

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**

**Přírodovědecká fakulta**

**Všechno, co jste kdy chtěli vědět o řasách (ale báli  
jste se zeptat)**

**Bakalářská práce**

**Denisa Lejsková**

Školitel: Mgr. Josef Juráň, Ph.D.

České Budějovice 2022

Lejsková, D. 2022. Všechno, co jste kdy chtěli vědět o řasách (ale báli jste se zeptat) [Everything you ever wanted to know about algae (but you were afraid to ask), Bc. Thesis, in Czech] – 155 pp. Faculty of Science, University of South Bohemia, České Budějovice, Czech republic.

**Anotace:**

Bakalářská práce se zabývá tématem výuky sinic a řas na středních školách v České republice. Teoretická část práce se věnuje porovnání dostupných informací v kurikulárních dokumentech a rozsahu výuky daného tématu na SŠ. Praktická část obsahuje návrhy didaktických materiálů. Byl vytvořen studijní text, prezentace pro vyučující a pracovní listy pro praktickou výuku s prvky badatelsky orientované výuky (BOV) s metodickými listy.

**Annotation:**

The bachelor thesis deals with the topics of teaching cyanobacteria and algae at secondary schools in the Czech Republic. The theoretical part of the thesis deals with the comparison of available information in curricular documents and the coverage of teaching the topic at high school. The practical part contains proposals for didactic materials. A study text, presentations for teachers and worksheets for practical teaching with elements of Inquiry-based learning (IBL) with methodical sheets were created.

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

České Budějovice, 8.4.2022.

.....

Denisa Lejsková



### **Poděkování:**

Chtěla bych poděkovat vedoucímu své bakalářské práce Mgr. Josefu Juráňovi, Ph. D. za odborné vedení a cenné rady při zpracování této práce. Děkuji také vyučujícím biologie Mgr. Jarmile Ichové, Mgr. Andree Lejskové, Mgr. Monice Maradové a Mgr. Janě Hudákové, které mi umožnily vyzkoušet mnou vytvořené didaktické materiály ve výuce, za jejich praktické rady.

## OBSAH

1	ÚVOD .....	1
2	CÍLE PRÁCE .....	3
3	METODIKA.....	4
3.1	Analýza učebnic.....	4
3.2	Dotazníkové šetření .....	5
3.3	Zpracování materiálů .....	8
4	VÝSLEDKY .....	9
4.1	Analýza učebnic.....	9
4.2	Dotazníkové šetření .....	13
4.3	Studijní text.....	22
4.3.1	Sinice a řasy v odborné literatuře.....	22
4.3.1.1	Sinice.....	22
4.3.1.2	Řasy.....	25
4.3.2	Role sinic a řas v biogeochemických cyklech .....	39
4.3.3	Role řas v přechodu na souš.....	58
4.3.4	Charakteristika jednotlivých skupin řas .....	62
4.3.4.1	Oddělení: Euglenophyta – krásnoočka .....	62
4.3.4.2	Oddělení: Cryptophyta – skrytěnky .....	65
4.3.4.3	Oddělení: Dinophyta – obrněnky .....	66
4.3.4.4	Oddělení: Haptophyta .....	68
4.3.4.5	Oddělení: Ochrophyta – hnědé řasy .....	69
4.3.4.5.1	Třída: Chrysophyceae – zlativky .....	70
4.3.4.5.2	Třída: Bacillariophyceae – rozsivky .....	71
4.3.4.5.3	Třída: Xanthophyceae – různobrvky .....	73
4.3.4.5.4	Třída: Phaeophyceae – chaluhy .....	74
4.3.4.6	Oddělení: Rhodophyta – ruduchy .....	75
4.3.4.7	Zelené rostliny (Viridiantae, Chloridopsida).....	77
4.3.5	Biotické interakce sinic a řas: .....	52
4.4	PowerPointové prezentace .....	85

4.5	Pracovní a metodické listy .....	85
5	DISKUSE.....	86
5.1	Dotazníkové šetření .....	86
5.2	Výuka sinic a řas na středních školách.....	90
5.3	Didaktické materiály .....	92
6	ZÁVĚR.....	96
7	SEZNAM LITERATURY .....	97
8	SEZNAM PŘÍLOH.....	114
9	PŘÍLOHY .....	114

# 1 ÚVOD

Se sinicemi (Cyanobacteria) a řasami (Algae) se můžeme setkat téměř všude. I přes jejich všudypřítomnost a význam jsou však sinice i řasy ve výuce biologie na SŠ zmiňovány velmi okrajově. Problémem je především rozdílný pohled na systém v kurikulárních dokumentech a nedostatečné množství informací o daném tématu.

Sinice jsou drobná a jednoduchá autotrofní prokaryota. Jsou to jedny z nejstarších organismů na naší planetě. Jejich stáří je datováno před více než 3 miliardy let. Díky jejich schopnosti fotosyntetizovat jsme dnes schopni na naší planetě žít a dýchat, protože především sinice jsou zodpovědné za složení dnešní atmosféry s vysokým obsahem kyslíku (Fott, 1967).

Řasy jsou jednobuněčné nebo mnohobuněčné autotrofní organismy. Jejich stavba je většinou jednoduchá, ale najdeme mezi nimi i výjimky, jejichž těla jsou poměrně složitá např. chaluhy a parožnatky. Společným znakem řas je tělo tvořené stélkou, která se liší od těl cévnatých rostlin především tím, že není diferenciována na kořen, stonek a list.

Cílem této práce bylo především vytvoření přehledného studijního textu pro vyučující, ze kterého mohou učitelé čerpat při výuce. Dalším cílem práce byla tvorba studijních materiálů, které by mohly zatraktivnit výuku řas a sinic na středních školách. Při tvorbě materiálů jsem se zaměřila i na praktické využití znalostí studentů v rámci laboratorních prací, ve kterých se objevují prvky badatelsky orientované výuky (BOV).

Badatelsky orientovaná výuka (zkráceně BOV) je účinná aktivizující metoda vyučování, která vychází z konstruktivistického přístupu ke vzdělání. Tato metoda nemá dlouhého trvání. První zmínky o této metodě v Rámcovém vzdělávacím programu byly až v roce 2008 (Samková et al., 2015). Vyučující při BOV má roli průvodce při řešení problémů a pouze navrhuje žákům ke správnému postupu. Badatelsky orientovaná výuka se jeví jako vhodná metoda pro řešení kritických situací. Cílem BOV je umožnit studentovi samostatně a aktivně objevovat nové poznatky pomocí bádání (Dostál, 2013).

Metody používané při badatelsky orientované výuce jsou téměř totožné s těmi, které používají vědci při vědeckém bádání. Studenti si tedy mohou v hodinách vyzkoušet, jaké je to být vědcem (Janoušková et al., 2008). Při BOV se studenti seznamují s několika postupy práce: hypotetické řešení, konstrukce metod řešení, získání a zpracování výsledků a závěr

práce. BOV umožňuje žákovi samostatně nebo ve spolupráci se spolužáky formulovat problém, navrhnout vhodné metody, hledat informace a podobně (Bransford et al., 1999, Papáček, 2010, Petr, 2014)

Badatelsky orientovaná výuka není ani v dnešní době tak známá a využívaná. I přes snahu o častější zařazování BOV do výuky se na většině škol prvky badatelsky orientované výuky nepoužívají. Studenti, kteří přijdou do styku s BOV poprvé, mají většinou zpočátku problém, než si na nový styl učení navykou (Teplá et al., 2018). Proto je vhodné, aby učitel začínal s jednoduššími úlohami a přecházel postupně ke složitějším (Banchi & Bell, 2008).

V odborné literatuře se bádání rozděluje na čtyři úrovně (Banchi & Bell, 2008):

- **Potvrzující:** Student dostane od učitele položenou otázku, přesný postup i řešení. Tento typ bádání je vhodný například k opakování látky, kterou by měli studenti znát.
- **Strukturované:** Studenti dostanou položenou otázku a znají přesný postup experimentu. Tato úroveň se však od první úrovně liší v tom, že student nezná předem výsledek experimentu a musí k němu dojít. Díky této úrovni se studenti mají možnost naučit provádět správná měření a pracovat s výsledky.
- **Nasměrované:** U této úrovně dostanou studenti od vyučujícího pouze položenou otázku a postup s řešením už je na nich samotných. U této metody už by měli studenti mít dostatečné zkušenosti s bádáním.
- **Otevřené:** U této úrovně bádání mají studenti úplnou volnost, co se týče experimentu. Sami si pokládají otázky a hledají řešení. U této úrovně je nezbytné, aby studenti byli dostatečně zdatní v prvních třech úrovních bádání.

Pro vyučující je BOV náročná na přípravu i realizaci. Učitel by měl mít sám zkušenosti s bádáním a měl by při zařazení BOV do výuky sám experiment vždy vyzkoušet (Dostál, 2013).

## 2 CÍLE PRÁCE

Hlavními cíli bakalářské práce byly:

1. Provést dotazníkové šetření mezi vyučujícími na SŠ ohledně rozsahu výuky sinic a řas.
2. Porovnat informace o sinicích a řasách ve středoškolských učebnicích v ČR nebo v zahraničí.
3. Připravit rozšiřující materiály: studijní texty, prezentace pro vyučující a pracovní listy s prvky BOV pro studenty.
4. Materiály by měly být v oblasti: role sinic a řas v biogeochemických cyklech, biotické interakce, role řas v přechodu na souš.
5. Dotazníkové šetření mezi vyučujícími a studenty z vybraných škol k zjištění jejich postoje k materiálům.

### 3 METODIKA

Má bakalářská práce se skládá ze dvou částí. První částí je část teoretická, která je věnovaná především analýze středoškolských učebnic a následné rešerši odborné literatury věnované sinicím a řasám, která je posléze použita v didaktických materiálech.

Druhou částí je část praktická, která je věnovaná tvorbě didaktických materiálů pro vyučující a studenty. Těmito materiály jsou prezentace, studijní texty a pracovní listy. Do praktické části patří i tvorba dotazníkových šetření.

#### 3.1 Analýza učebnic

Během analýzy středoškolských učebnic jsem se zaměřila především na kapitoly věnované sinicím a řasám. Cílem analýzy bylo zjistit především to, do jaké hloubky se středoškolské učebnice tématu řas a sinic věnují a zda informace v učebnicích na toto téma jsou pravdivé a aktuální. Bylo analyzováno 5 nejčastěji využívaných českých učebnic na SŠ a 2 zahraniční učebnice. Seznam těchto učebnic najdeme v tabulce 1.

Tabulka 1: Přehled analyzovaných učebnic

Název učebnice	Autoři	Rok vydání
Biologie pro gymnázia	Jan Jelínek, Vladimír Zicháček	2014
Biologie v kostce pro SŠ	Hana Hančová, Marie Vlková	2019
Botanika	Karel Kubát	2012
Biologie rostlin pro gymnázia	Lubomír Kincl, Miroslav Kincl, Jana Jarklová	2008
Obecná biologie pro gymnázia	Václav Kubišta	2000
Kernbereiche Biologie 5	Eva-Maria Cattoen, Barbara Koch	2017
Merkmale des Lebendigen	Norbert Hell	1981

### 3.2 Dotazníkové šetření

Pro zjištění rozsahu výuky ohledně řas a sinic na SŠ a obecný přístup středoškolských učitelů biologie k tomuto tématu byl s použitím online aplikace Formuláře Google (Google Forms) sestaven dotazník, který byl následně rozeslán pomocí e-mailu do 250 středních škol v České republice. Respondenti odpovídali na následující dotazy:

#### 1. Typ školy:

- Gymnázium
- Střední odborná škola

#### 2. Kraj

#### 3. Jakou literaturu (učebnice, přehledy) při výuce na vaší škole používáte?

- Biologie pro gymnázia (Jelínek & Zicháček, 2014)
- Biologie v kostce pro SŠ (Hančová & Vlková, 2019)
- Botanika (Kubát, 2012)
- Biologie rostlin pro gymnázia (Kincl et al., 2008)
- Jiné

#### 4. V jakém ročníku probíráte téma řasy a sinice?

- 1. ročník SŠ / kvinta
- 2. ročník SŠ / sexta
- 3. ročník SŠ / septima
- 4. ročník SŠ / oktáva
- Specializovaný seminář

#### 5. Za jak důležité považujete téma řasy a sinice ve výuce biologie?

(hodnocení na škále; 1–velmi důležité, 5–velmi nedůležité)



6. Kolik vyučovacích hodin věnujete tomuto tématu v teoretické výuce?

- 1 - 2 hodiny
- 3 - 4 hodiny
- 5 a více hodin

7. Jsou tomuto tématu věnována na vaší škole i praktická cvičení?

- Ano
- Ne

8. Pokud jste v předchozím bodě dal/a Ano, uveďte jaká.

- Mikroskopování
- Sběr řas a sinic
- Pokusy
- BOV – badatelsky orientované vyučování
- Jiné

9. Pokud nemáte praktická cvičení, z jakého důvodu?

- Nedostatek času
- Nedostatečné vybavení školy
- Nepovažuji toto téma za důležité
- Jiné

10. Jaké skupiny řas vyučujete?

- žádné
- Euglenophyta (krásnoočka)
- Cryptophyta (skrytěnky)
- Dinophyta (obrněnky)
- Haptophyta
- Chlorarachniophyta

- Ochrophyta (hnědé řasy)
- Glaucophyta
- Rhodophyta (ruduchy)
- Chlorophyta (zelené řasy)
- Streptophyta

11. Jaké zdroje využíváte při výuce a přípravě na ni?

- pouze učebnice
- Internet
- VŠ skripta
- jiné

12. Do jaké míry byste ocenili změnu učiva v následujících tématech:

- Systém
- Fyziologie
- Užitečnost
- Ekologie
- Zajímavosti

(hodnocení na škále; ocenil/a bych velkou změnu, ocenil/a bych spíše menší změny, změnu bych neocenil/a)

13. Myslíte si, že v učebnicích je látka řas a sinic dostatečně vysvětlena?

(hodnocení na škále; 1 – velmi dostačující, 5 – velmi nedostačující)

14. Sledujete nové změny v systémech sinic a řas?

- Ano
- Ne

### 3.3 Zpracování materiálů

Při tvorbě didaktických materiálů jsem vycházela především z odborné literatury: Kalina & Váňa, 2005; Fott, 1967; Graham et al., 2009; Campbell & Reece, 2006 a Poulíčková, 2011. Dále byly použity i jiné odborné publikace a odborné články věnované tématu řas a sinic.

Didaktické materiály se věnují především tématům:

- role řas a sinic v geochemických cyklech;
- biotické interakce řas a sinic;
- role řas v přechodu rostlin na souš.

Do svých materiálů jsem však zahrnula i stručnou charakteristiku řas a sinic pro ucelení tématu řas a sinic.

Pracovní listy jsou tvořené jako pomůcka ve vyučování řas a sinic. Obsah pracovních listů odpovídá vytvořenému studijnímu textu. V pracovních listech byly využity prvky badatelsky orientované výuky.

PowerPointové prezentace byly vytvořeny jako pomůcka pro teoretickou výuku sinic a řas. V prezentacích opět vycházím z vytvořeného studijního textu.

Vytvořené materiály byly testovány v praxi. Testování probíhalo na třech středních školách: Gymnázium, České Budějovice, Jírovcova 8; Česko – anglické gymnázium s.r.o. a Gymnázium, Trhové Sviny, Školní 995.

## 4 VÝSLEDKY

### 4.1 Analýza učebnic

Při hodinách biologie, stejně jako v jiných předmětech, jsou hojně využívány učebnice, které jsou velkou pomocí pro žáky i vyučující. V dnešní době je široká nabídka učebnic biologie a přírodopisu. Pro analýzu jsem vybrala nejčastěji používané učebnice na středních školách v ČR, ve kterých jsem se soustředila pouze na kapitoly věnované sinicím a řasám. Cílem analýzy učebnic bylo zjistit rozsah učiva. Analyzováno bylo celkem 7 učebnic, 5 českých a 2 zahraniční.

Analyzované učebnice:

- Biologie pro gymnázia (Jelínek & Zicháček, 2014)
- Biologie v kostce pro SŠ (Hančová & Vlková, 2019)
- Botanika (Kubát, 2012)
- Biologie rostlin pro gymnázia (Kincl et al., 2008)
- Obecná biologie pro gymnázia (Kubišta, 2000)
- Kernbereiche Biologie 5 (Cattoen & Koch, 2017)
- Merkmale des Lebendigen (Hell, 1981)

**Jelínek & Zicháček, 2014:** V této knize autoři zařadili řasy do podříše „Nižší rostliny“. V úvodní kapitole jsou popsány jejich stélky a rozmnožování řas a následuje systém. Do podříše „Nižší rostliny“ jsou zařazeny čtyři oddělení: ruduchy (Rhodophyta), hnědé řasy (Chromophyta), krásnoočka (Euglenophyta) a zelené řasy (Chlorophyta). Chromophyta jsou dále dělena do 3 tříd: zlativky (Chrysophyceae), rozsivky (Bacillariophyceae) a chaluhy (Phaeophyceae). U každé třídy je uvedena stručná charakteristika a charakterističtí zástupci. Oddělení Chlorophyta je děleno do čtyř tříd: zelenivky (Chlorophyceae), spájivky (Conjugatophyceae), trubicovky (Bryopsidophyceae) a parožnatky (Charophyceae). Tyto třídy jsou opět stručně popsány.

V této učebnici najdeme také stručnou charakteristiku sinic, popis jejich buňky a nejvýznamnější zástupce.

Tato literatura je relativně přehledná, ale uvedený systém řas neodpovídá aktuálnímu dělení této skupiny. Kladně lze hodnotit celkem detailní charakteristiky řas i sinic. V učebnici nechybí ani zajímavosti a využití.

**Hančová & Vlková, 2019:** Sinice jsou v této literatuře zmíněny v několika kapitolách, ale pouze velmi stručně. O sinicích se zde můžeme dozvědět jen to, že tvoří symbiózu s houbami, že jsou to fotoautotrofní organismy a jsou součástí planktonu.

Tématu řasy se autoři věnují více. Řasy jsou zde děleny do dvou říší: rostliny a Chromista. Do říše rostliny patří v této literatuře podříše: Biliphyta a zelené rostliny. Do podříše Biliphyta je řazeno oddělení ruduchy (Rhodophyta), do podříše zelené rostliny (Viridiplantae) se řadí oddělení: zelené řasy (Chlorophyta) a parožnatky (Charophyta). Říše Chromista je v této učebnici samostatnou kapitolou. Do této říše jsou zahrnuty kmeny: skrytěnky (Cryptophyta), chromofyta (Chromophyta) a oomycety (Oomycota). Chromofyta jsou dělena do 3 tříd: zlativky (Chrysophyceae), rozsivky (Bacillariophyceae) a hnědé řasy (Phaeophyceae).

Zpracování tématu řas a sinic je v této učebnici velmi strohé a nedostačující. Samostatná kapitola o sinicích zcela chybí. Všechny skupiny řas jsou velice stručně popsány. Popis se týká především obsahu barviv a typů stélek. U některých skupin chybí významní zástupci. Systematické dělení řas v této učebnici je nesprávné a neodpovídá dnešním požadavkům. Hnědé řasy mají v této učebnici chybný latinský název Phaeophyceae, který byl dříve používán. Dnes už tato třída nenes název hnědé řasy, ale chaluhy. Tuto učebnici nepovažuji za vhodnou do výuky biologie na SŠ, a to z důvodu nedostatečných informací a absencí obrázků. Tuto literaturu lze využít spíše pro získání všeobecného přehledu v biologii.

**Kubát, 2012:** V této učebnici je téma řas velmi dobře zpracováno v kapitole „Systém a evoluce řas“. Úvodní část se zabývá problematikou zařazení řas do systému organismů, u kterého dochází stále ke změnám. Je zde nastíněná evoluce prokaryotické a eukaryotické buňky a princip vnitrobuněčné symbiózy související s vývojem chloroplastů a mitochondrií. Jsou zde dostatečně popsány jednotlivé typy stélek včetně názorných obrázků. Velmi dobře je zde také popsáno rozmnožování, ekologie řas a jejich význam. Systematické rozdělení řas v této publikaci je velmi přehledné. Řasy jsou zde děleny do oddělení: ruduchy (Rhodophyta),

obrněnky (Dinophyta), skrytěnky (Cryptophyta), krásnoočka (Euglenophyta), zelené řasy (Chlorophyta) a Chromophyta. Chromophyta jsou dále děleny do čtyř tříd: zlativky (Chrysophyceae), rozsivky (Bacillariophyceae), hnědé řasy (Phaeophyceae) a různobrvky (Xanthophyceae).

V každém oddělení najdeme charakteristiku skupiny, která je dostatečná pro výuku na SŠ. V publikaci je uvedeno velké množství zástupců jednotlivých skupin včetně jejich charakteristik, výskytu a významu. Pro studenty je velmi přínosné i velké množství obrázků jednotlivých zástupců.

V této učebnici téma sinic nenajdeme z důvodu jejich zařazení do bakterií, které nejsou začleněny do této publikace.

Tato učebnice je velmi přehledná a charakteristiky oddělení a tříd jsou dostačující. Jediný nedostatek této publikace je opět v systematickém dělení řas, které je zastaralé a dnes již neplatné. Změny v systému se týkají především hnědých řas. Hnědé řasy nesou v učebnici latinský název Phaeophyceae, který je dnes používán pouze pro chaluhy.

**Kincl et al., 2008:** Tématu řas je v této učebnici věnováno několik kapitol. Kapitola „Charakteristika řas“ zahrnuje evoluční vývoj, způsob života, rozmnožování, morfologické a anatomické znaky řas. Řasy jsou zde zahrnuty ve třech říších: Chromista, Protozoa a Plantae. V kapitole „Chromista“ najdeme základní charakteristiku této říše. Je zde naznačena endosymbiotická teorie vzniku chloroplastů. V učebnici najdeme i nákres primární a sekundární endosymbiózy, který tento proces srozumitelně vysvětluje. Chromista jsou v této učebnici dělena do dvou oddělení: skrytěnky (Cryptophyta) a chromofyty (Chromophyta, Heterokontophyta). Chromofyty jsou dále rozděleny na rozsivky (Bacillariophyceae, Diatoma) a hnědé řasy, chaluhy (Phaeophyceae). Říše Protozoa je zde rozdělena na dvě oddělení: obrněnky (Dinophyta, Dinozoa) a krásnoočka (Euglenophyta, Euglenozoa). Řasy patřící do říše Plantae se rozdělují do třech oddělení: ruduchy (Rhodophyta), zelené řasy (Chlorophyta) a parožnatky (Charophyta). U jednotlivých skupin najdeme základní charakteristiku buněk, typy stélek, způsob rozmnožování a najdeme zde i významné zástupce. Studijní text je doplněn obrázky s popisky.

Téma řasy je v této učebnici přehledně zpracováno. Informace o jednotlivých skupinách jsou dostačující pro úroveň středoškolské výuky. Problémem je zde opět zastaralý

a dnes již neplatný systém. V učebnici najdeme třídu hnědé řasy, chaluhy (Phaeophyceae). V novém systému jsou však hnědé řasy taxonomickou jednotkou oddělení (Chromophyta, Ochrophyta) a chaluhy (Phaeophyceae) třídou hnědých řas.

Téma sinic najdeme v knize *Obecná biologie pro gymnázia*, která patří do stejné řady učebnic k výuce biologie pro čtyřletá gymnázia z nakladatelství Fortuna.

**Kubišta, 2000:** V této publikaci je téma sinic zmiňováno v kapitole–„Biologie prokaryotních organismů“. Najdeme zde pouze stručný popis buňky a význam sinic v evoluci organismů na Zemi. Nejvíce rozšířené téma je ekologie sinic, kde autor uvádí nejenom výskyt v přírodě, ale poukazuje také na nebezpečí cyanotoxinů. V této publikaci opět nenajdeme ani nejvýznamnější zástupce této skupiny.

**Cattoen & Koch, 2017:** V této zahraniční učebnici jsou řasy vyčleněny do samostatné kapitoly. Je zde popsán hlavně význam řas, ekologie a rozmnožování. V učebnici chybí stavba buňky i typy stélek. Tato literatura uvádí velice málo zástupců řas, pouze *Chlamydomonas* a některé rozsivky. Dále je zde také zmíněna symbióza řas s medúzami a sasankami. Téma sinic v této publikaci nenajdeme.

**Hell, 1981:** V této učebnici jsou řasy začleněny do kapitoly o vodním prostředí. Je zde popsáno, jak se řasy a jiné vodní organismy odebírají z vody a zkoumají. Kapitola se věnuje hlavně planktonu, který je zde celkem podrobně charakterizován. Samostatnou skupinu řas zde nenajdeme. Jsou zde popsána pouze krásnoočka a *Chlamydomonas* a okrajově zmíněny řasy *Chlorella* a *Chlorococcus*. Důraz je zde kladen především na jejich ekologii a význam ve vodním ekosystému. Téma sinic v tomto dokumentu nenajdeme.

## 4.2 Dotazníkové šetření

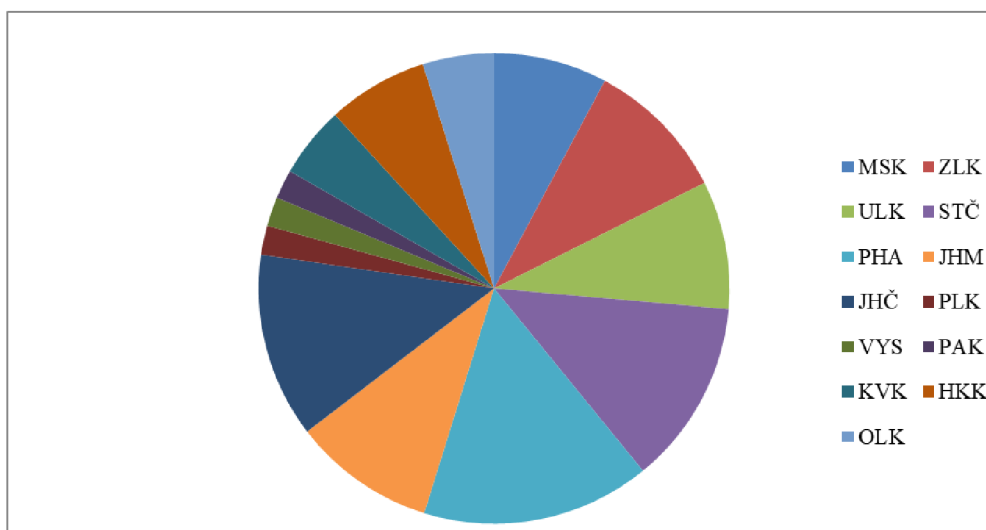
Dotazníkové šetření probíhalo od dubna do června 2021. Dotazník byl vytvořen s použitím aplikace Google Forms. Z oslovených 300 středních škol v České republice jsem získala 102 vyplněných dotazníků. V následující části jsou uvedeny výsledky tohoto výzkumu.

### Otázka č.1: Typ školy

Téměř 90 % respondentů jsou vyučující na gymnáziích, zbývajících 10 % jsou učitelé na středních odborných školách.

### Otázka č.2: Kraj

Obrázek č.1 ukazuje rozdělení respondentů podle krajů. Nejvíce respondentů pocházelo z Prahy a Středočeského kraje. Naopak žádná odpověď nepřišla z Libereckého kraje.



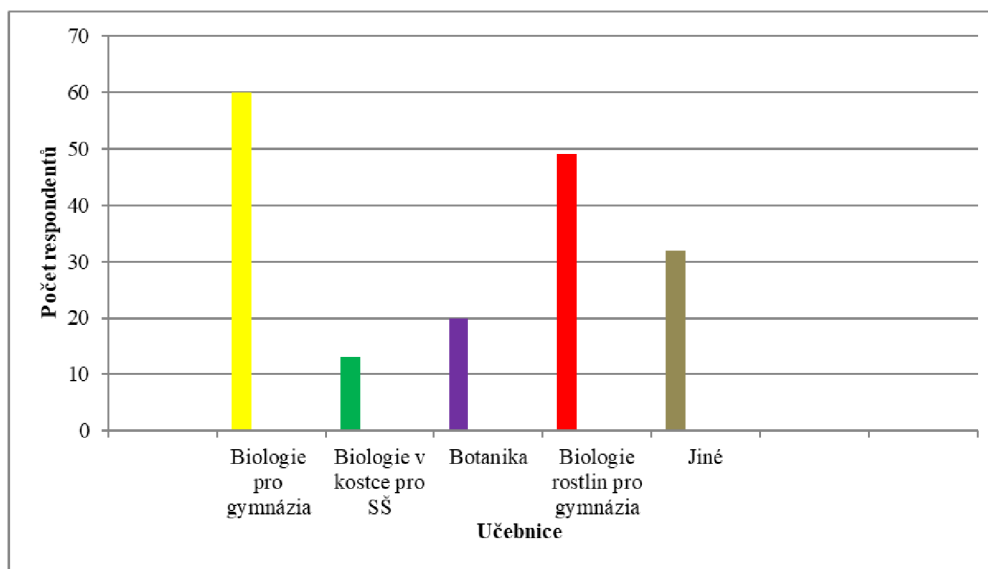
Obrázek 1: Krajská příslušnost respondentů (zkratky krajů podle ČSÚ)

**Otázka č.3:** Jakou literaturu (učebnice, přehledy) při výuce na vaší škole používáte?

Ze všech respondentů téměř 60 % používá učebnici Biologie pro gymnázia (Jelínek & Zicháček, 2014). Druhou nejčastěji používanou učebnicí je Biologie rostlin pro gymnázia (Kincl et al., 2008), kterou využívá 48 % respondentů. Učebnici Botanika (Kubát, 2012)



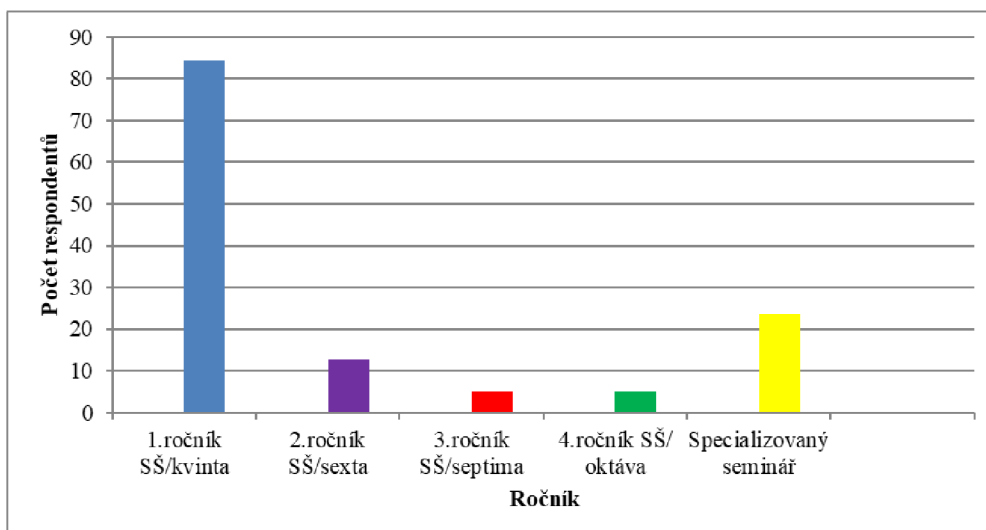
používá téměř 20 % respondentů a Biologii v kostce pro SŠ (Hančová & Vlková, 2019) pouze 13 % vyučujících. 32 % respondentů uvedlo, že využívá pro výuku jiné zdroje informací. Z odpovědí vyplývá, že většina vyučujících využívá při výuce několik různých zdrojů.



Obrázek 2: Odpovědi na otázku „Jakou literaturu (učebnice, přehledy) při výuce na vaší škole používáte?“

#### Otázka č.4: V jakém ročníku probíráte téma řasy a sinice?

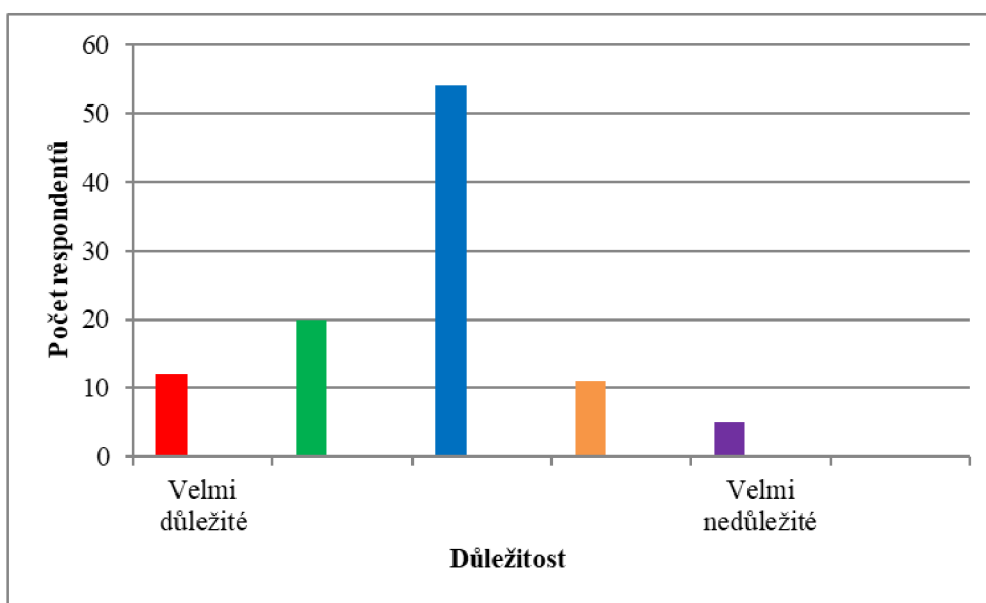
Převážná většina učitelů (zhruba 84 %) uvedla, že téma řasy a sinice probírají se studenty v 1. ročníku SŠ/ kvintě. Ve specializovaném semináři toto téma probírá 24 % vyučujících. V ostatních ročnících SŠ se tomuto tématu věnuje nejméně respondentů.



