie v rozsahu větším než 1 vyučovací hodina v kuse?
- Ano.
  - Ne.
7. Jsou nějaká témata, která byste uvítali v rámci výuky sinic a řas? Pokud ano, prosím vypište.

### 3.1 Výsledky

Online průzkum byl ukončen 31. ledna 2021 po necelých dvou měsících od rozeslání formuláře. Celkem odpovědělo 69 vyučujících. V následující části jsou uvedeny výsledky tohoto výzkumu.

#### Část 1: Obecné informace

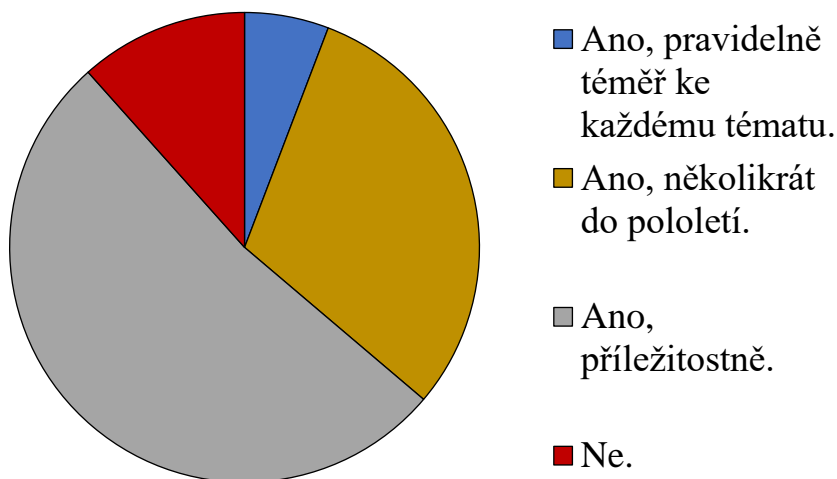
Obrázek 3 ukazuje krajskou příslušnost dotázaných učitelů. Většina byla z Prahy a Středočeského kraje. Naopak žádné odpovědi nepřišly z kraje Plzeňského a Libereckého.



Obrázek 3: Příslušnost respondentů ke krajům ČR (zkratky krajů podle ČSÚ).

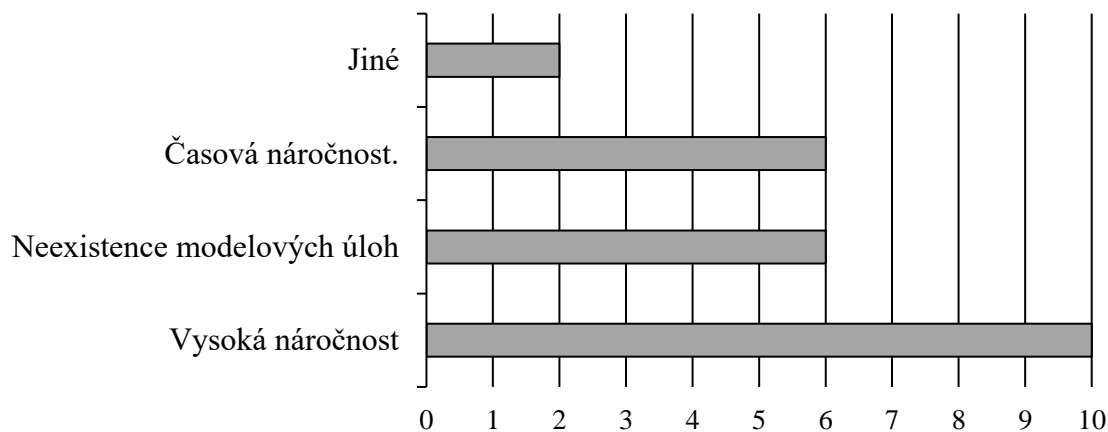
Z oslovených učitelů 91,2 % vyučuje na gymnáziu, zbylých 8,8 % pak na středních odborných školách.

Většina učitelů uvedla, že se badatelsky orientované výuce věnuje (viz Obrázek 4), z toho více než polovina jen příležitostně, třetina několikrát během pololetí a pouze 5,8 % respondentů provádí badatelsky orientovanou výuku pravidelně ke každému tématu. Z dotázaných 11,6 % odpovědělo, že se tomuto stylu výuky nevěnuje vůbec.



Obrázek 4: Odpovědi na otázku „Provádíte se svými studenty badatelsky orientovanou výuku?“.

Jako hlavní důvody nezájmu průzkum ukázal vysokou náročnost, neexistenci modelových úloh a nedostatečnou časovou dotaci (viz Obrázek 5). Jeden z respondentů pak doslova uvedl: „Z této metody je mi špatně, ne, že bych ji neznal a nikdy nepraktikoval, ale spíše se skupinkami nadšenců pro biologii, než s celou třídou; pro celou třídu je to metoda nepřiliš vhodná a šťastná“.

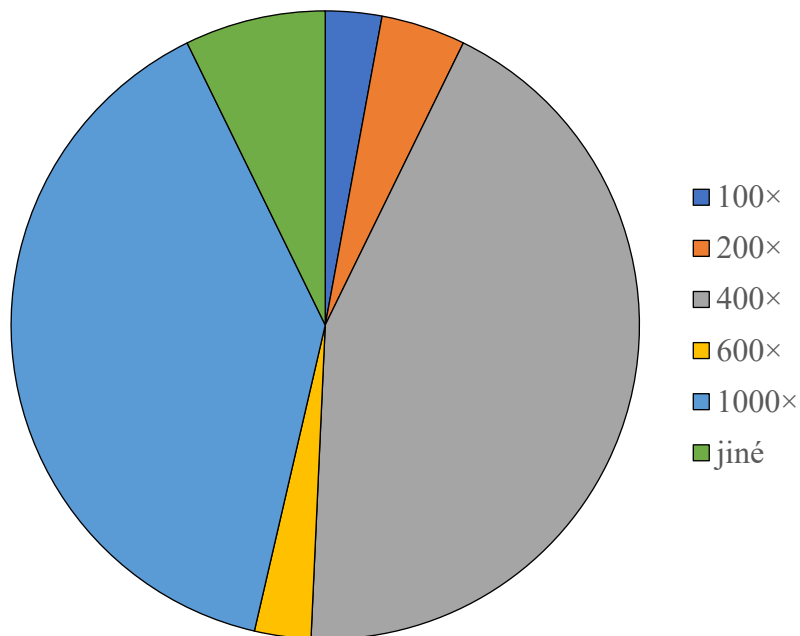


Obrázek 5: Odpovědi na otázku "Proč nezařazujete BOV?".

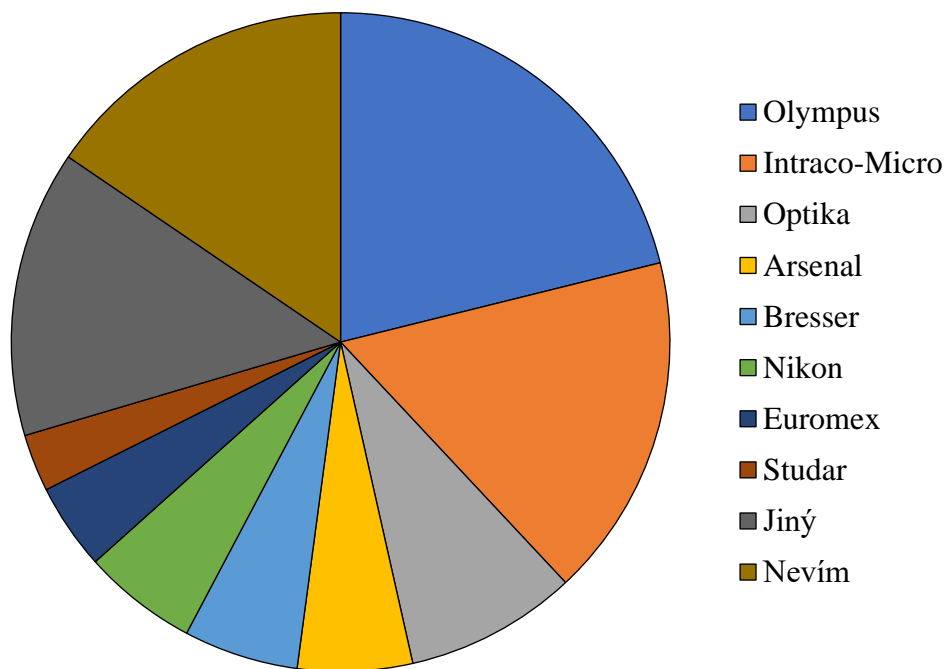
## Část 2: Laboratorní vybavení

Drtivá většina respondentů (82,6 %) uvedla, že na své škole má k dispozici demonstrační mikroskop s možností projekce přes PC. Nejvíce jsou mezi dotázanými využívány mikroskopy od společnosti Intraco-Micro (3,22 %), dále pak Olympus (2,3 %). Nejčastější odpovědí však bylo prosté „nevím“ (6,9 %).

Nejčastějším typem osvětlení u studentských mikroskopů se ukázaly být žárovky (97,1 %). Pouze dva dotázaní uvedli zrcátko. Co se týče maximálního zvětšení studentských mikroskopů, nejfrekventovanější odpovědí bylo 400×, v těsném závěsu pak stojí zvětšení 1000× (viz Obrázek 6). Nejběžnějšími dodavateli studentských mikroskopů jsou Olympus (21,7 %), Intraco-Micro (18,8 %) a Optika (7,2 %) (viz Obrázek 7).



Obrázek 6: Odpovědi na otázku "Jaké je maximální zvětšení vašich studentských mikroskopů?".

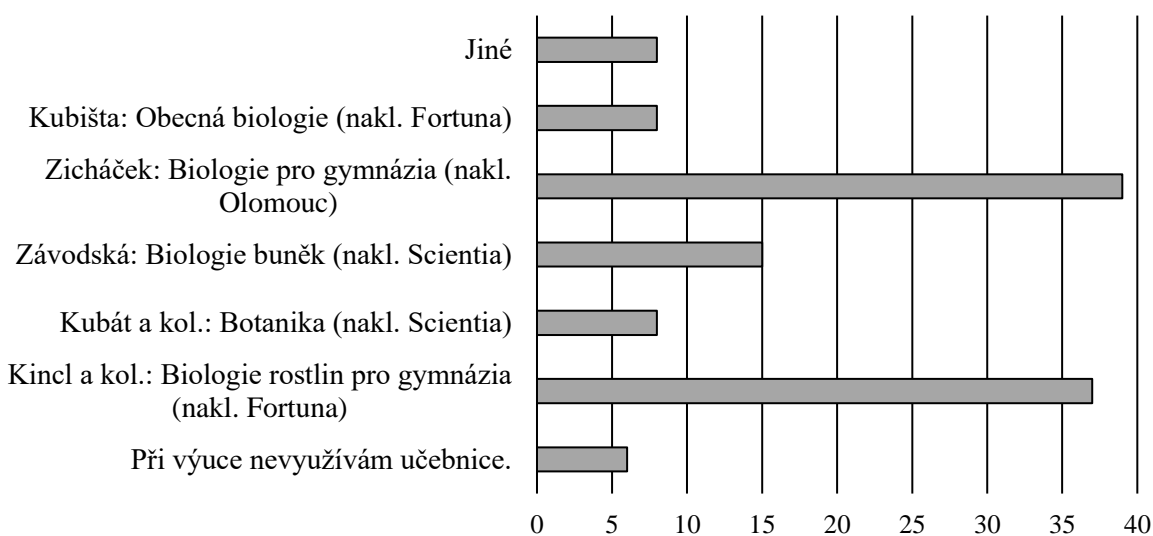


Obrázek 7: Nejčastější výrobci, resp. dodavatelé studentských mikroskopů na dotazovaných školách.



### Část 3: Výuka sinic a řas

Nejvíce využívanými učebnicemi pro výuku botaniky či fykologie jsou Biologie pro gymnázia (V. Zicháček, nakl. Olomouc) a Biologie rostlin pro gymnázia (Kincl a kol., nakl. Fortuna). První jmenovanou využívá 39 dotázaných, druhou pak 37. Dalšími využívanými publikacemi jsou např. Biologie buněk (R. Závodská, nakl. Scientia), Botanika (Kubát a kol., nakl. Scientia) (viz Obrázek 8), 8 respondentů nevyužívá učebnice vůbec, jako alternativu uvedli mj. materiály projektu ELUC (<https://eluc.ikap.cz/>) a metodické listy Botanického ústavu AV ČR.

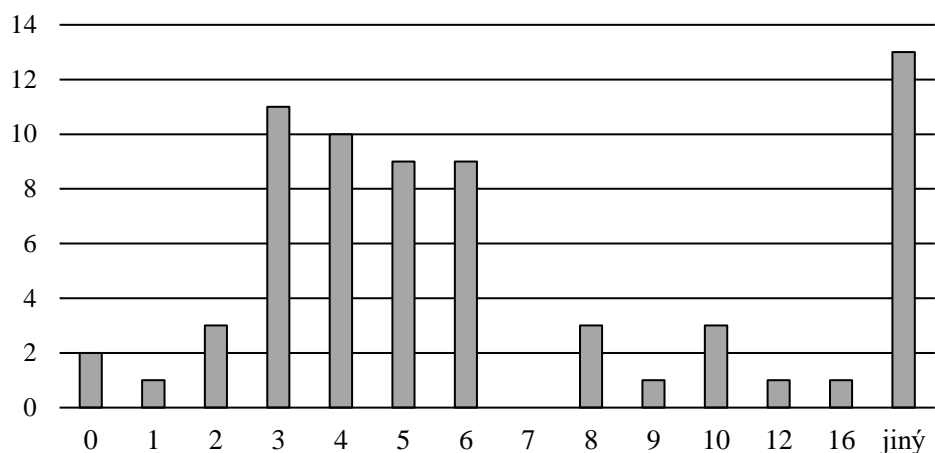


Obrázek 8: Odpovědi na otázku „Jaké učebnice používáte pro výuku botaniky, resp. fykologie?“.

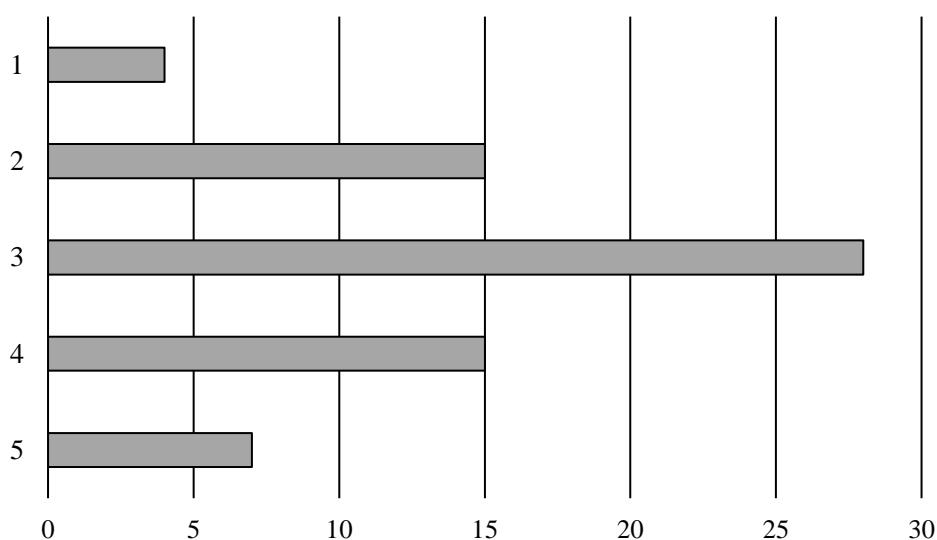
Co se týká časové dotace tématu, nejčastěji se učitelé sinicím a řasám věnují 3 vyučovací hodiny (23,2 %), 21,7 % tázaných toto téma přednáší 4 hodiny a 13 % až 6 hodin. Nejvyšší uvedený počet byl 16 hodin, jeden z učitelů pak uvedl, že výuce sinic a řas nevěnuje hodinu žádnou (viz Obrázek 9).

Na dotaz, zda se středoškolské učebnice dostatečně věnují tématu sinic a řas, odpověděla většina učitelů známkou 3 (40,6 %). Nejhorší skóre (1) udělilo 5,8 % tázaných, nejlepší (5) pak 10,1 % (viz Obrázek 10).

Značná většina respondentů (81,2 %) uvedla, že k tématu fykologie provádí laboratorní cvičení. 82,6 % sdělilo, že má možnost realizovat praktickou výuku v rozsahu větším než 1 vyučovací hodina. Živý materiál pro ně většina učitelů (81,3 %) obstarává sama v přírodě. 21,9 % učitelů pověřuje sběrem studenty a 14,1 % dotázaných objednává kultury ze sbírek.



Obrázek 9: Odpovědi na otázku „Kolik hodin výuky věnujete sinicím a řasám?“.



Obrázek 10: Odpovědi na otázku „Myslíte, že středoškolské učebnice dostatečně podtrhují téma sinic a řas?“.

V poslední otázce měli učitelé možnost vypsát témata nebo činnosti, jejichž zařazení do výuky fykologie by uvítali. Respondenti uvedli, že by se zaměřili na sinice a řasy jako bioindikátory prostředí, využití těchto organismů v biotechnologiích a také na určovací praktika. Několikrát se zde objevil zájem o jednoduchý atlas či určovací klíč. Jeden z respondentů pak uvedl doslova: „Uvítali bychom vyřadit téma i z učebnic – Systematika nižších rostlin, je na SŠ úplně k ničemu, pouze větve řas a skupina Cyanophyta, víc nic. Systematika nižších rostlin je jen pro VŠ, a ještě ne pro všechny.“

## 4 Úlohy pro badatelsky orientovanou výuku

V této práci je předloženo celkem pět úloh pro středoškolskou BOV. Níže je uveden jejich výčet a témata, kterým se věnují:

- **Jsou mezi námi** – hospodářské využití sinic a řas
- **Mikroskopičtí pionýři** – sukcese perifytonních organismů
- **Musíme si pomáhat** – symbiotické vztahy sinic a řas s vyššími rostlinami a houbami
- **Zhluboka dýchat** – respirační aktivita řas
- **Životní výpočty** – základy matematické biologie

Každá úloha se skládá ze čtyř bloků. První je vždy **výchozí text**. Texty byly vytvořeny s pomocí dostupné literatury a studentům slouží k základní orientaci v právě řešeném tématu. Taktéž mohou obsahovat užitečné informace pro úkony prováděné v následujících částech.