Obrázek 3: Odpovědi na otázku „V jakém ročníku probíráte téma řasy a sinice?“

**Otázka č.5:** Za jak důležité považujete téma řasy a sinice ve výuce biologie?

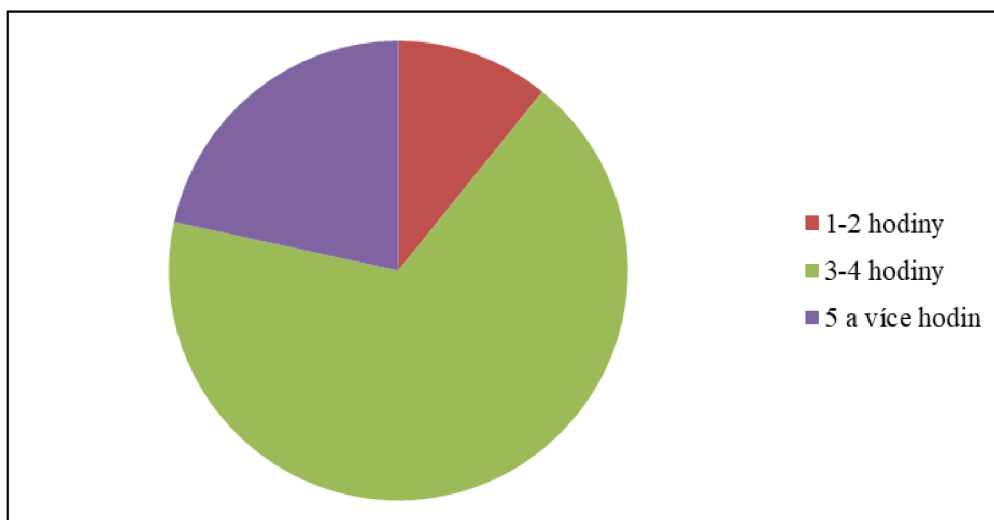
Toto téma většina učitelů (53 %) považuje za středně důležité. 12 % respondentů považuje výuku řas a sinic za velmi důležitou, naopak 5 % vyučujících považuje toto téma za nedůležité.



Obrázek 4: Odpovědi na otázku „Za jak důležité považujete téma řasy a sinice ve výuce biologie?“

**Otázka č.6:** Kolik vyučujících hodin věnujete tomuto tématu v teoretické výuce?

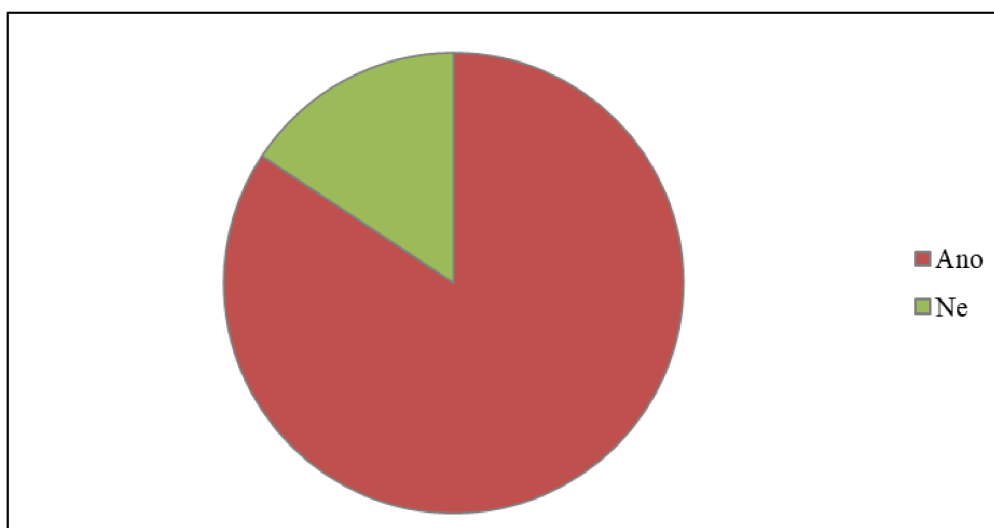
Časová dotace výuky tohoto tématu je na většině škol (68 %) 3–4 vyučovací hodiny. Téměř čtvrtina respondentů uvedla, že se tomuto tématu věnují 5 a více hodin, zbývajících 11 % respondentů se věnuje tomuto 1–2 vyučovací hodiny.



Obrázek 5: Odpovědi na otázku „Kolik vyučovacích hodin věnujete tomuto tématu v teoretické výuce?“

**Otázka č.7:** Jsou tomuto tématu věnována na vaší škole i praktická cvičení?

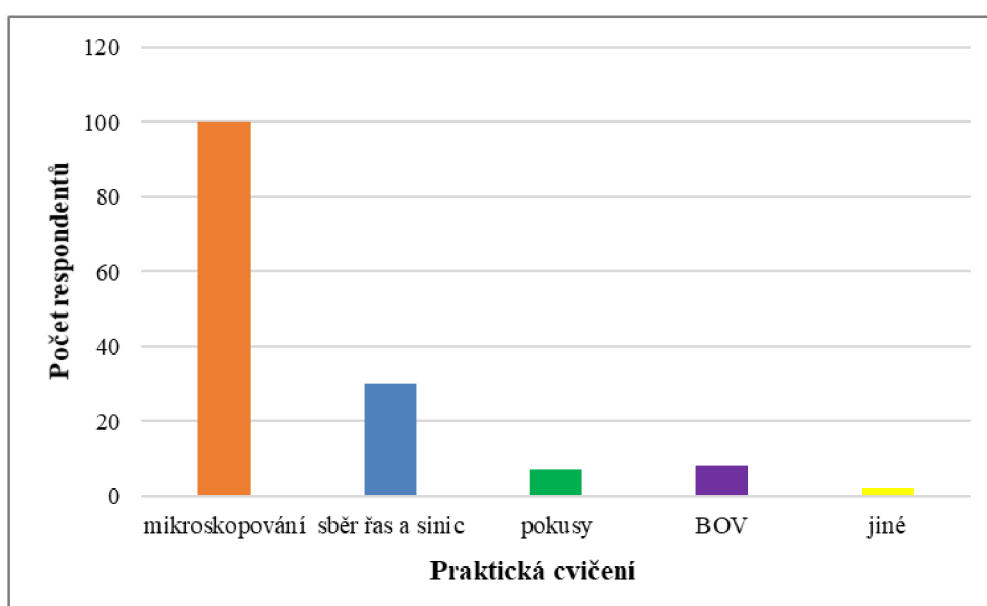
Většina dotazovaných respondentů (84 %) uvedla, že v rámci tématu řas a sinic probíhají na jejich školách i praktická cvičení.



Obrázek 6: Odpovědi na otázku „Jsou tomuto tématu věnována na vaší škole i praktická cvičení?“

**Otázka č.8:** Pokud jste v předchozím bodě dal/a Ano, uveďte jaká.

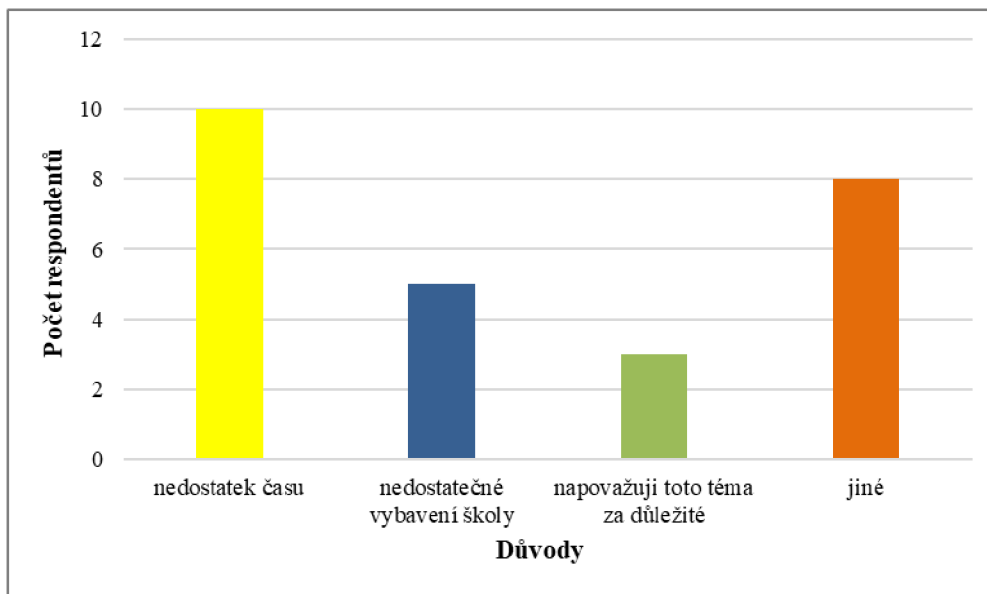
Ze získaných dat vyplývá, že všichni vyučující v rámci praktických cvičení provádí mikroskopování řas a u 30 % respondentů probíhá i samotný sběr řas a sinic. 8 % dotazovaných učitelů uvedlo, že při praktických cvičeních využívají prvky BOV a že všechna praktická cvičení probíhají formou mikroskopování řas. Všichni, kteří zodpověděli, že tématu řas a sinic věnují praktická cvičení, odpověděli, že v rámci praktických cvičení mikroskopují. Dále okolo 30 % uvedlo, že sbírají řasy a sinice. Dalších 8 % uvedlo, že se při praktických cvičeních věnují BOV – badatelsky orientované výuce a 7 % respondentů uvedlo, že při praktické výuce provádějí pokusy.



Obrázek 7: Odpovědi na otázku „Pokud jste v předchozím bodě dal/a Ano, uveďte jaká.“

**Otázka č.9:** Pokud nemáte praktická cvičení, z jakého důvodu?

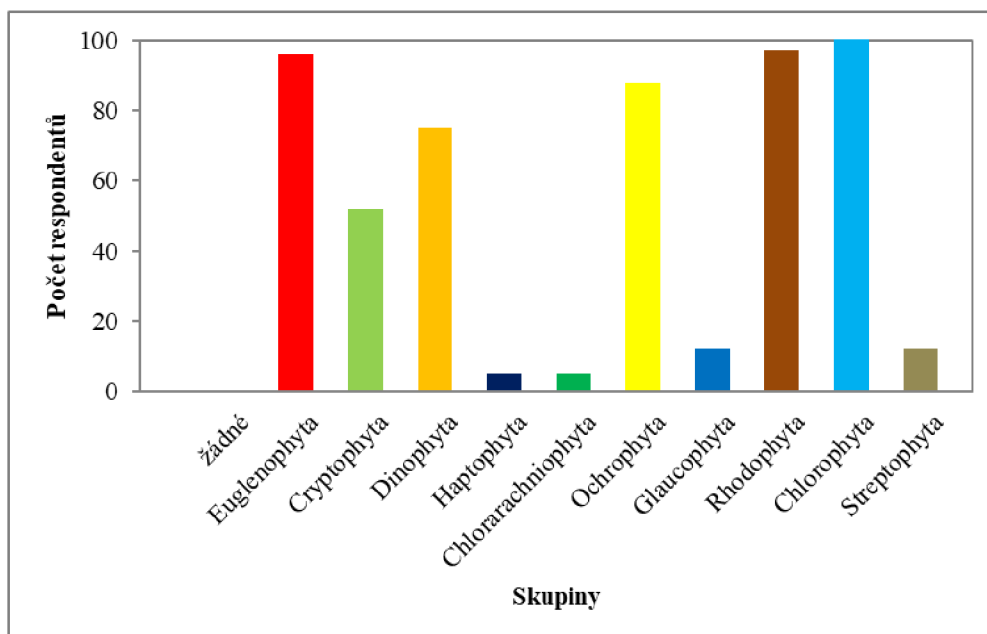
Z obrázku č.8 vyplývá, že hlavním důvodem, proč se na školách neprovádí praktická cvičení, je nedostatek času. Praktická výuka je na některých školách ztížena nedostatečným vybavením školy. Tři respondenti nepovažují toto téma za dostatečně důležité, aby mu bylo věnováno praktické cvičení. Důvody neprovádění praktické části výuky jsou i jiné.



Obrázek 8: Odpovědi na otázku „Pokud nemáte praktická cvičení, z jakého důvodu?“

**Otázka č.10: Jaké skupiny řas vyučujete?**

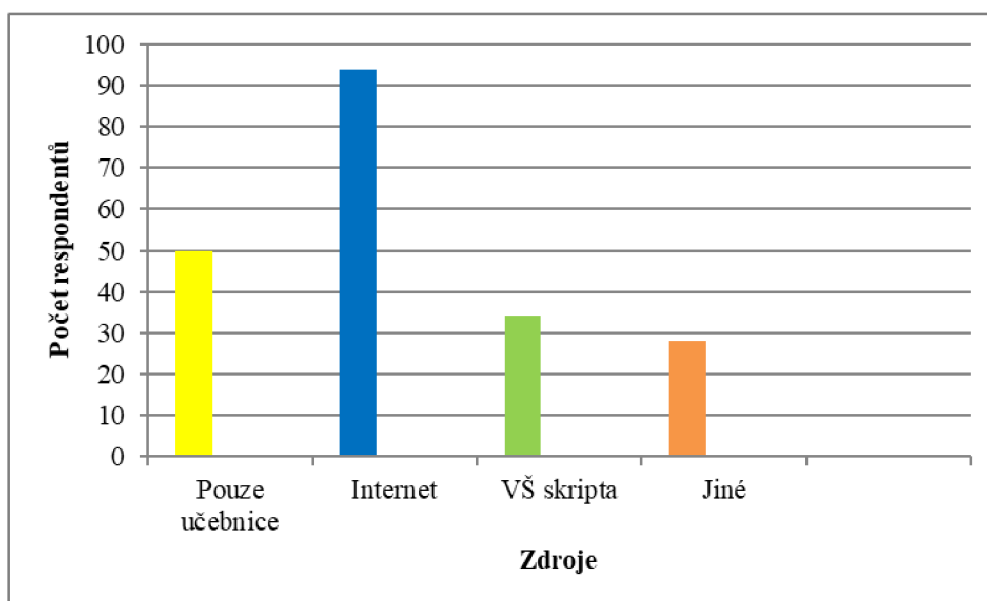
Z průzkumu vyplývá, že většina učitelů vyučuje Chlorophyta (100 %), Rhodophyta (97 %), Euglenophyta (96 %), Ochrophyta (88 %) a Dinophyta (75 %) (viz obrázek č.9). Naopak nejméně učitelů vyučuje Haptophyta (5 %), Chlorarachniophyta (5 %), Glaucophyta (12 %) a Streptophyta (12 %).



Obrázek 9: Odpovědi na otázku „Jaké skupiny řas vyučujete?“

**Otázka č.11:** Jaké zdroje využíváte při výuce a přípravě na ni?

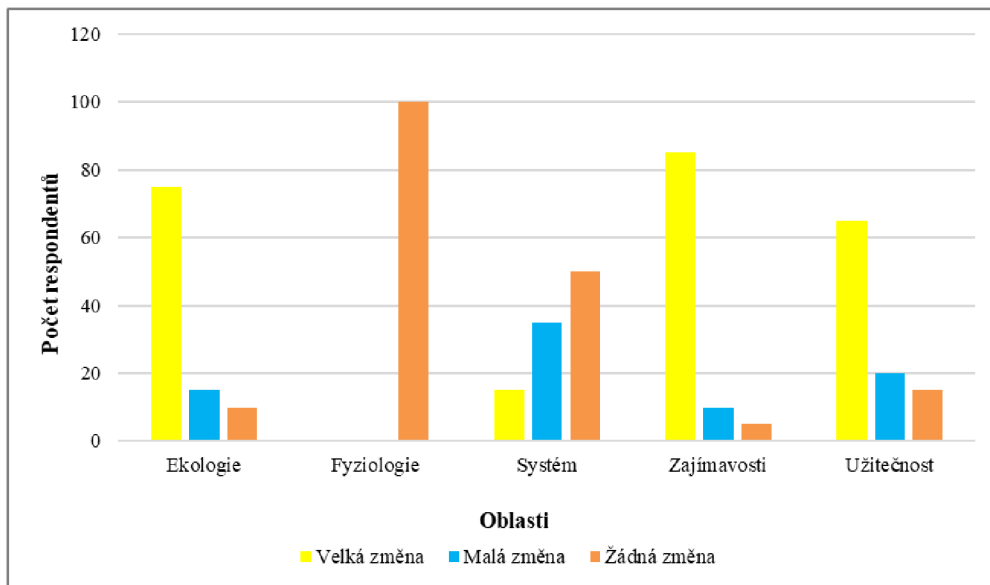
Většina respondentů (92 %) v průzkumu uvedla, že při výuce a přípravě na ni používá učebnice spolu s internetem. Dalším využívaným zdrojem bývají vysokoškolská skripta a jiné (viz obrázek č.10).



Obrázek 10: Odpovědi na otázku „Jaké zdroje využíváte při výuce a přípravě na ni?“

**Otázka č.12:** Do jaké míry byste ocenili změnu učiva v následujících oblastech: ekologie, fyziologie, systém, zajímavosti a užitečnost?

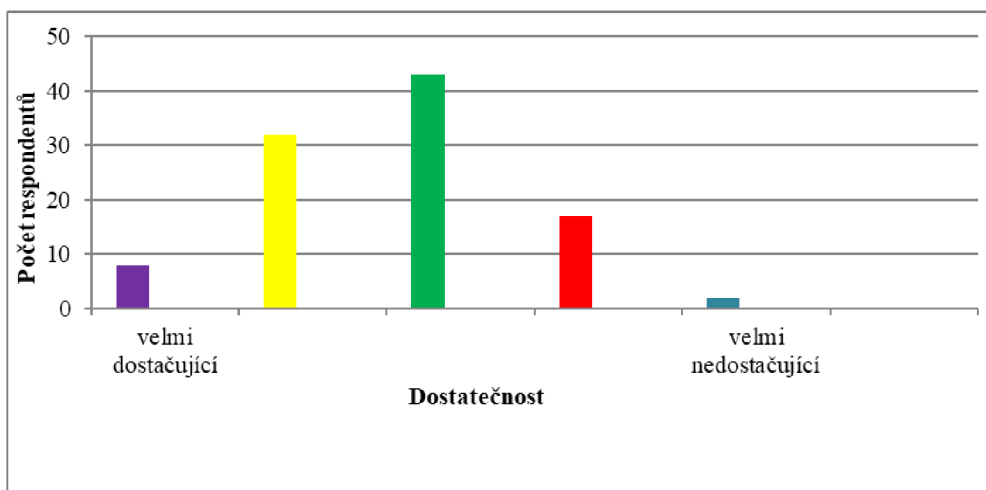
Z průzkumu vyplývá, že největší změny učiva by učitelé ocenili v oblasti zajímavostí, ekologie a užitečnosti řas a sinic. Naopak fyziologie a systém jim připadají dostatečně zpracované a nevyžadují v těchto oblastech výrazné změny.



Obrázek 11: Odpovědi na otázku „Do jaké míry byste ocenili změnu učiva v oblastech: ekologie, systém, užitečnost a fyziologie?“

**Otázka č.13:** Myslíte si, že v učebnicích je látka řas a sinic dostatečně vysvětlena?

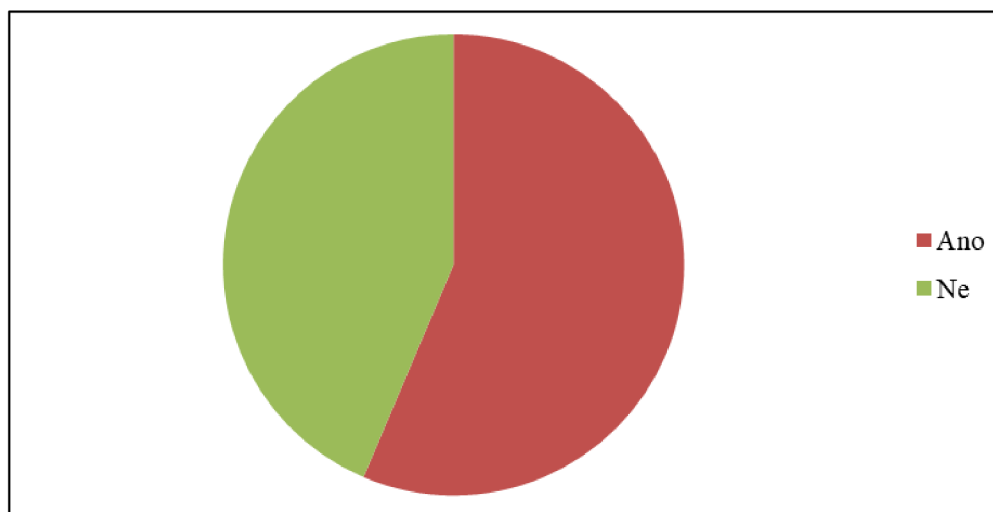
Z obrázku č. 12 vyplývá, že pro většinu vyučujících je téma řas a sinic dostatečně vysvětleno. Pouze 2 respondenti považují rozsah učiva ve středoškolských učebnicích za velmi nedostačující.



Obrázek 12: Odpovědi na otázku „Myslíte si, že v učebnicích je látka řas a sinic dostatečně vysvětlena?“

**Otázka č.14:** Sledujete nové systémy v systémech sinic a řas?

Ohledně sledování nových změn v systémech byly výsledky průzkumu velice vyrovnané. Nové změny sleduje 56 % učitelů (viz obrázek č.13).



Obrázek 13: Odpovědi na otázku „Sledujete nové změny v systémech sinic a řas?“



## 4.3 Studijní text

Z důvodu nedostatečných a zastaralých informací k tématu řas a sinic ve středoškolských učebnicích byl vytvořen následující studijní text. Tento text mohou využít vyučující pro přípravu didaktických materiálů. Ve studijním textu najdeme aktuální systematické dělení řas a sinic a základní charakteristiky jednotlivých skupin. Jsou zde zahrnuta i témata, která při výuce řas a sinic zcela chybí nebo jsou probírána jen okrajově. Tato témata jsou: Role řas a sinic v biogeochemických cyklech, Role řas v přechodu rostlin na souš a Biotické interakce řas a sinic.

### 4.3.1 Sinice a řasy v odborné literatuře

#### 4.3.1.1 Sinice

Sinice jsou drobná a jednoduchá autotrofní prokaryota, která patří mezi nejstarší organismy na Zemi. Jsou staré nejméně 3 miliardy let (nejstarší nalezené fosílie sinic jsou staré 3,5 miliardy let). Díky nim jsme dnes schopni na naší planetě žít a dýchat. Jejich zásluhou totiž máme současnou atmosféru, a to s vysokým obsahem kyslíku (Šmarda, 1996, Graham et al., 2009).

Ve středoškolských učebnicích je o sinicích velmi málo informací, proto by se dalo předpokládat, že jde o malou a nevýznamnou skupinu organismů, ale není tomu tak. V současné době je popsáno okolo 385 rodů sinic (Hauer & Komárek, 2022).

Cyanobacteria znamená v překladu siné bakterie. Tento název dostaly sinice díky jejich modrozelené barvě (Fott, 1967).

#### Stavba buňky:

Sinice, stejně jako ostatní bakterie, mají velmi jednoduchou stavbu buňky. V jejich buňkách nenajdeme žádné jádro, mitochondrie, vakuoly, endoplazmatické retikulum a další sekundární organely, jak je tomu u eukaryot. Hlavní roli v buňce sinic hrají tylakoidy – ploché váčky s fotosyntetickým aparátem. Díky těmto organelám jsou sinice schopny fotosyntézy. Uvnitř buňky najdeme i karboxyzómy, které obsahují enzym RuBisCO, který je zodpovědný za fixaci oxidu uhličitého v citrátovém cyklu (Kalina & Váňa, 2005).

Uvnitř membrány tylakoidu jsou obsaženy pigmenty spojené s fotosyntézou – chlorofyl *a*,  $\alpha$ -,  $\beta$ - karoten a xantofyly. Na povrchu tylakoidu najdeme fykobilizomy, útvary

obsahující fykobiliny – specifická barviva. Funkce těchto barviv je v rozšiřování spektra vlnových délek světla. Díky jejich citlivosti mohou sinice fotosyntetizovat i za nepříznivých podmínek (Kalina & Váňa, 2005), jsou schopny přežívat v jeskyních, v hlubinách jezer nebo vrůstají do póru kamenů – endolitické sinice, např. rody *Mastigocoleus*, *Solentia* sp. (Šejnohová & Maršálek, 2005, AlgaeBase.cz, 2022).

Jádro u sinic nenajdeme, sinice mají pouze nukleové kyseliny (DNA) volně uloženy v protoplazmě. Tyto nukleové kyseliny jsou složitěji zamotány a vytvářejí kruhovou strukturu (Kalina & Váňa, 2005, Fott, 1967, Lee, 2018).

Na povrchu buňky je pevná mnohvrstevná mureinová buněčná stěna (Kalina & Váňa, 2005).

Zásobními látkami sinic jsou sinicový škrob a olejové krůpěje, které vznikají jako jeden z produktů fotosyntézy (Štěpánková, 2013).

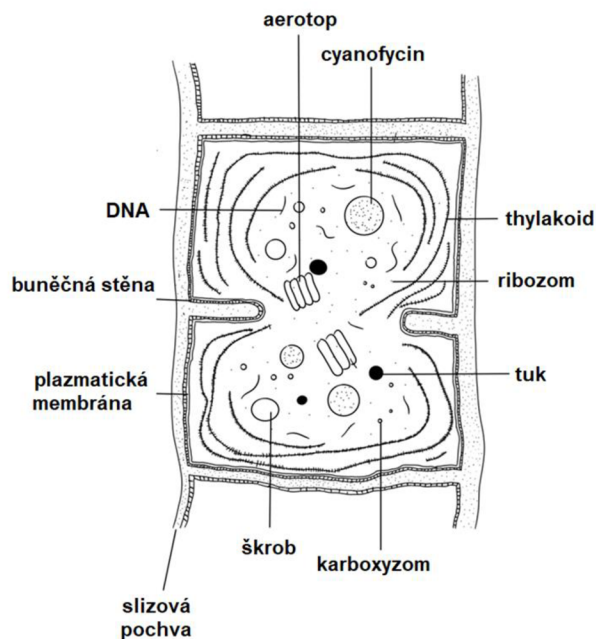
U sinic najdeme i speciální struktury, které jsou typické pro tuto skupinu organismů. Jedná se o aerotopy, heterocyty a akinety (Kalina & Váňa, 2005).

**Aerotopy** jsou váčky propustné pro veškeré plyny, díky těmto plynům jsou sinice nadnášeny a mohou se volně pohybovat ve vodním sloupci (Lee, 2018).

**Heterocyty** jsou buňky s tlustou stěnou, jejichž funkcí je fixace vzdušného dusíku ( $N_2$ ). V těchto buňkách pak dochází ke vzniku amoniaku ( $NH_3$ ), který je dále transportován ve formě glutaminu do sousedních buněk. Ne všechny rody sinic však mají heterocyty, rody, které mají heterocyty jsou např. *Anabaena* a *Nostoc* (Jankovský, 1997, Murray et al., 2002).

Díky schopnosti fixovat dusík mohou osídlit i biotopy, kde jiné organismy nemohou tak dobře prosperovat kvůli odkázání na výživu minerálními sloučeninami dusíku. Touto schopností osídlování i těžko osídlitelných míst mají výhodu v tom, že pro ně v tomto prostředí neexistuje téměř žádná konkurence. Fixace dusíku je tedy pro sinice velkou ekologickou výhodou. Výhodné jsou i biotické interakce se sinicemi, protože sinice tím poskytují fixovaný dusík i svému symbiontovi (Lee, 2018, Graham et al., 2009).

**Akinety** jsou klidové silnostěnné buňky, které jsou zodpovědné za přežívání sinic i za nepříznivých podmínek (Kalina & Váňa, 2005, Lee, 2018).



Obrázek 14: Stavba buňky sinic (podle Sinicearasy.cz)

#### Rozmnožování:

Sinice se rozmnožují pouze nepohlavně. Kokální (jednobuněčné) sinice se rozmnožují prostým dělením, zaškrcením buňky nebo fragmentací kolonie. Vlákňité sinice se rozmnožují hormogoniemi – několikabuněčné články (Šejnohová & Maršálek, 2005, Lee, 2018).

#### Ekologie:

Sinice jsou všudypřítomné – najdeme je ve sladké i slané vodě, v půdě, terestrických nárostech a podobně. Často obsazují místa s extrémními podmínkami. Příkladem těchto míst jsou: horké prameny s teplotou okolo 70 °C nebo ledovce a ledovcové polární oblasti (Kalina & Váňa, 2005).

Sinice jsou často spojovány s vodním květem, který vzniká přemnožením mikroorganismů. Vodní květ může být někdy toxický, což způsobují právě sinice. Při přemnožení sinic může někdy dojít k úhynu ryb a jiných živočichů, ale toxicita sinic není prakticky vůbec v našich podmínkách nebezpečná pro člověka (Kalina & Váňa, 2005).

Vodní květ tvoří nejčastěji rody: *Microcystis*, *Dolichospermum*, *Planktothrix*, *Woronichinia* a *Aphanizomenon*. Vodní květ má obvykle nazelenalou barvu, ale v severní Evropě najdeme i červený vodní květ, který je tvořen *Planktothrix rubescens* (Šejnohová & Maršálek, 2005, Kalina & Váňa, 2005). Ovšem *Planktothrix rubescens* nevytváří typický

vodní květ, který se tvoří u hladiny, ale způsobuje vodní květ v tzv. metalimnickém maximu, protože žije ve středních hloubkách hlubokých vodních těles – a to díky přítomnosti barviva fykoerytrinu, které absorbuje světlo v rozsahu vlnových délek, které proniká hlouběji do vody (AlgaeBase.cz, 2022, Akçaaalan et al., 2014).

Sinice byly zaznamenány už v prekambriu – před 3 miliardami let, a to díky studiu stromatolitů. Stromatolity jsou hříbovité útvary, které jsou tvořeny vrstvami sinic a uhličitanu vápenatého. Živoucí stromatolity lze nalézt jen na málo místech na Zemi, nejznámějším místem nálezů je Shark Bay – pobřeží Austrálie (Šejnohová & Maršálek, 2005).

Dalším významem sinic je tvorba travertinu, travertin vzniká vysrážením vápenitých a železitých solí. Vytváří se tak tzv. travertinové kupy, které dále rostou, dokud pramen vyvěrá (Pospíšil, 2004).

#### System:

Sinice se dělí na 8 řádů: Chroococcales, Chroococciopsidales, *Rubidibacter/ Halothece*, Spirulinales, Pleurocapsales, Oscillatoriales, Nostocales a Synechococcales (Komárek et al., 2014).

System, který byl používán dříve, obsahoval pouze 4 řády: Chroococcales, Oscillatoriales, Nostocales a Stigonematales. Tento system byl vytvořen na základě morfologie sinic (Kalina & Váňa, 2005). Bylo však zjištěno, že morfotypy se objevily v evoluci nezávisle na sobě, proto tento system je již přežitý a platí již zmíněný nový system (Komárek et al., 2014).

#### **4.3.1.2 Řasy**

Řasy jsou jednobuněčné i mnohobuněčné autotrofní organismy, které mají většinou jednoduchou stavbu. Najdeme zde i výjimky, jako například mořské chaluhy nebo parožnatky, které představují již celkem složité organismy. Tělo řas je tvořeno stélkou, což je jejich hlavní společný znak. Většina řas žije ve sladkých nebo slaných vodách, jsou však i řasy, které jsou suchozemské, které jsou většinou drobné a nenápadné (Kalina & Váňa, 2005).

### Stavba buňky:

Řasy patří mezi eukaryotní organismy, na rozdíl od sinic mají pravé jádro, které je tvořeno chromatinem a je ohraničeno jadernou membránou. Uvnitř buňky najdeme kompartmenty, které u sinic neobjevíme. Těmito kompartmenty jsou: vakuoly, endoplazmatické retikulum, Golgiho aparát, mitochondrie a plastidy (Rosypal et al., 2003).

Jedny z nejdůležitějších organel u řas jsou chloroplasty, díky kterým mohou provádět fotosyntézu. U řas chloroplasty vznikly buď primární endosymbiózou, nebo sekundární endosymbiózou, případně terciální endosymbiózou u některých obrněnek. U primární endosymbiózy pozřel heterotrofní eukaryot sinici a u sekundární endosymbiózy pozřel heterotrofní eukaryot eukaryotní řasu, která už měla primární chloroplast. Více informací o endosymbióze najdete v kapitole věnované koloběhu kyslíku (viz kap. 4.3.2 Role sinic a řas v biogeochemických cyklech, Keeling, 2004).

Řasové chloroplasty obsahují řadu fotosyntetických pigmentů. Nejdůležitějším barvivem je chlorofyl. U řas najdeme tři formy chlorofylu – *a*, *b* a *c*. Chlorofyl *a* najdeme u všech řas, je zodpovědný za absorpci světla, která poskytuje energii při fotosyntéze, je to nejdůležitější pigment při fotosyntéze. Ostatní formy jsou specifické pro různé skupiny řas (Dostál, 2006). Chlorofyl *b* se vyskytuje u krásnooček, zelených řas a vyšších rostlin, chlorofyl *c* se vyskytuje u skrytének, obrněnek a hnědých řas (Hnilička et al., 2005).

Ovšem ne všechny řasy jsou schopny fotosyntézy, čili neživí se výhradně fotoautotrofně. Některé rody tuto schopnost ztratily a žijí se heterotrofně. Některé z heterotrofních řas se mohou živit fagotrofně – pohlcovat jiná protista (skupina eukaryotických organismů, do které nepatří živočichové, vyšší rostliny nebo houby) nebo jejich části. Tímto způsobem se žijí například některé zlativky (Říhová-Ambrožová, 2007, Čepička, 2019). Dále se mohou jiné řasy živit osmotrofně – přijímat rozpuštěné minerální látky, které přejdou přes jejich membránu, např. některá bezbarvá krásnoočka nebo obrněnky. Dalším způsobem se žijí některé obrněnky, a to kombinací heterotrofie a autotrofie – mixotrofií (Říhová-Ambrožová, 2006). Existují i parazitické řasy, například rod *Prototheca* (Volf & Horák, 2007). Dalším typem výživy může být i saprofytismus, při kterém saprofyty využívají k stavbě svého těla látky z odumřelých těl rostlin a živočichů, například bezbarvé rozsivky *Nitzschia putrida* žijící na hniјících chaluhách (Pouličková, 2011).

### Rozmnožování:

Řasy se rozmnožují především nepohlavním způsobem – dělením buněk, fragmentací stélky a sporami.

U velké části řas je znám i pohlavní proces – spojení dvou buněčných jader. Splynutím jader vznikne diploidní jádro, které má dvojnásobný počet chromozomů, posléze dojde k rekombinaci genů při meióze a vzniknou tak dvě haploidní jádra (Jankovský, 1997).

### Klasifikace řas

Jelikož řasy nemají žádného společného předka, jsou považovány za biologickou/ekologickou skupinu. Biologická skupina je charakterizována společnými vlastnostmi (stélky, schopnost fotosyntézy). Z pohledu ekologické skupiny jde o společné ekologické adaptace (Juráň & Kaštovský, 2016).

Skupiny řas jsou klasifikovány z hlediska několika aspektů – sekvence nukleových kyselin, biochemické znaky a submikroskopická stavba. Dalším tradičním funkčním aspektem je i typ morfologie stélky (Kalina & Váňa, 2005, Dostál, 2006).

Podle morfologie stélky dělíme řasy do těchto skupin: (Kalina & Váňa, 2005)

#### **1) monadoidní (bičíkatá) stélka**

-jednobuněčná a jednojaderná

-pohyblivá forma pomocí bičíku

-například: krásnoočka, skrytěnky, některé zelené řasy



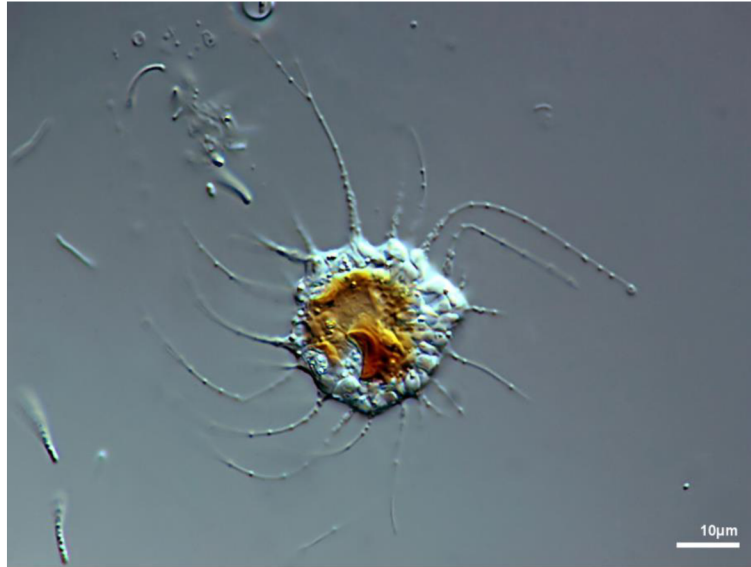
Obrázek 15: *Euglena viridis* Zdroj: Kaštovský Jan, lokalita: Velký závistivý rybník, nedaleko Kardašovy Řečice, ČR, 2008. Sinicearasy.cz

## 2) rhizopodová (měňavková, améboidní) stélka

-jednobuněčná a jednojaderná

-pohyb pomocí panožek

-například *Chrysamoeba*

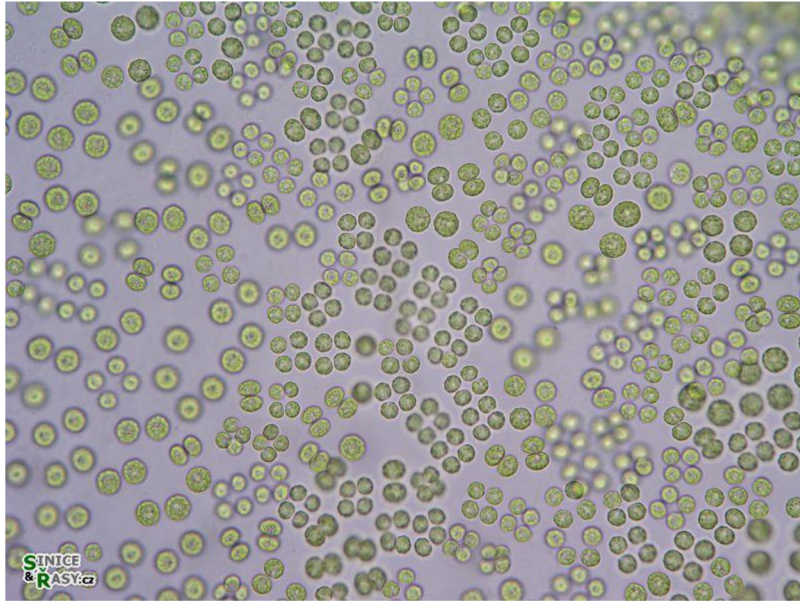


Obrázek 16: *Chrysamoeba radians* (Penard Labs, 2022)

### 3) kapsální nebo gleomorfní stélka

- jednobuněčná a jednojaderná
- nepohyblivá forma
- uložená ve slizu
- uvnitř někdy stigma a pulzující vakuola
- například zelená řasa rodu *Tetraspora*

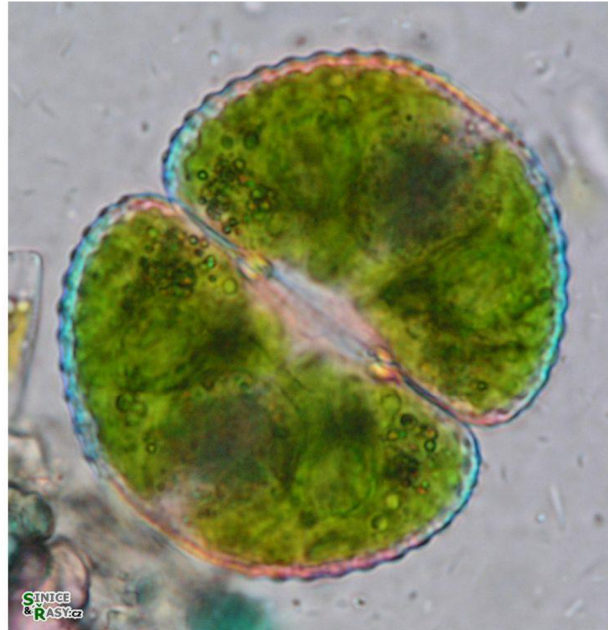




Obrázek 17: *Tetraspora cylindrica* Zdroj: Kaštovský Jan, lokalita: Vítějovice, Sinicearasy.cz

#### 4) kokální stélka

- jednobuněčná a jedno nebo vícejaderná
- v některých případech mineralizovaná nebo vícevrstevná buněčná stěna
- nepohyblivá forma
- bez stigmat a pulzujících vakuol
- například rozsivky, zelené řasy, krásivky



Obrázek 18: *Cosmarium botrytis* var. *medilaeve* Zdroj: Šťastný, Jan, PřF UK Praha Sinicearasy.cz

### 5) trichální (vláknitá) stélka

–mnohobuněčná stélka tvořena jednojadernými buňkami

–může být větvená nebo jednoduchá

–například *Klebsormidium*

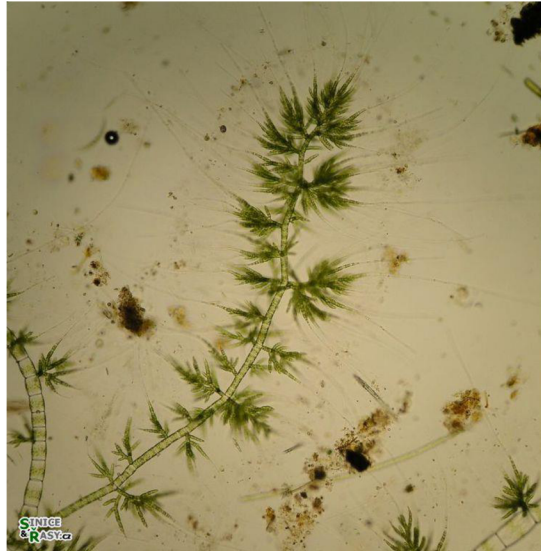


Obrázek 19: *Klebsormidium flaccidum* Zdroj: Kaštovský Jan, Sinicearasy.cz

## 6) heterotrichální stélka

–mnohobuněčná rozvětvená stélka, tvořená hlavním osním vláknem a bočními větvemi

–například *Draparnaldia*



Obrázek 20: *Draparnaldia* sp. Zdroj: Kaštovský Jan, lokalita: rybník Huntov, Kamenice nad Lipou, Sinicearasy.cz

## 7) parenchymatická (pletivná) stélka

–mnohobuněčná stélka

–odvozená od jednoduchého nebo heterotrichálního vlákna

–například *Laminaria*



Obrázek 21: *Laminaria digitata* Zdroj: Kaštovský Jan, lokalita: San Andrew, Skotsko, Sinicearasy.cz

#### 8) sifonokladální stélka

–mnohobuněčná stélka tvořena mnohojadernými buňkami

–vláknitá nebo vakovitá

–například *Cladophora*



Obrázek 22: *Cladophora* sp. Zdroj: Jeffrey R. Johansen, John Carroll University, Cleveland Heights, USA, Sinicearasy.cz

### 9) sifonální stélka

- větvená mnohoaderná stélka
- jednobuněčná
- vláknitá nebo vakovitá
- například *Vaucheria*



Obrázek 23: *Vaucheria sessilis* Zdroj: Kaštovský Jan, lokalita: lesní tůň, Velký Kosíř, obec Slatinky, Střední Morava, 2006, Sinicearasy.cz

### 10) stélka parožnatek

- mnohobuněčná stélka s přeslenitým uspořádáním bočních větví
- například *Chara* a *Nitella*





Obrázek 24: *Chara globularis* Zdroj: Hauer Tomáš, lokalita: Hluboký rybník, Loučeň, Střední Čechy, 2009, Sinicearasy.cz

Veškeré zástupce řas najdeme v doméně Eukaryota.

System eukaryot: (Burki et al., 2020, Adl et al., 2018)

Eukaryota se dělí na 8 superskupin:

1) Archaeplastida

2) Amoebozoa

3) (T)SAR skupina

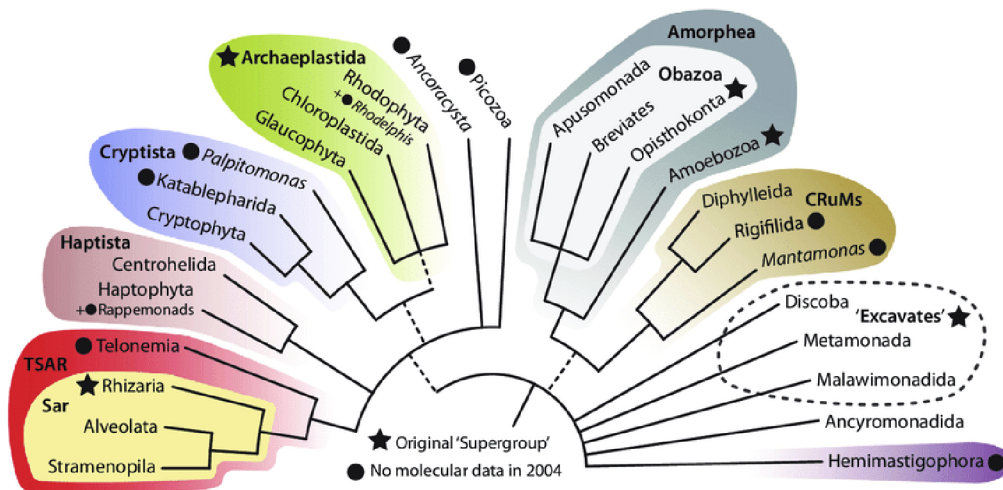
4) Haptista

5) Cryptista

6) Bývalá Excavata

7) CRuMs

8) Obazoa



Obrázek 25: Strom Eukaryot (Burki et al., 2020)

Řasy najdeme v superskupinách: Archaeplastida, TSAR skupina, Haptista, Cryptista a bývalé skupině Excavata.

Do **Archaeplastida** patří zástupci skupin Chloroplastida, Glaucophyta a ruduchy, které mají primární plastidy vzniklé endosymbiózou ze sinice.

Do **TSAR** skupiny patří skupiny řas Stramenopila, Rhizaria a Alveolata. Do Stramenopila patří známé hnědé řasy např. rozsivky (Bacillariophyceae), zlativky (Chrysophyceae) nebo chaluhy (Phaeophyceae), do Alveolata patří obrněnky (Dinophyta).

Mezi Haptista patří Haptophyta, do Cryptista patří skrytěnky (Cryptophyta) a do bývalých Excavata patří krásnoočka (Euglenophyta) (Čepička, 2019, Oborník, 2019, Adl et al., 2018).

System řas: (Bringloe et al., 2020, Burki et al., 2020)

- Bývalá Excavata – Euglenophyta
- Haptista – Haptophyta
- Cryptista – Cryptophyta
- Archaeplastida – Rhodophyta – Bangiophycideae
  - Florideophycideae
    - Chloridopsida – Chlorophyta – Prasinophyceae
      - Ulvophyceae
      - Trebouxiophyceae
      - Chlorophyceae
    - Streptophyta – Zygnematophyceae
      - Charophyceae
      - Chlorokybophyceae
      - Klebsormidiophyceae
      - Coleochaetophyceae
  - Embryophyta
    - Glaucophyta
- TSAR skupina – Dinophyta
  - Chlorarachniophyta
  - Ochrophyta – Diatomista – klad SIII – Pelagophyceae
    - Dictyochophyceae
    - Bolidophyceae
    - Bacillariophyceae



- Chrysis – klad SI – Raphidophyceae
  - Chrysoparadoxophyceae
  - Aurearenophyceae
  - Chrysomerophyceae
  - Phaeothamniophyceae
  - Xanthophyceae
  - Schizocladophyceae
  - Phaeophyceae
- klad SII – Pinguiphyceae
  - Eustigmatophyceae
  - Synchronomophyceae
  - Synurophyceae
  - Chrysophyceae

#### Význam řas:

Řasy jsou především primární producenti organické hmoty. Dalším důležitým významem pro člověka je tvorba agaru, alginátu a karagenu (viz ruduchy a hnědé řasy, kap. 4.3.5.5 Ochrophyta – hnědé řasy, kap. 4.3.5.6 Rhodophyta – ruduchy, Kalina & Váňa, 2005).

Dále mají řasy společně se sinicemi velký význam v biotických interakcích s jinými organismy (symbióza, mutualismus), více v kap. 4.3.3 Biotické interakce sinic a řas.

Jeden z nejdůležitějších údelů řas je jejich role při přechodu rostlin na souš, protože bez řas bychom neměli suchozemské rostliny, více v kap. 4.3.4 Role řas v přechodu rostlin na souš.

### 4.3.2 Role sinic a řas v biogeochemických cyklech

Sinice a řasy jsou známy tím, že ovlivňují několik koloběhů látek. Jelikož obě skupiny jsou schopny fotosyntézy, je zřejmé, že ovlivňují koloběh kyslíku. Sinice dále ovlivňují koloběh dusíku a to proto, že jsou schopny fixovat dusík. Dalším cyklem, který ovlivňují řasy, je koloběh křemíku, který ovlivňují především rozsivky. Ovlivněn je i koloběh fosforu, kde sinice i řasy hrají relativně důležitou roli.

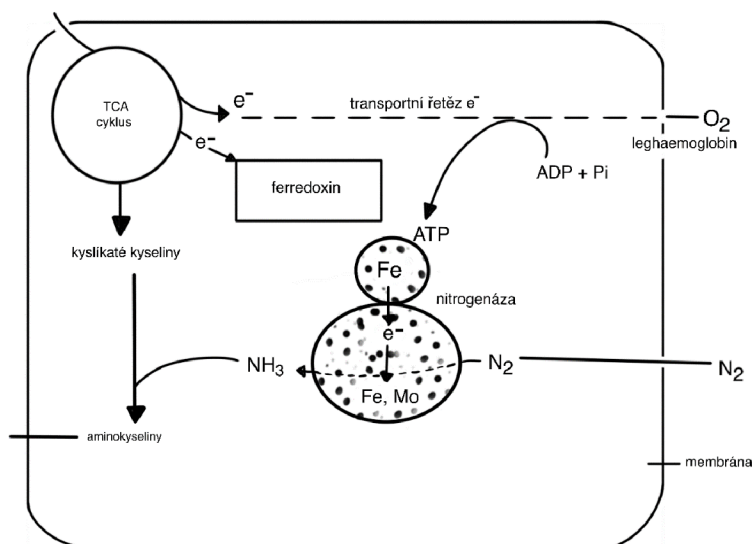
#### Koloběh dusíku:

Dusík je nezbytná složka bílkovin, nukleových kyselin a chlorofylu. Prokaryota jsou schopna metabolizovat většinu dusíkatých látek, eukaryota však využívají jen určité formy dusíku. Dusík je přítomen v atmosféře ve 4/5 objemu, a to v plynné formě biatomárních molekul ( $N_2$ ). V této formě je však využitelný jen pro některé organismy, tzv. vazače dusíku. Těmi jsou často půdní bakterie, některé sinice, hlízkové bakterie a aktinomycety. Při rozkladu odumřelé hmoty uvolňují bakterie anorganické formy dusíku: dusitany ( $NO_2^-$ ) – nitritační bakterie, amonné ionty ( $NH_4^+$ ) – amonizační bakterie a dusičnany ( $NO_3^-$ ) – nitrifikační bakterie. Rostliny jsou schopné tyto anorganické formy přijímat v jejich minerální výživě. Dusík ve formě dusičnanů může být dále denitrifikačními bakteriemi rozložen na molekulární dusík  $N_2$ . Dusík v této formě se poté uvolní do atmosféry. Atmosférický dusík  $N_2$  je obohacován sopečnou činností. Obsah dusíku v půdách a vodách se zvyšuje díky hnojení, které ovšem ohrožuje zásoby podzemních vod (Rosypal et al., 2003, Šimek, 1993, Cílek, 2007).

Některé sinice hrají v koloběhu dusíku roli jeho fixátorů, kteří fixují dusík ve specializovaných tlustostěnných buňkách – heterocytech. K fixaci dusíku dochází za striktně anaerobních podmínek uvnitř heterocytu, kde se pomocí enzymu nitrogenázy vytvoří z plynného  $N_2$  amonný kation  $NH_4^+$  za spotřeby ATP. Sinice, které netvoří heterocyty, tvoří tzv. diazocyty – úseky vláken, ve kterých neprobíhá fotosyntéza, ale jen dýchání. Tím je zajištěna funkčnost nitrogenázy, která je citlivá na kyslík. Diazocyty tvoří například rod *Trichodesmium* (Lundgren et al., 2001). Sinice, které netvoří heterocyty ani diazocyty (např. rody *Oscillatoria* a *Synechococcus*), fixují dusík v noci, kdy je fotosyntéza minimální, a tím vyřeší kyslíkový problém. Heterocyty obsahují totiž tylakoidy, u kterých je funkční jen fotosystém I. Tyto tylakoidy na světle neprodukují kyslík. Část nitrogenázy je totiž velice citlivá na kyslík, který brání správné funkci nitrogenázy (Kalina & Váňa, 2005, Chen et al., 1996).

Jak to v heterocytech vlastně funguje? Hlavní úlohu ve fixaci dusíku má enzym nitrogenáza. Tento enzym patří mezi tzv. pomalé enzymy, a to z důvodu, že jeho redukce trvá déle než 1 sekundu. Nitrogenáza je tvořena dvěma metaloproteiny – Fe-Mo-proteinem a menším Fe-proteinem. Fe-Mo-protein je tetramer tvořen dvěma  $\alpha$  a dvěma  $\beta$  podjednotkami. Tento protein tvoří – 2x Mo, 30x Fe a několik  $S^{2-}$ . Tento protein je stejně tak jako Fe-protein velice citlivý na kyslík. Fe-protein je tvořen dvěma podjednotkami, mezi nimiž je  $Fe_4S_4$  centrum (Bishop & Joerger, 1990, Škára & Ferenčík, 1983, Graham et al., 2009).

Pro redukci nitrogenázy je potřeba nízký redoxní potenciál, který je zajištěn v Fe-proteinu po spojení Fe-proteinu s MgATP. Během redukce  $N_2$  dochází k přesunu elektronů z Fe-proteinu na Mo-Fe-protein. Během toho jsou spotřebovány dvě ATP. ATP si sinice vytváří v průběhu cyklické nebo necyklické fosforylace. Redukce nitrogenázy probíhá v několika krocích. Prvním krokem je redukce Fe-proteinu redukovaným ferredoxinem nebo flavoxinem, tyto sloučeniny jsou zdrojem elektronů. Dalším krokem je aktivace Fe-proteinu díky ATP. Poté se naváže redukovaný substrát na Fe-Mo-protein. Poté dojde k sdružení Fe-proteinu s Fe-Mo-proteinem a následně k přenosu elektronu uvnitř tohoto komplexu. Elektrony se dále přenesou na substrát a dojde k rozpadu komplexu, při kterém se uvolní redukovaný produkt, ADP a fosfát (Škára & Ferenčík, 1983, Šimek, 1993, Graham et al., 2009).

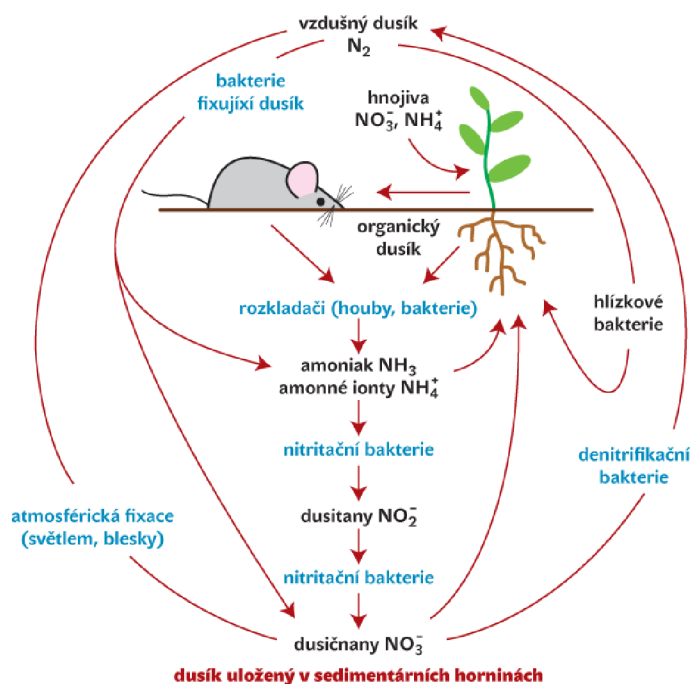


Obrázek 26: Schéma fixace dusíku (podle Richter, 2022)

U některých sinic byl zaznamenán i enzym hydrogenáza, který má za úkol oxidovat vznikající vodík (Šimek, 1993). Existují i tzv. alternativní nitrogenázy, ty mají v Fe-Mo-proteinu místo molybdenu vanad. Tyto nitrogenázy mají většinou organismy, které žijí v prostředí, kde je molybdenu nedostatek (Bishop & Joeger, 1990).

Redukce nitrogenázy závisí na několika faktorech. Nejdůležitějším faktorem je kyslík, který způsobuje nevratnou inhibici nitrogenázy. Dalším faktorem je přítomnost jiných forem dusíku, které jsou organismy schopny fixovaný dusík přijímat. Fixace dusíku je energeticky náročná, proto pokud to jde, tak si organismy zvolí energeticky méně náročnou cestu, a to příjem jiných forem dusíku, které nemusí fixovat (Škára & Ferenčík, 1983, Graham et al., 2009).

Fixace dusíku je řízena i geny. Ty, které kódují nitrogenázu, se jmenují *nif* geny. Některé jsou společné pro různé typy nitrogenáz a některé jsou specificky kódované (Zehr & Turner, 2001, Graham et al., 2009).



Obrázek 27: Koloběh dusíku (Zounar, 2011)

### Koloběh kyslíku:

Kyslík se dostal poprvé ve větším množství do atmosféry jako produkt fotosyntézy autotrofních organismů – sinic. V průběhu evoluce se množství kyslíku v atmosféře zvyšovalo. Bylo to tím, že fotosyntéza začala převažovat nad dýcháním organismů. Nejstarší atmosféra byla pravděpodobně složena z dusíku ( $N_2$ ), oxidu uhličitého ( $CO_2$ ) a stopových plynů jako jsou vodík ( $H_2$ ), oxid uhelnatý ( $CO$ ) a metan ( $CH_4$ ). V této původní atmosféře nebyl téměř přítomen kyslík. Zhruba před 3,5 miliardami let se objevily právě sinice a s nimi i kyslík produkující (oxygenní) fotosyntéza. Po tom, co sinice začaly produkovat kyslík a začaly se hojně množit, se začal pomalu měnit obsah plynů v atmosféře. Postupně se tedy začala měnit ze slabě redukční atmosféry na silně oxidační a tomuto jevu se říká „Great oxidation event“ neboli velké okysličení (Baumgartner et al., 2019, Šmarda, 1996, Kalina & Váňa, 2005). Spotřeba kyslíku je způsobena dýcháním, rozkladem organismů a spalování fosilních paliv. Kyslík dále proniká do půdy a vody (Říhová-Ambrožová, 2006, Sýkora, 2019).

Je obecně známo, že Great oxidation event (GOE) proběhlo zhruba před 2,4 až 2,3 miliardami lety (Pufahl & Hiatt, 2012). Nabízí se tedy otázka, jak je možné, že prakticky bezkyslíkatá atmosféra se proměnila v atmosféru bohatou na kyslík až o zhruba 1 miliardu let později? Nejdříve trvalo samozřejmě nějakou dobu, než se sinice vůbec rozmnožily do takové biomasy, aby jejich fotosyntéza ovlivnila celou planetu. Druhým pravděpodobným důvodem je také fakt, že kyslíkatá atmosféra obsahuje také i organický uhlík, ten musí být oddělen od kyslíku, aby kyslík mohl být akumulován. Jinak by kyslík mohl opět zreagovat s uhlíkem a nehmradil by se v plynné biatomární podobě. Jde o tzv. pohřbení uhlíku – tento jev je primárním faktorem pro akumulaci kyslíku (Holland, 2006). GOE tedy naplno začala až potom, co množství kyslíku převýšilo množství uhlíku a jiných stopových prvků v původní atmosféře (Lyons et al., 2014). Důkazy o GOE najdeme hlavně v petrologii a geochemii.

Mezi geologické důkazy patří páskovaná železná ruda. Tyto železité útvary se skládají z tenkých vrstev oxidu křemičitého a oxidů železa – magnetitu a hematitu. Předpokládá se, že tyto útvary vznikly v mořské vodě díky reakcím kyslíku s železem. Kyslík zreagoval s železem v oceánech, a tím vznikly nerozpustné oxidy železa. Ty se dále vysrážely a vytvořili vrstvu na dně oceánu. Pásové železo představuje okolo 60 % zásob železa na Zemi (Trendall & Blockley, 2004, Cox et al., 2013).

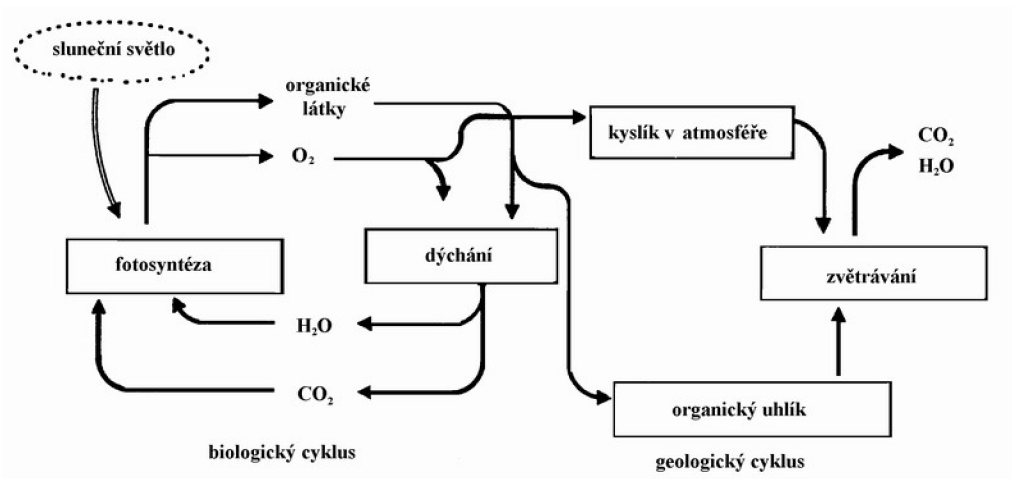


Obrázek 28: Páskovaná železná ruda (Gronstal, 2019)

Další důkaz najdeme v petrologii, tímto důkazem jsou paleosoly neboli fosilní půdy a tzv. redbeds (červené lože). Paleosoly, které jsou starší než 2,4 miliardy let, mají nízkou koncentraci železa. Tento fakt naznačuje, že docházelo k anoxickému zvětrávání (Utsunomiya et al., 2003). Redbeds jsou červené pískovce, které jsou pokryty hematitem. Tento jev naznačuje, že už byl v atmosféře přítomen kyslík a docházelo k oxidaci železa (Eriksson & Cheney, 1992).

Sinice, jak již bylo uvedeno výše, byly prvními organismy, které byly schopny oxýgenní fotosyntézy, a díky nim máme dnes atmosféru s poměrně vysokým obsahem kyslíku. I v dnešní době má mořský pikoplankton velký podíl na produkci kyslíku a ovlivňuje celoplanetární klima. Pikoplankton je rozměrově nejmenší plankton, jeho rozměry jsou v rozsahu 0,2–2  $\mu\text{m}$ . Mezi pikoplankton řadíme např. řasy rodu *Ostreococcus*, sinice rodu *Prochlorococcus* a *Synechococcus* (Pilátová, 2021). Bylo zjištěno, že mořský pikoplankton produkuje 50-85 % světového kyslíku na Zemi. Pro srovnání pralesy produkují 5-20 % světového kyslíku (Earthsky.org, 2015).

Řasy jsou také schopny fotosyntetizovat, fotosyntéza je u nich realizována prostřednictvím plastidů – chloroplastů. Plastidy dělíme na několik druhů – primární, sekundární, terciární. Ovšem pouze primární chloroplasty byly původně volně žijícími prokaryotními organismy – sinicemi. Ostatní druhy jsou odvozené od eukaryotního organismu – řas z různých skupin.



Obrázek 29: Koloběh kyslíku (Bouška et al., 1980)

### Druhy chloroplastů:

Primární plastidy – tyto plastidy vznikly pohlcením sinice heterotrofním eukaryotním organismem. K tomuto jevu došlo poprvé zhruba před 1 miliardou let. Primární plastidy najdeme u řas ze skupin Glaucophyta, zelené řasy (Chlorophyta sensu lato), ruduchy a samozřejmě u vyšších rostlin (Keeling, 2004). Primární plastidy mají vždy jen dvě membrány stejně jako sinice, ze kterých vznikly (Oborník, 2009, Keeling, 2004).

Primární plastid obsahuje vlastní DNA a při endosymbióze došlo k redukci genomu plastidu – původní sinice mají genom o velikosti zhruba 3500 kbp a primární plastid má velikost genomu okolo 150-190 kbp. Plastid totiž potřebuje méně genu, a proto byly některé geny přeneseny do jádra hostitele (Oborník, 2009, Keeling, 2004).

Sekundární chloroplasty (plastidy) vznikly endosymbiózou eukaryotního organismu, který měl primární plastidy, jiným eukaryotním organismem bez plastidů. Tímto jevem se u chloroplastu zvýšil počet membrán, většinou na 3 až 4 membrány. Někdy se však stane, že jedna z membrán zanikne. Nadbytečné membrány vznikají z fagocytického váčku a cytoplazmatické membrány endosymbionta (Keeling, 2004, Hampl, 2012). Pokud má sekundární plastid 4 membrány, tak se někdy mezi 2 a 3 membránou nachází nukleomorf, ten však může časem zaniknout. Nukleomorf je pozůstatek buněčného jádra endosymbionta s redukovaným genomem, část, jehož genetická informace již přešla do jádra hostitele (Vesteg et al., 2020).

Ze zelených řas vznikly chloroplasty u krásnooček a Chlorarachniophyta. Předpokládá se, že předek krásnooček byl blízce příbuzný k *Pyramimonas*. Ruduchový původ mají chloroplasty u obrněnek, skrytěnek, Haptophyta a hnědých řas (Oborník, 2009). U Haptophyta a skrytěnek, které mají chloroplast obklopen čtyřmi membránami, je jedna z membrán odvozená od endoplazmatického retikula. Předpokládá se, že plastidy těchto skupin se vyvinuly prostřednictvím komplexních (sekundárních nebo vyšších) endosymbióz zahrnujících eukaryotického hostitele a eukaryotického fototrofního endosymbionta (Oborník, 2019, Zakryš et al., 2017, Keeling, 2017).

Sekundární plastidy se neliší jenom počtem membrán, ale také spojením jedné z membrán s endoplazmatickým retikulem hostitele, například čtvrtá membrána sekundárního plastidu u Haptophyta, skrytěnek a hnědých řas má ribozomy hostitele. To je způsobeno tím, že je kontinuální s endoplazmatickým retikulem hostitele (Vesteg et al., 2020).

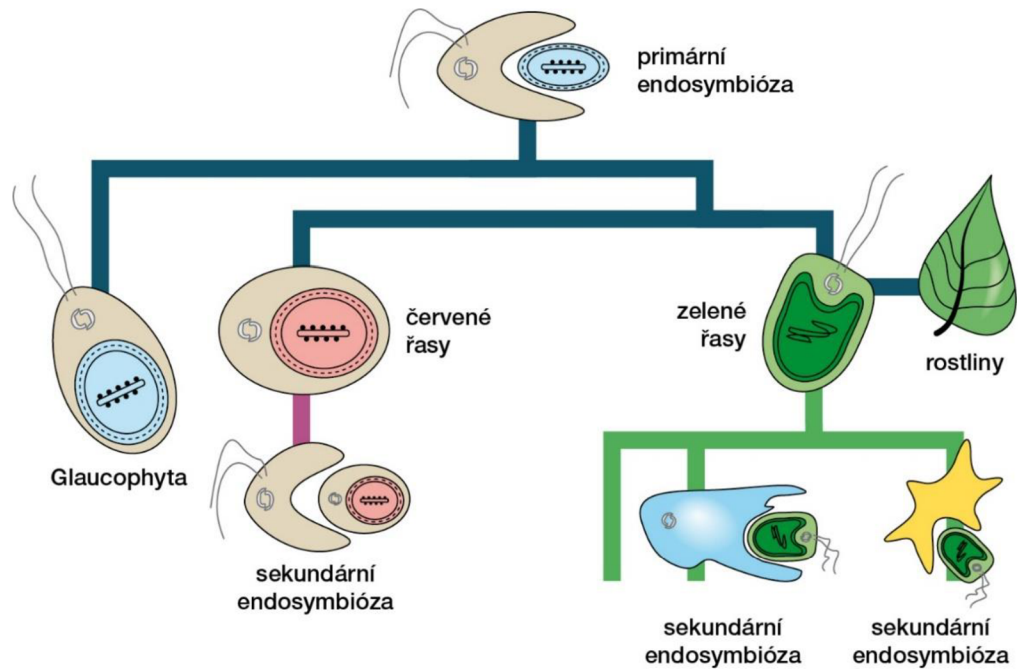
Sekundární endosymbionti, kteří měli za předka ruduchu, mají v chloroplastech chlorofyl *c*. Jak je možné, že tento pigment jejich předek neměl, ale potomci ho mají? Jednou z teorií je, že předek těchto endosymbiontů pigment chlorofyl *c* měl také, ale následně tento chlorofyl ztratil. Tato teorie je však málo pravděpodobná, protože bylo zjištěno, že v ruduchách se chlorofyl *c* nevyskytoval. Druhou teorií je, že sekundární endosymbiózou vzniknul plastid, který náhle obsahoval chlorofyl *c*. Dále se chlorofyl *c* mohl přenášet dalšími terciárními endosymbiózami. Která z těchto teorií je správná není doposud zcela jisté. Ví se pouze, že chlorofyl *c* má tzv. *alc* anténu pro sběr světla (Bachvaroff et al., 2005, Green, 2011).