**Teoretická část** předkládá několik otázek vztahujících se k tématu; stejně jako u výchozího textu i zde mohou studenti získat metainformace užitečné pro praktickou část. K jejich zodpovězení je možné použít internet, literaturu, popř. i výchozí text. Pokud budou studenti hledat v zahraničních zdrojích, mohou využít pomoci slovníku či online překladače. Zejména při získávání informací z internetových stránek je potřeba dbát na ověřování zde uvedených faktů! Vzhledem ke stále se měnící systematice je taktéž doporučeno kontrolovat aktuálnost názvů taxonů a zařazení organismů do skupin. K tomu je možné využít online databáze, jako např. AlgaeBase ([www.algaebase.org](http://www.algaebase.org)) nebo CyanoDB ([www.cyanodb.cz](http://www.cyanodb.cz)).

**Praktická část** obsahuje výčet potřebného materiálu a nástrojů, jakož i (navrhovaný) pracovní postup.

V rámci **diskuse** pak budou studenti vyhodnocovat dosažené výsledky a porovnávat je s ostatními studenty, resp. skupinami. Důležitou součástí úloh je také obhajoba výsledků před ostatními kolegy. Obhajující student/skupina si připraví referát či prezentaci o svém bádání. Měli by se držet následující osnovy:

- zvolená, resp. zadaná badatelská otázka
- detailní popis průběhu bádání (včetně nezdarů)
- výsledky bádání
- případné změny při hypotetickém opakování

Oponenti si prezentaci pečlivě vyslechnou a připraví si několik otázek, jež po skončení výkladu svým kolegům položí. Následně celou obhajobu kriticky zhodnotí – mohou posuzovat množství podaných odborných a smysluplných informací, vyjádřit svůj názor k průběhu bádání a v neposlední řadě mohou ohodnotit i přednes či grafické zpracování prezentace. Závěry oponentury posléze shrnou a přednesou obhajujícímu studentovi/skupině. Pakliže to bude vyučující vyžadovat, mohou svým kolegům udělit i známku. Alternativně může pozici oponenta zastat i sám vyučující.

Úlohy měly být původně otestovány přímo v rámci vyučování na střední škole a vykonané aktivity měly být následně zhodnoceny studenty. Z důvodu uzavření školských zařízení v rámci t. č. platných vládních opatření zavedených v souvislosti se šířením viru SARS-CoV-2 však bylo nutné tento plán změnit. Namísto studentského hodnocení byly do této práce zahrnuty strukturované metodické pokyny sloužící především k podrobnému obeznámení vyučujících s průběhem úloh, aby bylo možné je co nejpřesněji zopakovat.

V následující části jsou předloženy výchozí texty a metodické pokyny k provedení úloh. V příloze jsou pak připojeny také pracovní listy ke každé úloze.

#### 4.1 Jsou mezi námi

##### 4.1.1 Výchozí text

Sinice se na naší planetě poprvé objevily před 2,7 až 3,5 miliardami let. Jsou to jediné prokaryotické organismy, které vykonávají oxygenní fotosyntézu – proces, při kterém za přísunu slunečního záření vzniká glukóza a plynný kyslík (z hlediska této reakce odpadní produkt). Díky tomu před zhruba 2,4 miliardami let zapříčinily událost označovanou jako The Great Oxygenation Event (zkráceně GOE). Zjednodušeně řečeno: sinice „naplnily“ atmosféru kyslíkem, což způsobilo okysličení oceánského i terestrického prostředí a tím i následný vznik komplexních životních forem (Demoulin et al., 2019). Před GOE byla drtivá většina organismů na Zemi obligátně anaerobní (takové organismy mohou žít pouze v prostředí bez kyslíku). GOE tak pro tyto organismy znamenal zkázu – proto se tato událost někdy označuje také jako Oxygen Crisis neboli „kyslíková krize“ (Jurán & Kaštovský, 2016).

Řasy a sinice jsou již po staletí využívány jako potravina či krmivo pro zvířata. V Číně se takto hojně využívají některé druhy rodu *Nostoc*, které v podobě sušených kuliček slouží např. jako přísada do polévek či omáček. Ve střední Americe a Africe je pak tradičním

produktem tzv. *tecuitlatl* (v Africe zvaný *dihé*) vyráběný ze sinic rodu *Limnospira*<sup>1</sup>. Tato surovina se taktéž používá především jako přísada do omáček a polévek. Tento rod sinic obsahuje velké množství bílkovin (až 60 % v sušině) a minerálů (Barsanti & Gualtieri, 2006).

Další významnou skupinou v potravinářství jsou ruduchy. Rod *Pyropia*, v Japonsku známý také jako *Nori*, je bohatý na jód, vlákninu a vitamíny A, B a C. V Japonsku a Jižní Koreji se tyto řasy pěstují již od 17. století. *Nori* se v Japonsku používá hlavně k obalování kousků sushi. V Číně tento produkt nalezneme mj. v řadě polévek. Významným artiklem vyráběným z ruduch je také **agar**, získávaný např. z rodů *Pterocladia* nebo *Gelidium*. Čím dál větší využití má v potravinářství jako zahušťovadlo, je však možné se s ním setkat také ve vědecké praxi, kde se uplatňuje jako substrát pro pěstování mikrobiologických kultur. Velmi podobný agaru je **karagenan**, jehož zdrojem jsou dnes převážně druhy *Eucheuma*, *Ahnfeltia* a *Gigartina* (Barsanti & Gualtieri, 2006). Využívá se např. jako emulgátor či stabilizátor, je možné jej nalézt mj. v mléčných výrobcích, cukrovinkách, ale také v zubních pastách (Nečas & Bartošíková, 2013).

Uplatnění v potravinářském průmyslu nachází také chaluhy. Například řasa *Alaria esculenta* je oblíbeným pokrmem v Irsku, Skotsku a na Islandu. Roste v chladných severních vodách a je bohatá na bílkoviny a vitamíny. Ve východní Asii se pak velmi hojně pěstují chaluhy rodu *Laminaria*; vyrábí se z nich populární produkt *kombu* (též zvaný *haidai*) (Barsanti & Gualtieri, 2006).

Významným segmentem v potravinářství jsou barviva. Současným celosvětovým trendem je nahrazování syntetických (a potenciálně zdravotně závadných) barviv těmi přírodními (Kovač et al., 2013). Právě sinice a řasy mohou být jejich zdrojem. Seznam nejčastěji používaných barviv rostlinného původu je uveden v Tabulce 2.

**Tabulka 2: Nejčastější potravinářská barviva získávaná ze sinic a řas (zdroj dat: Kovač et al., 2013; Edelmann et al., 2019 a web [www.ferpotravina.cz](http://www.ferpotravina.cz))**

Barvivo	Kód aditiva	Barva	Příklady organismů
chlorofyly	E140	zelená	<i>Chlorella</i> spp.
betakaroten	E160a	oranžová	<i>Dunaliella salina</i>
lutein	E161b	žlutá	<i>Scenedesmus almeriensis</i>
astaxanthin	E161j	červená	<i>Haematococcus pluvialis</i>
riboflavin	E101	žlutá/oranžová	<i>Chlorella</i> spp.

<sup>1</sup> Původně se tyto sinice řadily do rodu *Arthrospira*. Na základě mj. morfologických a genetických analýz však byly tyto komerčně využívané druhy přeřazeny do nového rodu *Limnospira* (Nowicka-Krawczyk et al., 2019).

Extrakty z řas či sinic můžeme obecně najít v řadě kosmetických výrobků, zejména v nejrůznějších krémech či pleťových maskách. Nejčastěji se jedná o již zmíněný karagenan nebo algináty (sodné nebo vápenaté soli kyseliny alginové získávané z chaluhy). U výtažků z řady druhů řas byly prokázány antioxidační účinky, např. u fukoxanthinu – karotenoidu získávaného mj. z druhu *Saccharina religiosa* (Barsanti & Gualtieri, 2006).

Velký význam mají řasy ve výrobě biopaliv. Vzhledem k tomu, že zásoby fosilních paliv na planetě se nezadržitelně tenčí, hledání a vytváření nových zdrojů energie je takřka nutností. Řasy se ukázaly jako zatím nejudržitelnější surovina pro výrobu biopaliv; na rozdíl od rostlin není pro jejich pěstování nutné rozšiřovat zemědělské plochy na pevnině, stejně tak odpadá nutnost využívání potenciálně nebezpečných pesticidů (Saad et al., 2019). Řasy však nejsou součástí pouze biopaliv, ale také paliv fosilních. Většina ropných ložisek na Zemi totiž vznikla z rozsivek (Bacillariophyceae) (Shukla & Mohan, 2012) a ze zelených řas rodu *Botryococcus* (viz Obrázek 11) (Glikson et al., 1989).



Obrázek 11: *Navicula* spp. (zdroj: <https://www.eoas.ubc.ca/>) a *Botryococcus braunii* (zdroj: [sinicearasy.cz](http://sinicearasy.cz), Jan Kaštovský).

Řasy mají obecně poměrně jednoduché nároky na prostředí. Optimální teplota pro růst je u řas obecně 20-30 °C. Dalšími faktory jsou přístupnost a koncentrace živin, množství oxidu uhličitého, pH prostředí a také intenzita světla a jeho periodicita. Je možné je pěstovat *in vitro*<sup>2</sup> buď klasickou metodou (v lahvi či jiné nádobě), anebo pomocí zařízení „lab-on-a-chip“. Pěstování *in vivo*<sup>3</sup> probíhá s pomocí fotobioreaktorů (viz Obrázek 12) nebo v otevřených soustavách (např. ve speciálních nádržích). Takto vypěstované řasy se pak sklízí různými

<sup>2</sup> *in vitro* („ve skle“) = pěstování, resp. pozorování organismů v laboratorním prostředí

<sup>3</sup> *in vivo* („v živém“) = pěstování, resp. pozorování organismů v reálném prostředí

technikami – od filtrace přes centrifugaci až po flotaci (rozdělování pevné a kapalné fáze založené na rozdílech ve smáčivosti povrchů). Získaná biomasa se následně využívá k produkci bionafty, bioplynu či bioethanolu. Hmota zbylá po tomto zpracování se může dále využít např. pro výrobu hnojiv, doplňků stravy či krmiva pro zvířata (Saad et al., 2019). Podle dokumentu Renewables 2020 – Global Status Report jsou největšími světovými hráči na poli biopaliv Spojené státy americké, Brazílie, Indonésie a Čína (REN21, 2020).



Obrázek 12: Fotobioreaktor (zdroj: Wikimedia Commons, IGV Biotech).

Neopomenutelnou surovinou je **křemelina** (též diatomit). Jedná se o horninu tvořenou zkamenělými schránkami (frustulami) rozsivek (Bacillariophyceae). Největší ložiska můžeme nejčastěji najít v oblastech s vulkanickou či hydrotermální aktivitou, např. v národním parku Yellowstone v USA nebo na Islandu (Zahajská et al., 2020). Četná ložiska se ale nachází také v České republice – kupříkladu v Národní přírodní rezervaci SOOS u Františkových Lázní (AOPK ČR, 2016) či v Borovanech u Českých Budějovic (viz Obrázek 13), kde se také dosud těží (Znachor, 2008). Sopky a termální prameny ovšem nejsou podmínkou pro výskyt křemeliny, příkladem mohou být jezera na severu Švédska (Zahajská et al., 2020). Křemelina se vyznačuje mj. vysokou porézností a propustností, nízkou tepelnou vodivostí, malou velikostí částic a také je chemicky inertní. To všechno ji předurčuje k širokému průmyslovému využití – lze ji použít jako filtrační médium (např. při výrobě piva či whisky), plnivo (např. do zubních past, kde působí i jako abrazivum) nebo jako izolační materiál (Inglethorpe, 1993).



**Obrázek 13: Křemelinový lom v Borovanech u Českých Budějovic (zdroj: wikiwand.com, Jan Dudík).**

Rozsivky mají velké uplatnění i v nanotechnologiích. Do jejich frustul je možné vložit nanočástice sloučenin různých kovů (např. oxidu titaničitého) a vytvořit tak nano-kompozit, který bude mít větší odolnost a také větší technologické využití. V nanomedicině se pak modifikované rozsivky dají použít k imunodiagnostice či jako médium pro podávání léčiv (Mishra et al., 2017).

#### **4.1.2 Metodické pokyny**

Tato úloha je koncipována jako nasměřované bádání. Badatelská otázka zde zní: **„Je možné na trhu nalézt alespoň deset produktů obsahujících látky ze sinic a řas?“**, popř. **„Ve kterých kategoriích produktů (potravin, kosmetika aj.) se látky ze sinic a řas objevují nejčastěji?“**.

Teoretická část v kombinaci s výchozím textem by měly studentům poskytnout základní povědomí o využití sinic a řas v průmyslu či zemědělství. V otázce č. 7 (extrakce barviv) není nutné podrobně popisovat celý proces a technologii. Studenti by měli výrobnímu postupu především porozumět, ne být schopni jej kompletně odříkat z paměti.

Praktická část bude probíhat formou průzkumu. Cílem je na trhu nalézt minimálně 10 produktů, při jejichž výrobě byly nějakým způsobem využity sinice či řasy, popř. produkty, u kterých se to studenti domnívají. Rešerše může být provedena buď na internetu, anebo přímo ve studenty zvolené prodejně. V druhém případě je doporučeno nejprve oslovit vedení prodejny a požádat o svolení – obzvláště velké řetězce bývají citlivé na nenakupující osoby. Pokud budou studenti chtít v obchodě pořizovat také fotografie či jiný audiovizuální materiál, je opět vhodné nejprve oslovit vedoucího pracovníka. Na tyto skutečnosti je žadoucí studenty upozornit na samém začátku úlohy!



Není nutné, aby studenti nalezené produkty kupovali a přinášeli do vyučování. Pro účely diskuse stačí pouze fotografie (pořízené v obchodě, případně stažené z internetu – pak je ovšem vždy potřeba uvést zdroj!). Na Obrázku 14 jsou k vidění fotografie tří vybraných výrobků, Tabulka 3 pak uvádí další příklady produktů obsahujících aditiva ze sinic či řas.



Obrázek 14: Fotografie vybraných produktů s přídatnými látkami ze sinic či řas.

Tabulka 3: Příklady volně dostupných produktů obsahujících přídatné látky ze sinic a řas.

Název výrobku	Výrobce	Přídatná látka
Moravské maso uzené	Řezníkův talíř	karagenan
Pohár mléčný dezert (různé)	Mlékárna Kunín	agar, karoteny
Ovocná pomazánka kiwi-angrešt	AlpenFest	extrakt ze „spiruliny“
Dort-želé čiré v prášku	Dr. Oetker	agar
Želírující látka Agar	Vitana	agar
VEGA Gel	Dr. Oetker	agar
Panna Cotta	Dr. Oetker	karagenan
Kakaový puding	Tesco	karagenan

V prvním bodě diskuse by studenti měli objasnit, jak jejich průzkum probíhal, tedy kde a jak jej prováděli, popř. uvést, zda se v konkrétní prodejně neodehrávala nějaká speciální prodejní akce. V dalším kroku by mělo dojít k ověření, zda produkty, jež studenti našli, skutečně obsahují sinice a řasy, resp. extrakty z nich. U některých aditiv (karagenan, agar...) je tato skutečnost zjevná, u jiných (chlorofyly, lutein...) může být ověřovací proces obtížný

až nemožný. Případný nezdár by studenti měli být schopni vysvětlit (chlorofyl se extrahuje také z vyšších rostlin apod.).

Následuje rozdělení studentů do skupin, ve kterých si nalezené produkty vzájemně představí. Zároveň si připraví referát (využití prezentačního softwaru je vhodné, ale nikoli povinné), kde budou hovořit jednak o jimi nalezených výrobcích a jednak o extrakci vybraného barviva sinic a řas (stačí zmínit pouze jedno; v ideálním případě by každá skupina měla referovat o jiném).

## 4.2 Mikroskopičtí pionýři

### 4.2.1 Výchozí text

Sinice jsou obecně rozšířené ve vodním, ale i terestrickém prostředí. Lze je nalézt v půdě a také v biotopech s extrémními podmínkami (teplota, salinita, pH) (Kalina & Váňa, 2005). Řasy pak najdeme většinou ve vodních ekosystémech, podstatná část se ovšem adaptovala i na život na souši – je možné se s nimi setkat třeba na borce stromů či na skalách (Barsanti & Gualtieri, 2006). Mezi suchozemské zástupce se řadí např. rozsivka *Pinnularia borealis*, v rámci sinic jsou to mj. někteří zástupci rodu *Nostoc* (Pouličková, 2011).

Tato úloha se bude věnovat sinicím a řasám ve vodním prostředí. Důležitým pojmem v hydrobiologii je tzv. jakost vody. Ten označuje všechny faktory, které mají vliv na využití vody člověkem. Mezi tyto patří kromě jiných eutrofizace, toxicita, radioaktivita, kryptosaprobita (vliv fyzikálních faktorů), salinita a acidifikace. Pro účely této úlohy nás bude nejvíce zajímat **saprobita** (Sládeček & Sládečková, 1996).

Saprobita značí míru organického znečištění neboli „*obsah organických látek schopných biochemického rozkladu*“. Rozděluje se do několika stupňů (viz Tabulka 4), přičemž každá hladina indukuje výskyt určitých společenstev (Sládeček & Sládečková, 1996).