Terciární plastidy najdeme u obrněnek. Tyto plastidy vznikají endosymbiózou eukaryotního organismu se sekundárním plastidem a jiným eukaryotním organismem (Haptophyta, rozsivky, skrytěnky nebo zelené řasy). Tyto plastidy najdeme například u obrněnek s fukoxantinem, které ve většině případů pozřely zástupce Haptophyta. Dále například obrněnky rodu *Dinophysis* pozřely skrytěnku a *Kryptoperidinium* pozřely rozsivku. Je však pozoruhodné, že v buňce *Kryptoperidinium* najdeme téměř celou rozsivku i s jejími organelami (Oborník, 2009).

Takže si to shrneme. Řasy vznikly díky endosymbióze, která proběhla hned několikrát. První byla tzv. primární endosymbióza. Díky pohlcení sinice eukaryotem vznikly Glaucophyta, ruduchy a Chlorophyta, jejichž součástí jsou vyšší rostliny. Později nastala tzv. sekundární endosymbióza, která se uskutečnila několikrát. Díky této endosymbióze vznikly



ze zelených řas Euglenophyta a Chlorarachniophyta a z červených řas obrněnky, Haptophyta, skrytěnky a hnědé řasy (Oborník, 2009, Keeling, 2004).



Obrázek 30: Endosymbióza (Kutík, 2019)

Tabulka 2: Charakteristika skupin (Kalina & Váňa, 2005, Fott, 1967)

Skupina	Počet membrán	Barviva
sinice	2 (vnitřní a vnější)	chlorofyl <i>a</i> , $\alpha$ , $\beta$ -karoten a xantofyly
krásnoočka	3 (sekundární plastid)	chlorofyl <i>a</i> i někdy <i>b</i> , $\beta$ -karoten a xantofyly
skrytěnky	4 (sekundární plastid)	chlorofyl <i>a</i> a <i>c</i> <sub>2</sub> , $\alpha$ , $\beta$ -karoten a xantofyly
obrněnky	různý (sekundární plastid nebo terciární)	chlorofyl <i>a</i> a <i>c</i> <sub>2</sub> , $\beta$ -karoten a xantofyly
hnědé řasy	3-4 (sekundární plastid)	chlorofyl <i>a</i> a <i>c</i> <sub>1</sub> a xantofyly
ruduchy	2 (primární plastid)	chlorofyl <i>a</i> , $\alpha$ , $\beta$ -karoten a xantofyly
Viridiplantae	2 (primární plastid)	chlorofyl <i>a</i> a <i>b</i> , $\beta$ -karoten a karotenoidy
Glaucophyta	2 (primární plastid)	chlorofyl <i>a</i> , fykobiliny a fykobilisomy
Haptophyta	4 (sekundární plastid)	chlorofyl <i>a</i> a <i>c</i>

#### Koloběh křemíku:

Hlavním zdrojem křemíku jsou minerály a horniny, hlavně křemelina tvořená schránkami rozsivek, z nichž se křemík uvolňuje postupným zvětráváním. Ve vodě se dále křemík mění na kyselinu křemičitou a ta se pak dále transportuje do těl organismů. Po odumření organismu dojde k uvolnění křemíku v podobě fytolitu (krystalická inkluze v buňkách) opět do vody. Fytolity jsou často přítomny v půdě, ale mohou se i rozpustit, a tím se křemík dostane opět do vody a cyklus se opakuje (Alexandre et al., 1997).

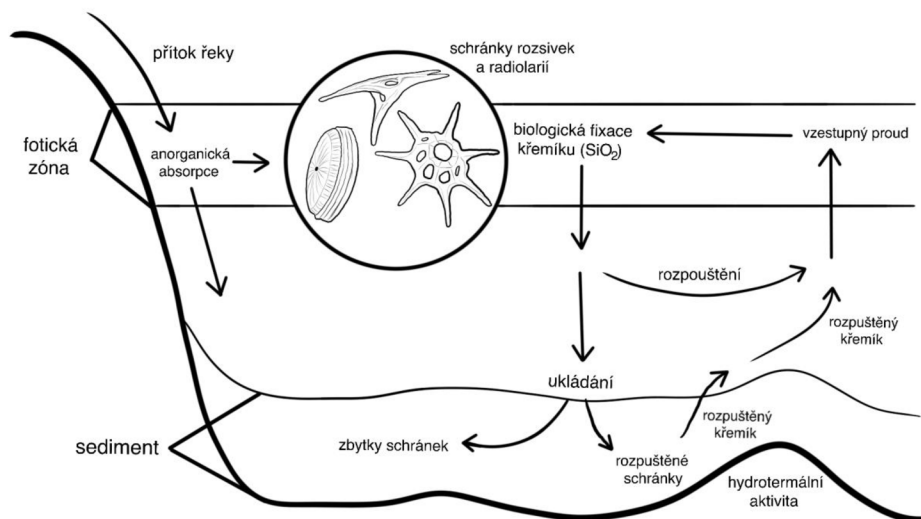
Křemelina se v historii přidávala do cihel, aby nebyly tak těžké. Dnes se nejčastěji křemelina používá jako filtrační materiál. Nejčastěji se v minulosti používala k filtraci vody k odstranění nečistot a parazitů. I dnes se tak křemelina používá, například k filtraci vody

v bazénech. Křemelina však nedokáže zachytit všechny patogeny – projdou jí organismy, které jsou menší než póry křemeliny. Další použití křemeliny je k odstranění těžkých kovů (zinek, olovo). Křemelina se navíc využívala i jako doplněk stravy na pročištění střev a na doplnění minerálních látek (Antonides, 1998, Reka et al., 2014).

Křemelina měla a má ještě mnoho dalších využití: stabilizační složka dynamitu, insekticid, absorbent kapalin a další (Reka et al., 2014).

Ve vodě je křemík přítomen ve formě křemičitanů. Řasy jsou schopny využívat křemík ve formě kyseliny křemičité. V této formě ho řasy potřebují pro tvorbu křemičitých schránek (rozsivky), tvorbu buněčné stěny cyst (zlativky) a šupin (zlativky) (Barsanti & Gualtieri, 2005, Alexandre et al., 1997).

Je však známo, že křemíku ubývá, i rozsivkám by mohl křemík postupně docházet. Tomu nasvědčují jejich ztenčené schránky, ale ztenčování schránek nemusí být nutně kvůli nedostatku křemíku (Lazarus et al., 2009).



Obrázek 31: Koloběh křemíku ve vodě (podle: Encyclopaedia Britannica, 2022)

### Koloběh síry:

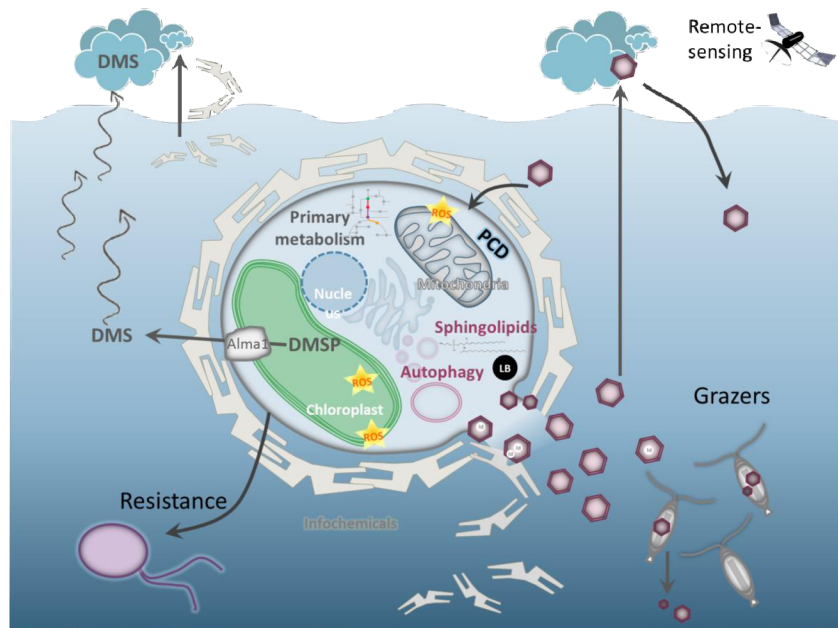
Síra je velice důležitý prvek pro tvorbu aminokyselin cysteinu a methioninu a pro tvorbu sulfolipidů v tylakoidech, síra je dále součástí koenzymu A. Sinice a řasy nevyužívají síru ve všech formách, ale jen ve formě síranu  $SO_4^{2-}$ . Po odumření nebo pozření řas jiným organismem se síra dostává dále do oběhu (Barsanti & Gualtieri, 2005). Řasy, které globálně

ovlivňují koloběh síry, jsou především ze skupin Haptophyta a chaluha. U chaluha je síra uložena ve formě dimethylsulfopropionátu, který chaluha produkuje při vyrovnávání osmotické nerovnováhy. Dimethylsulfopropionát se dále dostává do vody a poté se přemění na dimethylsulfid, který je zpracováván v rámci koloběhu síry (Kalina & Váňa, 2005).

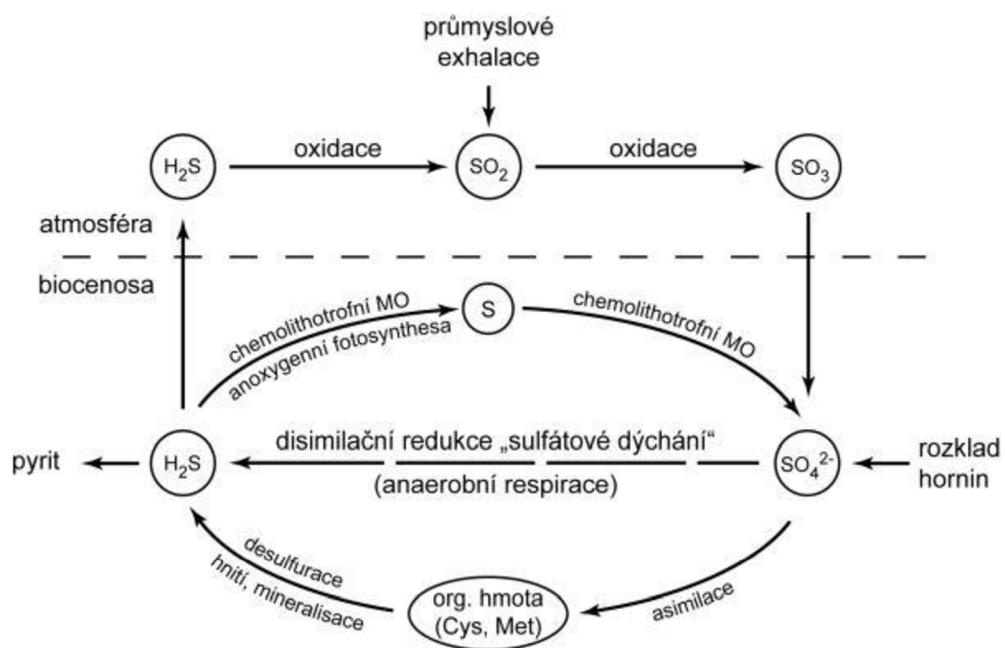
Sloučeniny síry výrazně ovlivňují i počasí. Molekuly kyseliny sírové v ovzduší, které se do atmosféry dostanou kvůli spalování fosilních paliv, jsou zodpovědné za jev, který se nám jeví jako oblačnost. Oblačnost se totiž tvoří kolem částicových jader, které jsou považovány za znečištěné ovzduší (Bianchi et al., 2016, Kirkby et al., 2016, Tröstl et al., 2016).

Mraky hrají velkou roli v částečném ochlazení Země. Na Zemi by totiž mělo docházet k postupnému oteplování kvůli nárůstu skleníkových plynů v ovzduší, ale díky oblačnosti je Země částečně ochlazována. Mraky totiž odrážejí sluneční záření zpět do vesmíru. Bylo však zjištěno, že oblačnost nezpůsobuje jen znečištěné ovzduší (Bianchi et al., 2016, Tröstl et al., 2016, Kirkby et al., 2016, PSI, 2022).

Bylo zjištěno, že tvorbu mraků ovlivňují i řasy, například *Emiliana huxleyi* (dnes nově *Gephyrocapsa huxleyi*). *Emiliana huxleyi* je jednobuněčný organismus, který vytváří vápenaté kokolity. Pokud však *Emiliana huxleyi* napadne virus, kokolit praskne a jeho částice se rozpráší ve formě aerosol seaspray (aerosolový mořský sprej). Tyto částice se díky bublinám dostanou na hladinu a zde mohou být přeměněny na vzdušné částice. Tyto částice se stanou kondenzačními jádry mraků, které ovlivňují tvorbu mraků a proměnu atmosférických procesů (Lee, 2018, Graham et al., 2009).



Obrázek 32: Schéma tvorby mraků vlivem *Emiliana huxleyi* (Weizmann.ac.il, 2022)

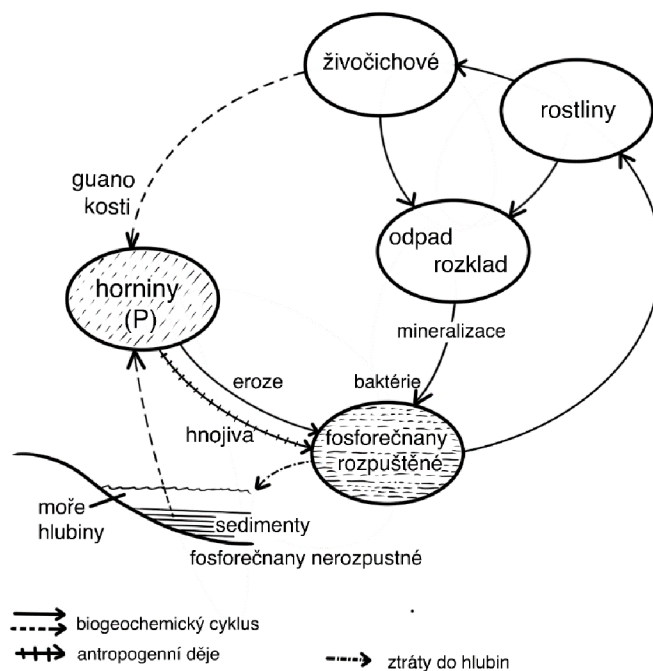


Obrázek 33: Koloběh síry (Vydavatelství–old.vscht.cz, 2022)

### Koloběh fosforu:

Sinice i řasy jsou úzce vázány na fosfor – potřebují ho k tvorbě DNA a RNA, koenzymů a ATP. Ovšem ne všechny formy fosforu jsou pro řasy a sinice využitelné, nejvíce využívanou formou pro řasy a sinice jsou fosforečnany. Fosforečnany se do těla řas dostávají pomocí vícenásobných transportérů (Graham et al., 2009). Sinice a řasy dokážou přijímat i jiné formy fosforu, ale není ještě dostatečně prozkoumáno, které formy to jsou (Borowitzka, 2016). Fosfor se do vody dostává díky vymývání hornin a lidské činnosti – hnojení. Heterotrofní organismy do svého těla dostávají fosfor požitím řasových stélek. Odumíráním řas a těl konzumentů se fosfor opět dostává na dno a koloběh se opakuje. Hlavní rolí sinic a řas při koloběhu fosforu je přenos fosforu do jiných organismů (Šimek, 2003).

O fosforu se často mluví v souvislosti s eutrofizací. Eutrofizace je proces obohacování vod živinami, kterými jsou hlavně fosfor a dusík. Eutrofizaci dělíme na přirozenou a nepřirozenou. Přirozenou eutrofizaci je obohacování vody o živiny z půdy a rozkladem mrtvých organismů. Nepřirozenou eutrofizaci způsobuje hlavně člověk, a to především hnojením polí, která se po dešti splaví do vod a dojde k obohacení vody o živiny. Dalšími zdroji mohou být různé prací prostředky, které se kanalizací mohou dostat do vody (Šimek, 2003, Opletová, 2015, Maršálková & Maršálek, 2010). Důsledkem eutrofizace je přemnožení fytoplanktonu a vodního květu sinic. Dále začnou růst řasy, které postupně vytlačí vyšší rostliny. Časem se začnou vytrácet i bezobratlí a poté obratlovci, kteří se bezobratlími živí. Postupně dojde k hromadění sinic, které postupně odumírají, a dojde ke snížení koncentrace kyslíku ve vodě. Kvůli nedostatku kyslíku začnou postupně hynout ryby a může dojít i k uvolňování toxického amoniaku (Čížková & Šantrůčková, 2006).



Obrázek 34: Koloběh fosforu (podle Císař et al., 1987)

### 4.3.3 Biotické interakce sinic a řas:

#### Symbióza:

Symbióza je úzké soužití dvou či více organismů. Mezi symbiózy se řadí mutualismus, komensalismus a parazitismus. Poprvé byl pojem symbióza použit v roce 1877 pro nejznámější příklad symbiózy – soužití sinice/řasy a houby v lišejnících. Důležitou evoluční událostí byla situace, kdy symbióza dvou organismů dosáhla takové úrovně, že jeden symbiont předal své genetické informace druhému symbiontovi a stal se jeho organelou. Příkladem této dokonalé symbiózy je situace, kdy se z proteobakterie (z příbuzenstva Rickettsiales) stala mitochondrie a ze sinice se stal chloroplast (Petrušek, 2018).

Symbióza může být dvojího typu – endosymbióza a ektosymbióza.

Sinice, které žijí v symbióze s živočichy, se nazývají zoocyanely. Příkladem je symbióza sinice s ploštěnci nebo soužití sinic v mořských houbách (Čepička et al., 2007).

Dále sinice vstupují do endosymbiomy s prvky. Obecně sinice svému symbiontovi poskytují sloučeniny dusíku, a to díky své vlastnosti dusík fixovat (Šejnohová & Maršálek, 2005).

Některé rody sinic mohou vstupovat do symbiomy s mechorosty, kapradinami i nahosemennými rostlinami, kde sinice dodávají rostlině dusík v organické formě. Příkladem symbiomy sinice a kapradiny je sinice *Trichormus* a kapradina *Azolla*. Příkladem symbiomy nahosemenných se sinicemi je sinice *Nostoc* a všechny druhy cykasů (Grube et al., 2017).

V případě endosymbiomy u řas je řasa přítomná v buňkách hostitele (Pouličková, 2011), příkladem endosymbiomy je vztah rozsivky *Licmophora* s praploštěnkou *Convoluta* (bezstřevka) (Čepička et al., 2007).

Řasy mohou být díky symbióze s hostitelem nějakým způsobem ovlivněny (např. ztrátou bičíků). Jednou z hlavních změn při endosymbióze u řas je zpomalený růst (Pouličková, 2011).

Mezi symbionty patří asi 150 druhů řas. Zelené řasy, které vstupují do symbiotického vztahu, jsou tradičně označovány jako tzv. zoochlorelly. Zoochlorelly nejsou druhem, ale je to název pro řasy, které mají stejnou ekologickou strategii, protože bylo zjištěno, že zástupci zoochlorell jsou polyfyletičtí, tedy nemají společného předka a patří do několika různých rodů. Zoochlorelly žijí v těle sladkovodních i mořských bezobratlých nebo prvků. Můžeme je najít například v různých sasankách, nezmarech nebo nálevnicích (Pouličková, 2011, Pröschold et al., 2011).

Dalším příkladem symbiomy je soužití obrněnek s největším mlžem na světě – zévou obrovskou (*Tridacna gigas*). U tohoto vztahu však není jasné, zda je prospěšný pro oba nebo nikoli (Čepička et al., 2007).

Mezi symbiózy řadíme mutualismus, parazitismus nebo komensalismus. Toto řazení je podle toho, jaký z toho mají partneři v symbiotickém vztahu prospěch. V případě, že ze symbiomy profitují oba, jedná se o mutualismus, naopak je to u parazitismu a komensalismu. Zde profituje pouze jeden symbiont. U parazitismu dochází k poškozování druhého symbionta, kdežto u komensalismu druhému symbiontovi tento jednostranný vztah nevadí (Čepička et al., 2007).



### Mutualismus:

Mutualismus je forma symbiózy, ve které mají všichni zúčastnění ze vztahu prospěch. Ne vždy se dá poznat, zda je tento vztah bez výhrady výhodný pro všechny zúčastněné. Někdy to vypadá, že ano, ale pokud se na to podíváme z bližšího hlediska, můžeme zjistit, že tomu tak úplně není (Čepička et al., 2007).

Příkladem mutualismu jsou řasy, které žijí v tělních dutinách a tkáních živočichů. Nazývají se zooxantely (Pouličková, 2011).

Příkladem mutualismu sinic je u rodu *Nostoc*, kdy sinice je symbiont a jeho hostitel je rod *Geosiphon* – je to jediný druh ze skupiny Glomeromycota, který má nějakou interakci se sinicí. Tento vztah je na pomezí lišejníku a mykorhizy, ale vědci se spíše přiklánějí k mykorhize z důvodu toho, že *Geosiphon* proniká do buněk sinic. Dalším příkladem je symbióza se sinicí rodu *Richelia* a rozsivky *Rhizosolenia* nebo *Trichormus* a kapradina rodu *Azolla*. Díky této symbióze může kapradina za velmi krátkou dobu až zdvojnásobit svou biomasu. Díky přísunu dusíku od sinic využívají lidé velmi často tuto kapradinu jako hnojivo na rýžových polích (Grupe et al., 2017, Lumpkin & Plucknett, 1980).

Obrněnky rodu *Symbiodinium* (tzv. zooxanthely) jsou známy svou symbiózou s korály. Tento vztah korálu s obrněnkou patří spíše do mutualistického vztahu. Korál nabídne obrněnce stabilní prostředí a živiny, obrněnky poskytují korálu produkty fotosyntézy. I přesto, že korál si je schopný svými žahavými chapadly lovit potravu, většinu živin získává právě z obrněnek. Ovšem ne všechny korály mohou být v symbióze s obrněnkami. Obrněnky totiž potřebují světlo, aby mohly fotosyntetizovat. Proto korály, které žijí v symbióze s obrněnkami, žijí v menších hloubkách než korály, které jsou bez obrněnek. Problémem ovšem je tzv. bělení korálů, jehož projevem je zbělení korálu, kvůli ztrátě symbiotických obrněnek. Tento projev je často reakcí na vlastnosti okolí – znečištění, teplotu, UV záření nebo infekci patogenem. Po tom, co přijde korál o svého symbionta, nemusí hned dojít k jeho vybělení. Může nastat i odumření korálu, který přišel ztrátou symbionta o příjem živin. Zbělený korál je oslabený a neroste. Po tom, co uhyne, může nastat až rozpad celého útesu. Korál má ovšem schopnost přijmout obrněnku zpět a zachránit se tím. Tento proces by měl proběhnout co nejdříve, protože samotný korál bez obrněnek není schopen života. U této záchrany korálu většinou dojde k výměně druhů obrněnek, které snáší teplo hůře za druhy obrněnek, které mají vyšší teplotní toleranci (Thurman & Trujillo, 2002, Čepička et al., 2007, Eakin et al., 2019, Votýpka, 2018, Hoegh-Guldberg, 2005, Nutman & Mosse, 1963).

Další interakcí je tvorba lišejníků. Sinice nebo řasy jsou často fotosyntetizující složkou lišejníků. Lišejník je tvořen řasovou/sinicovou (fotobiont) a houbovou složkou (mykobiont). U lišejníků však není jisté, zda jde o mutualismus nebo jinou interakci. Hostitelem jsou často druhy ze skupiny Ascomycota nebo Basidomycota (Grupe et al., 2017, Liška, 2000). Vztahy u lišejníků jsou složitější, a to tím, že lišejník nemusí být tvořen pouze dvěma složkami, ale některé lišejníky mají tři a více partnerů (Nash, 2008). Dlouho bylo předpokládáno, že se jedná o mutualismus, ale tato teorie byla vyvrácena. Dnes se přikláníme spíše k teorii, že jde o příklad kontrolovaného parazitismu, čemuž nasvědčuje fakt, že houbová složka získává více výhod než fotobiont, kterému tento vztah tolik neprospívá. Bylo zjištěno, že řasy a sinice v tomto symbiotickém vztahu rostou o dost pomaleji, než při samostatném růstu (Ahmadjian, 1993).

#### Komensalismus:

Komensalismus je biologická interakce mezi dvěma organismy, při které má jeden organismus z této interakce prospěch a druhého toto soužití nijak neovlivňuje (Campbell & Reece, 2006). U řas je komensalismus častý, řasy rostou často na schránkách měkkýšů, krunýřích želv nebo na kůře stromů (komplex rodů *Desmococcus/Pleurococcus/Apatococcus*, *Trentepohlia* a *Chlorella sensu lato*) (Pouličková, 2011).

#### Parazitismus:

Parazitismus je mezidruhová interakce, u které se jeden organismus živí na úkor druhého – jedná se tedy o vztah parazita a hostitele. Parazité mohou být endoparazité a ektoparazité. Parazitismus u řas je relativně vzácný a tyto řasy jsou většinou vázány na jednoho hostitele (Campbell & Reece, 2006).

Asi čtvrtina parazitujících řas jsou mořské ruduchy, které parazitují na jiných ruduchách. Parazity najdeme i mezi hnědými řasami, například rody *Syndinea* a *Ellobiopsida* (Hampl, 2010). Parazitické řasy mají většinou mikroskopické rozměry a relativně jednoduchou stavbu. U většiny došlo ke ztrátě fotosyntézy, až na některé výjimky, jako jsou například rod *Cephaleuros* blízce příbuzný volně žijícímu rodu *Trentepohlia*. Dalšími příklady parazitických řas jsou právě rody *Phyllosyphon*, *Cephaleuros* a *Stomatochroon*, které žijí v mezibuněčných prostorech tropických rostlin, například čajovníku nebo kávovníku, u kterých pak způsobují onemocnění. Tyto parazitické řasy se projevují často barevnými

skvrnami na listech, mohou dále zabít nové výhonky nebo znetvořit plodiny. Rostliny většinou umírají do 3-6 týdnů (Paracer et al., 2000).

V parazitismu hrají řasy častěji roli hostitele. Jejich parazity jsou často houby (např. Chytridiomycota). Parazité přisednou na buněčnou stěnu řasové buňky. K tomuto dochází nejčastěji ve sladkých vodách (Pouličková, 2011). Parazité jsou velmi často hostitelsky specifictí, tzn. co hostitel, to parazit. Není však pravda, že je stejný počet hostitelů a parazitů (Votýpka, 2019). Parazité mohou být monoxenní, stenoxenní a euryxenní. Monoxenní parazité parazitují pouze na jednom hostitelském druhu. Stenoxenní parazit parazituje na několika fylogeneticky příbuzných druzích a euryxenní parazité parazitují na několika nepříbuzných druzích (Flegr, 2009).

Parazité a patogeny mají velký vliv na produkci řas v akvakulturách, například u řasy *Porphyra* zaznamenali v Japonsku a Číně ztrátu okolo 10 % roční produkce a v Číně ztráta činila až 30 % (Ding & Ma, 2005, Park et al., 2001). Tato ztráta je přičiněna parazity *Olpidiopsis* spp. a *Pythium* spp. Nemoc způsobená těmito patogeny dokáže za 2-3 týdny zničit okolo 100 hektarů produkce. Jednou z mála účinných metod proti těmto patogenům je pravidelné kyselé promývání *Porphyra* nebo použití jiných pesticidů. Biomasa *Porphyra* se promývala různými koncentracemi různých kyselin (kyselina salicylová). Ta způsobuje zlepšenou odolnost vůči oxidačnímu stresu a patogenům (Ashen et al., 2000, Wang et al., 2008, Park et al., 2006).

Nejznámějšími patogeny řas jsou viry, ale mezi řasovými patogeny najdeme i bakterie. Nejrozšířenějšími bakteriálními řasovými patogeny jsou: *Alteromonas*, *Cytophaga*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas*, *Pseudoalteromonas*, *Saprospira* a *Vibrio*. Tyto patogeny způsobují nejčastěji hnilobu a háčky na mořských řasách (Gachon et al., 2010).

Řasové patogeny jsou však velice důležité pro fungování ekosystému a společně s parazity je můžeme najít ve všech prostředích, i ve všech trofických úrovních. Parazité tvoří většinu potravních sítí ve vodním ekosystému, čímž urychlují recyklaci organické hmoty. Často také kontrolují své hostitele shora dolů. Patogeny často také infikují nejvíce rozšířené hostitele, čímž umožňují větší koexistenci méně zastoupených druhů organismů, které nejsou jinak schopni konkurovat hojným druhům. Patogeny a parazité jsou tedy jakousi hnací silou při mezidruhové, ale také vnitrodruhové konkurenci. Přispívají také při zlepšení přenosu energie napříč trofickými úrovněmi a přenosu živin (Gachon et al., 2010).

### Kompetice:

Kompetice je vztah dvou organismů, kdy si navzájem konkurují. Tento vztah je v širším pojetí určitým druhem symbiózy. Kompetice může být vnitrodruhová a mezidruhová. Příkladem kompetice jsou rody *Chara* (parožnatky) a *Vaucheria* (posypanka), které jsou dominantními rody před ostatními řasami v jezeře Milada. Po jejich odstranění přestaly být ostatní řasy utlačovány a změnila se druhová bohatost řas v jezeře (Vejiřková et al., 2018).

Kompetičními výhodami mohou být aerotopy nebo jiné plynové měchýřky, které organismus nadnášejí, a tím se dostanou lépe ke zdroji světla. Další výhodou mají například zlativky, které mají značnou spotřebu fosforečnanů. Pokud je ovšem nepotřebují, dochází k ukládání fosforečnanů a tyto zásoby využívají posléze při nedostatku (Sci.muni.cz, 2022).

### Amensálismus:

Amensálismus neboli alelopatie je vztah dvou organismů, při kterém je jeden z organismů poškozován vyloučenými látkami druhého organismu, který z tohoto vztahu nemá žádný prospěch (Venturelli et al., 2015).

U planktonních řas se zdá, že je alelopatie relativně běžná (Granéli & Hansen, 2006).

Některé druhy sinic a řas produkují sekundární metabolity, které ovlivňují růst jiných organismů. Tyto metabolity jsou často produkovány některými druhy sinic, obrněnek, Haptophyta a Raphidophyta (třída hnědých řas). Často je uváděno, že sekundární metabolity jsou schopny produkovat i některé rozsvivky (Chiang et al., 2004, Granéli & Hansen, 2006).

U většiny druhů však nejsou známy přesné sekundární metabolity, které řasy nebo sinice produkují, ale jsou známy pouze účinky na jiné organismy. Mezi tyto účinky patří například inhibice růstu, inhibice fotosyntézy, podpora cyst nebo smrt (Legrand et al., 2003).

Alelopatii najdeme u sinic nebo řas rodu: *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Gymnodinium*, *Peridinium*, *Gyrodinium* a další (Legrand et al., 2003).

Sinice i řasy, které produkují různé toxiny a ohrožují tím jiné organismy, mohou způsobit i některé vyrážky u lidí (Venturelli et al., 2015).

### Predace/herbivorie:

Predace/herbivorie je vztah organismů, kdy jeden z organismu žije na úkor toho, že usmrtí druhý organismus (predace) nebo naruší jeho vývoj a růst. Predace se týká živočichů a herbivorie rostlin. U herbivorie dochází k požívání celých rostlin nebo jejich částí. Rostliny i živočichové se proti predaci a herbivorii snaží bránit. Rostliny se brání například trny, obrannými chemickými látkami, nebo mutualistickými vztahy s živočichy. Herbivorie se týká i sinic a řas. Ve vodním prostředí žije mnoho obratlovců, ryb a ptáků, kteří se živí právě převážně řasami. Herbivorie často ovlivňuje druhové bohatství v prostředí (Koudelková, 2011).

U mořských makrořas bylo zjištěno, že je rezistence vůči herbivorům relativně běžná, zejména u hnědých řas a méně běžná u zelených a červených řas (Toth & Pavia, 2007, Jormalainen & Honkanen, 2008). Některé makrořasy využívají i aktivovanou obranu, při které se prekurzor změnil na odpuzující metabolit na požádání (Paul & Van Alstyne, 1992, Jung et al., 2002, Van Alstyne & Houser, 2003). Obranné metabolity se nevyužívají pouze v reakci na přímé poškození spásáním, ale může být spuštěna podněty v prostředí, které naznačují zvýšené riziko herbivorie. Bylo zjištěno, že některé rostliny dokážou díky sousedním rostlinám rozpoznat, že je v okolí herbivor, a mohou tak zvýšit svou obranu (Karban et al., 2013). Některé rostliny jsou schopny zvýšit svou odolnost i pomocí čichových podnětů, které pochází od herbivora (Helms et al., 2013).

#### **4.3.4 Role řas v přechodu na souš**

V době před přechodem rostlin na souš byla planeta vystavena velkému množství dopadajícího UV záření. Toto záření způsobovalo, že povrch Země byl těžko obyvatelný a život byl pouze ve vodě. Na souši se první rostliny objevily asi před půl miliardou let, a to především díky ozonové vrstvě, která vznikla po vzniku kyslíkaté atmosféry přeměnou kyslíku vlivem UV záření (Vosolsobě, 2020).

Ve spojení s přechodem rostlin na souš existuje několik teorií, které se jej snaží vysvětlit. Panuje obecná shoda, že suchozemské rostliny mají předky v zelených řasách, a to v rámci linie Streptophyta. Dlouho se však vedou diskuse, ze které skupiny v rámci streptofytní linie pochází společný předek řas a vyšších rostlin – ze třídy Coleochaetophyceae,

Zygnematophyceae nebo Charophyceae. V rámci této linie existují i další skupiny, ale ty nejsou kandidáti pro hledání společného předka spojeného s přechodem rostlin na souš (Vosolsobě, 2020, Becker, 2009).

Nějakou dobu se vědci domnívali, že předchůdce suchozemských rostlin by mohl pocházet z třídy Coleochaetophyceae. Někteří zástupci *Coleochaete* mají schopnost přizpůsobit se životu na souši, proto to byli jedni z možných předků suchozemských rostlin. Důvodem vzniku této teorie byla podobnost zygospor *Coleochaete* se sporofytem mechorostů. Tato teorie měla více předpokladů (Campbell & Reece, 2006). Jedním z nich je sekvenční podobnost evolučních markerů *Coleochaete* a jätrovek. Dalším důkazem této teorie byla řasa *Coleochaete orbicularis*, která měla velmi podobnou stélku jako jätrovky. Tato teorie byla však později vyvrácena a byla nahrazena jinou teorií (Haig, 2015, Graham, 1984).

Další dnes již vyvrácenou teorií je, že nejbližšími příbuznými suchozemských rostlin byly parožnatky (Charophyceae). Tato teorie se držela velmi dlouho, existovalo pro ni mnoho důkazů. Jedním z důvodů, proč tato teorie byla vytvořena, byl fakt, že Charophyceae jsou nejsložitější řasy. Dalo by se předpokládat, že předkem suchozemských rostlin byly nejsložitější řasy. Další důkazy o této teorii byly dost podobné jako u teorie o předchůdcích ze skupiny Zygnematophyceae (viz důkazy o předkovi ze Streptophyta). Velmi významné bylo také srovnání genomů. Bylo zjištěno, že Charophyceae mají většinu genů suchozemských rostlin až na jeden – TANGLED 1. Charophyceae měly v sobě i geny kódující auxinové transkripční receptory. Ale i přes to bylo zjištěno, že tato skupina není sesterská k suchozemským rostlinám, nýbrž jsou to jakési sestřenice vyšších rostlin (Vosolsobě, 2020, Cze.sciences–world.com, 2022).

Nejpravděpodobnější teorií je, že předek suchozemských rostlin pochází ze spájiých řas (třída Zygnematophyceae). Potvrdily to mimo jiné molekulární analýzy. Spájičky dokážou růst na vlhkých skalách, v mělkých nádržích, strouhách a dokážou přežít krátkodobé vyschnutí. Spájičivé řasy jsou výjimečné svým způsobem rozmnožování, který je u řas poměrně ojedinělý. Rozmnožují se spájením, během kterého nedochází ke splývání bičíkatých buněk, které jsou uvolňovány mateřskými buňkami, ale dochází zde ke splývání mateřských buněk, mezi kterými se vytvoří kanálek a dochází zde ke splynutí jejich obsahu (Vosolsobě, 2020, Rensing, 2018).

Rostliny však nebyly prvními organismy na souši, dávno před rostlinami na Zemi žily různé organismy např. mikroskopické houby (skupina Glomeromycota). Právě tyto houby

měly velký podíl na úspěšném uchycení rostlin na souši – jejich kolonizace. Symbióza vláknité mikroskopické houby s předkem suchozemských rostlin velice napomohla například při přisednutí na zemský povrch, jednalo se o jistý typ mykorhizy. Díky této mykorhize si rostliny dokázaly s pomocí hub získávat živiny, což právě houby zprostředkovávaly (Field et al., 2015, Mihulka, 2001).

Důkazem, že suchozemské rostliny se vyvinuly z řas, je fytohormon auxin. Rostlina si tento fytohormon syntetizuje v částech, kde probíhá aktivní růst, například v listech. A auxin dále putuje do stonku až do kořene. Rostlinné buňky si tento hormon mohou předávat a ovlivňovat tím jeho tok. Pokud se tento hormon nahromadí v suchozemských rostlinách, dojde k vyslání signálu pro přeměnu buněk na cévní svazky. Hormon auxin dále ovlivňuje, kde vyrostou nové listy a vedlejší kořeny. Má vliv také na růstovou rychlost. Přenašeči auxinu jsou řízeny světlem nebo gravitací (Vosolsobě, 2020).

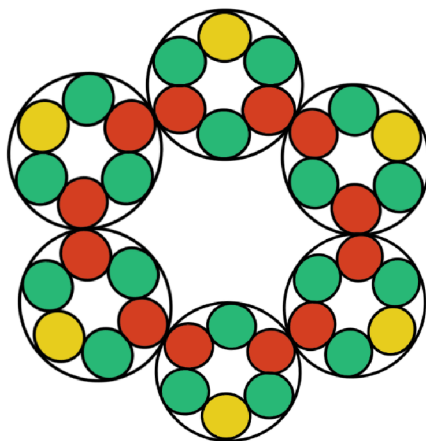
Tento hormon najdeme i u řas, z tohoto důvodu předpokládáme, že suchozemské rostliny se vyvinuly právě z řas. Řasy však nemají receptory pro auxin, ale některé skupiny řas mají schopnost cíleně transportovat auxin do jiných buněk. Tuto dovednost přijaly řasy nejspíš od bakterií. Díky výzkumu genů, které jsou zodpovědné za přenos auxinu, byla vyloučena teorie, že předchůdci suchozemských rostlin jsou parožnatky (Vosolsobě, 2020, Irozhlas.cz, 2018).

Suchozemské rostliny se od řas liší především životním cyklem. Všechny řasy jsou schopny se rozmnožovat nepohlavně, ale také pohlavně. Cílem pohlavního rozmnožování je, aby u řas docházelo ke kombinaci genů. Tento proces probíhá splnutím dvou buněk a následným vznikem zygoty, která se dále dělí procesem meiózy. Pohlavní proces je oproti nepohlavnímu složitější a dochází k němu na konci vegetačního období, kdy nastává například vysychání, ochlazování nebo úbytek živin. Za zhoršených podmínek se zygota obalí odolným obalem, díky kterému je schopna přečkat nepříznivé podmínky a pokračovat ve vývoji až po nástupu příznivých podmínek. Parožnatky a *Coleochaete* tvoří pohlavní buňky, z nichž jedna je pohyblivá a vybírá si svého partnera. U řas se tedy obecně vzniklá zygota nadále vyvíjí pomocí meiózy s promíchanou genetickou výbavou, ale ne nutně vždycky hned po vzniku zygoty (Vosolsobě, 2020, Rensing, 2018).

U suchozemských rostlin tomu tak není, jelikož došlo k určité adaptaci pro život na souši. Stejně jako u řas u nich vzniká zygota, avšak místo meiózy proběhne mitóza buňky, což vede k vytvoření diploidní sady genů od obou rodičovských organismů uvnitř zygoty.

Diploidní části suchozemských rostlin mají tedy důležitou funkci pro vybudování mnohobuněčného těla (Vosolsobě, 2020).

Dalším důkazem, že vyšší rostliny vznikly ze Streptophyta je homologie chloroplastů. Chloroplasty vyšších rostlin jsou velmi podobné plastidům Streptophyta, a to především stejným obsahem barviv – chlorofyl *a*, *b* a karotenoidy. Dalším aspektem je homologie peroxyzomů, kde je podobné spektrum enzymů. Dalším důležitým společným znakem je fragmoplast, který napomáhá při vzniku buněčné destičky při dělení. Fragmoplast se utváří na konci telofáze (King et. al, 2006, Rensing, 2018, Kalina & Váňa, 2005, Martin et al., 2018). Dalším důkazem je plazmatická membrána, která je složená z růžičkovitě uspořádaných proteinů, tzv. rozety. V plazmatické membráně je enzym celulosasyntáza, který syntetizuje celulózu. Tento enzym je uspořádán v kruhu po šesti a šest takových kruhů tvoří rozety. Z této rozety poté vznikne 36 vláken celulózy, která vytvoří micelu celulózy a ta je základní strukturální jednotkou buněčné stěny. Proto se díky rozetám stavba buněčné stěny Zygnematophyceae nejvíce podobá buněčné stěně vyšších rostlin (Campbell & Reece, 2006).



Obrázek 35: Schéma rozety (podle Doblin et al., 2003)

Tuto teorii také potvrzuje homologie spermatických buněk. Bičíkaté spermatozoidy Streptophyta mají velmi podobnou strukturu jako spermatické buňky vyšších rostlin. Tuto teorii potvrdili i molekulární biologové, kteří dokázali shodu genomů Streptophyta a vyšších rostlin (Campbell & Reece, 2006, Rensing, 2018).

Většina typických znaků pro vyšší rostliny však přišla až díky přechodu na souš a nutností přizpůsobit se tomuto novému prostředí. Rostliny totiž musely vyřešit problém se



získáváním a rozvodem živin, dále se slunečním zářením a zpevněním stavby svého těla (Campbell & Reece, 2006, Arteaga-Vazquez, 2016).

Proto došlo u suchozemských rostlin k diferenciaci na rostlinná pletiva. Těmito pletivy jsou vodivá pletiva, která rozvádí vodu s živinami od kořenů až po listy rostliny a produkty fotosyntézy do míst, kde jsou potřeba. Před vyschnutím chrání rostlinu krycí pletiva. Dalšími pletivy jsou podpůrná, která udržují tvar rostliny a zásobní pletiva, která uchovávají látky pro přežití. Dalším znakem jsou mnohobuněčná embrya, která se vyvíjí ze zygoty a jsou vázána na mateřský sporofyt. Výhodou toho je, že mateřské pletivo poskytuje zárodku živiny. K přenosu těchto živin napomáhají embryu placentární transportní buňky. Mnohobuněčná embrya vznikla nejspíše proto, aby bylo embryo chráněno mateřskou buňkou a mělo dostatek živin. Dále je u vyšších rostlin typická rodozměna. Rodozměna je životní cyklus, ve kterém se střídají dvě fáze v rámci jednoho životního cyklu. Tyto fáze jsou gametofyt a sporofyt. Gametofyt je haploidní a sporofyt diploidní. Dalším znakem jsou spory chráněné sporopoleninem a mnohobuněčná gametangia (Campbell & Reece, 2006, Arteaga-Vazquez, 2016).

#### **4.3.5 Charakteristika jednotlivých skupin řas**

##### **4.3.5.1 Oddělení: Euglenophyta – krásnoočka**

Krásnoočka jsou jednobuněční bičíkovci. Většinou žijí volně, ale vzácně mohou žít i v koloniích.

##### Stavba buňky:

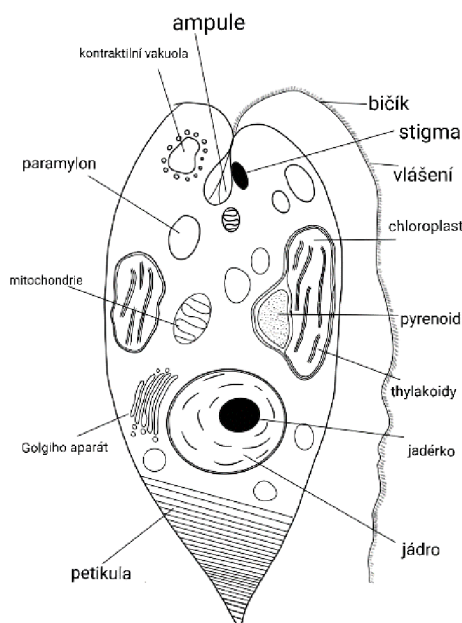
V buňce se nacházejí chloroplasty, které obsahují chlorofyl *a* a *b*,  $\beta$  – karoten a xantofyly, ne u všech krásnooček jsou však chloroplasty vyvinuty. Pokud se v buňce nacházejí, jsou většinou s pyrenoidem. Tylakoidy v chloroplasty jsou srostlé po třech (Kalina & Váňa, 2005, Rosypal et al., 2003).

Další důležitou funkci v buňce krásnooček plní paramylon, který má za úkol zásobovat buňku. Paramylon je polysacharid, který je podobný škrobu (Calvayrac et al., 1981). Paramylon je uložen v celé cytoplazmě, a to nejčastěji ve formě tyčinek, které jsou bezbarvé nebo bílé (Monfils et al., 2011, Fott, 1967).

Povrch buňky je kryt pelikulou, která se nachází pod plazmatickou membránou. Pelikula je tvořena spirálními proteinovými proužky, díky kterým mohou některá krásnoočka měnit svůj tvar. Dále se pod pelikulou nachází tělíska, která jsou zodpovědná za tvorbu slizu, tato tělíska se nazývají mukocysty (Kalina & Váňa, 2005, Graham et al., 2009).

Krásnoočka jsou bičíkovci, některé druhy krásnooček mají pouze jeden bičík, ale častěji mají dva (Fott, 1967). Najdeme však i zástupce (*Hegneria*), kteří mají dokonce až sedm bičíků (Kalina & Váňa, 2005).

Nejnápadnější organelou v buňce krásnooček je stigma, které leží v blízkosti ústí bičíků. Stigma je světločivná skvrna, funguje na principu velice jednoduchého oka. Díky této organelle se buňky pohybují ve směru přicházejícího světla. Ve dne jsou u hladiny a v noci klesají ke dnu. Stigma však nemají všechny druhy krásnooček, chybí často mnoha bezbarvým druhům. To však neznamená, že tato krásnoočka nejsou schopna fototaxe, protože hlavním fotoreceptorem krásnooček je paraflagelární lišta. Stigma je tedy organela, která je nápomocná ke schopnosti fototaxe a bez ní jsou organismy také schopny fototaxe pomocí paraflagelární lišty (Fott, 1967, Kalina & Váňa, 2005, Lee, 2018).



Obrázek 36: Stavba buňky krásnoočka (podle Sinicearasy.cz)

### Rozmnožování:

Dodnes bylo u krásnooček pozorováno pouze nepohlavní rozmnožování – podélným dělením na dva dceřiné jedince. Dělení může probíhat za pohybu nebo v nepohyblivém stádiu, tzv. palmeloidním (Fott, 1967).

### Ekologie:

Krásnoočka se vyskytují hojně ve sladkých vodách, které jsou bohaté na organické látky. Krásnoočkám se však daří dobře i v brakických vodách. Často je najdeme na hladině vodních nádrží, kde tvoří tzv. neustonickou vrstvu. Živí se autotrofně i heterotrofně (Kalina & Váňa, 2005).

### System:

System krásnooček je složitý. Máme 2 pohledy na system krásnooček. Prvním systemem je system zelených krásnooček – Euglenophyceae. Druhým systemem je system zelených krásnooček + heterotrofní zástupci – Euglenida. K tomuto „rozdělení“ došlo kvůli heterotrofním zástupcům. Tito zástupci totiž nejsou téměř vůbec probádání, a proto je často lidé vyřazují ze systemu krásnooček.

Euglenophyceae se dělí na dva řády – Euglenales a Eutreptiales. Do Eutreptiales patří pouze čeleď Eutreptiaceae. Euglenales se dělí na dvě čeledi – Euglenaceae a Phacaceae (Łukomska-Kowalczyk et al., 2021).

System Euglenida je velice složitý. Jsou zde zahrnuty skupiny fototrofů, osmotrofů i fagotrofů. Většina krásnooček jsou fagotrofové. System krásnooček je sestaven většinou podle klouzání bičíků (Lax & Simpson, 2020).

### Zástupci:

Mezi nejznámější zástupce krásnooček patří *Euglena*, *Phacus* a *Trachelomonas*. *Euglena* je nejznámější rod krásnooček, jeho tvar je proměnlivý, ale většina druhů je protáhlá se zúžením v zadní části. *Phacus* se od *Euglena* liší především tvarem, je téměř kruhový a zploštělý. Jejich pelikula je totiž tuhá a buňky mění tvar jen zřídka. Buňka *Trachelomonas* je obklopena tuhou mineralizovanou lorikou, z které vyčnívá bičík (Graham et al., 2009, Lee, 2018).

#### 4.3.5.2 Oddělení: Cryptophyta – skrytěnky

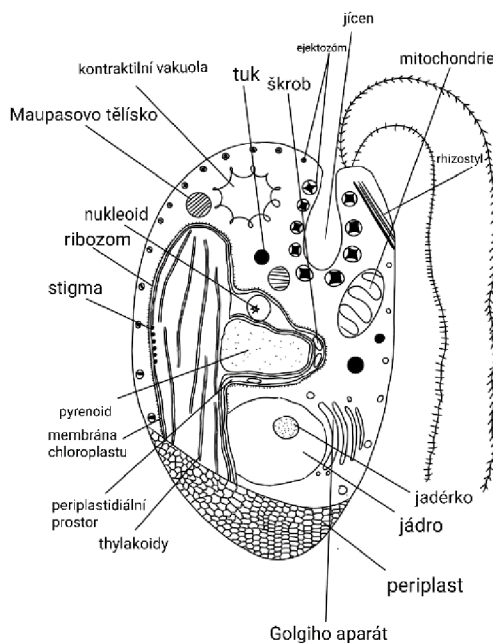
Mezi skrytěnky patří volně žijící bičíkovci, tito bičíkovci jsou jak sladkovodní, tak i mořští (Rosypal et al., 2003).

##### Stavba buňky:

Na povrchu buňky je periplast. Pod periplastem se nachází ejektorozomy – vymrštitelné trichocysty. Dále na buňce najdeme 2 nestejnocenné bičíky, lišící se délkou, oba bičíky mají dvě řady mastigonemat. Tyto bičíky slouží většinou k pohybu a přihánění potravy (Rosypal et al., 2003).

Důležitou organelou je chloroplast. U skrytěnek najdeme jeden nebo dva. Uvnitř chloroplastu najdeme často stigma a pyrenoid. V chloroplastech skrytěnek najdeme tato barviva: chlorofyl *a* a *c*<sub>2</sub>,  $\alpha$ - a  $\beta$ - karoten a xanthofyly. Tylakoidy uvnitř chloroplastu jsou srostlé po 2 (Kalina & Váňa, 2005).

Zásobní látkou skrytěnek je škrob, který je uložen v cytoplazmě (Kalina & Váňa, 2005).



Obrázek 37: Stavba buňky skrytěnky (podle Sinicearasy.cz)

#### Rozmnožování:

Skrytěnky se rozmnožují především nepohlavně, a to podélným dělením (schizotomií) (Fott, 1967). U skrytěnek bylo vyzorováno i pohlavní rozmnožování, jedná se o izogamii (Rosypal et al., 2003).

#### Ekologie:

Skrytěnky jsou významné tím, že jsou velmi odolné vůči chladu. Můžeme je najít u nás, ale i v arktických vodách. Bývají často prvními jarními producenty (Kalina & Váňa, 2005).

#### Zástupci:

Nejnámějším zástupcem skrytěnek je *Cryptomonas*. Buňka *Cryptomonas* je v přední části zúžená a je pokryta trichocystami. Dále můžeme v buňce vidět jícen s ejektozomy. *Cryptomonas* je často přítomný v planktonu stojatých vod, některé druhy najdeme i v rašeliništích (Lee, 2018, Graham et al., 2009, Kalina & Váňa, 2005).

#### **4.3.5.3 Oddělení: Dinophyta – obrněnky**

Mezi obrněnky patří hlavně mořští bičíkovci, najdeme je však i ve sladkých vodách (Fott, 1976). Obrněnky produkují často řadu toxinů, např. saxitoxin, který je až tisíckrát účinnější než kyanid (Kalina & Váňa, 2005).

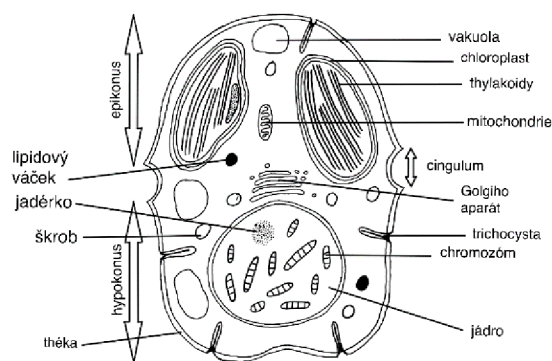
#### Stavba buňky:

Obrněnky mají ve své stavbě mnoho specifických organel a rysů. Jsou to například pancíř, trichocysty, dinokaryon, pusuly, ocellus a jiné. Pevný pancíř je tvořen z destiček, kterými je tvořena théka. Funkcí pancíře je ochrana buňky. Trichocysty jsou podlouhlá tělíška tvořena z bílkovin, jejichž funkcí je nejspíše chytání potravy nebo k obraně buňky, protože mohou obsahovat toxiny. Pusuly jsou specializované potravní vakuoly. Ocellus je světločivná organela a její funkcí je rozeznat světlo a tmou (Kalina & Váňa, 2005, Lee, 2018).

Chloroplasty obrněnek obsahují tato barviva: chlorofyl *a* a *c*<sub>2</sub>,  $\beta$  – karoten a xanthofyly – diadinoxanthin, dinoxanthin a neodinoxanthin (Fott, 1967).

Pohyb buňce umožňují obvykle 2 bičíky. Delší bičík slouží k pohybu a kratší k přihánění potravy.

Zásobní látkou obrněnek je škrob (Kalina & Váňa, 2005, Lee, 2018).



Obrázek 38: Stavba buňky obrněnky (podle Sinicearasy.cz)

#### Rozmnožování:

Obrněnky se rozmnožují často nepohlavně, a to dělením. Najdeme u nich však i pohlavní rozmnožování, a to izogamii i anizogamii. Izogamie je kopulace izogamet, které se od sebe neliší tvarem ani velikostí. Anizogamie je kopulace anizogamet, které se od sebe liší velikostí nebo tvarem (Kalina & Váňa, 2005).

#### Ekologie:

Obrněnky žijí téměř ve všech vodách – sladkých, brakických i mořských. Obrněnky jsou známy tím, že tvoří často tzv. redtide. Redtide vzniká při přemnožení obrněnek a má své typické červenohnědé zbarvení (Kalina & Váňa, 2005).

#### Zástupci:

Mezi nejznámější zástupce obrněnek patří *Peridinium* a *Ceratium*. Buňky *Peridinium* mají celulózní pancíř a v některých případech mají krátké výběžky. Většinu druhů najdeme ve sladkých nebo brakických vodách. *Ceratium* mají také celulózní pancíř, ale na rozdíl od *Peridinium* mají 3–4 velmi dlouhé výběžky. Většina druhů *Peridinium* je mořská, ale některé druhy najdeme i ve sladkých vodách (Lee, 2018, Graham et al., 2009).

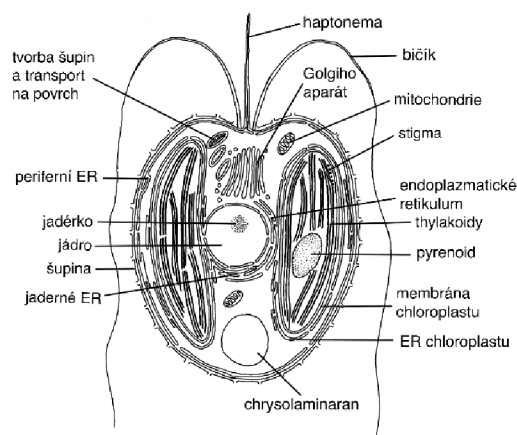
#### 4.3.5.4 Oddělení: Haptophyta

Haptophyta jsou malá skupina řas, která byla původně začleněna mezi hnědé řasy (Ochromphyta), a to mezi zlativky (Chrysophyceae). Později bylo ale zjištěno, že se jedná o samostatnou skupinu (Kalina & Váňa, 2005).

##### Stavba buňky:

Nejnápadnějším znakem Haptophyta je haptonema. Dříve bylo považováno za bičík, ale to bylo vyvráceno, protože se od bičíku liší stavbou. Uvnitř haptonematu je méně svazků mikrotubulů a haptonema obsahuje dutinu, kterou u bičíku nenajdeme. Může být jakkoli dlouhé a je umístěno mezi bičíky. Jeho funkcí je odchyťování bakterií a poté je dopraví do místa, kde dochází k fagocytóze. Tuto funkci plní však pouze dostatečně dlouhé haptonema. Pokud je haptonema moc krátké, nedosáhne po ohnutí k místu, kde probíhá fagotrofie. Další funkcí haptonematu je přisedání k substrátu nebo změna pohybu (Kalina & Váňa, 2005, Graham et al., 2009).

Na povrchu buňky najdeme šupiny, které jsou u některých druhů kalcifikovány (Kalina & Váňa, 2005). Haptophyta produkují kalcitové kokolity. Kokolity jsou hlavní složkou, která přispívá k akumulaci vápence na dně oceánu. Celkově jsou kokolity největším úložištěm anorganického uhlíku. Sedimentální horninou z kokolitů jsou tvořeny například celé bílé Doverské útesy, útesy Sevensisters, německý ostrov Rujana a útes Møns Klint. Tyto útesy a ostrovy jsou tvořeny křídou a mají bílou barvu. Křída je tvořena z 90 % uhličitanem vápenatým (Graham et al., 2009, Geology.cz, 2022, Telička, 2016).



Obrázek 39: Stavba buňky Haptophyta (podle Sinicearasy.cz)

#### Rozmnožování:

Haptophyta se rozmnožují především nepohlavně, a to schizotomií. U této skupiny bylo pozorováno i pohlavní rozmnožování, ale jen u několika málo druhů (Kalina & Váňa, 2005, Lee, 2018).

#### Ekologie:

Haptophyta mají velký ekologický význam v koloběhu síry a uhlíku. Některé druhy Haptophyta produkují velké množství dimethylsulfoxidu a jiné látky obsahující síru (Kalina & Váňa, 2005).

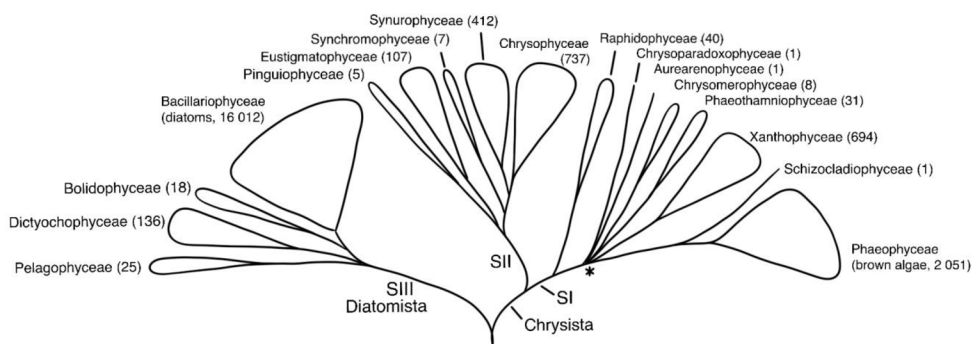
#### Zástupci:

Mezi nejznámější zástupce Haptophyta patří *Prymnesium* a *Chrysochromulina*. *Prymnesium* jsou bičíkovci, kteří mají vysokou toleranci k širokému spektru slanosti. *Chrysochromulina* jsou převážně mořští, ale některé druhy najdeme i ve sladkých vodách (Graham et al., 2009, Lee, 2018).

#### **4.3.5.5 Oddělení: Ochrophyta – hnědé řasy**

Hnědé řasy jsou velké oddělení řas. Dělí se na dvě skupiny: Diatomista a Chrysisista. Chrysisista se dále dělí na dva klady – SI a SII. Největšími a nejdůležitějšími skupinami kladu SI jsou Xanthophyceae a Phaeophyceae. Nejdůležitější z kladu SII jsou Chrysophyceae. Nejvýznamější z kladu SIII, patřící do Diatomista jsou Bacillariophyceae (Bringloe et al., 2020).





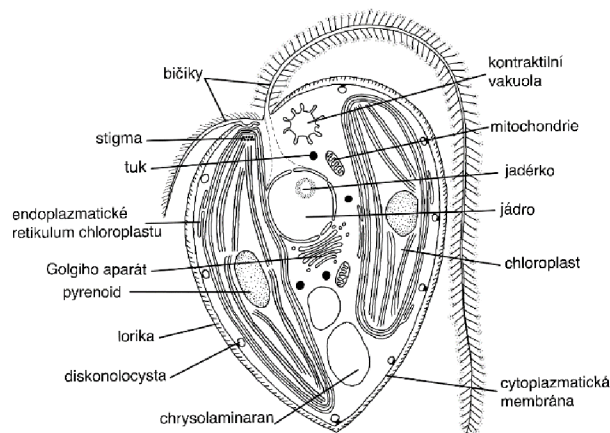
Obrázek 40: Systém hnědých řas (v závorkách počty rodů) (podle Bringloe et al., 2020)

#### 4.3.5.5.1 Třída: Chrysophyceae – zlativky

Mezi zlativky patří hlavně bičíkovci. Zlativky najdeme ve slaných i ve sladkých čistých stojatých vodách. Některé druhy produkují toxiny. Hlavní význam zlativek je tvorba vegetačního zákalu (Graham et al., 2009, Kalina & Váňa, 2005).

##### Stavba buňky:

Na povrchu buňky najdeme periplast, který je u některých druhů kryt lorikou (Kalina & Váňa, 2005). Na buňce jsou umístěny dva bičíky. Kratší bičík slouží k přihánění potravy, delší bičík k pohybu (Rosypal et al., 2003). Chloroplasty zlativek obsahují barviva: chlorofyl *a*, *c<sub>1</sub>* a *c<sub>2</sub>*, xantofyl – fukoxanthin (Lee, 2018). Zásobními látkami zlativek jsou škrob, olej, chrysolaminaran a polyfosfátová zrna (Graham et al., 2009).



Obrázek 41: Stavba buňky zlativky (podle Sinicearasy.cz)

#### Rozmnožování:

Nepohlavním rozmnožováním u zlativek je prosté dělení. Pohlavním rozmnožováním je u Chrysophyceae hlavně izogamie (Fott, 1967).

#### Ekologie:

Sladkovodní zlativky upřednostňují spíše studené vody, ale najdeme je i v teplejších vodách. (Fott, 1967). Zlativky dávají častěji přednost mírně kyselým vodám s nízkou až střední produktivitou. Druhová bohatost zlativek rapidně klesá ve vysoce eutrofních vodách. Důvodem může být větší množství býložravců nebo konkurence jiných řas (Graham et al., 2009).

#### Zástupci:

Mezi nejznámější zlativky patří *Dinobryon* a *Synura*. *Dinobryon* je koloniální organismus, kde má každá buňka jeden bičík, díky kterým se celá kolonie hýbe. Kolonie má tvar stromu, a to díky dělení a přisednutí dceřiné buňky. *Dinobryon* můžeme najít v planktonu sladkých vod. *Synura* je také koloniální organismus kulovitěho tvaru, který najdeme ve sladkovodním planktonu (Graham et al., 2009, Lee, 2018).

#### **4.3.5.5.2 Třída: Bacillariophyceae – rozsivky**

Mezi rozsivky patří většinou jednobuněčné organismy, které žijí jednotlivě nebo v koloniích (Rosypal et al., 2003).

#### Stavba buňky:

Chloroplast rozsivek obsahuje barviva: chlorofyl *a*, *c1* a *c2*,  $\beta$ - karoten a xantofyly – fukoxanthin, diatoxanthin a diadinoxanthin. Barva chloroplastu je hnědá, což způsobuje poměr barviv v chloroplastu (Kalina & Váňa, 2005).

Typický znak pro Bacillariophyceae je frustula. Frustula je schránka, která je tvořena polymerizovaným oxidem křemičitým. Rozsivky jsou závislé na příjmu křemíku. Pokud je křemíku nedostatek, rozsivky hynou z důvodu neschopnosti růstu a rozmnožování. U rozsivek rozlišujeme 2 hlavní morfologické typy frustul podle tvaru: radiálně souměrná – centrické rozsivky a dvoustranně souměrná – penátní rozsivky. Mezi centrické rozsivky patří např.

*Triceratium* a *Cyclotella*, mezi penátní rozsivky např. rody *Navicula*, *Diatoma* a *Nitzschia* (Rosypal et al., 2003, Znachor, 2008).

#### Rozmnožování:

Nepohlavní rozmnožování je častější a jde konkrétně o podélné dělení. Při nepohlavním rozmnožování vznikají velikostně menší dceřiné buňky. Rozsivky jsou schopné i pohlavního procesu, díky kterému se obnoví optimální velikost rozsivek. Pohlavní rozmnožování rozsivek se liší podle skupin – centrické rozsivky se rozmnožují oogamií, penátní rozsivky se rozmnožují izogamií nebo anizogamií (Znachor, 2008, Kalina & Váňa, 2005).

#### Ekologie:

Rozsivky najdeme ve sladkých i slaných vodách. Vyskytují se převážně v mořském planktonu. Jejich hlavní význam je jejich obrovská produkce uhlíku. Tvoří necelých 50 % oceánské produkce dna. Odumřelé schránky tvoří diatomit, který se dále může využívat ve filtracích nebo izolacích (Rosypal et al., 2003). Pokud je diatomit nezpevněný, říká se mu křemelina nebo rozsivková zemina. Zpevněná hornina se nazývá diatomová břidlice nebo rohovec. Rozsivky jsou důležité i pro některá ložiska ropy, která vznikla ze zásobních látek fosilních rozsivek (Znachor, 2008, Geology, 2022).

#### Zástupci:

Mezi neznámější rozsivky patří *Navicula*, *Pinnularia*, *Fragilaria* a *Melosira*. *Navicula* je jeden z nejbohatších rodů rozsivek. Buňka *Navicula* má tvar loďky a tyto organismy většinou najdeme u dna. *Fragilaria* je často koloniální organismus, ve kterém buňky přisedají těsně vedle sebe a tvoří pás. Frustula *Pinnularia* je podlouhlá a tento rod najdeme především v moři. *Melosira* je koloniální organismus, který vypadá jako vlákno. Tento rod najdeme většinou v planktonu (Lee, 2018, Graham et al., 2009).

#### 4.3.5.5.3 Třída: Xanthophyceae – různobrvky

Mezi různobrvkami najdeme téměř všechny typy stélek (Rosypal et al., 2003).

##### Stavba buňky:

Chloroplast Xanthophyceae obsahuje barviva: chlorofyl *a*, *c<sub>1</sub>* a *c<sub>2</sub>*, β- karoten a vaucherixantin – specifický xantofyl. Nejvýznamnějším znakem je absence fukoxanthinu, což je u hnědých řas vzácné (Rosypal et al., 2003, Kalina & Váňa, 2005, Lee, 2018).

Zásobní látkou je olej a chrysolaminaran (Lee, 2018).

Buněčná stěna je tvořena z celulózy, někdy obsahuje sliz. U bičíkatých stádií najdeme dva bičíky. Jeden má na sobě mastigonemataa druhý je holý (Lee, 2018).

##### Rozmnožování:

U různobrvek najdeme nepohlavní i pohlavní rozmnožování. Nepohlavně se rozmnožují pomocí aplanospor, zoospor, autospor nebo prostým dělením. Pohlavní rozmnožování bylo doposud pozorováno pouze u jednoho rodu (*Vaucheria*) (Fott, 1967, Rosypal et al., 2003).

##### Ekologie:

Do různobrvek patří půdní nebo sladkovodní druhy. Mezi různobrvkami najdeme však i některé mořské zástupce (Lee, 2018).

##### Zástupci:

Nejznámějšími zástupci různobrvek jsou *Tribonema* a *Vaucheria*. *Tribonema* vytváří bohaté nárosty ve stojatých vodách po celém světě. *Vaucheria* najdeme na půdě nebo v brakických vodách (Kalina & Váňa, 2005, Graham et al., 2009).

#### 4.3.5.5.4 Třída: Phaeophyceae – chaluhy

Chaluhy jsou větší skupina mořských řas velkých rozměrů.

##### Stavba buňky:

Buněčná stěna je tvořena alginovými kyselinami společně s celulózou a fukanem (Lee, 2018).