**Tabulka 4: Úrovně saprobity a odpovídající rozsahy hodnot saprobního indexu ( $S$  = saprobní index) (Sládeček & Sládečková, 1996).**

Úroveň saprobity	$S$	Úroveň saprobity	$S$
xenosaprobita (x)	-0,5 až 0,5	polysaprobita (p)	3,51 až 4,50
oligosaprobita (o)	0,51 až 1,50	isosaprobita (i)	4,51 až 5,50
beta-mesosaprobita ( $\beta$ )	1,51 až 2,50	metasaprobita (m)	5,51 až 6,50
alfa-mesosaprobita ( $\alpha$ )	2,51 až 3,50	hypersaprobita (h)	6,51 až 7,50

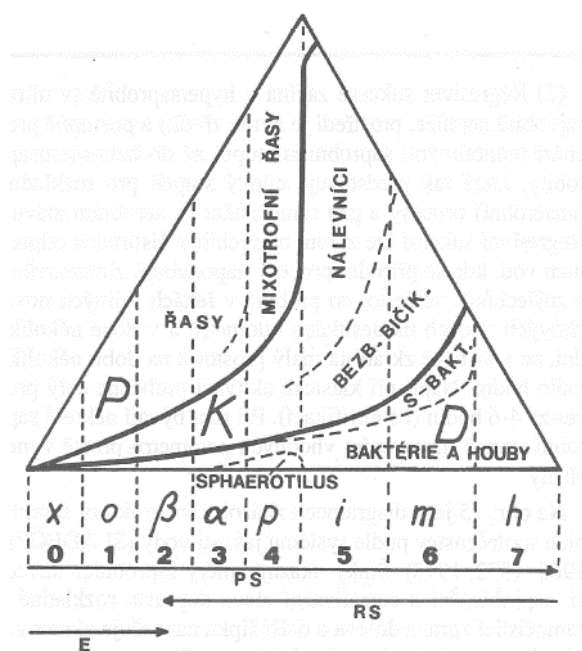
**Saprobni index (S)** lze spočítat pomocí následujícího vzorce:

$$S = \frac{\sum(S_i \cdot h_i \cdot I_i)}{\sum(h_i \cdot I_i)}$$

$S_i$  značí saprobni index,  $h_i$  je abundance a  $I_i$  je indikační váha jednotlivých druhů<sup>4</sup>.

Jakost vody se může v průběhu času měnit (zlepšovat, zhoršovat, ale také setrávat). Posloupnost takových změn se nazývá **saprobni sukcese**. Rozlišujeme dvě sukcesní řady. Progresivní sukcese (PS) začíná v katarobních (čistých) vodách. S přibýváním minerálních a organických látek ekosystém postupně přechází do vyšších stupňů, až dojde do hypersaprobity či dokonce ultrasaprobity<sup>5</sup>. Regresivní sukcese (RS) postupuje přesně obráceně. Začíná v hypersaprobni úrovni a končí v úrovni beta-mesosaprobni. Na principu RS pracují i čističky odpadních vod (Sládeček & Sládečková, 1996).

Zobecnění struktury saprobni společenstev, tzv. saprobiologický trojúhelník, zobrazuje Obrázek 15. Písmena P, K, D označují **producenty**, **konzumenty** a **destruenty**. V dolní části jsou uvedeny zkratky jednotlivých úrovní saprobity (viz Tabulka 4) a střední hodnoty saprobniho indexu pro každou úroveň. Šipky označují směr progresivní (PS) a regresivní (RS) sukcese a také eutrofizace (E) (Sládeček & Sládečková, 1996).



**Obrázek 15: Saprobiologický trojúhelník (Sládeček & Sládečková, 1996).**

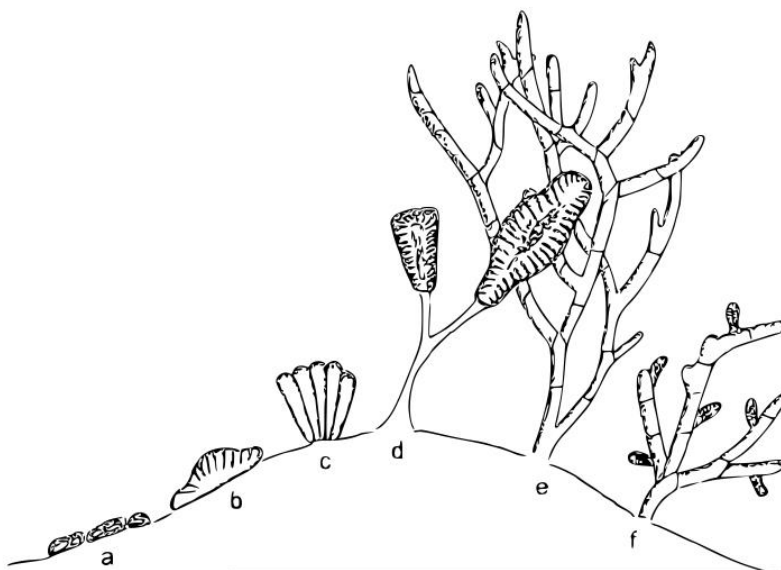
<sup>4</sup> Hodnoty abundance a indikační váhy druhů jsou tabelované (viz např. Sládeček & Sládečková, 1996).

<sup>5</sup> ultrasaprobita = abiotický stupeň saprobity bez vegetativního života (Sládeček & Sládečková, 1996)

Sukcese se obecně rozděluje na primární a sekundární. Primární sukcese se odehrává na zcela novém a nikterak neosídleném území (např. nově vzniklý atol nebo sopečný ostrov). Oproti tomu sekundární sukcese probíhá v ekosystému, který v minulosti již byl osídlen, ale byl nějakým způsobem narušen (ve vodním prostředí např. únikem toxických látek) (Begon et al., 2006).

Primární sukcese ve stojatých vodách vypadá následovně (viz Obrázek 16): jako první začnou substrát obydlovat bakterie (a). Ty vytvoří slizový podklad, na který pak budou nasedat další organismy. Řasa, resp. sinice se může na povrch přichytit buď celým tělem (b) (např. rozsivka *Cocconeis* spp.), anebo pouze jedním koncem (c) (např. rozsivka *Fragilaria* sensu lato nebo *Ulnaria* spp.) (Pouličková, 2011).

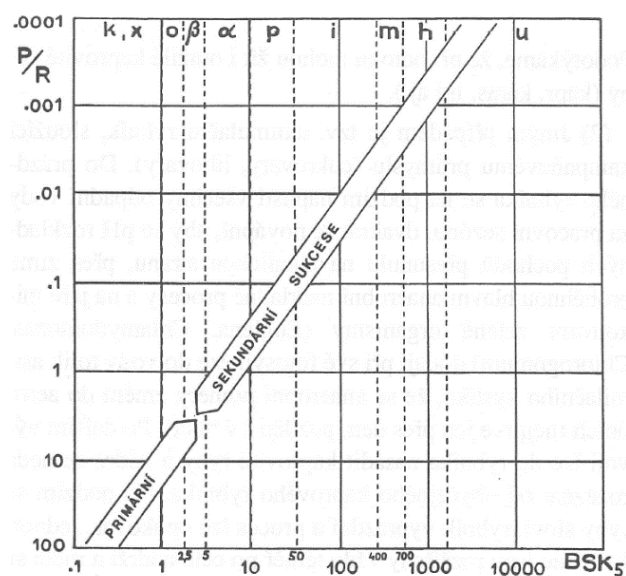
Když je vrstva přisedlých řas a sinic již obsazena, začne vznikat vrstva další. Ale jelikož na bakteriálním slizu už není mnoho místa (a také proto, že se řasy a sinice ve své přirozenosti snaží ukořistit co nejvíce světla), přicházejí na řadu jisté „vychytávky“. V pořadí již třetí vrstva organismů je tak tvořena rozsivkami přichycenými k substrátu slizovou stopkou (d) (např. rod *Gomphonema*) nebo umístěné ve slizových trubicích (rod *Cymbella*). Nechybí ani vláknité řasy (e) (mj. rod *Cladophora*). Díky stopkám a trubicím se jednak omezuje prostor nutný k přichycení na nutné minimum, a jednak je organismům umožněno dostat se do prosvětlenější části vody. Na tomto nárostu se usazují epifytické<sup>6</sup> druhy (f), uvnitř něj pak nachází útočiště volně pohyblivé druhy řas, ale také drobní živočichové (Pouličková, 2011).



Obrázek 16: Schéma rozmístění nárostových organismů na substrátu (Pouličková, 2011; upraveno).

<sup>6</sup> epifyt = druh žijící na jiné rostlině (v tomto případě spíše řase), který ale na „hostiteli“ neparazituje

Sukcesní procesy v ekosystému postupně směřují ke **klimaxu**<sup>7</sup>, tedy k finálnímu stádiu vývoje, kdy je společenstvo druhově stabilní a již se příliš nemění. U vyšších rostlin trvá dosažení tohoto bodu i stovky let. V případě řas (a zvířat) je celý proces kratší, v průměru i jen kolem deseti let. Klimax může, ale také nemusí nastat – čím déle sukcese trvá, tím větší je pravděpodobnost disturbancí (požáry či znečištění vod), které mohou klimaxu zabránit (Begon et al., 2006). Primární a sekundární sukcese v saprobních společenstvech vede ve středoevropských podmínkách do beta-mesosaprobní úrovně (viz Obrázek 17). V oceánských biocenózách a ve vysokých zeměpisných šířkách je klimaxovým stádiem oligosaprobity (Sládeček & Sládečková, 1996).



Obrázek 17: Schéma dlouhodobé (longitudinální) sukcese v saprobních společenstvech. P/R značí podíl produkce a respirace. BSK<sub>5</sub> označuje míru saprobity (Sládeček & Sládečková, 1996).

Zajímavý experiment podnikl na konci 70. let 20. století Wayne P. Sousa z kalifornské univerzity. Zkoumal sukcesi řasových společenstev na kamenech nedaleko města Santa Barbara na pobřeží Kalifornie. Právě ponořené kameny poskytují řasám skvělý substrát. Na pobřeží však dochází k disturbancím těchto společenstev, a to především vlivem vlnobítí, které může kameny otáčet a tím „obydlenou“ část přivrátit ke dnu, a naopak exponovat stranu, kterou kámen původně nasedal na dno. Nově odhalená část řasy je osídlena buď pomocí spor, anebo přeživšími jedinci, kteří se na povrchu znovu rozrostou. Pionýrským druhem je zelená řasa *Ulva* spp., která vytváří prostředí pro další druhy (např. ruduchy *Gelidium coulteri* nebo

<sup>7</sup> Slovo klimax se nepoužívá jen v ekologii; např. v medicíně je to synonymum k pojmu klimakterium – pozor na záměnu.

*Gigartina canaliculata*). Pokud nenastane další disturbance, může *Gigartina canaliculata* na stanovišti zaujmout do tří let až 90 % povrchu (Sousa, 1979).

Řasy, respektive protista obecně, jsou velmi významnými a užitečnými bioindikátory. Jejich hlavními přednostmi jsou citlivost na změny v prostředí (chemické či klimatické), kosmopolitní rozšíření, velikost a počet jedinců, krátký čas odezvy a jednoduché metody jejich laboratorní analýzy (Payne, 2013). Tyto bioindikátory se používají zejména pro výzkum ve vodním prostředí, příkladem může být studie zkoumající kvalitu vody na dolním toku řeky Zeravšan v Uzbekistánu (Barinova & Mamanazarova, 2021) nebo hodnocení kvality vody v polské řece Wisłok s pomocí rozsivek (Noga et al., 2013; 2016).

#### **4.2.2 Metodické pokyny**

Tato úloha je koncipována jako otevřené bádání. Pakliže si vyučující není jistý, zda jeho studenti bádání na této úrovni zvládnou podstoupit, může přistoupit k méně autonomnímu bádání nasměrovanému. V takovém případě je badatelská otázka položena přímo vyučujícím.

Podstatou úlohy je dlouhodobé pozorování, které by mělo trvat minimálně měsíc, nejlépe ještě déle. Při organizaci je potřeba vzít v potaz také sezónní dynamiku sinic a řas, ideální období pro provedení je duben až červen.

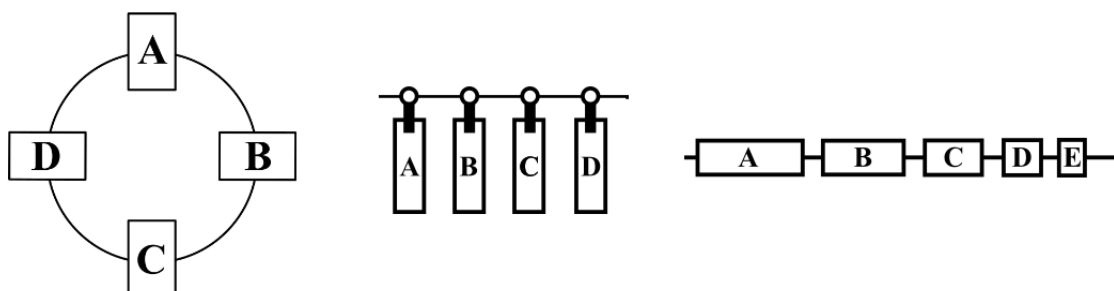
Studenti se rozdělí do skupin po max. pěti. V rámci skupiny studenti formulují badatelskou otázku, přičemž mohou využít následující vzorové otázky (první dvě jsou vhodné pro případné využití při nasměrovaném bádání):

- **Souvisí velikost substrátu s jeho diverzitou?**
- **Který „umělý“ materiál je pro usazování perifytonu nejvhodnější?**
- **Může rozložení substrátů ovlivnit rychlost jejich osidlování?**

Taktéž ve výběru biotopu (vodní nádrže) mají studenti volnou ruku, lze využít např. rybník, jezero, tůň či přehradní nádrž. Každá skupina by měla využít jinou lokalitu. Alternativně může vyučující zvolit jednu vodní nádrž, na které budou pracovat všechny skupiny. V takovém případě by však substráty jednotlivých skupin měly být rozmístěny na různých místech nádrže.

Dalším krokem je výběr materiálu pro tvorbu substrátů. Zde je možné použít např. mycí houby na nádobí či pěnový polyethylen (Anderson & Druger, 1997), případně podložní sklíčka (Říhová Ambrožová, 2007). Studenti zároveň musí promyslet, jak

(jestli) substráty spojí a upevní ke dnu. Příklady rozložení jsou k vidění na Obrázku 18, hotové aparatury jsou zobrazeny na Obrázku 19. K propojení lze použít např. drát či dostatečně pevný provázek. Podložní sklíčka je možné spojit pomocí drátu a žabek na záclony (viz Obrázek 20). Zvláště substráty vyrobené z polyethylenu či mycí houby je vhodné nějakým způsobem zatížit. To lze učinit připevněním rybářských olůvek na kostru aparatury či přilepení menšího závaží na spodní stranu substrátu.



Obrázek 18: Schémata možných rozložení substrátů.



Obrázek 19: Aparatury připravené k použití.



Obrázek 20: Podložní sklíčka spojená žabkami na záclony a drátem (zdroj: Říhová Ambrožová, 2007).

Připravená aparatura je následně vložena do vody. Je doporučeno si vyhotovit schematický nákres jejího rozložení (viz Obrázek 18) a každý substrát si označit číslem či písmenem. Aparát je ponechán ve vodě po dobu, kterou stanovil vyučující s přihlédnutím k časovým možnostem (experiment by měl trvat alespoň měsíc – viz výše).

Po ukončení experimentu jsou substráty vyjmuty z vody. Při použití podložních sklíček je možné nárost buď seškrábnout, anebo jej na sklíčkách ponechat a organismy pozorovat přímo na nich. Substráty vytvořené z mycí houby či polyethylenu je třeba ihned po vyjmutí z vody vyždímat do sklenic, které byly předtím vymyty vodou z nádrže. Každý ze substrátů je zapotřebí ždímat do jiné nádoby. Nádoba je posléze uzavřena a přenesena do laboratoře. Před dalším použitím je nutné každou sklenici nechat několik minut stát, aby zachycené organismy klesly ke dnu.

Ze dna nádoby je poté odebrán vzorek a tento je následně pozorován pod mikroskopem. Sinice a řasy stačí určit do řádů, u nižších skupin může být určování obtížné. K determinaci organismů je vhodné použít dvoudílný Atlas sinic a řas ČR (Kaštovský et al., 2018), který je volně přístupný na internetu (<https://www.sinicearasy.cz/matlas>). Dále lze využít např. Klíč k určování bezcévných rostlin (Svrček, 1976) nebo německou publikaci Das Leben im Wassertropfen (Streble et al., 2018). Zejména u starších publikací je žádoucí ověřovat, zda jsou taxonomická zařazení a pojmenování hledaných organismů v nich uvedená aktuální; biologická systematika se totiž neustále vyvíjí (především díky molekulárním výzkumům).

### 4.3 Musíme si pomáhat

#### 4.3.1 **Výchozí text**

Na pojem symbióza můžeme v biologii nahlížet ze dvou úhlů. V užším (a mezi lidmi rozšířenějším) slova smyslu jde o biologickou interakci mezi dvěma (a více) organismy, která je pro obě strany výhodná a ve které jeden organismus (symbiont) obývá habitat zprostředkovaný organismem druhým (hostitelem) V širším pojetí ovšem zahrnuje obecně různé vzájemné vztahy organismů, od komensalismu po mutualismus (Begon et al., 2006). Následující úloha se bude zabývat symbiózou z pohledu obou definic.

##### 4.3.1.1 *Systém Azolla-Trichormus*

Mutualistický vztah (symbiózu „v běžném pojetí“) zde budou reprezentovat vodní kapradina *Azolla* z řádu Salviniales (hostitel) a sinice *Trichormus azollae* z řádu Nostocales (symbiont). Kapradina pro sinici představuje zdroj uhlíku, opačným směrem pak proudí dusík (Pabby et al., 2003).