Chloroplasty chaluh obsahují barviva: chlorofyl *a*, *c<sub>1</sub>* a *c<sub>2</sub>*,  $\beta$ -karoten a fukoxanthin (Graham et al., 2009).

Zásobními látkami Phaeophyceae jsou chrysolaminaran, manitol a olej (Rosypal et al., 2003).

##### Rozmnožování:

Pro chaluhy je typická rodozměna, a to buď izomorfní nebo anizomorfní. Dále u chaluh najdeme nepohlavní i pohlavní rozmnožování. Nepohlavní rozmnožování probíhá pomocí zoospor, pohlavní rozmnožování u Phaeophyceae je izogamie, anizogamie nebo oogamie (Kalina & Váňa, 2005, Fott, 1967).

##### Ekologie:

Většinu chaluh najdeme v litorálech chladnějších moří (Lee, 2018). Chaluhy mají velký podíl na koloběh síry (Kalina & Váňa, 2005).

##### Využití:

Z mořských chaluh se často získávají algináty, což jsou polysacharidy, které člověk není schopen strávit, ale má pocit nasycení a slouží proto k výrobě přípravků na hubnutí. U nás jsou algináty v tzv. alginátovém cukroví jako náhrada kandovaného ovoce (Kalina & Váňa, 2005, Alginates, 2015).

##### Zástupci:

Mezi nejznámější zástupce chaluh patří *Laminaria*, *Fucus* a *Sargassum*. *Sargassum* je typický zástupce pro tropická moře, *Fucus* pro chladnější moře a *Laminaria* pro temperátní až borální moře (Graham et al., 2009, Lee, 2018).

#### 4.3.5.6 Oddělení: Rhodophyta – ruduchy

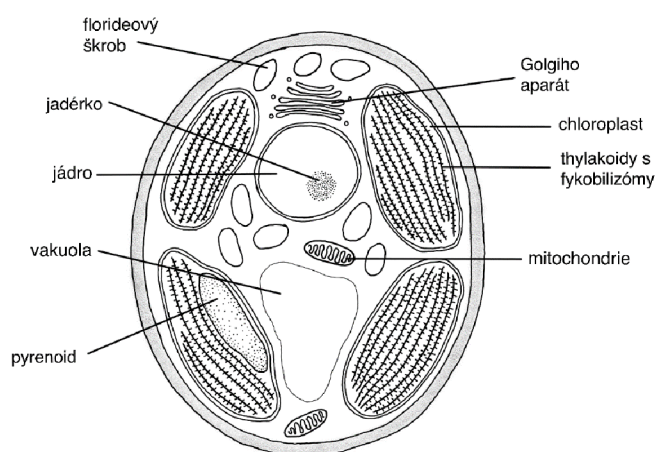
Do ruduch patří řasy s jednobuněčnou nebo mnohobuněčnou stélkou (Kalina & Váňa, 2005).

##### Stavba buňky:

Buněčná stěna je tvořena z polysacharidů. Na povrchu buňky nikdy nenajdeme bičíky (Lee, 2018).

Chloroplast chaluhy obsahuje barviva: chlorofyl *a*,  $\alpha$ -,  $\beta$  – karoten, zeaxanthin a lutein. Tylakoidy v chloroplastech u ruduch nesrůstají (Graham et al., 2009, Lee, 2018).

Zásobní látkou je florideový škrob (Rosypal et al., 2003).



Obrázek 42: Stavba buňky ruduchy (podle Sinicearasy.cz)

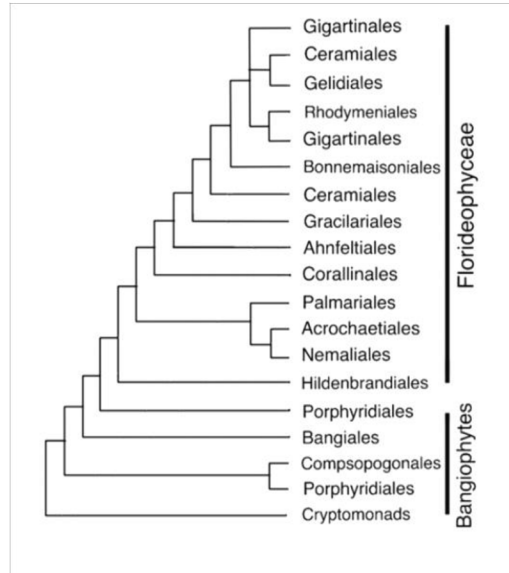
##### Rozmnožování:

Ruduchy se rozmnožují pohlavně i nepohlavně. Nepohlavní rozmnožování je u ruduch pomocí monospor, pohlavní rozmnožování je oogamie (Kalina & Váňa, 2005 a Fott, 1967).

##### System:

Ruduchy se dělí na dvě třídy: Bangiophycideae a Florideophycideae. Do Bangiophyceae se řadí jednobuněčné i vláknité řasy. Patří sem 4 řády: Porphyridiales, Rhodochaetales, Erythropeltiales a Bangiales. Rozmanitější linií červených řas je třída

Florideophycideae, která je definovaná díky reprodukční a strukturální podobnosti. Florideophycideae se dělí také na několik řádů (Graham et al., 2009).



Obrázek 43: Systém ruduch (podle Graham et al., 2009)

### Ekologie:

Ruduchy jsou velká skupina většinou mořských řas. Větší druhy se vyskytují v chladnějším mořích, menší druhy v teplejších mořích ve větším počtu. Sladkovodní ruduchy jsou vázány na čisté vody a nedosahují takových rozměrů jako mořské ruduchy. Ruduchy však nejsou pouze sladkovodní a mořské, patří mezi ně i jednobuněčné půdní druhy a extremofilní rody, které žijí v extrémních podmínkách (Lee, 2018).

### Využití:

Červené řasy jsou často pěstovány pro jejich polysacharidy – agar a karagen. Ty jsou přítomny v tlusté polysacharidové stěně, která obklopuje buňku (Kalina & Váňa, 2005).

Agar je polysacharid tvořen z mořských ruduch, stélky řas obsahují okolo 40 % agaru. Uplatňuje se především ve farmacii a lékařství. Nejvýznamnějšími zdroji agaru jsou například rody – *Ahnfeltia*, *Gelidiella*, *Gelidium* a *Phylophora* (Kalina & Váňa, 2005, Graham et al., 2009).

Karagen je tvořen skupinou sulfátových polysacharidů z extrakce ruduch. Od agaru se karagen liší svou neschopností tvořit pevný gel. Získává se ze skupiny ruduch zvaných karagenofyta, zahrnující rody – *Chondrus*, *Euचेuma*, *Hypnea* a *Iridea*. Používá se ve farmaceutickém, textilním a potravinářském průmyslu. V potravinářském průmyslu se používá jako zahušťovadlo a stabilizátor potravinářských výrobků (Kalina & Váňa, 2005, Graham et al., 2009).

#### Zástupci:

Mezi nejznámější zástupce ruduch patří *Lemanea*, *Audouinella*, *Hildenbrandia* a potěrka žabí símě (*Batrachospermum*), které rostou i v České republice (Kučera, 2006, Kalina & Váňa, 2005). *Hildenbrandia* roste často na kamenech jak v moři, tak sladkých vodách. Ve sladkovodních stanovištích je najdeme spíše na stinných místech nebo v hloubkách. *Batrachospermum* se vyskytuje především ve studených tekoucích vodách, rašeliništích nebo jezerech. Dalšími významnými zástupci jsou *Porphyridium* a *Porphyra*. *Porphyridium* se vyskytuje ve sladké i slané vodě a půdě. *Porphyra* najdeme často v přílivových zónách na skalnatých březích (Graham et al., 2009, Lee, 2018).

#### **4.3.5.7 Zelené rostliny (Viridiantae, Chloridopsida)**

Zelené rostliny jsou velice rozmanitou skupinou. Jsou všudypřítomné, najdeme je jak ve vodních, ale i v některých suchozemských biotopech. Zástupci zelených rostlin mají všechny typy stélek (Lee, 2018).

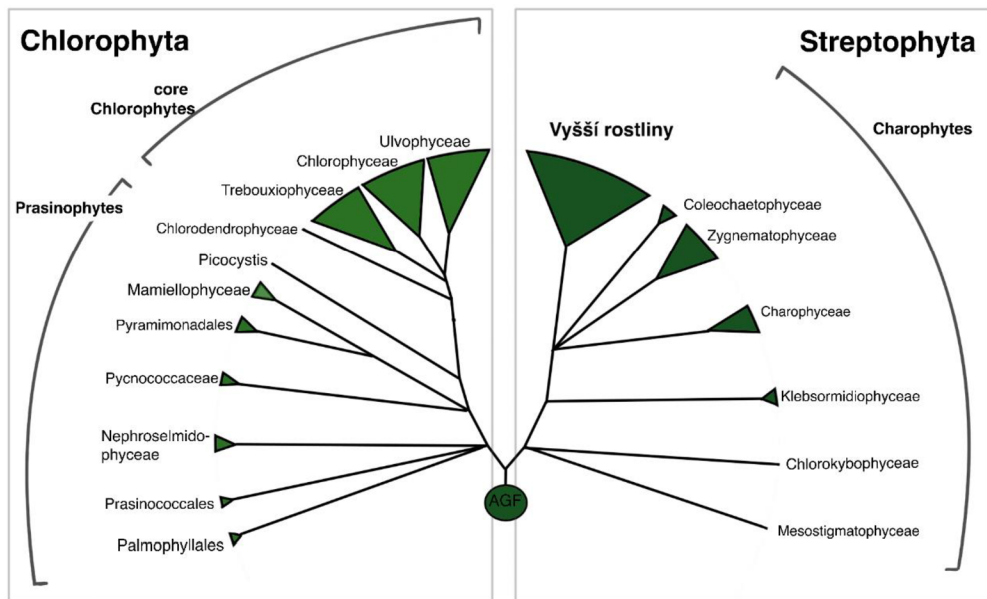
#### Stavba buňky:

Chloroplasty zelených rostlin obsahují barviva: chlorofyl *a* a *b*, karoteny a xantofyly. U zelených rostlin nikdy nenajdeme fykobiliproteiny. Tylakoidy v chloroplastech mohou být srostlé v několika lamelách (řasy) nebo v granech (suchozemské rostliny) (Rosypal et al., 2003).



### System:

Zelené řasy mají nejspíš společného předka zeleného bičíkovce. Vyvinuly se dvě vývojové linie – Chlorophyta a Streptophyta (Juráň & Kaštovský, 2016 a Rosypal et al., 2003). Toto pojetí vychází z příbuznosti vyšších rostlin a zelených řas (Rosypal et al., 2003). Do Chlorophyta patří mnoho tříd, z nichž nejdůležitější jsou třídy: Prasinophyceae, Ulvophyceae, Trebouxiophyceae a Chlorophyceae. Do linie Streptophyta řadíme Charophyceae, Zygnematophyceae a další drobné skupiny. Patří sem i vyšší rostliny (Leliaert et al., 2012).



Obrázek 44: System zelených řas (podle Leliaert et al., 2012)

### **Vývojová linie: Chlorophyta**

Český název zelené řasy dost klame, protože mezi Viridiplantae najdeme i zástupce, kteří nemají zelenou barvu (*Trentenpohlia*, *Chlamydomonas*, *Haematococcus*). To je způsobeno tím, že zelená barva je překryta jiným typem pigmentů (Graham et al., 2009).

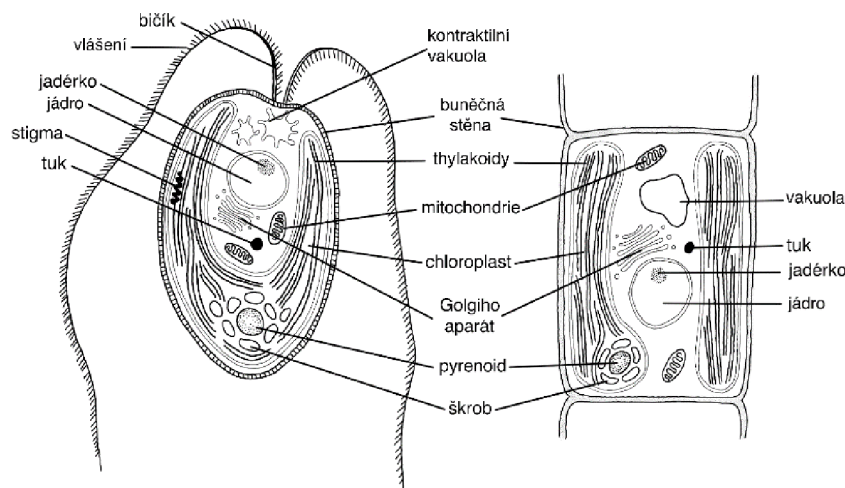
Do Chlorophyta patří bičíkovci, kokální organismy nebo organismy s kapsální, trichální, heterotrichální nebo pseudoparenchymatickou stélkou (Rosypal et al., 2003).

### Stavba buňky:

Buněčná stěna je tvořena z celulózy. Někdy můžeme na buněčné stěně najít šupiny nebo chlamys z glykoproteinu (Margulis & Chapman, 2009).

Chloroplast u Chlorophyta obsahuje barviva: chlorofyl *a* a *b*,  $\alpha$ -,  $\beta$ -karoten a karotenoidy. U chloroplastu je často přítomen pyrenoid (Kalina & Váňa, 2005). Chlorophyta se od ostatních řas liší především tím, že si vytvářejí zásobní produkt (škrob) v chloroplastu namísto v cytoplazmě (Lee, 2018)

Zásobními látkami jsou škrob, mannan, xylan, alkohol a polyfosfátová zrna (Margulis & Chapman, 2009, Kalina & Váňa, 2005).



Obrázek 45: Stavba buňky Chlorophyta (podle Sinicearasy.cz)

### System:

Mezi Chlorophyceae patří několik tříd, nejdůležitějšími jsou Ulvophyceae, Chlorophyceae a Trebouxiophyceae (Leliaert et al., 2012).

### Rozmnožování:

U Chlorophyta je pozorováno pohlavní i nepohlavní rozmnožování (Fott, 1967).

### Ekologie a využití:

Zelené řasy většinou najdeme ve sladkých vodách, ale někteří zástupci žijí i v moři (Fott, 1967). Zelené řasy jsou občas spojovány s určitými ložisky ropy (např. *Botryococcus*), protože některé řasy produkují velké množství lipidů, a ty jsou poté zdrojem ropných látek. Dále jsou zelené řasy často pěstovány pro svou produkci užitečných organických sloučenin,

např. barviv karotenu a astaxanthinu. Zelené řasy se mohou využívat také v biologických testech kvality vody (*Chlorella*) (Lee, 2018).

#### Zástupci:

Mezi nejznámější zástupce Chlorophyceae patří váleč (*Volvox*), *Desmodesmus*, řetízovka (*Scenedesmus*), *Draparnaldia* a mnoho dalších. Váleč, *Desmodesmus* a řetízovku najdeme v planktonu stojatých vod a *Draparnaldia* nalezneme často v tekoucích vodách. Mezi Ulvophyceae patří *Cladophora* a kadeřnatka (*Ulothrix*). *Cladophora* roste ve sladkých i slaných vodách a je často přisedlá k substrátu. Kadeřnatka roste často v tekoucích nebo stojatých sladkých vodách (Kalina & Váňa, 2005, Lee, 2018, Graham et al., 2009).

#### **Vývojová linie: Streptophyta:**

Streptophyta se stavbou nijak zásadně neliší od Chlorophyta, ale přesto drobné rozdíly najdeme. Jedním z nich je, že Streptophyta jsou primárně sladkovodní skupina řas. U Chlorophyta nenajdeme ani otevřenou mitózu s dělicím vřeténkem a fragmoplast (De Clerck et al., 2012).

#### System:

Streptophyta se dělí na několik tříd. Nejdůležitějšími třídami jsou: Zygnematophyceae, Charophyceae, Klebsormidiophyceae a vyšší rostliny.

#### Rozmnožování:

Jediné, čím se zásadně liší Chlorophyta od Streptophyta je, že při rozmnožování vzniká fragmoplast. Streptophyta se mohou někteří zástupci rozmnožovat i spájením (Zygnematophyceae) (Vosolsobě, 2020).

## Třída Zygnematophyceae – spájivky

Mezi spájivky patří jednobuněčné nebo vláknité řasy.

### Stavba buňky:

Buňky vláknitých spájivek mohou mít 3 typy chloroplastů – spirálovitě stočené (*Spirogyra*), axiální chloroplast (*Mougeotia*) nebo hvězdicovité chloroplasty (*Zygnema*). U řas s axiálními chloroplasty je častá reakce chloroplastů na světlo, otáčí se. (Lee, 2018).



Obrázek 46: Hvězdicovité chloroplasty *Zygnema* (podle Kaštovský et. al, 2018)

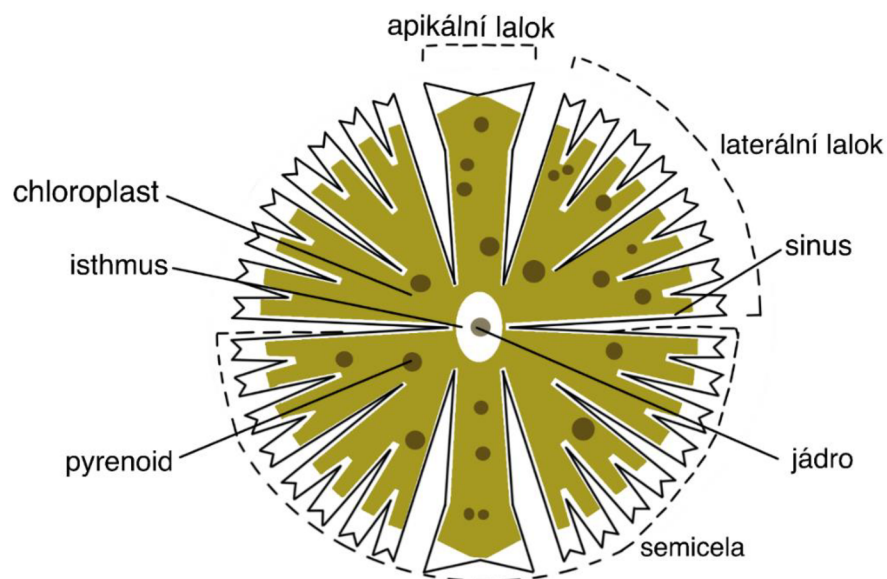


Obrázek 47: Spirálovitě stočené chloroplasty *Spirogyra* (podle Kaštovský et al., 2018)



Obrázek 48: Axiální chloroplasty *Mougeotia* (podle Kaštovský et al., 2018)

Buňky jednobuněčných spájivek jsou tvořeny třemi částmi – semicela, isthmus a sinus. Semicela je polovina buňky, isthmus je místo spojení semicel a sinus je zářez mezi oběma půlbuňkami (Kalina & Váňa, 2005, Lee, 2018).



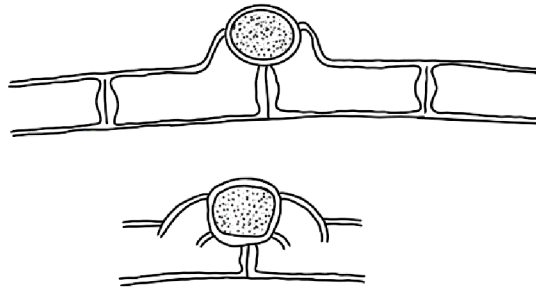
Obrázek 49: Stavba buňky krásivky (podle Sinicearasy.cz)

### Rozmnožování:

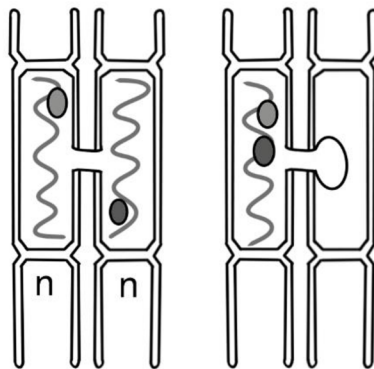
Spájkivky se rozmnožují především konjugací (spájením) – splýváním celých protoplastů. Při spájení dochází přímo k splývání mateřských buněk, mezi kterými se vytvoří kanálek, pomocí kterého splynou obsahy buněk. Tento proces je nezávislý na vodním prostředí (Vosolsobě, 2020).

Konjugace může být buď laterální nebo skalariformní (Kalina & Váňa, 2005).

Laterální konjugace se účastní dvě sousední buňky jednoho vlákna. Tento typ konjugace je vzácný a většinou jde o reakci na stres. Skalariformní konjugace se účastní dvě různá vlákna. Oba tyto způsoby můžeme najít u jednoho druhu (Kalina & Váňa, 2005, Graham et al., 2009).



Obrázek 50: Laterální kojugace (podle Kadlubowska, 1984)



Obrázek 51: Skalariformní kojugace (podle Gymh.cz, 2022)

### Ekologie:

Spájivky jsou většinou sladkovodní řasy, ale některé byly nalezeny i v brakických vodách. Najdeme je v tůních, v rybnících, příkopech, v jezerech nebo v pomalu tekoucích vodách (Graham et al., 2009).

### Zástupci:

Mezi nejznámější vláknité zástupce spájivek patří jařmatka (*Zygnema*), deskovka (*Mougeotia*) a šroubatka (*Spirogyra*). Všechny tyto zástupce najdeme ve stojatých vodách, tůních nebo strouhách. Mezi nejznámější jednobuněčné Zygnematophyceae (krásivky) patří vřetenovka (*Closterium*), *Cosmarium* a *Micrasterias*. Buňka *Closterium* není na rozdíl od ostatních zmiňovaných zástupců zúžená ve střední části (Kalina & Váňa, 2005, Lee, 2018).

## **Třída: Charophyceae – parožnatky**

Mezi Charophyceae patří makroskopické vodní řasy. Mohou být velké až 50 cm a více (Kalina & Váňa, 2005).

### Rozmnožování:

Parožnatky se rozmnožují pohlavně i nepohlavně. Nepohlavně se mohou rozmnožovat například bezbarvými kulovitými hlízkami z rhizoidů. Pohlavně se parožnatky rozmnožují oogamií (Kalina & Váňa, 2005).

### Ekologie:

Parožnatky mohou tvořit husté porosty v hlubokých i mělkých jezerech. Najdeme je i v mírně tekoucích vodách. Několik málo zástupců parožnatek najdeme v brakických vodách. Parožnatky však nenajdeme v mořských vodách. Charophyceae jsou citlivé na vysokou hladinu fosfátu a mohou pro ně být i škodlivé. Parožnatky patří mezi hlavní producenty uhličitanu vápenatého ve vodním prostředí (Graham et al., 2009).

### Zástupci:

Mezi nejznámější zástupce patří parožnatka (*Chara*) a lesklenka (*Nitella*). Parožnatky i lesklenky najdeme často v čistých sladkých stojatých vodách. Stélka u parožnatky je většinou kalcifikovaná, ale stélka lesklenky nikoli (Kalina & Váňa, 2005).

#### **4.4 PowerPointové prezentace**

V rámci této bakalářské práce bylo vytvořeno 9 prezentací v programu PowerPoint:

- 1) Sinice – Cyanobacteria
- 2) Charakteristika řas
- 3) Euglenophyta, Cryptophyta, Dinophyta a Haptophyta
- 4) Ochrophyta
- 5) Rhodophyta – ruduchy
- 6) Viridiplantae – zelené rostliny
- 7) Role sinic a řas v biogeochemických cyklech
- 8) Role řas v přechodu rostlin na souš
- 9) Biotické interakce řas a sinic

Prezentace 1 a 2 obsahují obecnou charakteristiku sinic a řas. V prezentacích 3–6 jsou charakterizovány jednotlivé skupiny řas a významní zástupci. Pro větší atraktivitu výuky těchto témat jsou prezentace doplněny dostatečným množstvím fotografií. Ve středoškolských učebnicích mají studenti možnost vidět většinou jen nákresy významných zástupců anebo obrázky zcela chybí.

Ve zbývajících třech prezentacích se zaměřuji na témata, která nebývají v učebnicích zpracovaná samostatně jako celek, ale jsou pouze okrajově zmiňována v rámci několika témat. Z tohoto důvodu mohou posloužit vyučujícím jako vhodný didaktický materiál. V návaznosti na tyto prezentace byly vytvořeny pracovní listy na tato témata, která jsou využitelná pro praktickou část výuky

#### **4.5 Pracovní a metodické listy**

Na základě studijního textu a v návaznosti na výukové prezentace byly vytvořeny pracovní listy na témata: Role sinic a řas v biogeochemických cyklech, Role řas v přechodu rostlin na souš a Biotické interakce řas a sinic.



Každá úloha se skládá ze dvou částí. Úvodní teoretická část obsahuje výchozí text k danému tématu. Slouží studentům k uvedení do tématu. Výchozí text vychází z mnou zpracovaného studijního textu. V této teoretické části studenti naleznou informace, které jim pomohou při vypracování praktické části.

Druhá část pracovních listů obsahuje zadání praktického úkolu, pomůcky, potřebný materiál a pracovní postup.

Součástí každého pracovního listu jsou také otázky sloužící k zopakování a upevnění poznatků dané problematiky. V pracovních listech najdou studenti i zábavnější formu opakování v podobě křížovky, osmisměrky nebo kvízu.

K pracovnímu listu je vždy vytvořen i metodický list pro vyučující. V těchto listech je teoretická část rozšířena o další informace sloužící k případnému dovysvětlení teoretické části pracovních listů studentů. Součástí materiálů pro vyučující jsou i fotografie mikroskopických snímků řas a sinic. Metodické listy obsahují rovněž správné odpovědi na otázky a řešení kvízů.

## **5 DISKUSE**

### **5.1 Dotazníkové šetření**

Dotazník byl rozeslán e-mailem dne 6. dubna 2021. Z celkového počtu 250 škol jsem obdržela 102 vyplněných dotazníků.

Z výsledků dotazníkového šetření je patrné, že vyučující při výuce nejčastěji používají učebnice: *Biologie pro gymnázia* (Jelínek & Zicháček, 2014) a *Biologie rostlin pro gymnázia* (Kincl et al., 2008). Ke stejnému závěru došel i Březina (2021) ve své bakalářské a Kafková (2017) ve své diplomové práci.

Součástí této práce je analýza vybraných středoškolských učebnic: *Biologie pro gymnázia* (Jelínek & Zicháček, 2014), *Biologie v kostce pro SŠ* (Hančová & Vlková, 2019), *Botanika* (Kubát, 2012), *Biologie rostlin pro gymnázia* (Kincl et al., 2008), *Obecná biologie pro gymnázia* (Kubišta, 2000), *Kernbereiche Biologie 5* (Cattoen & Koch, 2017) a *Merkmale des Lebendigen* (Hell, 1981). Zhodnocení rozsahu informací o tématu řas a sinic v českých středoškolských učebnicích se věnovaly ve svých pracích Hornová (2020) a Fárková (2015). V diplomové práci Hornové (2020) jsou analyzovány navíc učebnice gymnaziálního typu: *Biologie prokaryot, nižších a vyšších rostlin, hub* (Jelínek, 1997), *Biologie buněk* (Závodská,

2006) a Nový přehled biologie, (Rosypal et al., 2003). V této práci autorka analyzuje i učebnice pro střední odborné školy: Biologie 1 pro střední odborné školy (Brumerl et al., 2006) a Biologie pro zdravotnické školy (Odstrčil & Hruža, 2012). Rešerše učebnic v diplomové práci Fárkové (2015) zahrnuje shodné učební dokumenty s mou prací, navíc zde najdeme pouze učebnici Biologie buněk (Závodská, 2006). Po vyhodnocení rešerší učebnic jsme došli s Hornovou (2020) a Fárkovou (2015) ke stejnému závěru. Největším problémem středoškolských učebnic je chybné systematické dělení řas, které neodpovídá aktuální systematice. Tento fakt se dal předpokládat vzhledem k roku vydání těchto učebních dokumentů. Z tohoto důvodu je potřeba, aby vyučující využívali k přípravě didaktických materiálů i jiné zdroje.

Z průzkumu vyšlo najevo, že převážná část respondentů (68 %) se tématu řasy a sinice věnuje 3–4 vyučující hodiny. Ke stejnému závěru došla i Kafková (2017) ve své diplomové práci. U dotazníkového šetření Březiny (2021) uvedla většina učitelů 5 vyučovacích hodin věnovaných tomuto tématu. Na středních školách je věnováno tomuto tématu relativně málo hodin, což může být způsobeno především nedostatečným rozsahem informací v učebních dokumentech.

S rozsahem výuky tématu řas a sinic souvisí také to, zda vyučující považují toto téma za důležité či nikoli. Rámcový vzdělávací program neurčuje vyučujícím časovou dotaci a rozsah poznatků u jednotlivých témat, což umožňuje učitelům individuální volbu, do jaké hloubky dané téma bude probíráno (Výzkumný ústav pedagogický, 2007).

Většina vyučujících (84 %) obohacuje svou výuku také praktickým cvičením. V rámci laboratorních prací studenti nejčastěji mikroskopují zástupce řas a sinic. Na některých školách je součástí praktických cvičení i samostatný sběr dostupných zástupců z jejich přirozeného prostředí. Odběr fykologického materiálu přímo v přírodě je pro studenty přínosnější, protože vidí přirozené prostředí těchto organismů a vyzkouší si metody odběru. Při odběru vzorků je možno použít zakoupenou planktonovou síť nebo mohou využít své vyrobené planktonky. Lze samozřejmě udělat i jednoduchý odběr vody do nádoby. Tématem sběru sinic a řas v jejich přirozeném prostředí se zabývá ve své diplomové práci Hornová (2020). Studenti mohou během odběru získat představu o tom, zda jsou některé řasy a sinice pozorovatelné i pouhým okem nebo lze přítomnost řas a sinic dokázat pouze analýzou vody pod mikroskopem. Samotný sběr řas a sinic nemusí být nutně součástí vyučovacích hodin, ale může být zadán jako úkol pro studenty, kteří si vzorky obstarají sami ze svého okolí. Z dotazníkového šetření

Březiny (2021) vyplývá, že většina vyučujících obstarává pro studenty materiál na laboratorní práce sama, 22 % vyučujících pověřuje sběrem vzorků řas a sinic studenty a 14 % využívá možnost nákupu kultur.

Zařazení tématu řas a sinic nemusí vždy odpovídat vegetačnímu období, a z tohoto důvodu může být zajištění biologického materiálu problematické. Pro výuku lze využít i možnosti zakoupení vzorků řas a sinic. Kultury řas a sinic nabízí například CCALA (Culture Collection of Autotrophic Organisms, <https://ccala.butbn.cas.cz/en>), kde je možné zakoupit výukové sady sinic a řas pro základní a střední školy nebo zakoupit jednotlivě vybrané zástupce. Nákup živých kultur je nutno časově naplánovat z důvodu relativně krátké životnosti některých zástupců.

Problematikou uchování živých vzorků řas a sinic se zabývala ve své práci Hornová (2020), která uvádí stručný návod, v jakých podmínkách uchovávat živé vzorky řas a sinic. Autorka uvádí, že některé vzorky stačí uchovávat v nádobě na světlém místě směrem na sever. Dále zmiňuje jednoduchou fixaci planktonu pomocí Lugolova roztoku nebo formaldehydu. Zajímavý experiment s kultivací sinic provedla Stiborová (2019), která se ve své práci zabývá možnostmi kultivace sinic ve školních podmínkách. Ke kultivaci vzorků využila běžně dostupná hnojiva pro pokojové rostliny a zeleninu. Došla k závěru, že většinu zelených řas i sinic lze tímto jednoduchým způsobem kultivovat i ve školním prostředí.

Dále bylo z dotazníku zjištěno, že při praktických cvičeních využívá pouze 7 % vyučujících úlohy s prvky BOV – badatelsky orientované výuky. Výsledky mého průzkumu se velmi liší od výsledků Březiny (2021). V dotazníkovém šetření Březiny (2021) uvedlo 88 % vyučujících, že se věnuje badatelsky orientované výuce, z toho více než polovina pouze příležitostně. 6 % respondentů uvedlo, že tuto formu výuky používají pravidelně ke každému tématu. Rozdílné výsledky těchto průzkumů jsou pravděpodobně z důvodu jinak položených otázek. Březina (2021) se dotazuje, zda vyučující se studenty provádí badatelsky orientovanou výuku v rámci biologie. V mém dotazníku je BOV zahrnuta jako jedna z možných metod praktického vyučování. S velkou pravděpodobností se vyučující zaměřili spíše na konkrétní formy praktických úloh a využití BOV neuvedli, i když je velmi pravděpodobné, že většina laboratorních úloh některé prvky BOV obsahuje.

Příčinou minimálního využívání této metody je především časová náročnost na přípravu úloh. Pro vyučující je náročnější i samotná realizace této formy výuky než při

frontální výuce, která bývá na školách často používána. Březina (2021) poukazuje také na absenci modelových úloh, které by mohli vyučující využívat při své výuce.

V dotazníku uvedlo 16 % vyučujících, že praktické cvičení na téma řas a sinic nepraktikují. V dotazníku Kafkové (2017) uvedlo dokonce 35 % učitelů, že se nevěnují praktickým cvičením v rámci tématu řas a sinic. Dotazníkového šetření se účastnilo pouze 23 respondentů, což může ovlivňovat výsledky průzkumu.

Jako hlavní důvody nerealizování praktických úloh uváděli mí respondenti nedostatek času a nedostatečné vybavení škol. Kafková (2017) ve svém dotazníkovém šetření došla také k závěru, že hlavním důvodem nerealizování praktických cvičení je nedostatek času. Někteří její respondenti uvedli, že čas vyhrazený pro praktika využívají pro výklad učiva, které nestíhají odučit v teoretických hodinách. Časová dotace hodin biologie se na různých typech středních škol liší. Na některých školách bývají pro praktická cvičení vymezeny samostatné hodiny. Na školách, kde musí vyučující vkládat laboratorní práce do klasických vyučovacích hodin, není možno věnovat tolik času praktickým úlohám. Nároky na materiál a vybavení, které jsou potřeba pro praktickou výuku tohoto tématu, nejsou vysoké. Nejčastěji používanou metodou výzkumu je mikroskopování a vzhledem k dobré viditelnosti řas a sinic jsou postačující i běžné školní mikroskopy. Praktická cvičení by měla být nedílnou součástí výuky biologie na středních školách. Aktivní zapojení studentů do výuky napomáhá k lepšímu upevnění znalostí.

Další otázka v dotazníku se týkala skupin řas, které jsou vyučovány na středních školách. Na většině škol se vyučují skupiny Chlorophyta, Euglenophyta, Rhodophyta, Dinophyta a Ochrophyta. Nejméně se vyučující zabývají skupinami Haptophyta, Chlorarachniophyta, Glaucophyta a Streptophyta, což je zapříčiněno nejspíše tím, že o těchto skupinách se ve většině učebnic autoři nezmiňují a vyučující informace musí získávat z jiných zdrojů. Dalším důležitým faktorem je zřejmě neznalost aktuálního systematického rozdělení skupin řas a sinic. Absenci nového systematického členění řas a sinic ve výuce na SŠ uvádí i Kafková (2017). Autorka ve svém dotazníkovém průzkumu zjistila také fakt, že učitelé se neúčastní školení týkajících se řas a sinic, na kterých by byli seznámeni s novinkami v této oblasti.