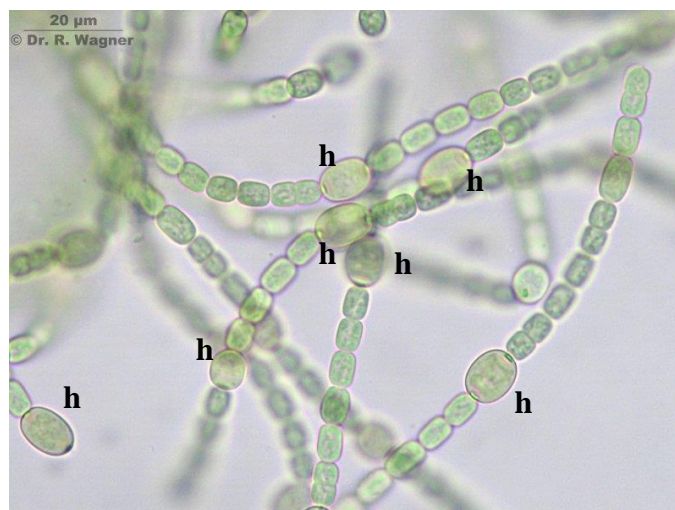


*Azolla* (viz Obrázek 21) nabývá velikosti od 1-2,5 cm (*A. pinnata*) do 15 cm a více (*A. nilotica*). Má rozvětvený splývavý oddenek, ze kterého vyrůstají dvoulalokné listy. Ventrální (přední) lalok listu je částečně ponořen a neobsahuje fotosyntetická barviva, zatímco lalok dorzální (zadní) plove na hladině a obsahuje chlorofyl. Právě v dutině zadního laloku se usídluje sinice *Trichormus azollae* (Pabby et al., 2003).

Tato sinice (viz Obrázek 22) vytváří nevětvená vlákna, jenž obsahují tři typy buněk (vegetativní buňky, heterocyty a akinety). Heterocyty (**h**) jsou tlustostěnné buňky, které pomocí enzymu nitrogenáza fixují vzdušný biatomární dusík ( $N_2$ ). Právě tato schopnost umožňuje sinicím vstupovat do velké řady symbiotických reakcí nejen s vyššími rostlinami, ale také s mechorosty – viz dále (Adams & Duggan, 2009). Akinety jsou klidové buňky, které slouží k přezimování, resp. obecně k přečkání nepříznivých podmínek (Kalina & Váňa, 2005).



Obrázek 21: *Azolla* spp.



Obrázek 22: *Trichormus azollae* (zdroj: <http://www.dr-ralf-wagner.de/>).

Fotosyntetické pigmenty kapradiny *Azolla* (chlorofyly *a* a *b*, karotenoidy) a sinice *Trichormus* (chlorofyl *a*, karotenoidy a fykobiliny) jsou komplementární a dohromady umožňují celému systému absorbovat větší spektrum slunečního záření (Pabby et al., 2003).

Zemědělská produkce je přímo závislá na zdrojích dusíku. Symbióza dvou zmíněných organismů má významnou roli v pěstování rýže (mj. ve střední Asii). *Azolla* se hojně využívá právě jako zdroj dusíku na rýžových polích. Toto využití je velmi efektivní, rýže a *Azolla* totiž mají podobné nároky na prostředí, a navíc si vzájemně nekonkurují – jelikož kapradina splývá na hladině, nenastává mezi ní a rýží kompetice o světlo a prostor (Wagner, 1997).

Vzhledem ke schopnosti fixace vzdušného dusíku dokáže systém *Azolla-Trichormus* přežít i ve vodách chudých na dusík. Díky vysoké adaptabilitě se tak může dobře šířit i mimo svůj obvyklý areál. Invaze systému do nepůvodních oblastí pak mohou mít negativní dopad na tamější biodiverzitu a zdraví ostatních organismů (McConnachie & Hill, 2005).

#### 4.3.1.2 Lišejníky (*Lichenes*)

Lišejníky (také lichenizované houby) jsou kompozitní organismy složené z **houby** (mykobiont) a **řasy, resp. sinice** (fotobiont). Symbiotické vztahy mezi oběma složkami nejsou tak jednoduché, jak by se na první pohled mohlo zdát. Nejznámější interakcí je zřejmě mutualistický vztah, kdy fotobiont poskytuje organické látky a mykobiont vodu a látky anorganické. Mohou však existovat i přechody od mutualismu ke komenzalismu, ba dokonce až k parazitismu. V (polo)parazitickém vztahu může houba řasu poškozovat, až úplně umořit. (Begon et al., 2006). Mykobiont nemusí mít vždy k dispozici pouze jednoho partnera – bylo prokázáno, že se houba může spojovat s více druhy fotobiontů a dokonce mezi nimi „přepínat“. Důvodem je adaptace na různé podmínky v daném ekosystému (Peksa & Škaloud, 2011).

Na stélce lišejníků rozlišujeme několik vrstev. Korová vrstva se nachází na svrchní (někdy i na spodní) straně a je tvořena buňkami pravidelného tvaru, které zde tvoří tkáň podobnou rostlinnému parenchymu. Poskytuje ochranu před poškozením a vysušením. V řasové vrstvě vznikají tzv. haustoria sloužící mj. k transportu látek a k propletení houbových vláken a buněk řas. Dřeňová vrstva je tvořena propletenými hyfami (vlákny mykobionta) (Kalina & Váňa, 2005).

Morfologicky můžeme lišejníky dělit mj. podle způsobu přisedání k substrátu. Keříčkovité lišejníky jsou k substrátu přisedlé pouze úzkou částí na bázi stélky a rostou

zpravidla do výšky (např. puklérka islandská – *Cetraria islandica*). Lupenitá stélka je plochá a přirůstá na jednom či jen několika místech (např. hávnatka psi – *Peltigera canina*). Korovité lišejníky jsou k substrátu přirostlé celou spodní stranou (např. mapovník zeměpisný – *Rhizocarpon geographicum*) (Kalina & Váňa, 2005). Jednotlivé typy stélek jsou zobrazeny na obrázcích 23 až 25.

Lišejníky obývají velmi specifické substráty – je možné je nalézt například na kamenech či borce stromů, mohou však růst i na skle nebo kovu. Jejich hlavní ekologický význam je půdotvorná činnost na extrémních stanovištích (Kalina & Váňa, 2005).



Obrázek 23: Puklérka islandská – příklad keříčkovité stélky (zdroj: [www.bylinnalekarna.cz](http://www.bylinnalekarna.cz))



Obrázek 24: Hávnatka psi – příklad lupenité stélky (zdroj: Wikimedia Commons, Anneli Salo).



Obrázek 25: Mapovník zeměpisný – příklad korovité stélky (zdroj: Wikimedia Commons, Tigerente).

## 4.3.2 Metodické pokyny

### 4.3.2.1 Materiál

Kapradinu *Azolla* je možné opatřit ze Sbírkvy vodních a mokřadních rostlin na BÚ AV ČR (<https://www.butbn.cas.cz/sbirkavk/>), případně v některých specializovaných obchodech s akvaristickými potřebami.

Kulturu sinice lze získat ze sbírky CCALA (<https://ccala.butbn.cas.cz/>) při Botanickém ústavu Akademie věd ČR, kde se nachází pod označením CCALA 203 *Trichormus azollae* (Strasburger) Komárek et Anagnostidis.

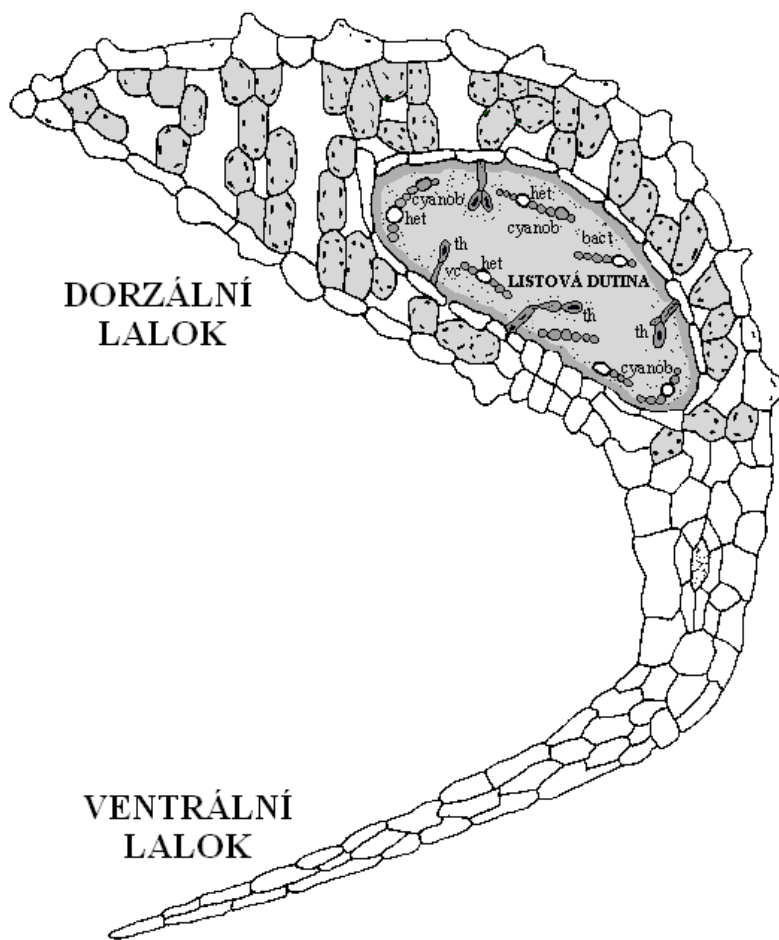
V případě lišejníků je získání materiálu velmi prosté – lze je velmi pohodlně odebrat v přírodě. Ideálně by měla každá ze skupin mít k dispozici rozdílný rod. Vyučující má na výběr, zda odběrem pověří studenty, anebo jej provede sám/sama – v takovém případě odpadají kroky 1-3 praktické části (vyučující však může studenty nechat lišejník určit) a druhá polovina otázky 1 v diskusi. K určování lišejníků je možné využít např. databázi DaLiBor (<https://dalibor.ibot.cas.cz/>) spravovanou Botanickým ústavem AV ČR, z tištěných publikací pak Klíč k určování bezcévných rostlin (Svrček, 1976) či Lišejníky, mechorosty, kaprad'orosty: evropské druhy (Kremer & Muhle, 1998).

### 4.3.2.2 Začátek úlohy

Tato úloha je pojata jako potvrzující bádání. Na začátku se třída rozdělí do menších skupin (ideálně do sudého počtu). Polovina týmů bude provádět část *Azolla-Trichormus* a druhá polovina se bude zabývat lišejníky. V rámci diskuse se vždy spojí právě dvě skupiny s rozdílnými tématy a navzájem si představí výsledky bádání. Skupiny si pak budou své prezentace vzájemně oponovat. Teoretická část je pro všechny studenty společná.

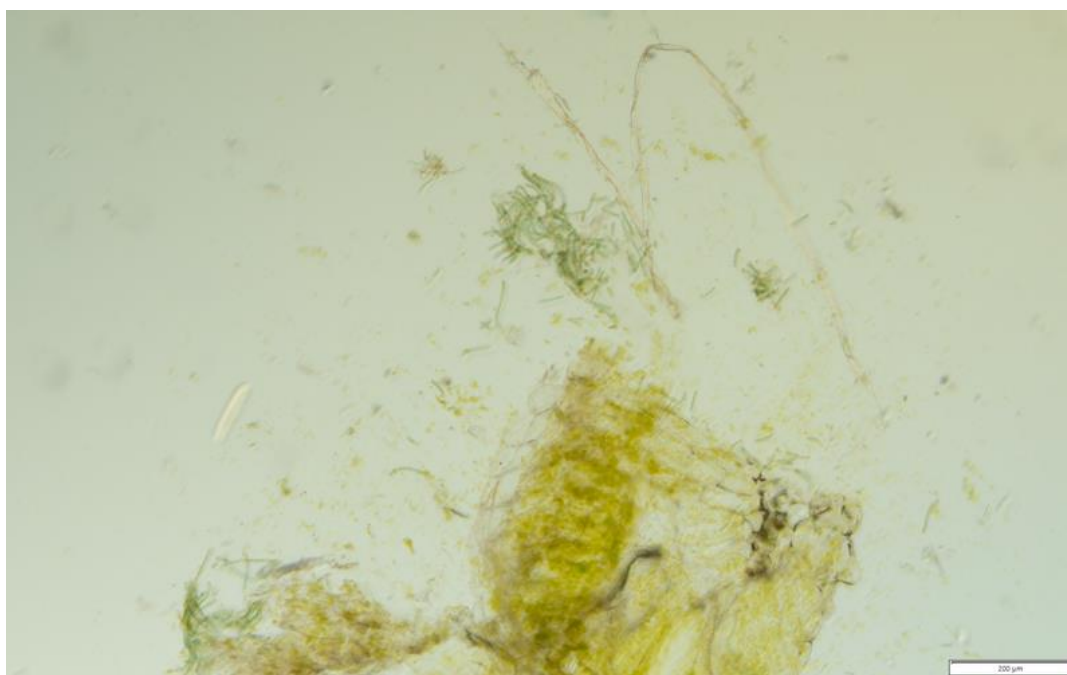
### 4.3.2.3 Systém *Azolla-Trichormus*

Badatelská otázka je v tomto případě: „**Je symbiontem v listu kapradiny *Azolla* sinice *Trichormus azollae*?**“. Úloha začíná vytvořením dočasného preparátu z listů kapradiny. Tento je možné zhotovit dvojím způsobem. První možností je tenký podélný řez listem (schéma viz Obrázek 26). Před prováděním řezu je třeba studenty upozornit na dodržení bezpečnosti, aby bylo předejito případným zraněním či poškození školního vybavení! Řez by měl být co nejtenčí; pokud je řez příliš tlustý, nebude jím procházet dostatek světla. Bez patřičného příslušenství (binolupa, bezová duše apod.) však může být provedení řezu velmi obtížné. Je tedy možné list kapradiny pouze rozetřít, což by mělo postačit k „obnažení“ vláken sinice (viz Obrázek 27). Výstupem pozorování je v obou případech nákres či fotografie.



0.2 mm

Obrázek 26: Nákres podélného řezu listem kapradiny *Azolla* (zdroj: Carrapiço et al., 2000; upraveno).



Obrázek 27: Fotografie rozetřeného listu kapradiny *Azolla*.

V případě získání podélného řezu vyznačí studenti na pořízeném nákresu, resp. fotografii dorzální a ventrální lalok, jakož i listovou dutinu. Cyanobiont se nachází právě v dutině laloku dorzálního.

Obrázek 28 zobrazuje popsanou fotografii sinice *Trichormus azollae*. Pozor – heterocyty nemusí být vždy vyvinuté; jejich přítomnost závisí na podmínkách prostředí.



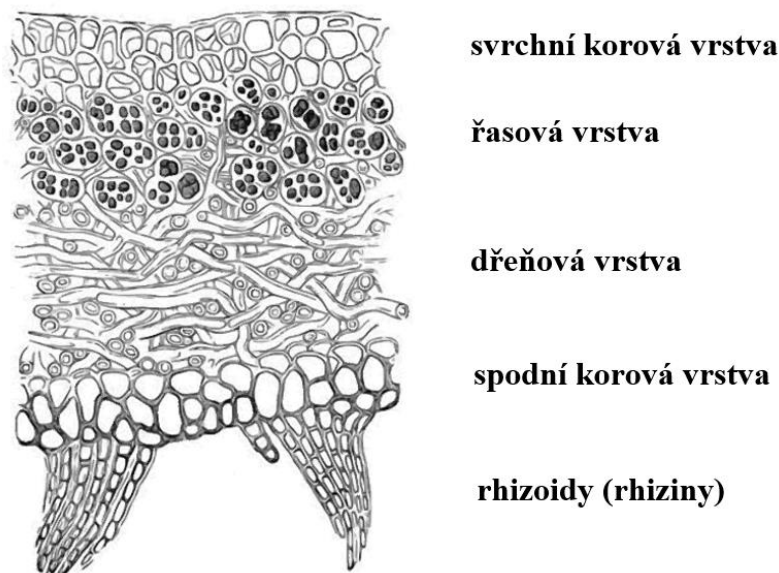
Obrázek 28: *Trichormus azollae* (Strasburger) Komárek et Anagnostidis.

Pro větší názornost je vhodné do úlohy zařadit také pozorování sinice *Trichormus azollae* z kultury (viz výše). Díky tomu mohou studenti potvrdit, že symbiontem nalezeným v listu kapradiny je skutečně tento druh sinice. Tato část bádání je však volitelná.

#### 4.3.2.4 Lišejníky

Badatelská otázka může znít: „**Obsahuje daný lišejník symbiotickou sinici/řasu?**“, příp. „**Jakým způsobem jsou fotobiont a mykobiont fyzicky propojeni?**“ Jestliže je odběr zkoumaného organismu ponechán na studentech, měl by vyučující studenty nejprve informovat, jak lišejník správně získat. Zároveň je potřeba dbát na řádné uchování a označení organismu. Odebraný lišejník by měl být vložen do papírové obálky či novin (nikdy ne do umělohmotného sáčku – hrozí zapaření a zahnívání!). Na obálku studenti napíší číslo či jiné označení své skupiny, datum a místo odběru (stačí uvést jen přibližné určení polohy, třeba „zídka plotu 20 m západně od kostela“, volitelně je možné zapsat přesné GPS souřadnice) a za předpokladu, že se studentům ihned podaří určit rod, příp. druh lišejníku, pak zapíší i ten.

Pokud studenti lišejník neurčili v terénu, učiní tak v laboratoři za pomoci určovacího klíče. Organismus pak řádně (ale opatrně) očistí od všech případných mechanických nečistot. Následně povedou tenký příčný řez stélkou (vyučující opět zdůrazní opatrnost a bezpečnost!), který použijí k výrobě dočasného preparátu a tento budou posléze mikroskopovat. Výstupem pozorování bude nákres (viz Obrázek 29), případně fotografie.



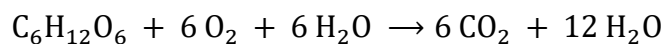
Obrázek 29: Nákres příčného řezu lišejníkem (zdroj: [www.cnx.com](http://www.cnx.com), upraveno).

V diskusi by v první řadě studenti měli uvést informace o pozorovaném organismu, tedy rod/druh lišejníku, v případě samostatného odběru také datum a místo. Na nákresu pak studenti vyznačí jednotlivé vrstvy stélky a zdůrazní pozici mykobionta a fotobionta. Zároveň by měli být schopni určit fyzické propojení obou symbiontů.

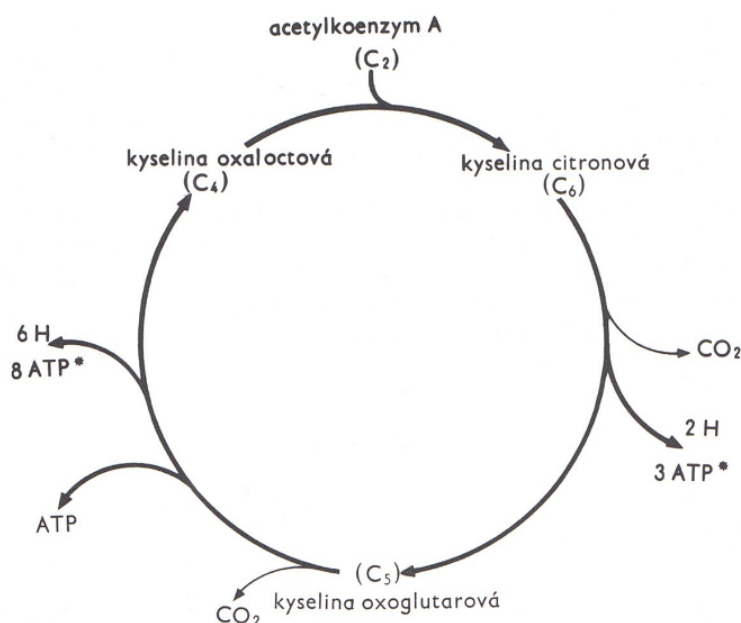
#### 4.4 Zhluboka dýchat

##### 4.4.1 Výchozí text

Fotosyntéza je biochemický proces, při kterém autotrofní organismy (zjednodušeně řečeno) přijímají oxid uhličitý a vodu, ze kterých za přítomnosti světelného záření vyrábí glukózu a kyslík. Opačným procesem je respirace (= buněčné dýchání), kdy organismus využívá kyslík a glukózu k výrobě energie (ATP). Proces shrnuje následující rovnice (obsahující pouze počáteční reaktanty a konečné produkty; v rámci respirace probíhá nepřetržité množství dalších enzymatických reakcí) (Vacík et al., 1999):



Buněčné dýchání začíná v cytoplazmě tzv. **glykolýzou**, což je ve zkratce rozklad molekuly glukózy na pyruvát (zbytek kyseliny pyrohroznové). Pokud je v této fázi přítomen kyslík, pyruvát přechází do mitochondrií, kde se mění na **acetylkoenzym A** (zkráceně Acetyl-CoA). Následuje **citrátový** (= Krebsův) **cyklus** neboli sekvence reakcí, díky kterým se acetylkoenzym A rozkládá na oxid uhličitý a vodu. Zjednodušené schéma tohoto cyklu vyobrazuje Obrázek 30. Oxidací jedné molekuly Acetyl-CoA vznikají dvě molekuly  $\text{CO}_2$ , jedna molekula ATP a čtyři molekuly tzv. redukovaných koenzymů ( $3 \times \text{NADH}$  a  $1 \times \text{FADH}$ ). Tyto koenzymy mohou být reoxidovány v **dýchacím řetězci** na vodu a tím poskytnout další ATP. Celkový energetický výtěžek rozkladu molekuly glukózy glykolýzou a citrátovým cyklem je 38 molekul ATP (Vacík et al., 1999).



Obrázek 30: Schéma citrátového cyklu (Vacík et al., 1999).

Vznikající oxid uhličitý v roztoku reaguje s vodou za vzniku kyseliny uhličitě ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) – podobná reakce se děje i v sycené vodě. Čím více kyseliny vzniká, tím větší je množství  $\text{CO}_2$  ve vzorku a tím i větší respirační aktivita organismů. Díky (ne)přítomnosti kyseliny je možné pro stanovení respirační aktivity použít acidobazické indikátory. Acidobazické indikátory jsou slabé protolyty, které jsou schopné měnit barvu na základě hladiny pH. Oblast pH, ve které dochází k pozorovatelné změně zbarvení, se nazývá funkční oblast indikátoru. Mezi acidobazické indikátory patří mj. fenolftalein, methyloranž nebo methylčerven (Barbosa, 2005). Pro tento pokus je možné použít např. bromthymolovou modř (Anderson & Druger, 1997).



V zásaditém prostředí (pH > 10) má modré zbarvení, v neutrálním (pH = 7) se barví do zelena a v kyselém prostředí (pH < 4) má roztok barvu žlutou. Barevnou škálu bromthymolové modři zobrazuje Obrázek 31. Účinnost indikátoru lze ověřit velmi jednoduchým experimentem – stačí do zkumavky/kádinky s bromthymolovou modří brčkem silně vydechovat vzduch a pozorovat postupné barevné změny roztoku (Cawley et al., 2008).

Podobný pH indikátor je možné vyrobit i svépomocí, a to z červeného zelí. Zhruba čtvrt hlávky zelí nastrouháme nebo nakrouháme. Vložíme do nádoby, zalijeme vroucí vodou a necháme asi 30 minut louhovat. Následně s pomocí filtračního média (filtrační papír nebo kus látky) oddělíme pevnou a kapalnou část. Hotový odvar následně můžeme použít pro indikaci (Cawley et al., 2008). Barevnou škálu zelného odvaru zobrazuje Obrázek 32.



Obrázek 31: Barevná škála bromthymolové modři (podle <http://www.thelivingtank.co.uk/2016/07/article-co2-drop-checker-ultimate-guide.html>).



Obrázek 32: Barevná škála odvaru z červeného zelí (podle <https://www.enviroexperiment.cz/chemie-stredni-skola/indikator-ze-zeli>).

Energetika autotrofních organismů přímo souvisí s **primární produkcí**. Primární produkce společenstva je množství biomasy, které vytváří autotrofní organismy na jednotku plochy. Celková energie získaná biochemickými procesy se nazývá hrubá primární produkce (GPP, *gross primary production*). Část GPP je spotřebována respirací. Rozdíl mezi GPP a respirační energií se nazývá čistá primární produkce (NPP, *net primary production*). NPP označuje množství biomasy dostupné pro spotřebu heterotrofními organismy (bakteriemi, houbami a živočichy). Limitujícími faktory primární produkce jsou především světelné záření, voda a živiny (Begon et al., 2006).

#### 4.4.2 Metodické pokyny

##### 4.4.2.1 Materiál

Pro výzkum je v této úloze využita z akvaristiky známá řasokoule zelená (*Aegagropila linnaei*, resp. *Cladophora aegagropila*). Tato řasa je komerčně velmi rozšířena, zejména jako dekorace. Je možné ji zakoupit ve specializovaných obchodech či e-shopech.

Jako acidobazický indikátor lze použít bromthymolovou modř (0,1 g v 100 ml 20% ethanolu). Tu je možné zakoupit u specializovaných prodejců chemického vybavení. Cenově dostupnější je pak odvar z červeného zelí, jehož příprava je popsána ve výchozím textu k úloze; je také možné využít i komerčně dostupné akvaristické indikátory (např. AQUAR či BEN-TEST).

#### 4.4.2.2 Průběh úlohy

Tato úloha je koncipována jako strukturované bádání. Níže jsou uvedeny dvě možné badatelské otázky, k oběma je předložen postup.

### 1. Probíhá u zkoumané řasokoule respirace?

Studenti si připraví dvě kádinky s vodou, do které přidají stejné množství (postačí několik kapek) zvoleného indikátoru. Do první kádinky bude vložena řasokoule, druhá bude ponechána jako kontrolní. Na Obrázku 33 jsou k vidění kádinky s řasokoulemi a různými typy indikátorů.



Obrázek 33: Řasokoule v kádinkách s indikátory.

Studenti budou průběžně pozorovat barevné změny v kádince a pečlivě je zaznamenávat. Experiment by měl trvat alespoň do chvíle, než se projeví první barevná změna (doporučují se alespoň tři dny). Kádinky by neměly být umístěny na přímém slunci (vlivem slunečního záření může u některých indikátorů dojít k jejich odbarvení). Pro urychlení procesu je ale doporučeno kádinky nasvítit lampou či jiným umělým zdrojem světla.

V momentě ukončení pokusu studenti zaznamenají konečnou hodnotu pH a zbarvení roztoku. Následně vyhodnotí, zda experimentem získali odpověď na zkoumanou otázku. Použitou řasokouli je po důkladném omytí možné dále přechovávat v čisté vodě.

Alternativně je též možné řasokouli vložit do vody bez obsahu indikátoru, pak z kádinky průběžně odebírat malé množství tekutiny, a to následně podrobit pH testu. Tento postup se doporučuje u komerčních akvaristických indikátorů.

## 2. Jaké množství CO<sub>2</sub> řasokoule vyprodukovala za stanovený čas?

V tomto případě je průběh úlohy takřka totožný s předcházející badatelskou otázkou. Přibývá však jeden podstatný krok.

Studenti naplní kádinku vodou a přidají indikátor. Následně budou po kapkách (zhruba po 0,1 ml) přidávat hydrogenuhličitan sodný (0,001%), který nyní reprezentuje oxid uhličitý. Studenti pak zaznamenají množství NaHCO<sub>3</sub>, které spotřebovali k dosažení jednotlivých hodnot pH (jednotlivých barev indikátoru). Každý výsledek pak vynásobí číslem 0,0016 – tím získají počet mikromolů (μmol) hydrogenuhličitanu sodného potřebný k dosažení barevných změn (Anderson & Druger, 1997).

Dále experiment probíhá stejně jako u badatelské otázky 1. Po uplynutí stanoveného času je pokus ukončen a s pomocí barevné škály určeno pH roztoku v kádince, a posléze i množství vyprodukovaného CO<sub>2</sub>.

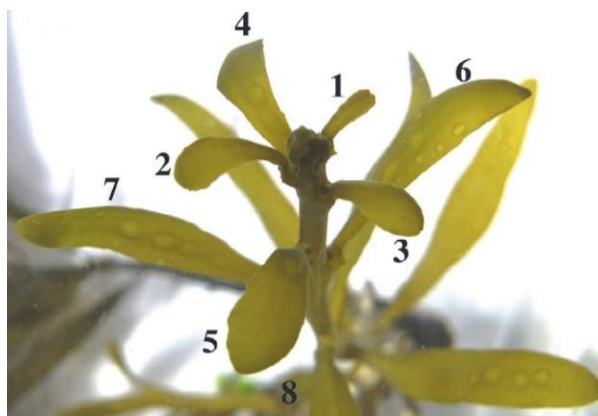
### 4.5 Životní výpočty

#### 4.5.1 **Výchozí text**

Historie matematiky sahá až daleko do pravěku. První „vědecké“ záznamy pochází z Mezopotámie (kolem roku 200 př. n. l.). Postupně se vyvíjela, od algebry přes geometrii či matematickou analýzu až do dnešní podoby. Zřejmě prvním člověkem, který využil matematický aparát v biologii, byl Leonardo Pisánský alias **Fibonacci**. Ten v roce 1202 postuloval následující úlohu:

*„Jeden muž umístil pár dospělých králíků (samičku a samečka) do uzavřené ohrady. Kolik párů králíků bude v ohradě na konci jednoho roku, jestliže každý dospělý pár zplodí každý měsíc jeden mladý pár, který začne plodit potomky měsíc po svém narození? (Předpokládá se, že žádný králík v průběhu rozmnožování nezahyne, ani se jinak neztratí.)“*  
(Polák, 2014)

Podrobné řešení úlohy je ponecháno případným zvědavým čtenářům. Úloha je ovšem základem pro tzv. **Fibonacciho posloupnost**, která nachází uplatnění v mnoha biologických, ale i technických a ekonomických aplikacích. Můžeme se s ní setkat také v algologii, např. u uspořádání postranních orgánů na stélce chaluhy *Sargassum muticum* – viz Obrázek 34 (Peaucelle & Couder, 2016).



Obrázek 34: Spirální uspořádání čepelí na stélce chaluhy *Sargassum muticum*. Čísla označují stáří jednotlivých orgánů. (Peaucelle & Couder, 2016).

Fibonacciho posloupnost můžeme definovat pomocí níže uvedeného rekurentního vzorce. Ten nám umožní spočítat libovolný člen posloupnosti (avšak za předpokladu, že známe dva členy předcházející).

$$F_n = F_{n-1} + F_{n-2} \quad n > 2 \quad (F_n)_{n=1}^{\infty} = \{1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, \dots\}$$

Mezi „jednodušší“ matematické výpočty v biologii se řadí například určování diverzity společenstev nebo modelování růstu populací – obě metody jsou součástí této úlohy.

Diverzitu<sup>8</sup> lze určit mimo jiné pomocí **Simpsonova indexu ( $D$ )**. Ten spočteme následujícím způsobem ([www.countrysideinfo.co.uk](http://www.countrysideinfo.co.uk)):

$$D = \sum_{i=1}^S \left(\frac{n}{N}\right)^2$$

$n$  označuje počet jedinců daného druhu ve společenstvu,  $N$  pak celkový počet jedinců ve všech společenstvech,  $S$  je celkový počet společenstev ([www.countrysideinfo.co.uk](http://www.countrysideinfo.co.uk)). Znak  $\Sigma$  (velké písmeno sigma) označuje součet číselné řady a nazývá se suma (též sumační znak).

$D$  nabývá hodnot od 0 do 1. Čím je hodnota vyšší, tím nižší je diverzita společenstva. Simpsonův index diverzity může být definován také jako odečet hodnoty  $D$  od jedné ( $1-D$ ), či jako reciproká (převrácená) hodnota  $D$ . Všechny možnosti jsou správné, je však zapotřebí řádně rozlišovat, která varianta nám dává jakou informaci ([www.countrysideinfo.co.uk](http://www.countrysideinfo.co.uk))

<sup>8</sup> Přesněji řečeno zde hovoříme o tzv. alfa diverzitě, která vypovídá o druhové bohatosti konkrétního vzorku. Dále rozlišujeme ještě beta diverzitu (rozdíly mezi jednotlivými zkoumanými vzorky) a gama diverzitu (celková druhová bohatost v rámci celého regionu) (Whittaker, 1972).

Využití indexů  $D$  a  $1 - D$  demonstruje následující příklad. Mějme tři společenstva A, B a C. V Tabulce 5 je uvedeno jejich druhové složení.

**Tabulka 5: Druhové složení tří hypotetických společenstev.**

	A	B	C
<b>Druh 1</b>	8	12	15
<b>Druh 2</b>	4	10	10
<b>Druh 3</b>	3	11	5
<b>Druh 4</b>	1	9	0

Pro každé jedno společenstvo spočítáme  $D$  a následně i  $1 - D$ :

- A:  $D = \left(\frac{8}{14}\right)^2 + \left(\frac{4}{14}\right)^2 + \left(\frac{3}{14}\right)^2 + \left(\frac{1}{14}\right)^2 = 0,46$
  - B:  $D = \left(\frac{12}{42}\right)^2 + \left(\frac{10}{42}\right)^2 + \left(\frac{11}{42}\right)^2 + \left(\frac{9}{42}\right)^2 = 0,25$
  - C:  $D = \left(\frac{15}{30}\right)^2 + \left(\frac{10}{30}\right)^2 + \left(\frac{5}{30}\right)^2 + \left(\frac{0}{30}\right)^2 = 0,38$
- 
- A:  $1 - 0,46 = 0,54$
  - B:  $1 - 0,25 = 0,75$
  - C:  $1 - 0,38 = 0,62$

Získané výsledky nyní interpretujeme: nejvíce dominantních druhů nalezneme ve společenstvu A, nejméně dominantní jsou pak druhy ve společenstvu B. Největší diverzitu a nejvyrovnanější druhovou skladbu má společenstvo B, naopak nejméně rozmanité je společenstvo A.

U populačního růstu si už bohužel nevystačíme jen se základními matematickými operacemi, nýbrž je potřeba drobně nahlédnout do problematiky funkcí. Těmi hlavními, které budeme potřebovat, jsou funkce **exponenciální** a **logaritmické**. Exponenciální funkce je dána předpisem  $f(x) = a^x$  pro všechna  $a$  z množiny kladných reálných čísel kromě 0 a 1. Speciálním případem, v přírodních vědách velmi významným, je tzv. přirozená exponenciální funkce, která má jako základ **Eulerovo číslo** ( $e$ ), jehož hodnota je přibližně 2,718.

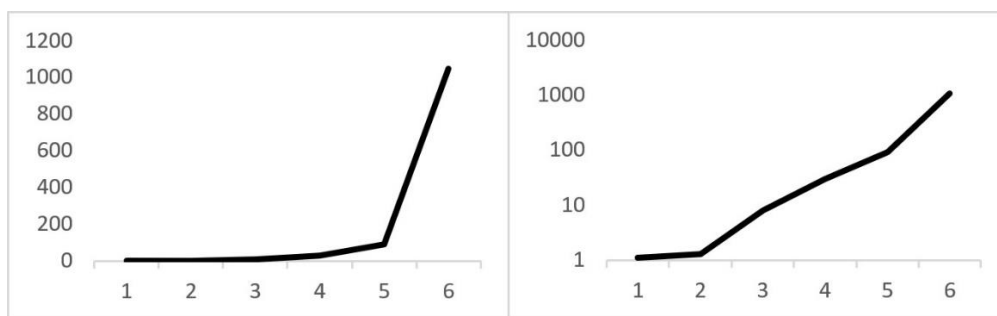
Logaritmus je inverzní funkcí k exponenciále. Je dána předpisem  $f(x) = \log_a(x)$ . Platí pro ni stejné podmínky jako pro exponenciální funkci – základ logaritmu je nenulové kladné reálné číslo různé od 1. Definiční obor logaritmické funkce je  $(0; \infty)$ . Pro nás bude nyní opět důležitý tzv. přirozený logaritmus, mající za základ Eulerovo číslo a zapisovaný jako  $f(x) = \ln(x)$ .