Nejdůležitějším zdrojem informací je pro vyučující internet, z kterého čerpá 94 % respondentů. Na internetu lze najít mnoho informací, které ovšem neodpovídají především

aktuálnímu systematickému dělení řas. Pro vyučující je časově náročné sledovat aktuální změny v oblasti fykologie, která v posledních letech prošla velkou změnou.

Z dotazníkového šetření vyplývá, že vyučující by ocenili větší změny v učebních dokumentech, zejména v oblastech ekologie, zajímavostech a užitečnosti řas. Naopak změny ve fyziologii a systému řas učitelé nevyžadují. Změny v systematickém dělení řas jsou v novém pojetí pro vyučující složité a mnohdy nepřehledné.

I přes to, že je v dnešní době mnoho možností získávat nové a aktuální poznatky z oboru biologie, někteří učitelé používají jako jediný zdroj informací středoškolské učebnice, které jsou mnohdy zastaralé.

## 5.2 Výuka sinic a řas na středních školách

Téma řas a sinic je v českém i v zahraničním vzdělávání relativně problematické. Největší podíl na tom mají nejednotné učebnice, které se v tomto tématu velice rozcházejí (Brabcová et al., 2018). Učebnice ve většině případů nemají samostatné kapitoly o řasách a sinicích, ve kterých by studenti našli ucelené informace o daném tématu. Výuka řas probíhá v rámci tematických celků: Biologie rostlin a Biologie protist. Informace o sinicích, pokud jsou vůbec v učebnici zmíněny, najdeme většinou v kapitolách o bakteriích (Výzkumný ústav pedagogický, 2007).

Jeden z největších problémů představuje fakt, že učebnice a jiné dokumenty o řasách a sinicích obsahují nepřesné a neaktuální informace týkající se především jejich systematického zařazení. O problematice systematiky pojednávají autoři článku: *Nový pohled na systém řas a jak ho učit* (Juráň & Kaštovský, 2016).

Vhodným řešením tohoto problému by mohlo být vytvoření například interaktivní webové stránky nebo aplikace, kde by vyučující našli aktuální informace o řasách a sinicích, návody na praktická cvičení, klíč k určování řas a sinic a další materiály, které by mohly usnadnit učitelům tvorbu didaktických materiálů pro výuku řas a sinic. Takto koncipovaná je např. webová stránka [www.sinicearasy.cz](http://www.sinicearasy.cz), kde mohou naléznout materiály k výuce: popularizační články, Atlas sinic a řas ČR, úlohy s prvky BOV a pracovní listy. Na stránkách mohou rovněž najít vysokoškolská skripta týkající se řas a sinic.

Vyučující mohou pro přípravu na vyučování využít i studentské práce, ve kterých je téma řas a sinic mnohdy velmi hezky zpracované a nabízí vyučujícím aktuální přehled problematiky fykologie a mnoho didaktických pomůcek. I součástí této práce je studijní text pro vyučující, prezentace do výuky a pracovní listy.

Metodickou příručku k problematice sinic a řas vytvořila Kafková (2017) ve své diplomové práci. Součástí práce je studijní text, ve kterém najdou učitelé i didaktické poznámky, např. návrhy laboratorních cvičení, návrhy k diskusi a další. K metodickému materiálu vytvořila autorka i obrázkovou přílohu. V této práci poukazuje autorka i na možnost využití projektové výuky k tématu řas a sinic. Součástí práce je konkrétní ukázka projektu na téma sinice.

Studijní text pro učitele je součástí i další studentské práce Flekalové (2019). Autorka zde uvádí aktuální systém sinic a řas a zaměřuje se v text především na využití těchto organismů v praktickém životě. Součástí práce je také 25 výukových karet pro determinaci makroskopických řas a sinic. Tento didaktický materiál může vyučující využít v teoretické i praktické výuce daného tématu. Kladně hodnotím především fotografie některých zástupců v jejich přirozeném prostředí, které mohou usnadnit samostatný sběr vzorků.

Tvorbou učební pomůcky pro výuku řas a sinic se zabývala Fárková (2015), která v rámci své práce vytvořila atlas sladkovodních sinic a řas pro výuku biologie. Tento didaktický materiál byl vytvořen formou 30 výukových karet, ve kterém nalezneme nejčastěji se vyskytující zástupce řas a sinic v okolí Nového Jičína. Tento materiál lze samozřejmě využít i v jiných lokalitách ČR.

Další zajímavou prací věnovanou tématu výuky řas a sinic na středních školách je práce Hornové (2020). V praktické části této práce se autorka zabývá sběrem vzorků řas a sinic a vytvořila 6 laboratorních protokolů a pracovních listů. Tyto pracovní listy mohou být vhodnou alternativou pro praktickou výuku, při které není umožněno pozorovat preparáty pod mikroskopem. Součástí pracovních listů jsou mikroskopické snímky daných zástupců a studenti určují zástupce na základě těchto fotografií. Tyto materiály byly testovány při distanční výuce a byly jistě obohacením a zpestřením online výuky tohoto tématu.

V dnešním pojetí výuky je požadováno využívání různorodých výukových metod. Jednou z těchto metod, které mají naučit studenty větší samostatnosti při získávání nových poznatků a jejich upevňování, je badatelsky orientovaná výuka. I přesto, že tato metoda je

známá v českém školství již od roku 2008, stále nebývá běžnou součástí výuky (Samková et al., 2015). Důvodem je již dříve zmiňovaná časová náročnost na přípravu a celková náročnost při realizaci badatelsky orientované výuky. Pro vyučující by bylo jistě přínosné vytvoření vhodného materiálu, například příručky pro BOV, kde by vyučující našli ucelené informace o BOV, pravidla pro přípravu a realizaci výuky a další užitečné informace.

Ohledně tématu sinic a řas je omezený i Rámcový vzdělávací program. Zde je uvedeno, že žák by měl umět v rámci biologie rostlin popsat stavbu těl rostlin, stavbu a funkci rostlinných orgánů, porovnat společné a rozdílné vlastnosti stélkatých a cévnatých rostlin, objasnit princip životních cyklů a způsoby rozmnožování rostlin, pozná a pojmenuje významné rostlinné druhy a uvede jejich ekologické nároky, zhodnotí rostliny jako primární producenty biomasy a možnosti využití rostlin v různých odvětvích lidské činnosti, posoudí vliv životních podmínek na stavbu a funkci rostlinného těla, zhodnotí problematiku ohrožených rostlinných druhů a možnosti jejich ochrany. V rámci biologie protist by měl žák umět charakterizovat tuto skupinu z ekologického, hospodářského a zdravotnického hlediska (Výzkumný ústav pedagogický, 2007). Rámcový vzdělávací systém tedy není žádnou velkou oporou pro výuku fykologie na středních školách. Záleží pouze na vyučujících, do jaké míry se tématu řas a sinic budou věnovat a pokud bychom chtěli, aby se výuka fykologie na středních školách zlepšila a zatražila pro studenty, je potřeba vyučujícím pomoci například uceleným a průběžně aktualizovaným přehledem fykologie.

### **5.3 Didaktické materiály**

V rámci bakalářské práce byly vytvořeny didaktické materiály: 9 prezentací a 3 pracovní a metodické listy. Tyto materiály byly vyzkoušeny ve středoškolské praxi.

Testování probíhalo většinou v rámci dvouhodinových bloků laboratorních cvičení. Každý pracovní list byl vyzkoušen v praxi třikrát. V úvodní části hodiny byli studenti seznámeni s danou problematikou formou prezentace a poté následovalo praktické cvičení. Výhodou pro praktickou výuku biologie je možnost využití dataprojektorů, které jsou na některých školách součástí materiálního vybavení laboratoří. Vyučující mohou využít dataprojektor i k názorné ukázce obrázků a videí.

Součástí praktické části bylo mikroskopování předložených vzorků řas a sinic a samostatné vypracování pracovních listů. Důraz byl kladen především na samostatnost studentů při řešení úloh. Pro většinu studentů byly vytvořené pracovní listy přiměřeně náročné a řešení úloh zvládli zcela samostatně nebo s minimální pomocí vyučujícího. Po dokončení praktické části proběhla společná kontrola pracovních listů, krátké zopakování dané problematiky a zhodnocení vytvořeného didaktického materiálu formou dotazníku.

Testování praktických úloh probíhalo většinou u studentů 1. ročníku středních škol. Byly zaznamenány mírné rozdíly v dovednostech mezi studenty 1. ročníku čtyřletého a 5. ročníku (kvinta) osmiletého studia. U studentů kvinty byly patrné větší zkušenosti s mikroskopováním a také širší znalosti daného tématu. Vzhledem k materiálnímu zázemí na navštěvovaných gymnáziích se předpokládá, že studenti kvinty mají za sebou více laboratorních prací v průběhu předchozích ročníků.

Studenti bohužel v předchozích téměř dvou letech neměli možnost praktických cvičení z důvodu distanční výuky, a z tohoto důvodu nemají některé metody výzkumu zcela osvojené. I přesto nebyly u žádné testované skupiny velké problémy a studenti dané úlohy zvládli.

Při vypracování pracovních listů dělal studentům největší problém nákres pozorovaných mikroskopických preparátů. Nákresy pozorovaných buněk byly většinou malé nebo neodpovídaly pozorovaným objektům. V protokolech se objevily i nákresy propiskou, velmi často chyběl popis a zvětšení. Je nutné, aby vyučující neustále studentům opakovali základní pravidla pro tvorbu biologického nákresu a dbali na jejich dodržování.

V praxi byly testovány pracovní listy na téma: „Role řas v přechodu rostlin na souš“, „Biotické interakce řas a sinic“ a „Role řas v biogeochemických cyklech“.

Pracovní list na téma „Role řas v přechodu rostlin na souš“ obsahuje teoretickou část, která studenty seznamuje s nejznámějšími teoriemi předků suchozemských rostlin. Součástí předloženého textu je i odkaz na video o rozmnožování spájkivých řas. V dnešní době je internetové pokrytí na školách běžné, proto mohou vyučující využívat internetových odkazů. Někteří vyučující však nepovolují studentům používat při výuce mobilní telefony, zřejmě i z důvodu toho, že je těžké kontrolovat, jakým činností se na internetu věnují. S pomocí úvodního textu byli studenti schopni zodpovědět otázky z pracovního listu a správně vyplnit křížovku. V praktické části studenti mikroskopovali předložené vzorky spájkivých řas.



Mikroskopované kultury byly dobře pozorovatelné i při menším zvětšení (40–100krát). Pomocí přiloženého klíče byli studenti schopni určit pozorované zástupce řas.

Studenti hodnotili kladně především svou schopnost určit mikroskopované řasy podle jednoduchého klíče, který byl součástí pracovního listu. Z dotazníku pro vyučující vyplynulo, že toto téma by rádi zařadili do své výuky. Ve vyučovacích hodinách nebývá téma předchůdců suchozemských rostlin běžně zařazováno, a proto toto praktické cvičení může být i vhodným doplňkem informací teoretické části výuky biologie. V metodickém listu hodnotili vyučující pozitivně především rozšířené informace o daném tématu a mikroskopické fotografie zástupců řas.

Pracovní list na téma „Biotické interakce řas a sinic“ obsahuje praktickou úlohu mikroskopické pozorování symbiotických řas a sinic. Studenti pozorovali pod mikroskopem předložené zástupce. Druhým úkolem bylo vytvořit dočasný preparát příčného řezu stélkou lišejníku a pozorovat jeho vnitřní stavbu. Pro některé studenty bylo obtížné zhotovit kvalitní preparát řezu stélkou lišejníku, i přesto jim tento úkol přišel zábavný. Původní záměr této úlohy byl, aby studenti na základě pozorování vnitřní stavby lišejníků také určili, zda obsahuje pozorovaný lišejník fykobionta nebo cyanobionta. V praxi se ukázalo, že takto koncipovaná úloha je pro středoškolské studenty příliš náročná, a proto byl pracovní list upraven. Některým studentům se podařilo zhotovit pěkný preparát příčného řezu lišejníkem, na kterém byly pozorovatelné jednotlivé části stélky. Velkým problémem pro studenty byl ovšem nákres, který se zdá být pro studenty příliš náročný. Z tohoto důvodu je nasnadě další úprava tohoto pracovního listu, kde studenti budou stélku lišejníku pouze pozorovat pod mikroskopem a nákres nebudou zhotovovat.

Pozorování vnitřní stavby lišejníků nebývá běžně zařazeno do laboratorních prací a z tohoto důvodu většina učitelů hodnotilo tento pracovní list za přínosný a mají v plánu ho využívat ve své výuce. Součástí metodického listy byly také vlastní fotografie příčného řezu lišejníků a fykologických symbiontů, které vyučující také velmi ocenili.

Poslední pracovní list je na téma „Role řas v biogeochemických cyklech“. Teoretická část se zabývá koloběhem dusíku a významem sinic pro jeho fixaci. Praktickou úlohou bylo mikroskopování významných zástupců sinic. Během mikroskopického pozorování se studenti soustředili především na přítomnost heterocytů, které byly ve většině případů viditelné. Během praktické úlohy pracovali studenti s určovací literaturou: Atlas sinic a řas ČR, Kaštovský et al., 2018. Tato úloha ukázala, že studenti mají velké nedostatky v práci

s určovacím klíčem. Pro studenty se zdá být určování konkrétních zástupců sinic příliš náročné. Po dalším testování tohoto pracovního listu bude zhodnocena úprava této části praktické úlohy.

I přes neschopnost studentů určit předložené zástupce sinic byl tento pracovní list hodnocen studenty kladně. V teoretické části využili své již dříve získané znalosti o koloběhu dusíku a v praktické části neměli ve většině případů problém najít požadované heterocyty. Pro vyučující byly v metodickém listu přínosné především mikroskopické fotografie zástupců sinic s heterocyty a schématické nákresy. Vyučující uvedli, že by tuto úlohu využili při výuce bakterií.

Tyto materiály budou dále testovány ve středoškolské praxi a postupně upravovány podle požadavků vyučujících.

Pro výuku řas a sinic je zařazování praktických úloh velkým přínosem. Toto téma nebývá pro studenty příliš zajímavé, a díky laboratorním cvičením může být atraktivní i toto biologické téma.

## 6 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo zmapování současných výukových materiálů využívaných ve středoškolské výuce biologie se zaměřením na téma řas a sinic. Hlavním cílem práce bylo vytvořit pro vyučující podpůrný didaktický materiál, který mohou využít ve své pedagogické praxi.

Analýza učebnic ukázala, že téma řas a sinic je v učebních dokumentech nedostatečně zpracováno a obsahuje zastaralé poznatky, které neodpovídají dnešnímu pojetí výuky tohoto tématu. Z dotazníkového šetření vyplynulo, že tento fakt vnímá i většina vyučujících a požadují v některých oblastech změny. Ve fykologii došlo v posledních letech k výrazným změnám, týkajících se především systematiky, a pro vyučující je náročné tyto změny sledovat a předkládat studentům zaktualizované informace.

Výsledkem mé práce je vytvoření studijního textu. K vytvoření tohoto studijního materiálu byly využity dostupné informace z odborných zdrojů. Na základě studijního textu byly vypracovány výukové prezentace a pracovní listy, které mohou vyučující využít především v praktické výuce, díky které může být výuka pro studenty zajímavější a přínosnější. V pracovních listech jsou použity prvky badatelsky orientované výuky, která je vhodnou metodou pro výuku biologie.

Testování vytvořených materiálů v praxi ukázalo, že jsou vhodnou didaktickou pomůckou pro vyučující biologie a mohou být využity ve středoškolské výuce. Bylo by vhodné s tvorbou podpůrných materiálů pokračovat i v budoucnu a usnadnit tím práci vyučujícím biologie na středních školách.

## 7 SEZNAM LITERATURY

- ADL, S., BASS, D., LANE, C., LUKEŠ, J., SHOCH, C., ALEXEY, S., DR. AGATHA, S., BERNEY, C., BROWN, M., BURKI, F., CÁRDENAS, P., CEPICKA, I., CHISTYAKOVA, L., DEL CAMPO, J., DUNTHORN, M., EDVARDBSEN, B., EGLIT, Y., GUILLOU, L., HAMPL, V., ZHANG, Q. 2018. *Revisions to the Classification, Nomenclature, and Diversity of Eukaryotes*. Journal of Eukaryotic Microbiology. 66. 10.1111/jeu.12691.
- AHMADJIAN, V. 1993: *The Lichen Symbiosis*, New York: John Wiley. 250 pp.
- AKÇAALAN, R., KÖKER, L., GÜREVİN, C., ALBAY, M. 2014. *Planktothrix rubescens: a perennial presence and toxicity in Lake Sapanca*. Turkish Journal of Botany 38, 782-789
- ALEXANDRE, A., MEUNIER, J. D., COLIN, F., KOUD, J.M. 1997. *Plant impact on the biogeochemical cycle of silicon and related weathering processes*. Geochimica Et Cosmochimica Acta, 61: 677-682.
- ALGAEBASE.cz 2022. *World-wide electronic publication*, National University of Ireland, Galway. [Cit. 1.3. 2022] Dostupné z: <https://www.algaebase.org>;
- ALGINATES. 2015. Agricultural Marketing Service. US Department of Agriculture. [cit. 1.3. 2022] Dostupné z: <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Alginates%20TR%202015.pdf>
- ANTONIDES, L. E. 1998. *Diatomite*. U.S. Geological Survey Mineral Commodity Summaries, 56-57.
- ARTEAGA-VAZQUEZ, M. A. 2016. *Land Plant Evolution: Listen to Your Elders*, *Current Biology*, Volume 26, Issue1, Pages R26–R29, ISSN 0960–9822. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.12.001>.
- ASHEN, J. B. & GOFF, L. J. 2000. *Molecular and ecological evidence for species specificity and coevolution in a group of marine algal-bacterial symbioses*. Appl. Env. Microbiol. 66, 3024–3030

- BACHVAROFF, T. R., PUERTA, M., SANCHEZ, V., DELWICHE, C. F. 2005. *Chlorophyll c-Containing Plastid Relationships Based on Analyses of a Multigene Data Set with All Four Chromalveolate Lineages*, *Molecular Biology and Evolution*, Volume 22, Issue 9, Pages 1772–1782, <https://doi.org/10.1093/molbev/msi172>
- BANCHI H. & BELL R. 2008. *The Many Levels of Inquiry*. Science and Children. 46(2):26-9.
- BARSANTI, L. & GUALTIERI, P. 2005. *Algae: Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology*. 1st edition. CRC Press. Pages: 320 ISBN: 9780429095818
- BAUMGARTNER, R. J., VAN KRANENDONK, M. J., WACEY, D., FIORENTINI, M. L., SAUNDERS, M., CARUSO, S., PAGES, A., HOMANN, M., GUAGLIARDO, P. 2019. *Nano-porous pyrite and organic matter in 3.5 billion-year-old stromatolites record primordial life* (PDF). *Geology*. 47 (11): 1039–1043. doi:10.1130/G46365.1
- BECKER, B. & BIRGER, M. 2009 *Streptophyte algae and the origin of embryophytes*. *Annals of Botany*. 2009-05, roč. 103, čís. 7, s. 999–1004. Dostupné online [cit. 2009-10-02]. ISSN 1095-8290. DOI 10.1093/aob/mcp044.
- BIANCHI, F., TRÖSTL, J., JUNNINEN, H., FREGE, C., HENNE, S., C. R. HOYLE, C. R., MOLTENI, U., HERRMANN, E., ADAMOV, A., BUKOWIECKI, N., CHEN, X., DUPLISSY, J., GYSEL, M., HUTTERLI, M., KANGASLUOMA, J., KONTKANEN, J., KÜRTEEN, A., MANNINEN, H. E., MÜNCH, S., PERÄKYLÄ, O., PETÄJÄ, T., RONDO, L., WILIAMSON, C., WEINGARTNER, E., CURTIUS, J., WORSNOP, D. R., KULMALA, M., DOMMEN, J., BALTENSPERGER, U. 2016. *New particle formation in the free troposphere: A question of chemistry and timing*. *Science*. DOI: 10.1126/science.aad5456
- BISHOP, P. E. & JOERGER, R. D. 1990. *Genetics and molecular biology of alternative nitrogen fixation systems*. *Annu. Rev. Plant. Physiol. Plant. Mol. Biol.* 41: 109–125
- BOROWITZKA, M. A., BEARDALL, J., RAVEN, J. A. 2016. *The Physiology of Microalgae*. © Springer International Publishing Switzerland, ISBN 978-3-319-24945-2

- BOUŠKA, V., JAKEŠ, P., PAČES, T., POKORNÝ, J. 1980. *Geochemie*. Academia. Praha. 555 s.
- BRABCOVÁ B., VODOVÁ L., HVĚZDOVÁ K. 2018. *Analýza tématu Řasy ve vybraných učebnicích přírodopisu*. Scientia in educatione. 9(1):4-36.
- BRANSFORD, J. D., BROWN, A. L., COCKING, R. R. 1999. *How people learn: Brain, mind, experience, and school*. National Academy Press, Washington, 384 pp.
- BRINGLOE, T., STARKO, S., VIEIRA, CH., KAWAI, H. & more. 2020. *Phylogeny and Evolution of the Brown algae*. Critical Reviews in Plant Sciences, Taylor & Francis, 39, str.281–321. 10.1080/07352689.2020.1787679. hal-02995644
- BRUMERL, J., HRABĚ, M., NOVOTNÁ, J., PINKAVA, I. 2006. *Biologie 1 pro střední odborné školy*, SPN, Praha, 224 pp., ISBN: 80-7235-314-4.
- BŘEZINA, P. 2021 *Badatelsky orientovaná výuka k tématu sinic a řas*. Č. Budějovice. bakalářská práce (Bc.). JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH. Přírodovědecká fakulta
- BURKI, F., ROGER, A. J., BROWN, M. W., SIMPSON, A. G. B. 2020. *The New Tree of Eukaryotes*. Trends in Ecology and Evolution. 35(1), 43–55. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.08.008>
- CALVAYRAC, R., LAVAL-MARTIN, D., BRIAND, J., FARINEAU, J. 1981. *Paramylon synthesis by Euglena gracilit photoheterotrophically grown under low O<sub>2</sub> pressure*. Planta, 153(1), 6–13. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00385311>
- CAMPBELL, N. A. & REECE, J. B. 2006. *Biologie*. Brno: ComputerPress, 543 s. ISBN 80-251-1178-4
- CATTOEN, E. & KOCH, B. 2017. *Kernbereiche Biologie 5*. Vídeň: Dorner, E. GesmbH. ISBN: 978-3-7055-2382-1
- CČALA.CZ. 2020. Dostupné z: <https://ccala.butbn.cas.cz/en/about-ccala-culture-collection>
- CÍLEK, V. 2007. *Nový problém: globální cyklus dusíku. Ten třetí vzadu*. Vesmír: přírodovědecký časopis. 2007/6.

- CÍSAŘ, V. et al. 1987. *Člověk a životní prostředí*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství. 264 s.
- COX, G. M., HALVERSON, G. P., MINAŘÍK, W. G., LE HERON, D. P., MACDONALD, F. A., BELLEFROID, E. J., STRAUSS, J. V. 2013. *Neoproterozoic iron formation: An evaluation of its temporal, environmental and tectonic significance*. Chemical geology. 201362: 232–249. ChGeo.362..232C. doi:10.1016/j.chemgeo.2013.08.002.
- CZE.SCIENCES–WORLD.COM. 2022. *Elucidace Chara genomu: Důsledky pro vznik půdních rostlin v paleozoické éře* [Cit. 1.3.2022] Dostupné z: <https://cze.sciences-world.com/elucidating-chara-genome-60047>
- ČEPIČKA, I. *Diverzita protist*. 2019. Živa: přírodovědecký časopis. Praha: Živa, č.5
- ČEPIČKA, I., KOLÁŘ F., SYNEK P. 2007. *Mutualismus, vzájemně prospěšná symbióza*. Přípravný text – biologická olympiáda 2007-2008, NIDM ČR, Praha.
- ČÍŽKOVÁ, H. & ŠANTRŮČKOVÁ, H. 2006. *Procesy spojené s eutrofizací mokřadů*. Živa: přírodovědecký časopis. Praha: Živa, č.5
- DE CLERCK, O., BOGAERT, K. A., LELIAERT, F. 2012. *Chapter Two - Diversity and Evolution of Algae: Primary Endosymbiosis*. Advances in Botanical Research. Academic Press. Volume 64. Pages 55-86, ISSN 0065-2296, ISBN 9780123914996, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-391499-6.00002-5>.
- DING, H. Y. & MA, J. H. 2005. *Simultaneous infection by red rot and chytrid diseases in Porphyra yezoensis Ueda*. J. Appl. Phycol. 17, 51–56
- DOBLIN, M. S., KUREK, I., JACOB-WILK, D., DELMER, D. P. 2003. *Cellulose biosynthesis in plants: from genes to rosettes*. Plant & cell physiology. 43. 1407-20
- DOSTÁL J. 2013. *Badatelsky orientovaná výuka jako trend soudobého vzdělávání*. e-Pedagogium. 13(3):81-93
- DOSTÁL, P. 2006. *Evoluce a systém stélkatých organismů a cévnatých výtrusných rostlin*. Pedagogická fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Praha, 109 s.

- EAKIN, C. M., SWEATMAN, H. P. A., BRAINARD, R. E. 2019. *The 2014–2017 global-scale coral bleaching event: insights and impacts*. Coral Reefs 38, 539–545. <https://doi.org/10.1007/s00338-019-01844-2>
- EARTHSKY.ORG. 2015. *How much do oceans add to world's oxygen?* [Cit. 1.3. 2022] Dostupné z: <https://earthsky.org/earth/how-much-do-oceans-add-to-worlds-oxygen/>
- ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA. 2022. [Cit. 1.3. 2022] Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/marine-ecosystem/Physical-and-chemical-properties-of-seawater#/media/1/365256/32>
- ERIKSSON, P. G. & CHENEY, E. S. 1992. *Evidence for the transition to an oxygen-rich atmosphere during the evolution of redbeds in the Loir proterozoic sequences of southern Africa*. Precambrian Research. Volume 54, Issues 2–4, Pages 257-269, ISSN 0301-9268, [https://doi.org/10.1016/0301-9268\(92\)90073-W](https://doi.org/10.1016/0301-9268(92)90073-W).
- FÁRKOVÁ, L. 2015. *Atlas sladkovodních sinic a řas pro výuku biologie na Gymnáziu v Novém Jičíně* [online]. Brno, [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/hr0bgy/>. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Pedagogická fakulta. Vedoucí práce Mgr. Blažena Brabcová, Ph.D.
- FIELD, K. J., PRESSEL S., DUCKETT J. G., RIMINGTON W. R., BIDARTONDO M. I. 2015. *Symbiotic options for the conquest of land*. Trends Ecol Evol. 30(8):477-86. doi: 10.1016/j.tree.2015.05.007. PMID: 26111583.
- FLEGR, J. 2009. *Evoluční biologie*. 2., opr. a rozš. vyd. Praha: Academia, 569 s. ISBN 978-80-200-1767-3.
- FLEKALOVÁ, A. 2019. *Sinice a řasy ve výuce a využití makroskopických sinic a řas při výuce na základních a středních školách* [online]. České Budějovice, [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/2tdjvq/>. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce RNDr. Tomáš Hauer, Ph.D.
- FOTT, J. 1967. *Sinice a řasy*. Vyd. 2. Praha: Knih. 520 s. 265 s. obr. 1s. příl. ISBN 4126 21-078-67



- GACHON, C. M., SIME-NGANDO, T., STRITTMATTER, M., CHAMBOUVET, A., KIM, G. H. 2010. *Algal diseases: spotlight on a black box*. Trends Plant Sci. 633-40. doi: 10.1016/j.tplants.2010.08.005. Epub 2010 Sep 15. PMID: 20833575.
- GEOLOGY.CZ. 2022. *Diatomit*. © Česká geologická služba [Cit. 1.3.2022] Dostupné z: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?diatomit>
- GEOLOGY.CZ. 2022. *Křída*. © Česká geologická služba [Cit. 1.3.2022] Dostupné z: [http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?krida\\_\(hornina\)](http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?krida_(hornina))
- GRAHAM, L. E. 1984. *Coleochaete and the Origin of Land Plants*. American Journal of Botany, vol. 71, no. 4, Botanical Society of America, pp. 603–08, <https://doi.org/10.2307/2443336>.
- GRAHAM, L. E., WILCOX, L. W., GRAHAM, J. M. 2009. *Algae*. 2nd ed. San Francisco: Pearson/Benjamin Cummings, 616 s., g 12 s., li 52 s., ti 9 s., si 7 s. ISBN 978-0-321-55965-4.
- GRANÉLII, E. & HANSEN, P. 2006. *Allelopathy in Harmful Algae: A Mechanism to Compete for Resources?*. 10.1007/978-3-540-32210-8\_15.
- GREEN, B. R. 2011. *After the primary endosymbiosis: an update on the chromalveolate hypothesis and the origins of algae with Chl c*. Photosynth Res. 107(1):103-15. doi: 10.1007/s11120-010-9584-2. PMID: 20676772.
- GRONSTAL, A. 2019. *Depleted Organic Matter in Banded Iron Formations Provides Clues for Extraterrestrial Life Biosignatures*. NASA ASTROBIOLOGY [Cit. 1. 3. 2022] Dostupné z: <https://scitechdaily.com/depleted-organic-matter-in-banded-iron-formations-provides-clues-for-extraterrestrial-life-biosignatures/>
- GRUBE, M., SECKBACH, J., MUGGIA, L. 2017. *Algal and Cyanobacteria Symbioses*. London: World Scientific Publishing Europe Ltd. ISBN 978-1-78634-057-3
- GYM.H.CZ. 2022. *Řasy*. [Cit. 1.3.2022] Dostupné z: [http://www.gymh.cz/vyuka/biologie/prehledy/2bot\\_5\\_rasy.pdf](http://www.gymh.cz/vyuka/biologie/prehledy/2bot_5_rasy.pdf)
- HAMPL, V. 2010. *Diverzita parazitů*. Živa: přírodovědecký časopis. Praha: Živa, č.5

- HAMPL, V. 2012. Kontroverzní a nebojácná dáma. Vesmír: přírodovědecký časopis. Praha: Vesmír. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2012/cislo-2/kontroverzni-nebojacna-dama.html#pozn1>
- HANČOVÁ, H. & VLKOVÁ, M. 2019. *Biologie v kostce: pro střední školy*: [obecná biologie, botanika, zoologie, biologie]. Praha: Fragment. Maturita v kostce. ISBN 978-80-253-0606-2.
- HAUER, T. & KOMÁREK, J. 2022. CyanoDB 2.0 - On-line database of cyanobacterial genera. World-wide electronic publication, Univ. of South Bohemia & Inst. of Botany AS CR. [Cit. 1.3. 2022] Dostupné z: <http://www.cyanodb.cz>
- HELL, N. 1981. *Merkmale des Lebendigen*. Biologie und Umweltkunde. Deuticke, F. ISBN: 3700580738.
- HELMS, A. M., DE MORAES, C. M., TOOKER, J. F., MESCHER, M. C. 2013. *Exposure of Solidago altissima plants to volatile emissions of an insect antagonist (Eurosta solidaginis) deter subsequent herbivory*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 110, 199-204.
- HNILÍČKA, F., et. al. 2005. *Základy fyto techniky: část botanika a fyziologie rostlin*. Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita, 242 s. ISBN 80-213-1402-8
- HOEGH-GULDBERG, O. 2005. *Low coral cover in a high-CO<sub>2</sub> world*. Journal of Geophysical Research C: Oceans. 110. 10.1029/2004JC002528.
- HOLLAND, H. D. 2006. *The oxygenation of the atmosphere and oceans*. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 361(1470):903-15. doi: 10.1098/rstb.2006.1838. PMID: 16754606; PMCID: PMC1578726.
- HORNOVÁ, A. 2020. *Návrh uspořádání praktické výuky nižších rostlin (řas a sinic) na středních školách v Hradci Králové a okolí*. [online]. Hradec Králové, [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/xey6h4/>. Diplomová práce. Univerzita Hradec Králové, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce RNDr. Markéta Bohunická, Ph.D.
- CHEN, H. M., CHIEN, C. Y., HUANG, T. C. 1996. *Regulation and molecular structure of a circadian oscillating protein located in the cell membrane of the prokaryote Synechococcus RF-1*. - Planta 199 (4): 520–527. ISSN: 0032-0935.