Počítání s logaritmy významně usnadňují následující pravidla. Pro  $x_1, x_2, x > 0; r \in \mathbb{R}$  platí tyto vztahy:

- $\log_a(x_1 x_2) = \log_a(x_1) + \log_a(x_2)$  – logaritmus součinu se rovná součtu logaritmů činitelů
- $\log_a\left(\frac{x_1}{x_2}\right) = \log_a(x_1) - \log_a(x_2)$  – logaritmus podílu se rovná rozdílu logaritmů dělence a dělitele
- $\log_a(x^r) = r \log_a(x), \forall r \in \mathbb{R}$  – logaritmus mocniny se rovná součinu exponentu a logaritmu základu
- $a^x = e^{\ln a^x} = e^{x \ln a}$

Logaritmy se díky možnosti zjednodušení početních výkonů (převod násobení na sčítání) osvědčily jako účinný nástroj v nejrůznějších numerických výpočtech. Ještě relativně nedávno (před rozmachem počítačů) se hojně používaly logaritmické tabulky a logaritmická pravítka, v technické praxi využita např. pro výpočty v rámci vesmírného programu Apollo.

Díky logaritmům se zároveň zjednodušilo zobrazování dat v grafech. Pokud vyneseme do grafu zlogaritmovaná data, zdůrazníme na zobrazené křivce velmi malá čísla, a naopak velmi velké hodnoty potlačíme, což ve výsledku vede k větší přehlednosti – viz Obrázek 35.



Obrázek 35: Srovnání standardní (vlevo) a logaritmické (vpravo) stupnice grafu.

Výpočty související s populačním růstem demonstruje následující modelový příklad. Základním předpokladem pro použití exponenciální rovnice je kontinuální růst. Pro výpočty budeme využívat následující rovnici:

$$N_t = N_0 \cdot e^{rt}$$

$N_t$  značí počet jedinců v určitém čase ( $t$ ),  $N_0$  je počet jedinců na začátku (tj. v čase 0) a  $r$  označuje růstovou rychlost, u které se jako jednotka používá reciproká (převrácená) jednotka

času (pokud udáváme čas  $t$  např. v hodinách, růstovou rychlost udáme v  $h^{-1}$  neboli „v hodinách na minus první“).

Mějme tedy kulturu sinice v nějakém růstovém médiu. V čase 0 (na začátku pozorování) bylo v kultuře 5 jedinců. Po jedné hodině je zde jedinců 40. Cílem je v této chvíli zjistit, jakou rychlostí se sinice množí. Dosadíme do rovnice:

$$40 = 5 \cdot e^r \quad / : 5$$

$$8 = e^r$$

Abychom získali neznámou  $r$  z exponentu, musíme obě strany zlogaritmovat. Pozor – základem mocninné funkce je Eulerovo číslo, musíme tedy použít přirozený logaritmus!

$$\ln 8 = \ln e^r$$

$$\ln 8 = r \ln e$$

$$\ln 8 = r \rightarrow r = 2,08 \rightarrow \text{růstová rychlost je tedy přibližně } 2,08 \text{ h}^{-1}.$$

#### 4.5.2 Metodické pokyny

Tato úloha je určena pro nasměrované bádání. Skládá ze tří podúloh, každá z nich má svou badatelskou otázku. Studenti na základě rozhodnutí vyučujícího buď budou vypracovávat všechny podúlohy, anebo budou rozděleni do tří skupin, přičemž každá skupina se pak bude věnovat jedné z částí. Výchozí text i teoretická část přitom zůstávají beze změny.

Badatelská otázka pro první podúlohu zní: „**Které společenstvo má největší diverzitu?**“. K výpočtu je možné využít Simpsonův index (viz výchozí text), případně Shannon-Wienerův či Margalefův index (Borase et al., 2013). Obrázky 36 a 37 ukazují možnost výpočtu Simpsonova indexu v programu Microsoft Excel.

	A	B	C	D
1	rod	ANA_SAGAR	PUSHKAR	SAMBHAR
2	Anabaena	99	95	0
3	Nostoc	402	190	0
4	Westiellopsis	90	0	0
5	Microcystis	90	0	0
6	Phormidium	459	17	100
7	Plectonema	9	159	20
8	Oscillatoria	0	0	90
9	celkem	1149	461	210

Obrázek 36: Vstupní data pro podúlohu 1 zadaná v programu Microsoft Excel.

F	G	H
<i>hledaná veličina</i>	<i>vzorec</i>	<i>výsledek</i>
D_AS	=SUMA((B2/B9)^2+(B3/B9)^2+(B4/B9)^2+(B5/B9)^2+(B6/B9)^2+(B7/B9)^2+(B8/B9)^2)	0,30
D_P	=SUMA((C2/C9)^2+(C3/C9)^2+(C4/C9)^2+(C5/C9)^2+(C6/C9)^2+(C7/C9)^2+(C8/C9)^2)	0,33
D_S	=SUMA((D2/D9)^2+(D3/D9)^2+(D4/D9)^2+(D5/D9)^2+(D6/D9)^2+(D7/D9)^2+(D8/D9)^2)	0,42
1-D_AS	=1-H2	0,70
1-D_P	=1-H3	0,67
1-D_S	=1-H4	0,58

Obrázek 37: Vzorce pro výpočet Simpsonova indexu v programu Microsoft Excel

Druhá podúloha se věnuje porovnávání datových souborů. Badatelská otázka zní „**Změnila se v průběhu zkoumání druhová bohatost zkoumaných lokalit?**“. Studenti nejdříve spočtou celkové abundance v jednotlivých oblastech a procentuální podíl jednotlivých skupin fytoplanktonu. Následně data porovnají a zodpoví badatelskou otázku. V diskusi pak na základě aktuálně platné legislativy posoudí, na kterých lokalitách došlo k překročení hygienického limitu sinic a určí nejvíce (a naopak nejméně) zastoupené skupiny fytoplanktonu.

Podúloha 3 se zabývá populačním růstem. Zde může být badatelská otázka formulována různým způsobem, např. „**Jaká je růstová rychlost dané kultury?**“, „**Roste počet individuí v médiu exponenciálně?**“ apod. Pro výpočet je zapotřebí využít rovnici uvedenou ve výchozím textu. Tato rovnice předpokládá kontinuální růst – studenti by měli být schopni vysvětlit, zda k němu v tomto případě dochází. Růstovou rychlost je možné pohodlně spočítat ručně s pomocí kalkulačtoru, je však možné výpočet provést i v softwaru (např. WolframAlpha, viz Obrázek 38).

Vzorec pro zjištění počtu individuí v médiu ( $N_t$ ) vytvoříme jednoduše dosazením všech známých proměnných (vč. právě zjištěné růstové rychlosti) do původního vztahu. Poté stačí do vzorce jen dosazovat hodnoty času ( $t$ ) a dopočítat příslušné hodnoty  $N_t$ .

K sestrojení grafu je z důvodu větší přehlednosti doporučeno využít software. Vykreslení funkce v programu GeoGebra je ukázáno na Obrázku 39.




25 = 4e<sup>(2r)</sup>

Extended Keyboard Upload Examples Random

Assuming "e" is a mathematical constant | Use as a unit instead  
Assuming "r" is a variable | Use as a unit instead

Input:  
25 = 4 e<sup>2r</sup>

Alternate form assuming r is real:  
2 e<sup>r</sup> = 5

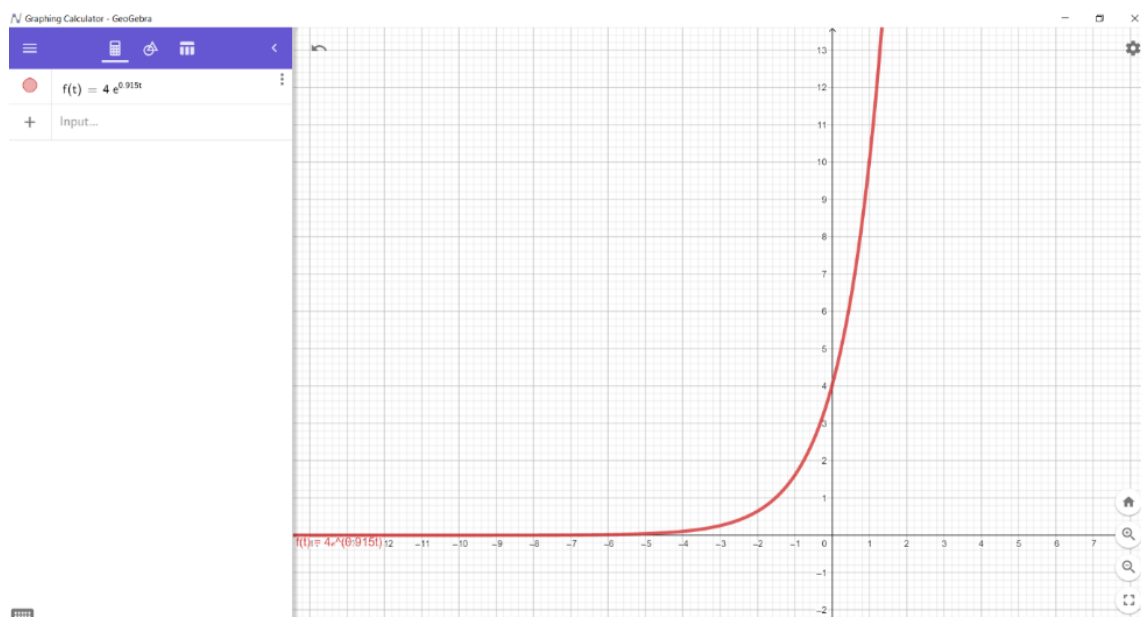
Number line:  


Real solution:   Step-by-step solution

$r = \log\left(\frac{5}{2}\right)$

log(x) is the natural logarithm

Obrázek 38: Výpočet růstové rychlosti v prostředí WolframAlpha.



Obrázek 39: Graf funkce v programu GeoGebra.

## 5 Diskuse

### 5.1 Dotazníkové šetření

Dotazník byl rozeslán elektronickou poštou dne 7. prosince 2020. Celkový dosah (po odečtení zpráv navrátivších se jako nedoručitelných) byl přibližně 270 škol.

Z výsledků dotazníku (viz kapitola 3.1) vyšlo najevo, že 88,4 % učitelů ve své praxi realizuje badatelsky orientovanou výuku. Vzhledem k velmi specifickému vymezení této metody a její nedostatečné akcentaci v českém vzdělávání je však možné usoudit, že dotázaní vyučující při odpovědi na tuto otázku uvažovali obecně aktivizující metody (ve smyslu BOV obvykle na úrovni potvrzujícího bádání – viz kapitola 1.1).

Hlavními důvody nezájmu o tento styl výuky se ukázaly být vysoká náročnost na studenty i vyučující a nedostatek času k provádění badatelských cvičení. Průzkum tak potvrzuje závěry řady předchozích prací (Edelson et al., 1999; Stuchlíková, 2010; Teplá et al., 2018; Radvanová et al., 2018 aj.), které tato úskalí v souvislosti s BOV zmiňují. Badatelsky orientované úlohy by měly obecně být vytvářeny tak, aby byly časově i logisticky nenáročné; jednak z důvodu ohraničených časových možností při výuce, jednak aby pro studenty bylo možné případně na experiment samostatně navázat či jej zopakovat v domácím prostředí, a v neposlední řadě kvůli udržení pozornosti a motivace studentů při bádání (Dostál, 2014).

Nejčastějšími dodavateli mikroskopů (studentských i demonstračních) jsou společnosti Intraco-Micro a Olympus. Velmi častou odpovědí na tyto dotazy bylo „nevím“. Toto nastalo s největší pravděpodobností proto, že průzkum probíhal v období pandemie onemocnění COVID-19, ergo v době distanční výuky. Někteří respondenti tedy zřejmě neměli přístup do školních laboratoří, tudíž nemohli dodavatele techniky s jistotou určit.

Nejobvyklejší maximální zvětšení studentských mikroskopů na dotazovaných školách jsou 400× a 1000×. První uvedená hodnota postačuje k základnímu pozorování většiny druhů sinic a řas, k tisícinásobnému zvětšení je pak třeba se uchýlit při zkoumání např. rozsivek. Aby bylo možné pozorovat všechny detaily rozsivek, je nutné k výrobě preparátů zvolit médium s vysokým indexem lomu světla (Vojíř, 2017). Příkladem takových látek je Pleurax či Naphrax. To však může znamenat komplikaci; příprava prvního jmenovaného média je poměrně komplikovaná (viz Vojíř, 2017), druhé je pak cenově velmi nákladné (např. na webu [www.phycotech.com](http://www.phycotech.com) je k dispozici 200 ml Naphraxu za 402 dolarů, což je v přepočtu přibližně 8 800 Kč).

Podle průzkumu nejčastěji využívané učebnice pro výuku fykologie (Biologie pro gymnázia, Zicháček a Biologie rostlin pro gymnázia, Kincl et al.) jsou již staršího data; první jmenovaná byla naposledy vydána r. 2014, druhá dokonce už v roce 2008. Vzhledem k nestálosti fykologické systematiky a neustále přibývajícím poznatkům o tomto odvětví biologie je to poměrně dlouhá doba. Jako dobrá alternativa se nabízí e-learning, tedy interaktivní webové stránky či programy, ke kterým lze přistupovat pohodlně kdykoli a odkudkoli a v případě změn v nomenklatuře je promptně aktualizovat.

Oslovení učitelé věnují výuce sinic a řas v průměru 5 vyučovacími hodin. Většina dotázaných uvedla, že výuku fykologie doplňuje o laboratorní cvičení (nespecifikováno, zda BOV či jiné aktivizující metody). V „klasickém“ pojetí (tedy ne BOV *sensu stricto*) však laboratorní práce mají obvykle podobu přesně předepsaného postupu a studentům předem známých výsledků, případně i dalších informací (takové aktivity se v anglofonní literatuře označují také jako *cookbook lab activities*, volně přeloženo jako laboratorní cvičení „podle kuchařky“). Ty sice mohou při výuce posloužit jako demonstrace, nicméně studentům neposkytují ani hlubší náhled do problematiky, ani komplexní porozumění (Clough, 2002). Obecně jsou aktivizující metody (též *hands-on activities*) a studentské bádání (BOV) chybně pokládány za totožné (Gooding & Metz, 2012).

## 5.2 Výuka sinic a řas v České republice

Téma fykologie je v českém vzdělávání poměrně problematické. Nejzásadnějšími úskalími jsou nejednotnost učebnic v přístupu k systému sinic a řas a často i nedokonalost informací jimi předávaných, jak ve své práci uvádí Brabcová et al. (2018). Na druhé straně stojí nedostatečný důraz kladený na tuto tematiku. Jak již bylo zmíněno v kapitole 1, české kurikulární dokumenty téma fykologie přímo nezmiňují, přeneseně však lze sinice považovat za součást okruhu *Biologie bakterií* a řasy jako průnikové téma okruhů *Biologie protist* a *Biologie rostlin* (druhý jmenovaný přímo hovoří jen o „stélkatých rostlinách“) (VÚP, 2007).

Právě systémové opominání tohoto tématu a nedostatek kvalitních studijních materiálů představuje pro výuku fykologie podstatné potíže. Pro zlepšení výuky je zapotřebí jednak více akcentovat toto téma v rámcových vzdělávacích programech (zejména s důrazem na ekologický a hospodářský význam sinic a řas) a jednak zajistit odborně zpracované studijní opory. Jak již bylo předestřeno výše, ideální cestou by byla online platforma s prvky e-learningu. Ta by kromě jiného mohla umožnit i práci s multimediálním obsahem, jenž by

vzhledem k povětšinou mikroskopické povaze sinic a řas mohl pro studenty představovat snadnou cestu k (alespoň nepřímému) objevování světa těchto organismů.

Obecně je pak zapotřebí klást větší důraz na zavádění nového systému eukaryot do výuky biologie, např. na základě publikací *Revisions to the Classification, Nomenclature and Diversity of Eukaryotes* (Adl et al., 2019) či *The New Tree of Eukaryotes* (Burki et al., 2020). V českém prostředí se problematice nové systematiky věnovali např. v časopise Živa Juráň & Kaštovský (*Nový pohled na systém řas a jak ho učit*; 2016), Čepička (*Diverzita protist*; 2019) a v článku *Kdy se rostlina stala rostlinou* částečně i Vosolsobě (2020).

Tématu badatelsky orientované výuky v biologii se v českém, resp. slovenském prostředí věnují mj. časopisy Biologie-Chemie-Zeměpis (např. *Rozvíjanie prírodovednej gramotnosti žiakov gymnázia prostredníctvom bádateľsky orientovaného vyučovania*; Čipková et al., 2017, případně *Badateľské praktikum – rozsivky ve forenzní praxi*; Hejduková & Mourek, 2020) či Scientia in educatione (např. *Badateľsky orientované prírodovedné vyučovanie – cesta pro biologické vzdělávání generací Y, Z a alfa?*; Papáček, 2010). Výukou biologie obecně se zabývá také speciální metodická rubrika časopisu Živa. Zatímco v odborné literatuře byla tato problematika za poslední dekádu nahlížena poměrně často, „populárně naučná“ literatura k BOV takřka neexistuje. Výjimkou je např. publikace *Výuka způsobem TEMI: Jak používání záhad podporuje učení přírodních věd* (Carpineti et al., 2015), která se o koncept badatelsky orientované výuky opírá.

Ze zahraniční literatury lze vyzdvihnout publikaci *Explore the World Using Protozoa* (Anderson & Druger, 1997), která předkládá sérii badatelsky orientovaných úloh zaměřených na protista, včetně řas.

### 5.3 Úlohy pro badatelsky orientovanou výuku

Úlohy zpracované v této práci (viz kapitola 4) nebylo kvůli pandemii onemocnění COVID-19 možné vyzkoušet se studenty ve středoškolské praxi. V případě příznivé epidemiologické situace by se testování mohlo uskutečnit nejdříve na podzim r. 2021. Výsledky testování, jakož i případné operativní úpravy či rozšíření úloh by pak byly zpracovány coby samostatný projekt.

## 6 Závěr

Průzkum ukázal, že většina dotázaných vyučujících v nějaké formě praktikuje badatelsky orientovanou výuku. Hlavními důvody nezájmu o tuto metodu jsou nedostatek času a vysoká náročnost, což potvrzuje závěry řady předchozích prací (Edelson et al., 1999; Stuchlíková, 2010; Teplá et al., 2018; Radvanová et al., 2018 aj.). Výuce sinic a řas věnují vyučující v průměru 5 vyučovacími hodin.

V rámci této práce bylo vytvořeno celkem pět badatelských úloh podtrhujících rozličná témata oboru fykologie. Ke každé úloze byly vypracovány výchozí texty, pracovní listy (viz příloha) a metodické pokyny. Každá úloha má přidělenou svou úroveň bádání (viz část 1.1), přičemž zde předložené úlohy pokrývají všechny čtyři úrovně.

Původně zamýšlené testování úloh ve středoškolském vyučování bude realizováno v rámci samostatného projektu.

## 7 Seznam literatury

- ADAMS D. G., DUGGAN P. S. 2009. Cyanobacteria-bryophyte symbioses. *Journal of Experimental Botany*. 59(5):1047-58.
- AGENTURA OCHRANY PŘÍRODY ČR. 2016. *Plán péče o národní přírodní rezervaci Soos na období 2016-2023*. Dostupné z: [https://drusop.nature.cz/ost/archiv/plany\\_pece/](https://drusop.nature.cz/ost/archiv/plany_pece/) (staženo 4. 3. 2021).
- ANDERSON R. O., DRUGER M. 1997. *Explore The World Using Protozoa*. National Science Teachers Association, Arlington. 240 pp.
- BANCHI H., BELL R. 2008. The Many Levels of Inquiry. *Science and Children*. 46(2):26-9.
- BARBOSA J. 2005. Indicators: Acid-Base. In Worsfold P., Townshend A., Poole C. *Encyclopedia of Analytical Science*. Elsevier. pp. 360-71.
- BARINOVA S., MAMANAZAROVA K. 2021. Diatom Algae-Indicators of Water Quality in the Lower Zarafshan River, Uzbekistan. *Water*. 13(3).
- BARSANTI L., GUALTIERI P. 2006. *Algae – Anatomy, Biochemistry and Biotechnology*. CRC Press, Boca Raton. 301 pp.
- BEGON M., HARPER J. L., TOWNSEND C. R. 2006. *Ecology – From Individuals to Ecosystems*. 4th edition. Blackwell Publishing Ltd. Malton. 738 pp.
- BORASE D., DHAR D. W., SINGH N. K. 2013. Diversity Indices and Growth Parameters of Cyanobacteria from Three Lakes of Rajasthan. *Vegetos*. 26(2): 377-83.
- BRABCOVÁ B., VODOVÁ L., HVĚZDOVÁ K. 2018. Analýza tématu Řasy ve vybraných učebnicích přírodopisu. *Scientia in educatione*. 9(1):4-36.
- CARPINETI M., CHILDS P., DITTMAR J., EILKS I., FORTUS D., GILIBERTI M., HOFSTEIN A., JORDAN J., KATCHEVICH D., MAMLOK-NAAMAN R., PELEG R., SHERBONE T., YAYON M. 2015. *Výuka způsobem TEMI: Jak používání záhad podporuje učení přírodních věd*. TEMI – Teaching Enquiry with Mysteries Incorporated. 54 pp.
- CARRAPIÇO F., TEIXEIRA G., DINIZ M. A. 2000. *Azolla* as a Biofertiliser in Africa. A Challenge for the Future. *Revista de Ciências Agrárias*. 23(3-4):120-38.
- CAWLEY K., ZARSKE M. S., YOWELL J. 2008. *Hands-on Activity: Breathing Cells*. Dostupné z: [https://www.teachengineering.org/activities/view/cub\\_cells\\_lesson02\\_activity1](https://www.teachengineering.org/activities/view/cub_cells_lesson02_activity1) (staženo 6. 2. 2021).

- CLOUGH M. P. 2002. Using the Laboratory to Enhance Student Learning. *In* Bybee R. W. (ed.) *Learning Science and the Science of Learning*. NSTA Yearbook. National Science Teachers Association, Washington D.C. 158 pp.
- ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. *Zkratky názvů krajů a okresů*.  
[https://www.czso.cz/csu/czso/13-2199-04-2004-regions\\_and\\_districts\\_\\_\\_abbreviations](https://www.czso.cz/csu/czso/13-2199-04-2004-regions_and_districts___abbreviations) (staženo 28. 3. 2021).
- ČINČERA J. 2014. Význam nezávislých expertních center pro šíření badatelsky orientované výuky v České republice. *Scientia in educatione*. 5(1):74-81.
- DEMOULIN C. F., LARA Y. J., CORNET L., FRANÇOIS C., BAURAIN D., WILMOTTE A., JAVAUX E. J. 2019. Cyanobacteria evolution: Insight from the fossil record. *Free Radical Bio*. 140:206-23.
- DOBBER M., ZWART R., TANIS M., VAN OERS B. 2017. Literature review: The role of the teacher in inquiry-based education. *Educational Research Review*. 22:194-214.
- DOSTÁL J. 2013. Badatelsky orientovaná výuka jako trend soudobého vzdělávání. *e-Pedagogium*. 13(3):81-93.
- DOSTÁL J. 2014. Experimentování žáků při výuce – nové možnosti a perspektivy. *e-Pedagogium*. 14(1):7-19.
- DOSTÁL J. 2015a. *Badatelsky orientovaná výuka. Pojetí, podstata, význam a přínosy*. Univerzita Palackého, Olomouc. 151 pp.
- DOSTÁL J. 2015b. *Badatelsky orientovaná výuka. Kompetence učitelů k její realizaci v technických a přírodovědných předmětech na základních školách*. Univerzita Palackého, Olomouc. 254 pp.
- EDELMANN M., AALTO S., CHAMLAGAIN B., KARILUOTO S., PIIRONEN V. 2019. Riboflavin, niacin, folate and vitamin B12 in commercial microalgae powders. *Journal of Food Composition and Analysis*. 82:1-10.
- EDELSON D. C., GORDIN D. N., PEA R. D. 1999. Addressing the Challenges of Inquiry-Based Learning through Technology and Curriculum Design. *Journal of the Learning Sciences*. 8(3-4):391-450.
- ENVIROEXPERIMENT. Indikátor ze zelí. Dostupné z:  
<https://www.enviroexperiment.cz/chemie-stredni-skola/indikator-ze-zeli> (staženo 8. 2. 2021).

- FÉR POTRAVINA. Seznam éček. Dostupné z: <https://www.ferpotravina.cz/seznam-ecek> (staženo 13. 2. 2021).
- GLIKSON M., LINDSAY K., SAXBY J. 1989. *Botryococcus* – a planktonic green alga, the source of petroleum through the ages: Transmission electron microscopical studies of oil shales and petroleum source rocks. *Organic Geochemistry*. 14(6):595-608.
- GOODING J., METZ B. 2012. Folding Inquiry into Cookbook Lab Activities. *Science Scope*. 35(8):42-7.
- INGLETHORPE S. D. J. 1993. *Industrial Minerals Laboratory Manual: Diatomite*. British Geological Survey, 37 pp.
- JURÁN J., KAŠTOVSKÝ J. 2016. Nový pohled na systém řas a jak ho učit? *Živa*. 6:299-301.
- KALINA T., VÁŇA J. 2005. *Sinice, řasy, houby, mechorosty a podobné organismy v současné biologii*. Nakladatelství Karolinum, Univerzita Karlova, Praha. 606 pp.
- KOVAČ D. J., SIMEUNOVIĆ J. B., BABIĆ O. B., MIŠAN A. Č., MILOVANOVIĆ I. L. 2013. Algae in Food and Feed. *Food and Feed Research*. 1:21-31.
- THE LIVING TANK. 2016. The CO<sub>2</sub> Drop Checker – The ultimate guide. Dostupné z: <http://www.thelivingtank.co.uk/2016/07/article-co2-drop-checker-ultimate-guide.html> (staženo 8. 2. 2021).
- MARŠÁLEK B., KOPP R., MARŠÁLKOVÁ E., SADÍLKOVÁ M. 2008. *Sledování změn v množství a složení fytoplanktonních společenstev Brněnské přehrady v období květen-říjen 2008*. Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny & Sdružení Flos Aquae. Brno. 52 pp.
- MCCONNACHIE A. J., HILL M. P. 2005. *Biological Control of Red Water Fern in South Africa*. Water Research Commission. 108 pp.
- MISHRA M., ARUKHA A. P., BASHIR T., YADAV D., PRASAD G. B. K. S. 2017. All New Faces of Diatoms: Potential Source of Nanomaterials and Beyond. *Frontiers in Microbiology*. 8:1239.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (U.S.) 1996. *National Science Education Standards*. The National Academies Press. Washington, DC. 272 pp.
- NEČAS J., BARTOŠÍKOVÁ L. 2013. Carrageenan: a review. *Veterinární medicína*. 58(4):187-205.



- NOGA T., STANEK-TARKOWSKA J., PAJĄCZEK A. PEZSEK Ł., KOCHMAN N. 2013. Ecological Characterization of Diatom Communities in the Wisłok River with Application of Their Indicatory Role To The Evaluation of Water Quality. *Journal of Ecological Engineering*. 14(4): 18-27.
- NOGA T., STANEK-TARKOWSKA J., PAJĄCZEK A. PEZSEK Ł., KOCHMAN-KĘDZIORA N., LIGEŹKA R. 2016. The use of diatoms to assess the water quality in the Wisłoka River in the town of Dębica and the surrounding area. *International Journal of Oceanography and Hydrobiology*. 45(2): 191-201.
- NOLČOVÁ L., VÁGNEROVÁ P. 2016. Zajímavá a motivující výuka řas a sinic na základních a středních školách. *Arnica*. 5(1-2):32-8.
- NOWICKA-KRAWCZYK P., MÜHLSTEINOVÁ R., HAUER T. 2019. Detailed characterization of the Arthrospira type species separating commercially grown taxa into the new genus Limnospira (Cyanobacteria). *Scientific Reports*. 9(1):1-11.
- OFFWELL WOODLAND & WILDLIFE TRUST. Simpson's Diversity Index. Dostupné z: <http://www.countrysideinfo.co.uk/simpsons.htm> (staženo 7. 4. 2021).
- PABBY A., PRASANA R., SINGH P. K. 2003. Azolla-Anabaena Symbiosis-From Traditional Agriculture to Biotechnology. *Indian Journal of Biotechnology*. 1:26-37.
- PAPÁČEK M. 2010. Badatelsky orientované přírodovědné vyučování – cesta pro biologické vzdělávání generací Y, Z a alfa? *Scientia in educatione*. 1(1):33-49.
- PAYNE R. J. 2013. Seven Reasons Why Protists Make Useful Bioindicators. *Acta Protozoologica*. 52:105-13
- PEAUCELLE, A. COUDER Y. 2016. Fibonacci spirals in a brown alga [*Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt] and in a land plant [*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.]: a case of morphogenetic convergence. *Acta Soc Bot Pol*. 4.
- PEDASTE M., MÄEOTS M, SIIMAN L. A., DE JONG T., VAN RIESEN S. A. N., KAMP E. T., MANOLI C. C., ZACHARIA Z. C., TSOURLIDAKI E. 2015. Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*. 14:47-61.
- PEKSA O., ŠKALOUD P. 2011. Do photobionts influence the ecology of lichens? A case study of enviromental preferences in symbiotic green alga Asterochloris (Trebouxiophyceae). *Molecular Ecology*. 20:3936-48.
- PETR J., DITRICH T., ZÁVODSKÁ R., PAPÁČEK M. 2014. Inquiry based biology education in the Czech Republic: A reflection of five years dissemination. *In Maaß*

- K., Barzel B., Törner G., Wernisch D., Schäfer E., Reitz-Koncebovski K. (eds.) *Educating the educators: International approaches to scaling-up professional development in mathematics and science education. Proceedings of the conference hosted jointly by project mascil (mathematics and science for life) and the German Centre for Mathematics Education (DZLM)*. Essen, SRN, pp. 118-24.
- PETTY G. 2013. *Moderní vyučování*. Nakladatelství Portál, Praha. 562 pp.
  - PHYCOTECH INC. Naphrax Mounting Medium 200 ml Export Pack. Dostupné z: <https://www.phycotech.com/Products/Product-Details/ProductName/naphrax-200-ml-export-pack> (staženo 10. 4. 2021).
  - POLÁK J. 2014. *Didaktika matematiky: jak učit matematiku zajímavě a užitečně*. 1. vydání. Nakladatelství Fraus, Plzeň. 431 pp.
  - POULÍČKOVÁ, A. 2011. *Základy ekologie sinic a řas*. Univerzita Palackého v Olomouci. 86 pp.
  - RADVANOVÁ S., ČÍŽKOVÁ V., MARTINKOVÁ P. 2018. Mění se pohled učitelů na badatelsky orientovanou výuku? *Scientia in educatione*. 9(1):81-103.
  - REN21. 2020. *Renewables 2020 Global Status Report*. REN21 Secretariat, Paris. 365 pp.
  - ROKOS L., LIŠKOVÁ J. 2020. Badatelsky orientovaná výuka ve výuce přírodopisu a biologie pohledem učitelů z praxe a budoucích učitelů. *Arnica*. 10(1):18-25.
  - ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ J. 2007. Metody odběru vzorků. In *Encyklopedie hydrobiologie: výkladový slovník*. VŠCHT Praha. [http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_es-006/ebook.html?p=M014](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-006/ebook.html?p=M014) (staženo 18. 2. 2021).
  - SAAD M. G., DOSOKY N. S., ZOROMBA M. S., SHAFIK H. M. 2019. Algal Biofuels: Current Status and Key Challenges. *Energies*. 12.
  - SDRUŽENÍ TEREZA. GLOBE. Dostupné z <http://terezanet.cz/cz/globe> (staženo 14. 3. 2021).
  - SHUKLA S. K., MOHAN R. 2012. The Contribution of Diatoms to Worldwide Crude Oil Deposits. In Gordon R., Seckbach J. *The Science of Algal Fuels: Phycology, Geology, Biophotonics, Genomics and Nanotechnology*. Springer, Dordrecht. pp. 355-82.
  - SLÁDEČEK V., SLÁDEČKOVÁ A. 1996. *Atlas vodních organismů se zřetelem na vodárenství, povrchové vody a čistírny odpadních vod. 1. díl: Destruenti a*

*producenti*. Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Agrospoj Praha. 350 pp.

- SOUSA W. P. 1979. Experimental Investigations of Disturbance And Ecological Succession In A Rocky Intertidal Algal Community. *Ecological Monographs*, 49(3):227-54.
- STŘEDISKO EKOLOGICKÉ VÝCHOVY SEVER. Pobytové výukové programy v Krkonoších 2019/2020. Dostupné z: [https://sever.ekologickavychova.cz/vyukove-programy/pobytove-vyukove-programy/sever-katalog-2019-2020-pobytovky\\_fin/](https://sever.ekologickavychova.cz/vyukove-programy/pobytove-vyukove-programy/sever-katalog-2019-2020-pobytovky_fin/) (staženo 14. 3. 2021).
- STUHLÍKOVÁ I. 2010. O badatelsky orientovaném vyučování. In Papáček M (ed.) *Didaktika biologie v České republice 2010 a badatelsky orientované vyučování. Dibi 2010. Sborník příspěvků semináře, 25. a 26. března 2010*. Jihočeská univerzita, České Budějovice, pp. 129-35.
- TEPLÁ M., VÖLKLOVÁ V., SLOUPOVÁ M. 2018. Badatelsky orientovaná výuka ve školní praxi. In Čtrnáctová H., Nesměrák K., Teplá M. (eds.) *Proceedings of the International Conference DidSci Plus – Research in Didactics of Science PLUS*. Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Praha, pp. 413-21.
- VACÍK J., BARTHOVÁ R., PACÁK J., STRAUCH B., SVOBODOVÁ M., ZEMÁNEK F. 1999. *Přehled středoškolské chemie*. SPN, Praha. 368 pp.
- VOJÍŘ K. 2017. Příprava pleuraxu pro tvorbu trvalých rozsivkových preparátů. *Biologie-Chemie-Zeměpis*. 26(1):23-8.
- VÝZKUMNÝ ÚSTAV PEDAGOGICKÝ. 2007. *Rámcový vzdělávací program pro gymnázia*. Praha. 100 pp.
- WAGNER G. M. 1997. Azolla: A Review of Its Biology and Utilization. *The Botanical Review*. 63(1):1-26.
- WHITTAKER R. H. 1972. Evolution And Measurement Of Species Diversity. *Taxon*. 21(2/3):213-51.
- ZAHAJSKÁ P., OPFERGELT S., FRITZ S. C., STADMARK J., CONLEY D. J. 2020. What is diatomite? *Quaternary Research*. 96:48-52.
- ZNACHOR P. 2008. Rozsivky – podivuhodné řasy v krabičce. *Živa*. 1:10-1.

## 8 Příloha

### Jsou mezi námi

Jméno:

Datum:

Badatelská otázka:

#### **Teoretická část**

Za pomoci internetu, výchozího textu či jiné literatury zodpovězte následující otázky:

1. Bez sinic by na planetě Zemi zřejmě neexistoval život tak, jak jej dnes známe. Proč?
2. Jaké známe typy chlorofylů? Ke každému přiřadte alespoň jednu skupinu sinic či řas, která jej obsahuje.
3. Vybrané druhy sinic a řas nejenže jsou vhodné ke konzumaci či zevnímu užití člověkem, ale dokonce jsou zdraví prospěšné. Na jaké látky jsou sinice a řasy obecně bohaté?
4. Promyslete, jaké výhody a nevýhody mají sinice a řasy coby biopalivo.
5. Zjistěte, jak se řasy, popř. sinice pěstují pro průmyslové účely.
6. Co je to agar? Zjistěte, jak se připravuje a jaké má využití v průmyslu, vědě či gastronomii.
7. Zvolte si libovolné barvivo sinic/řas a zjistěte, jakým způsobem se z nich extrahuje. Dokázali byste extrakci provést v podmínkách školní laboratoře? Pokud ano, jak?
8. Zamyslete se, proč se pozornost potravinářského průmyslu začíná ubírat směrem přírodních barviv a aditiv.

#### **Praktická část**

##### Potřeby

- internet
- fotoaparát (stačí v mobilním telefonu)
- *volitelné*: prezentační software (např. Microsoft Powerpoint)

##### Postup

1. Najděte na trhu co možná nejvíce produktů obsahujících sinice a řasy či aditiva z nich vyrobená.
2. Při průzkumu v supermarketu není nutné produkty nakupovat, stačí pořídit jejich fotografie.
3. Pokuste se najít výrobky popsané v kroku 1 ve vaší domácnosti. Pokud to bude možné, přineste je do školy.

#### **Diskuse**

1. Kde a jak jste průzkum prováděli (supermarket, internet, letáky prodejen...)?
2. S pomocí internetu ověřte, že vámi nalezené produkty opravdu obsahují přídatné látky ze sinic a řas.
3. Ve třídě utvořte skupiny po maximálně 5 lidech. V těchto skupinách si vzájemně představte produkty, které jste našli.
4. Ve skupinách si připravte prezentaci, kde ostatním studentům předvedete produkty, které jste vyhledali. Můžete pohovořit i o extrakci vámi zvolených barviv (viz otázka 8 teoretické části).

## Mikroskopičtí pionýři

Jméno:

Datum:

Badatelská otázka:

### **Teoretická část**

Za pomoci internetu, výchozího textu či jiné literatury zodpovězte následující otázky:

1. Vysvětlíte pojmy saprobity, eutrofizace a perifyton.
2. Na základě ročního období, ve kterém bude úloha prováděna odhadněte, jaké skupiny sinic a řas by se v dané vodní nádrži mohly nacházet. Zvláštní pozornost věnujte perifytonním druhům.
3. Jaké skupiny sinic a řas se obecně řadí do perifytonu. Uveďte alespoň čtyři.
4. Jmenujte alespoň dva koloniální druhy sinic. Zamyslete se, proč je pro ně koloniální život výhodný.
5. Co je abundance? Jak se stanovuje (jak obecně, tak i v hydrobiologii). Jaký je rozdíl mezi absolutní a relativní abundancí?
6. Co je disturbance? Čím může být ve vodním prostředí způsobena? Jaký vliv má na průběh sukcese?
7. Vysvětlíte latinské pojmy *in vivo* a *in vitro*.

### **Praktická část**

#### Potřeby

- substrát pro získání nárostů: např. mycí houby, podložní sklíčka aj.
- drát, provaz či jiný materiál k propojení substrátů
- rybářská olůvka či jiný materiál k zatížení substrátů
- mikroskop a příslušné vybavení (sklíčka, pipety apod.)
- uzavíratelné sklenice s víčkem

#### Postup

1. Důkladně promyslete, jakou informaci chcete bádáním získat a formulujte ji do badatelské otázky.
2. Vyberte vodní nádrž ve vašem okolí.
3. V závislosti na badatelské otázce rozhodněte, jaký materiál použijete pro tvorbu substrátů a jakým způsobem je do vody rozložíte.
4. Umístěte substráty do vody a řádně je připevněte ke dnu.
5. Vzorky ponechte ve vodě ideálně po dobu dvou měsíců. Pokud to bude možné, pravidelně je kontrolujte.
6. Po uplynutí stanoveného času substráty vyjměte. Pokud jste použili mycí houby či polyethylen, vyždímejte ihned po vyjmutí jeho obsah do sklenice, která byla předtím vypláchnuta vodou z nádrže. Každý substrát ždímejte do jiné nádoby!
7. V laboratoři odeberte vzorky získané ze substrátů a vytvořte dočasné preparáty.
8. Pomocí klíče/atlasu určete co nejvíce skupin organismů ve vzorcích přítomných.

## Diskuse

1. Vepište do tabulky požadovaná data:

<b>název nádrže:</b>	
<b>poloha substrátů:</b>	
<b>datum začátku pokusu:</b>	
<b>datum ukončení pokusu:</b>	
<b>datum pozorování v laboratoři:</b>	

2. Schematicky zakreslete rozestavění substrátů ve vodě. Popište, proč jste zvolili právě takové.
3. Na základě mikroskopického pozorování vyhodnoťte vámi formulovanou badatelskou otázku. Přinesl vám na ni experiment odpověď? Pokud ne, zkuste zapřemýšlet proč. Co byste při hypotetickém opakování pokusu udělali jinak?
4. Tato badatelská úloha se odehrávala tzv. in vivo. Bylo by možné ji provést i in vitro (např. v akváriu nebo jiné větší nádobě)? Zamyslete se, jaké by tato metoda mohla mít výhody a nevýhody.
5. Jako skupina odprezentujte výsledky vašeho bádání ostatním studentům.

## Musíme si pomáhat: *Azolla-Trichormus*

Jméno:

Datum:

Badatelská otázka:

### **Teoretická část**

Za pomoci internetu, výchozího textu či jiné literatury zodpovězte následující otázky:

1. Vysvětlete následující pojmy: symbióza, mutualismus, parazitismus.
2. Proč je symbióza pro organismy užitečná?
3. Vyjmenujte alespoň tři dvojice organismů žijící v symbióze.
4. Z výchozího textu víte, že systém *Azolla-Trichormus* je významný pro produkci rýže. Má v zemědělství i jiné využití? Pokud ano, uveďte jaké.
5. Co je **mykorhiza** a mezi kterými skupinami organismů nastává?
6. Co jsou to **lišejníky** (Lichenes)?
7. Co je taxonomická a ekologická skupina a jaký je mezi nimi rozdíl? Do které z těchto se řadí lišejníky?

### **Praktická část**

Potřeby

- *Azolla* spp.
- žiletka, popř. skalpel
- mikroskop
- podložní a krycí sklíčko
- Petriho miska
- tužka, příp. fotoaparát

Postup

1. Odeberte list kapradiny.
2. Vytvořte dočasný preparát. Máte na výběr ze dvou možností:
  - a. Provést tenký podélný řez listem.
  - b. Rozetřít list na podložním sklíčku.
3. Pozorujte preparát pod mikroskopem.
4. Zakreslete, popř. vyfotografujte podobu preparátu.

### **Diskuse**

1. Pokud jste prováděli podélný řez listem, vyznačte na nákrese dorzální a ventrální lalok, listovou dutinu a sinice, které se zde nacházejí.
2. Na nákrese sinice označte vegetativní buňky a heterocyty (pokud jsou vidět).
3. Prezentujte výsledky svého bádání druhé skupině.

## Musíme si pomáhat: lišejníky

Jméno:

Datum:

Badatelská otázka:

### **Teoretická část**

Za pomoci internetu, výchozího textu či jiné literatury zodpovězte následující otázky:

1. Vysvětlete následující pojmy: symbióza, mutualismus, parazitismus.
2. Proč je symbióza pro organismy užitečná?
3. Vymenujte alespoň tři dvojice organismů žijící v symbióze.
4. Z výchozího textu víte, že systém *Azolla-Trichormus* je významný pro produkci rýže. Má v zemědělství i jiné využití? Pokud ano, uveďte jaké.
5. Co je **mykorhiza** a mezi kterými skupinami organismů nastává?
6. Co jsou to **lišejníky** (Lichenes)?
7. Co je taxonomická a ekologická skupina a jaký je mezi nimi rozdíl? Do které z těchto se řadí lišejníky?

### **Praktická část**

Potřeby

- lišejník
- papírová obálka
- žiletka, popř. skalpel
- mikroskop + podložní a krycí sklíčko, pipeta
- tužka, příp. fotoaparát
- klíč pro určování lišejníků

Postup

1. V přírodě či ve městě odeberte (odřízněte či opatrně uloupněte) lišejník.
2. Lišejník vložte do papírové obálky. Na obálku uveďte vaše jméno (popř. číslo skupiny), datum a místo odběru, druh lišejníku (pokud jej rozpoznáte už na místě).
3. Odebraný vzorek přineste do školy. Pokud jste jej ještě neurčili, učiňte tak.
4. V laboratoři lišejník opatrně očistěte od případných nečistot.
5. Pomocí žiletky či skalpelu proveďte příčný řez.
6. Připravte dočasný preparát, který následně pozorujte pod mikroskopem.
7. Na čistý papír zakreslete podobu řezu.

### **Diskuse**

1. Jaký rod lišejníku jste použili? Uveďte i datum a místo odběru.
2. Na nákresu řezu označte mykobionta a fotobionta. Jak jsou fyzicky propojeni?
3. Prezentujte výsledky svého bádání druhé skupině.



## Zhluboka dýchat

Jméno:

Datum:

Badatelská otázka:

### **Teoretická část**

Za pomoci internetu, výchozího textu či jiné literatury zodpovězte následující otázky:

1. Jaké jsou reaktanty a produkty procesu respirace?
2. Čím se zabývá oblast chemie zvaná odměrná analýza?
3. Co je pH? Jak se určuje a jakých nabývá hodnot?
4. Jak se nazývají organismy žijící v extrémně kyselých a extrémně zásaditých prostředích?
5. Co jsou a na jakém principu fungují acidobazické indikátory? Uveďte několik příkladů.
6. Odvar z červeného zelí je jedním z přírodních acidobazických indikátorů. Co v tomto roztoku způsobuje změny zbarvení při zvyšování/snižování pH?
7. Jaký je rozdíl mezi hrubou a čistou primární produkcí?

### **Praktická část**

#### Potřeby

- bromthymolová modř (0,01%), popř. jiný indikátor
- barevná škála pH k příslušnému indikátoru
- roztok hydrogenuhličitanu sodného (0,001%) – volitelné
- řasokoule zelená (*Aegagropila linnaei*)
- pipeta
- kádinky

#### Postup

1. Naplňte kádinku vodou. Můžete ihned přidat několik kapek indikátoru.
2. Pokud budete stanovovat množství vyprodukovaného CO<sub>2</sub>, musíte nejprve „zkalibrovat“ barevnou škálu. S pomocí pipety do kádinky přidávejte po kapkách (~0,1 ml) hydrogenuhličitan sodný. Zaznamenejte, kolik NaHCO<sub>3</sub> jste spotřebovali k dosažení jednotlivých úrovní pH.
3. Připravte dvě kádinky se stejným množstvím vody. Do obou přidejte stejně množství indikátoru.
4. Do první kádinky vložte řasokouli, druhou ponechte prázdnou coby kontrolní.
5. Pozorujte barevné změny v roztoku.

### **Diskuse**

1. Jaký indikátor jste použili?
2. Jak dlouho trvalo vaše pozorování?
3. (BO 1) Podařilo se vám prokázat respirační aktivitu řasokoule?
4. (BO 2) Kolik CO<sub>2</sub> řasokoule během stanovené doby celkem vyprodukovala?
5. Změnila se během pozorování barva v kontrolní kádince? Pokud ano, čím to mohlo být způsobeno? Co to znamená pro výsledek bádání?

# Životní výpočty

Jméno:

Datum:

## Teoretická část

Za pomoci internetu, výchozího textu či jiné literatury zodpovězte následující otázky:

1. Vysvětlete pojmy společenstvo, diverzita, dominance, abundance.
2. Ve výchozím textu je jako příklad indexu diverzity uveden Simpsonův index. Existují i jiné podobné veličiny? Jak se počítají? Jaké jsou mezi nimi rozdíly?
3. Na čem podle vás může záviset růst populace sinic a řas ve společenstvu?
4. Jakou výhodu má tzv. exponenciální zápis čísel (např.  $10^6$  nebo  $3 \cdot 10^{-7}$ )?
5. Jaké další matematické „mechanismy“ kromě exponenciálních a logaritmických funkcí se využívají v biologii?
6. Jaký je hygienický limit pro fytoplankton (v buňkách/ml) pro přírodní koupaliště?

## Praktická část

Potřeby

- psací potřeby
- kalkulačka
- počítač
- matematický software – např. GeoGebra, Wolfram Mathematica/Wolfram Alpha, MS Excel, OpenOffice.org Calc, RStudio aj.

1) Výpočet diverzity společenstva

**Badatelská otázka:**

Byly zkoumány tři rybníky ve státě Rádžasthán v Indii. Tabulka 1 udává rody zastoupené ve zkoumaných vzorcích a jejich abundanci. Vyberte dle vašeho názoru nejvhodnější index k výpočtu diverzity a aplikujte jej.

**Tabulka 1: Abundance sinic v rádžasthánských rybnících (CFU = kolonie tvořící jednotky) (zdroj dat: Borase et al., 2013).**

rod	CFU/ml		
	Ana Sagar	Pushkar	Sambhar
<i>Anabaena</i>	99	95	-
<i>Nostoc</i>	402	190	-
<i>Westiellopsis</i>	90	-	-
<i>Microcystis</i>	90	-	-
<i>Phormidium</i>	459	17	100
<i>Plectonema</i>	9	159	20
<i>Oscillatoria</i>	-	-	90

2) Porovnávání datových souborů – hodnocení kvality vody

Tabulky 2, 3 a 4 uvádí složení fytoplanktonních společenstev v několika lokalitách na Brněnské přehradě. Spočtete celkové abundance v buňkách na ml vody a procentuální podíl jednotlivých taxonomických skupin.

**Tabulka 2: Zastoupení fytoplanktonních skupin v Brněnské přehradě dne 7. 5. 2008 (zdroj dat: Maršálek et al., 2008).**

	Mečkov	Zouvalka	Rokle	Pláž	Sokolák	Střed	Rakovec	Hráz	Odtok
Cyanobacteria	9226	8750	x	14583	10208	5313	12344	9792	6875
Bacillariophyceae	25298	38125	84375	49583	42292	65313	34844	48958	39375
Chlorophyta (bičíkovci)	x	x	x	208	208	625	156	208	208
Chlorophyta (kokální)	3274	1250	14375	6250	4792	5313	2500	3542	2708
Chrysophyceae	x	625	625	208	x	x	x	208	x
Xanthophyceae	x	313	x	x	x	x	x	x	x
Dinophyceae	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Conjugatophyceae	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Euglenophyceae	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Cryptophyceae	x	313	1250	x	x	1563	313	208	208

**Tabulka 3: Zastoupení fytoplanktonních skupin v Brněnské přehradě dne 4. 6. 2008 (zdroj dat: Maršálek et al., 2008).**

	Mečkov	Zouvalka	Rokle	Pláž	Sokolák	Střed	Rakovec	Hráz	Odtok
Cyanobacteria	3365	781	2193	x	x	x	x	x	x
Bacillariophyceae	13462	44141	10307	1094	688	167	417	250	156
Chlorophyta (bičíkovci)	962	2734	219	234	375	250	625	250	63
Chlorophyta (kokální)	11538	10547	5811	16250	8125	4167	13438	14375	4313
Chrysophyceae	x	x	x	78	x	x	x	x	x
Xanthophyceae	240	x	110	x	x	x	x	x	x
Dinophyceae	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Conjugatophyceae	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Euglenophyceae	x	x	329	x	x	x	x	x	x
Cryptophyceae	1202	1953	658	156	938	42	104	313	x

**Tabulka 4: Zastoupení fytoplanktonních skupin v Brněnské přehradě dne 9. 7. 2008 (zdroj dat: Maršálek et al., 2008)**

	Mečkov	Zouvalka	Rokle	Pláž	Sokolák	Střed	Rakovec	Hráz	Odtok
Cyanobacteria	1250	312500	185330	240	133780	125600	145520	185300	33540
Bacillariophyceae	3200	1002	1250	350	850	540	455	603	1140
Chlorophyta (bičíkovci)	5520	14100	10250	5529	2455	7083	1875	2244	1250
Chlorophyta (kokální)	16875	17813	5156	33654	33705	26042	18333	23878	17708
Chrysophyceae	625	x	x	x	x	x	x	x	x
Xanthophyceae	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Dinophyceae	1250	x	x	x	x	x	x	x	x
Conjugatophyceae	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Euglenophyceae	x	x	x	255	x	x	x	480	x
Cryptophyceae	11250	580	589	250	390	360	780	665	620

### 3) Populační růst

#### Badatelská otázka:

Mějme živné médium a v něm kontinuálně se množící kulturu sinice. Na začátku pokusu byla v kultuře 4 individua. Po dvou dnech zde bylo 25 individuí. Vypočítejte růstovou rychlost  $r$ .

Sestavte funkci („vzorec“) pro zjištění počtu individuí v médiu. Následně s jeho pomocí doplňte chybějící data v tabulce. Poté sestrojte graf funkce.

$t$	0,5 d	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	7 d
$N_t$			25					

### Diskuse

#### 1) Stanovení diverzity společenstva

1. Jaký index jste k výpočtům použili a proč?
2. Zhodnoťte povahu společenstev. Který z rybníků je druhově nejrozmanitější a který naopak nejméně?

#### 2) Hodnocení kvality vody

1. Jak se v průběhu měření měnila abundance fytoplanktonu?
2. Na kterých lokalitách byl ve dnech odběru překročen hygienický limit sinic?
3. Které skupiny byly na přehradě nejvíce a které naopak nejméně dominantní?

#### 3) Populační růst

1. Posudte, zda je vámi spočítaná růstová rychlost velká, anebo naopak malá. Očekávali byste rychlejší nebo naopak pomalejší růst?
2. Existuje nějaký způsob, jak zrychlit růst kultur *in vitro*?
3. Bude růst v živném médiu pokračovat do nekonečna? Proč ano/proč ne?
4. Prohlédněte si vámi sestrojený graf funkce. Určete definiční obor funkce a rozhodněte, která jeho část dává pro použití v této úloze smysl.