- CHIANG I-Z., HUANG W-Y., WU J-T. 2004. *Allelochemicals of Botryococcus braunii* (Chlorophyceae). *J Phycol* 40:474–480
- IROZHLAS.CZ. 2018. *„Evoluce nešla nejpřímější cestou.“ Čeští vědci pomohli s objasněním přechodu života z vody na souš.* Praha. [Cit. 1.3. 2022] Dostupné z: [https://www.irozhlaz.cz/veda-technologie/priroda/vedci-evoluce-zivot-voda-sous\\_1807122049\\_pj](https://www.irozhlaz.cz/veda-technologie/priroda/vedci-evoluce-zivot-voda-sous_1807122049_pj)
- JANKOVSKÝ L. 1997. *Viry, prokaryota, řasy, houby a lišejníky.* Katedra biologie, Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity, Brno. 154 s.
- JANOUŠKOVÁ, S., NOVÁK, J., MARŠÁK, J. 2008. *Trendy ve výuce přírodovědných oborů z evropského pohledu.* *Acta Facultatis Paedagogicae Universitatis Trnavensis.* 12: 129–132.
- JELÍNEK, J. & ZICHÁČEK, V. 2006. *Biologie pro gymnázia: (teoretická a praktická část).* 8. rozš. vyd. Olomouc: Nakladatelství Olomouc. ISBN 80-7182-217-5.
- JELÍNEK, J. 1997. *Biologie prokaryot, nižších a vyšších rostlin, hub.* Nakladatelství Olomouc, Olomouc, 256 pp., ISBN: 80-7182-026-1
- JORMALAINEN, V. & HONKANEN, T. 2008. *Macroalgal chemical defenses and their roles in structuring temperate marine communities.* In Amsler, C.D. (ed.) *Algal Chemical Ecology.* Springer, Germany, pp. 57-89.
- JUNG, V., THUBAUT, T., MEINESZ, A., POHNERT, G. 2002. *Comparison of the wound-activated transformation of caulerpenyne by invasive and noninvasive Caulerpa species of the Mediterranean.* *Journal of Chemical Ecology,* 28, 2091-2105.
- JURÁŇ, J & KAŠTOVSKÝ, J. 2016. *Nový pohled na systém řas a jak ho učít? Živa: přírodovědecký časopis.* *Academica,* č.6
- KADLUBOWSKA, J. 1984. *Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 16: Chlorophyta VIII. Conjugatophyceae I: Zygnemales.* Ed. 1. Gustav Fischer Verlag Stuttgart. New York. 534 p. 798 b/w illustrations. 978-3-8274-2140-1
- KAFKOVÁ, K. 2017. *Pojetí výuky tématu sinice a řasy na SŠ.* Plzeň. diplomová práce (Mgr.). ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI. Fakulta pedagogická

- KALINA, T. & VÁŇA, J. 2005. *Sinice, řasy, houby, mechorosty a podobné organismy v současné biologii*. Vyd. 1. Praha: Karolinum. 606 s. 32 s. obr. příl. ISBN 80-246-1036-1
- KARBAN, R., YANG, L., EDWARDS, KYLE. 2013. *Volatile communication between plants that affects herbivory: A meta-analysis*. Ecology letters. 17. 10.1111/ele.12205.
- KAŠTOVKÝ, J., HAUER, T., GERIŠ, R., CHATTOVÁ, B., JURÁŇ, J., LEPŠOVÁ-SKÁCELOVÁ, O., PITELKOVÁ, P., PUZSAI, M., ŠKALOUD, P., ŠŤASTNÝ, J., ČAPKOVÁ, K., BOHUNICKÁ, M., MÜHLSTEINOVÁ, R. 2018. *Atlas sinic a řas České republiky*. 1.Vyd. 1Powerprint s.r.o, Praha. ISBN: 978-80-7568-124-9
- KEELING, P. 2004. *Diversity and evolutionary history of plastids and their hosts*. Am J Bot. PMID: 21652304.
- KEELING, P. 2017. *Chlorarachniophytes*. 10.1007/978-3-319-28149-0\_34.
- KINCL, L., KINCL, M., JARKLOVÁ, J. 2008. *Biologie rostlin pro 1. ročník gymnázia*. 4. přeprac. vyd. Praha: Fortuna. ISBN 80-7168-947-5.
- KING, R. C., STANSFIELD, W. D., MULLIGAN, P. K. 2006. *A Dictionary of Genetics*, Seventh Edition. Oxford University Press.
- KIRKBY, J. et al. 2016. *Ion-induced nucleation of pure biogenic particles*, Nature. DOI: 10.1038/nature17953
- KOMÁREK, J., KAŠTOVSKÝ, J., MAREŠ, J., JOHANSEN J. R. 2014. *Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterialgenera) 2014, using a polyphasicapproach*. Preslia 86: 295–335
- KOUDELKOVÁ, I. 2011. *Kultivace řas a jejich využití v zemědělství*. Brno. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/jpq2c/>. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Peter VÁCZI.
- KUBÁT, K. 2012. *Botanika*. Praha: Scientia. 232 s., ISBN: 978-80-7183-266-9
- KUBIŠTA, V. 2000. *Obecná biologie: úvodní učební text biologie pro 1. ročník gymnázií*. 3. přeprac. vyd. Praha: Fortuna. ISBN 80-7168-714-6.

- KUČERA, P. 2006. *Za tajemstvím našich sladkovodních ruduch*. Živa. Praha: Academia, čís. 1, s. 9–16. Dostupné online.
- KUTÍK, J. 2019. *Plastidy. Specifické organely rostlinných buněk*. Vesmír: Přírodovědecký časopis, č. 9
- KVAČEK, J. 2018. Česká zkamenělina přepisuje vnímání dějin. vesmir.cz [online]. [Cit. 1.3.2022]. Dostupné online.
- LAX, G. & SIMPSON, A. G. B. 2020. *The Molecular Diversity of Phagotrophic Euglenids Examined Using Single-cell Methods*, Protist, Volume 171, Issue 5, 125757, ISSN 1434-4610, <https://doi.org/10.1016/j.protis.2020.125757>
- LAZARUS, D. B., KOTRC B., WULF G., SCHMIDT D. N. 2009. *Radiolarians decreased silicification as an evolutionary response to reduced Cenozoic ocean silica availability*. Proc Natl Acad Sci U S A.;106(23):9333-8. doi: 10.1073/pnas.0812979106. PMID: 19458255; PMCID: PMC2695065.
- LEE, R. E. 2018. *Phycology*. Fifth edition. Cambridge: Cambridge University Press. xii, 535 stran. ISBN 978-1-107-55565-5.
- LEGRAND, C., RENGEFORS, K., GRANÉLI, E, FISTAROL, G. O. 2003. *Allelopathy in phytoplankton – biochemical, ecological and evolutionary aspects*. Phycologia 42:406–419
- LELIAERT, F., SMITH, D. R., MOREAU, H., HERRON, M. D., VERBRUGGEN, H., DELWICHE, C. F., DE CLERK, O. 2012. *Phylogeny and Molecular Evolution of the Green Algae*. Taylor& Francis Group. ISSN:0735-2689
- LIŠKA, J. 2000. *Vázaný a nevázaný život lišejníků. Lichenizace jako příklad úspěšné strategie*. Vesmír: Přírodovědecký časopis. č. 11.
- ŁUKOMSKA-KOWALCZYK, M., CHABER, K., FELS, A., MILANOWSKI, R., ZAKRYŚ, B. 2021. *Description of Flexiglena gen. nov. and new members of Discoplastis and Euglena formis (Euglenida)*. Journal of Phycology. 57(3), 766–779. <https://doi.org/10.1111/jpy.13107>

- LUMPKIN, T. A. & PLUCKNETT, D. L. 1980. *Azolla: botany, physiology, and use as a green manure*. Econ. Bot. 34, 111–153. doi: 10.1007/BF02858627
- LUNDGREN, P., SODERBACH, E., SINGER, A., CARPENTER, E. J., BERGMAN, B. 2001. *Katagnymene: characterization of a novel marine diazotroph*. Journal of Phycology 37 (6): 1052–1062. 2001. ISSN: 0022-3646.
- LYONS, T. W., REINHARD, C. T., PLANAVSKY, N. J. 2014. *The rise of oxygen in Earth's early ocean and atmosphere*. Nature 506. 307–315
- MARGULIS, L. & CHAPMAN, M. J. 2009. *Kingdoms and Domains – An Illustrated Guide to the Phyla of Life on Earth*. Amsterdam Press/Elsevier. ISBN 978-0-12-373621-5
- MARŠÁLKOVÁ, E. & MARŠÁLEK, B. 2010. *Myčky nádobí jako důležitý zdroj fosforu v komunálních vodách*. S 30-32
- MARTIN W. F. & ALLEN J. F. 2018. *An Algal Greening of Land*. Cell. 174(2): 256-258. doi: 10.1016/j.cell.2018.06.034. PMID: 30007415.
- MIHULKA, S. 2001. *Pomáhaly houby rostlinám na souši? Fossilní spory ze středního ordoviku*. Praha: Vesmír 80, 374, 2001/7
- MONFILS A. K., TRIEMER R. E., BELLAIRS E. F. 2011. *Characterization of paramylon morphological diversity in photosynthetic euglenoids (Euglenales, Euglenophyta)*. Phycologia 50, 156–169.
- MURRAY, R. K. et al. 2002. *Harperova biochemie*. Z angl. 23. vyd. přel. Lenka Fialová et al. 4. vyd. v ČR, Praha: H&H, 872 s. ISBN 80–7319–0130–3.
- NASH H. T. III. 2008. *Lichen biology*. Cambridge: Cambridge University Press. ISBN-13 978-0-521-69216-8
- NUTMAN, P. S., ed. & MOSSE, B. 1963, ed. *Symbiotic associations: thirteenth Symposium of the Society for General Microbiology held at the Royal Institution, London*. Cambridge: Cambridge University Press, 1963. viii, 356 stran, 19 stran obrazové přílohy.

- OBORNÍK, M. 2009. *Endosymbióza jako akcelerátor evoluce*. Živa: přírodovědecký časopis. Praha: Živa.
- OBORNÍK, M. 2019. *Endosymbiotic Evolution of Algae, Secondary Heterotrophy and Parasitism* 9(7), 1–10. <https://doi.org/10.3390/biom9070266>
- ODSTRČIL, J. & HRŮZA, A. 2012. *Biologie pro zdravotnické školy*. Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, Brno, 216 pp., ISBN: 978-80-7013-471-9
- OPPELTOVÁ P. 2015. *Ochrana vodních zdrojů*. Brno: Mendelova univerzity v Brně. 103 s. ISBN: 978-80-7509-218-2.
- PALEOS.COM. 2022. Dostupné z: <http://paleos.com/plants/tracheophyta/cooksonia.html>
- PAPÁČEK, M. 2010. *Badatelsky orientované přírodovědné vyučování – cesta pro biologické vzdělávání generací Y, Z, a alfa?* Scientia in educatione. 1 (1): 33–49.
- PARACER, S. & AHMADJIAN, V. 2000. *Symbiosis. An Introduction to Biological Associations*. Oxford: Oxford University Press. p. 165. ISBN 978-0-19-511807-0.
- PARK, C. S. et al. 2001. *Detection and quantitative analysis of zoospores of Pythium porphyrae, causative organism of red rot disease in Porphyra, by competitive PCR*. J. Appl. Phycol. 13, 433–441
- PARK, C., KAKINUMA, M., AMANO, H. 2006. *Forecasting infections of the red rot disease on Porphyra yezoensis Ueda (Rhodophyta) cultivation farms*. Journal of Applied Phycology. 18. 10.1007/978-1-4020-5670-3\_9.
- PAUL, V. J. & VAN ALSTYNE, K. L. 1992. *Activation of chemical defenses in the tropical green algae Halimeda spp.* Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 160, 191-203.
- PENARD LABS. 2014–18 *Chrysophyceae*. © Copyright [Cit. 1.3. 2022] Dostupné z: <http://www.penard.de/Explorer/Stramenopiles/Chrysophyceae/>

- PETR, J. 2014. *Možnosti využití úloh z biologické olympiády ve výuce přírodopisu a biologie – inspirace pro badatelsky orientované vyučování*. České Budějovice: Jihočeské univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta, 199 pp.
- PETRUSEK, A. 2018. *Symbióza aneb Žijeme spolu*. Živa: přírodovědecký časopis. Praha. č.1 str. XVII
- PILÁTOVÁ, J. 2021. *Mořský plankton, jak ho neznáte*. Živa: přírodovědecký časopis, Praha. č.3.
- POSPÍŠIL, P. 2004. *Geologie, základy petrologie*. Studijní opora, VUT v Brně FAST.
- POULÍČKOVÁ, A. 2011. *Základy ekologie sinic a řas*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. 91 s. ISBN 978-80-244-2751-5.
- PRÖSCHOLD, T., DARIENKO, T., SILVA P. C., REISSER W., KRIENITZ L. 2011. *The systematics of Zoochlorella revisite demploying anintegrative approach*. EnvironMicrobiol. 13(2):350-64. doi: 10.1111/j.1462-2920.2010.02333.x. Epub 2010 Sep 27. PMID: 20874732.
- PSI, Paul Scherrer Institut. 2022. [Cit. 1.3. 2022] Dostupné z: <https://www.psi.ch/lac/instruments-and-toolsJasper>
- PUFAHL, P., K. & HIATT, E. E. 2012. *Oxygenation of the Earth's atmosphere–ocean system: A review of physical and chemici sedimentologic responses*, Marine and PetroleumGeology. Volume 32, Issue 1, Pages 1-20, ISSN 0264-8172, <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2011.12.002>.
- REKA, A., ANOVSKI, T., BOGOEVSKI, S., PAVLOVSKI, B., BOŠKOVSKI, B. 2014. *"Physical-chemical and mineralogical-petrographic examinations of diatomite from deposit near village of Rožden, Republic of Macedonia"*. Geologica Macedonica. 28 (2): 121–126.
- RENSING, S. A. 2018. Great moments in evolution: the conquest of land by plants. Current Opinion in Plant Biology, Volume 42, Pages 49-54, ISSN 1369-5266, <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2018.02.006>.



- RICHTER, R. 2022. Web2.mendelu.cz. *Dusík. Asimilace dusíku*. Ústav agrochemie a výživy rostlin, MZLU v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno [Cit. 1.3.2022] Dostupné z: [https://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext/vyziva\\_rostlin/html/biogenni\\_prvky/nasimilace.htm](https://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/biogenni_prvky/nasimilace.htm)
- ROSYPAL, S. et al. 2003. *Nový přehled biologie*. 1. vyd. Praha: Scientia. 797 s. ISBN 80-7193-268-5.
- ŘÍHOVÁ-AMBROŽOVÁ, J. 2006. *Encyklopedie hydrobiologie* [online]. Praha: VŠCHT Praha, 2006 [cit. 11.06.2021]. ISBN 978-80-7080-007-2. Dostupné z: [http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_es-006/ebook.help.htm](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-006/ebook.help.htm)
- ŘÍHOVÁ-AMBROŽOVÁ, J. 2007. *Zlativky, třída Chrysophyceae, oddělení Chromophyta*. From Encyklopedie hydrobiologie: výkladový slovník [online]. Praha: VŠCHT Praha, [cit. 22.11.2021]. Available from [www: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_es-006/ebook.html?p=Z030](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-006/ebook.html?p=Z030)
- SAMKOVÁ, L. PECH, P., ČINČUROVÁ, L., GÜNZEL, M., et al. 2015. *Badatelsky orientovaná výuka matematiky a informatiky s podporou technologií*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. ISBN 978-80-7394-531-2
- SCI.MUNI.CZ. 2022. *Systém a vývoj sinic a řas*. Katedra botaniky, Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Kotlářská 2, CZ-611 37 Brno, Česká republika. [Cit. 1.3.2022] Dostupné z: <https://www.sci.muni.cz/botany/studium/nr-rasy.htm>
- SINICEARASY.CZ. 2003 – 2022. Přírodovědecká fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. [Cit. 1.3. 2022] Dostupné z: <https://www.sinicearasy.cz/home>
- STIBOROVÁ, K. 2019. *Sinice v okolí Gymnázia Holešov a možnosti jejich využití ve výuce* [online]. Olomouc, [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/zleoc2/>. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce doc. RNDr. Petr Hašler, Ph.D.
- SÝKORA, F. J. 2019. *Kdy se začneme dusit: Může se stát, že nám jednoho dne dojde kyslík?* 100+1 Zahraniční zajímavost: Vědecký časopis. © Extra Publishing, s. r. o.
- ŠEJNOHOVÁ, L. & MARŠÁLEK, B. 2005. *Pohled do mikroskopického světa sinic*. Živa: přírodovědecký časopis. Praha: č. 3 str.105

- ŠIMEK, M. 1993. *Nitrogenáza – unikátní enzym fixátorů N<sub>2</sub>*. Biol. list. 4: 241–256
- ŠIMEK, M. 2003. *Základy nauky o půdě: 3. Biologické procesy a cykly prvků*. České Budějovice: Jihočeská univerzita. 151 s. ISBN 80-7040-630-5
- ŠKÁRA, B. & FERENČÍK, M. 1983. *Biochemie*, Bratislava, Alfa.
- ŠMARDA, J. 1996. *Sinice. Jednoduchá a přece důmyslná podoba života*. Vesmír: přírodovědecký časopis. Praha: Vesmír, roč. 75 č.10
- ŠTĚPÁNKOVÁ, B. 2013. *Sinice a řasy významné v kosmetice a farmacii: možnosti jejich didaktického využití*. Olomouc. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Pedagogická fakulta, Katedra biologie.
- TELIČKA, M. 2016. *Křídlové útesy Anglie: Sedm couvajících sester*. 100+1.
- 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.
- THURMAN, H. V. & TRUJILLO, A. P. 2002. *Oceánografie. Tajemný svět moří a oceánů*. Prentice– Hall, Inc., Computer Press. 479 s.
- TOTH, G. B. & PAVIA H. 2007. *Induced herbivore resistance in seaweeds: a meta-analysis*. Journal of Ecology., 95, 425-434.
- TRENDALL, A. F. & BLOCKLEY, J.G. 2004. *Precambrian iron-formation*, in P.G. Eriksson, W. Altermann, D.R. Nelson, W.U. Mueller, and O. Catuneanu, eds., The Precambrian Earth. Tempos and Events. Developments in Precambrian Geology, v. 12, p. 403–421.
- TRÖSTL, J., et al. 2016. *The role of low-volatility organic compounds in initial particle growth in the atmosphere*. Nature. DOI: 10.1038/nature18271
- UTSUNOMIYA, S., MURAKAMI, T., NAKADA, M., KASAMA, T. 2003. *Iron oxidation state of a 2.45-Byr-old paleosol developed on mafic volcanics*. Geochimica Et Cosmochimica Acta - GEOCHIM COSMOCHIM ACTA. 67. 213-221. 10.1016/S0016-7037(02)01083-9.

- VAN ALSTYNE, K. L. & HOUSER, L. T. 2003 *Dimethylsulfide release during macroinvertebrate grazing and its role as an activated chemical defense*. Marine Ecology Progress Series, 250, 175-181.
- VEJŘÍKOVÁ, I., VEJŘÍK, L., KOČVARA, L., LEPŠ, J., SAJDLOVÁ, Z., ČTVRTLÍKOVÁ, M., PETERKA, J. 2018. *Impact of herbivory and competition on lake ekosystém structure: underwater reexperimenta lmanipulation*. ScientificReports.
- VENTURELLI, S. et al. 2015. *Plants Release Precursor sof Histone Deacetylase Inhibitors to Suppress Growth of Competitors*. The Plant Cell. doi: <http://dx.doi.org/10.1105/tpc.15.00585>
- VESTEG, M. et al. 2020. *Základy mikrobiologie, protistologie a algologie*. Vydavatel'stvo Belianum, Univerzita Mateja Bela, Banská Bystrica, ISBN: 978-80-557-1708-1
- VOLF, P. & HORÁK, P. 2007. *Paraziti a jejich biologie*. Praha: Triton. 318 s. ISBN 978-80-7387-008-9. S
- VOSOLSOBĚ, S. 2020. *Kdy se rostlina stala rostlinou*. Živa: přírodovědecký časopis. Praha: Živa. č.1
- VOTÝPKA, J. 2018. *Společné vykročení*. Živa: přírodovědecký časopis. Praha: Živa.
- VOTÝPKA, J. 2019. *Svět podle Parazita*. Živa: přírodovědecký časopis. Praha: Živa. č.5
- VYDAVATELSTVÍ-OLD.VSCHT.CZ. 2022. *Koloběh síry*. [Cit. 1.3.2022] Dostupné z: [https://vydavatelstvi-old.vscht.cz/knihy/uid\\_es-002\\_v1/hesla/kolobeh\\_siry.html](https://vydavatelstvi-old.vscht.cz/knihy/uid_es-002_v1/hesla/kolobeh_siry.html)
- VÝZKUMNÝ ÚSTAV PEDAGOGICKÝ. 2007. *Rámcový vzdělávací program pro gymnázia*. Praha. 100 pp.
- WANG, G. et al. 2008. *Phylogenetic analysis of epiphytic marine bacteria on Hole-Rotten diseased sporophytes of Laminaria japonica*. J. Appl. Phycol. 20, 403–409
- WEIZMANN.AC.IL. 2022. *Host-virus arms race in the ocean*. [Cit. 1.3.2022]. Dostupné z: <https://www.weizmann.ac.il/plants/varidi/research-activities/host-virus-arms-race-ocean>

- ZAKRYŠ, B., MILANOWSKI R., KARNKOWSKA, A. 2017. *Evolutionary Origin of Euglena*. Adv Exp Med Biol ;979:3-17. doi: 10.1007/978-3-319-54910-1\_1. PMID: 28429314.
- ZÁVODSKÁ, R. 2006. *Biologie buněk – základy cytologie, bakteriologie, virologie*. Scientia, Praha, 160 pp., ISBN: 80-86960-15-3.
- ZEHR, J. P. & TURNER, P. J. 2001. *Nitrogenfixation: Nitrogenase and gene expression*. Meth. Microbiol. 30: 271 - 286
- ZNACHOR, P. 2008. *Rozsivky-podivuhodné řasy v krabičce*. Živa: přírodovědecký časopis. Praha: Živa. č.1 str.10
- ZOUNAR, P. 2011. *Jak ekosystém k dusíku přišel aneb Nový zdroj pod našima nohama*. Vesmír: Přírodovědecký časopis. Vesmír 90, 616, č.11

## 8 SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 .....Praktický list: Role řas v přechodu rostlin na souš
- Příloha 2 .....Metodický list: Role řas v přechodu rostlin na souš
- Příloha 3 .....Praktický list: Biotické interakce řas a sinic
- Příloha 4 .....Metodický list: Biotické interakce řas a sinic
- Příloha 5 .....Pracovní list: Role řas v biogeochemických cyklech
- Příloha 6 .....Metodický list: Role řas v biogeochemických cyklech
- Příloha 7 .....Prezentace: Sinice – Cyanobacteria (PowerPoint)
- Příloha 8 .....Prezentace: Charakteristika řas (PowerPoint)
- Příloha 9 .....Prezentace: Euglenophyta, Cryptophyta, Dinophyta a Haptophyta (PowerPoint)
- Příloha 10 .....Prezentace: Ochrophyta (PowerPoint)
- Příloha 11 .....Prezentace: Rhodophyta – ruduchy (PowerPoint)
- Příloha 12 .....Prezentace: Viridiplantae – zelené rostliny (PowerPoint)
- Příloha 13 .....Prezentace: Role sinic a řas v biogeochemických cyklech (PowerPoint)
- Příloha 14 .....Prezentace: Role řas v přechodu rostlin na souš (PowerPoint)
- Příloha 15 .....Prezentace: Biotické interakce řas a sinic (PowerPoint)

## 9 PŘÍLOHY

## Pracovní list: Role řas v přechodu rostlin na souš

Datum:

Jméno:

### Teoretická část:

Na souši se první rostliny objevily asi před půl miliardou let, a to především díky ozonové vrstvě, která vznikla po vzniku kyslíkaté atmosféry přeměnou kyslíku vlivem UV záření. Ve spojení s přechodem rostlin na souš existuje několik teorií, které se jej snaží vysvětlit. Panuje obecná shoda, že suchozemské rostliny mají předky v zelených řasách, a to v rámci linie Streptophyta. Dlouho se však vedou diskuse, ze které skupiny v rámci streptofytní linie pochází společný předek řas a vyšších rostlin – ze třídy Coleochaetophyceae, Zygnematophyceae nebo Charophyceae.

Nějakou dobu se vědci domnívali, že předchůdce suchozemských rostlin by mohl pocházet z třídy Coleochaetophyceae (rod *Coleochaete*) z důvodu podobnosti s játrovkami a schopnosti přizpůsobit se životu na souši. Tato teorie byla vyvrácena.

Další dnes již vyvrácenou teorií je, že nejbližšími příbuznými suchozemských rostlin byly parožnatky (Charophyceae). Jedním z důvodů, proč tato teorie byla vytvořena, byl fakt, že Charophyceae jsou nejsložitější řasy. Dalším z důkazů pro tuto teorii bylo srovnání genomů. Bylo zjištěno, že Charophyceae mají většinu genu suchozemských rostlin až na jeden. Ale i přes to bylo zjištěno, že tato skupina není sesterská k suchozemským rostlinám a tyto řasy jsou považovány za jakési sestřenice vyšších rostlin.

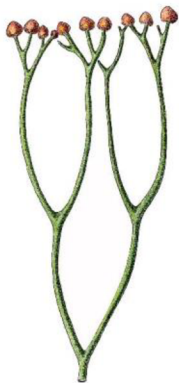
Nejpravděpodobnější teorií je, že předek suchozemských rostlin pochází ze spájitých řas (třída Zygnematophyceae). Potvrdily to mimo jiné molekulární analýzy. Spájkivky dokážou růst na vlhkých skalách, v mělkých nádržích, strouhách a dokáží přežít krátkodobé vyschnutí. Spájkivé řasy jsou výjimečné svým způsobem rozmnožování, který je u řas poměrně ojedinělý. Rozmnožují se spájením, během kterého nedochází ke splývání bičíkatých buněk, které jsou uvolňovány mateřskými buňkami, ale dochází zde ke splývání mateřských buněk, mezi kterými se vytvoří kanálek a dochází zde ke splnutí jejich obsahu.

Rozmnožování spájkivek: <https://www.youtube.com/watch?v=E8lpUgcyJd0>



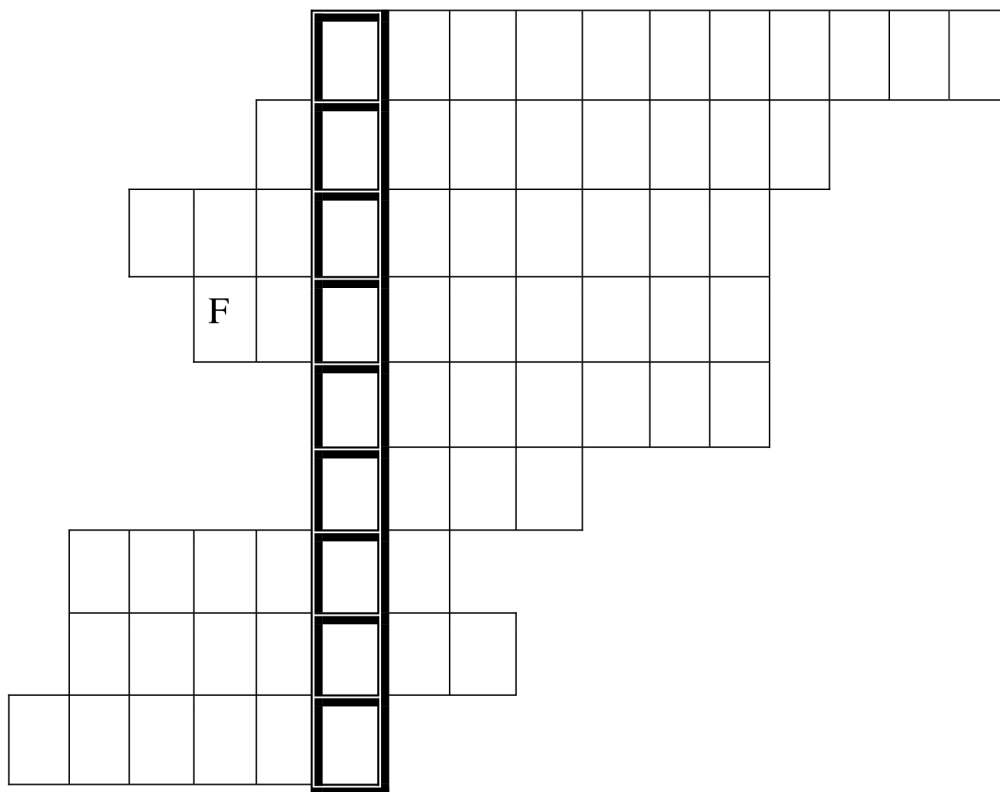
Většina typických znaků pro vyšší rostliny přišla až díky adaptaci na suchozemské prostředí.

## Pracovní list: Role řas v přechodu rostlin na souš



(Paleos.com, 2022)

? Na obrázku vidíte nejstarší suchozemskou rostlinu z oddělení Protracheophyta, pocházející z devonu. Název této rostliny zjistíte z tajenky. (písmeno CH je rozděleno do dvou políček)



1. Jaký rod byl považován za předchůdce rostlin díky své podobnosti s játrovkami (latinsky)?
2. Jaké je označení pro životní cyklus, ve kterém se střídají pohlavní a nepohlavní generace?
3. Jaké řasy mají nejsložitější stélku (česky)?
4. Jak se nazývá věda věnující se řasám a sinicím?
5. Jak se říká pohlavnímu rozmnožování u spájkivek (česky)?
6. Který plyn v atmosféře umožnil rostlinám přechod na souš?
7. V učebnicích se řasy dělí podle barev. Jaké řasy podle tohoto dělení jsou považovány za předchůdce rostlin?
8. Jak se nazývá soubor buněk společného původu, stejné stavby a funkce?
9. Jak se nazývá tělo řas?

## Pracovní list: Role řas v přechodu rostlin na souš

### Praktická část – mikroskopování spájivek

Od svého vyučujícího dostanete dvě kultury spájivek. Vaším úkolem bude vzorky prozkoumat pod mikroskopem, zakreslit nákres a pomocí klíče určit rod.

Úkoly:

- 1) pozorování spájivek
- 2) určování spájivek

Potřeby:

- 2 kultury spájivek
- mikroskop
- podložní a krycí sklíčka
- pipeta
- klíč pro určování řas (Atlas sinic a řas 1, 2- Kaštovský et al., 2018)

Klíč pro určování řas:

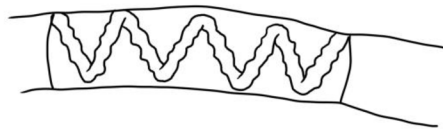
#### 1. *Mougeotia*

-buňky s jedním deskovitým chloroplastem uloženým uprostřed buňky v podélné ose



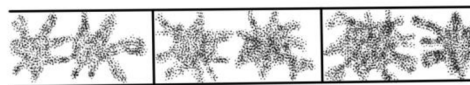
#### 2. *Spirogyra* (šroubatka)

-chloroplasty spirální (v jedné buňce jeden nebo více)



#### 3. *Zygnema* (jařmatka)

-buňky s dvěma hvězdicovými chloroplasty



(Podle: Atlas sinic a řas 1, 2 – Kaštovský et al., 2018)



## Pracovní list: Role řas v přechodu rostlin na souš

---

Postup:

- 1) Od svého vyučujícího dostanete 2 kultury spájivek.
- 2) Pozorujte vzorky pod mikroskopem a pomocí klíče určete, o jaký jde rod.
- 3) Zakreslete a stručně popište pozorované řasy.

Nákres č.1:

Rod:

Zvětšení:

Nákres č.2:

Rod:

Zvětšení:

## Pracovní list: Role řas v přechodu rostlin na souš

---

### ☛ Diskuze:

- 1) Jaké rody jste pomocí klíče určili? Jaký znak byl pro určování nejdůležitější?
- 2) Prezentujte výsledky svého bádání ostatním skupinám.

### Opakování:

**? Z které linie zelených řas jsou předci vyšších rostlin? Jaké do ní patří třídy?**

**? Ze které třídy pochází nejpravděpodobnější předek suchozemských rostlin?**

**? Zamyslete se nad tím, s jakými problémy se musely suchozemské rostliny vypořádat.**

? řešení otázky a úkolu z pracovního listu

✿ diskuze

📘 doplňující informace

🏠 metodická poznámka

### Teoretická část:

Na souši se první rostliny objevily asi před půl miliardou let, a to především díky ozonové vrstvě, která vznikla po vzniku kyslíkaté atmosféry přeměnou kyslíku vlivem UV záření (Vosolsobě, 2020). Ve spojení s přechodem rostlin na souš existuje několik teorií, které se jej snaží vysvětlit. Panuje obecná shoda, že suchozemské rostliny mají předky v zelených řasách, a to v rámci linie Streptophyta. Dlouho se však vedou diskuse, ze které skupiny v rámci streptofytní linie pochází společný předek řas a vyšších rostlin – ze třídy Coleochaetophyceae, Zygnematophyceae nebo Charophyceae (Vosolsobě, 2020, Campbell & Reece, 2006).

Nějakou dobu se vědci domnívali, že předchůdce suchozemských rostlin by mohl pocházet z třídy Coleochaetophyceae (rod *Coleochaete*) z důvodu podobnosti s játrovkami a schopnosti přizpůsobit se životu na souši (Haig, 2015, Graham, 1984). Tato teorie byla vyvrácena.

Další dnes již vyvrácenou teorií je, že nejbližšími příbuznými suchozemských rostlin byly parožnatky (Charophyceae). Jedním z důvodů, proč tato teorie byla vytvořena, byl fakt, že Charophyceae jsou nejsložitější řasy. Dalším z důkazů pro tuto teorii bylo srovnání genomů. Bylo zjištěno, že Charophyceae mají většinu genu suchozemských rostlin až na jeden. Ale i přes to bylo zjištěno, že tato skupina není sesterská k suchozemským rostlinám a tyto řasy jsou považovány za jakési sestřenice vyšších rostlin (Vosolsobě, 2020, Cze.sciences-world.com, 2022).

Nejpravděpodobnější teorií je, že předek suchozemských rostlin pochází ze spájitých řas (třída Zygnematophyceae). Potvrdily to mimo jiné molekulární analýzy. Spájkivky dokážou růst na vlhkých skalách, v mělkých nádržích, strouhách a dokáží přežít krátkodobé vyschnutí. Spájkivé řasy jsou výjimečné svým způsobem rozmnožování, který je u řas poměrně ojedinělý. Rozmnožují se spájením, během kterého nedochází ke splývání bičíkatých buněk, které jsou uvolňovány mateřskými buňkami, ale dochází zde ke splývání mateřských buněk, mezi kterými se vytvoří kanálek a dochází zde ke splývání jejich obsahu (Vosolsobě, 2020, Rensing, 2018).

Rozmnožování spájkivek: <https://www.youtube.com/watch?v=E8lpUgcyJd0>



## Metodický list: Role řas v přechodu rostlin na souš

Většina typických znaků pro vyšší rostliny přišla až díky adaptaci na suchozemské prostředí prostředí (Campbell & Reece, 2006, Arteaga-Vazquez, 2016).

① Na souši se první rostliny objevily asi před půl miliardou let (Vosolsobě, 2020).

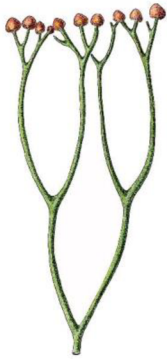
Rostliny však nebyly prvními organismy na souši, dávno před rostlinami na Zemi žily různé mikroskopické houby (skupina Glomeromycota). Právě tyto houby měly velký podíl na úspěšném uchycení rostlin na souši – jejich kolonizace. Symbióza vláknité mikroskopické houby s předkem suchozemských rostlin velice napomohla například při přisednutí na zemský povrch. Jednalo se o jistý typ mykorhizy. Díky této mykorhize si rostliny dokázali s pomocí hub získávat živiny, což právě houby zprostředkovávaly (Field et al., 2015, Mihulka, 2001).

Důkazem, že suchozemské rostliny se vyvinuli z řas, je fytohormon auxin. Rostlina si tento fytohormon syntetizuje v částech, kde probíhá aktivní růst, například v listech. A auxin dále putuje do stonku až do kořene. Pokud se tento hormon nahromadí v suchozemských rostlinách, dojde k vyslání signálu pro přeměnu buněk na cévní svazky. Hormon auxin dále ovlivňuje, kde vyrostou nové listy a vedlejší kořeny. Má vliv také na růstovou rychlost. Přenašeči auxinu jsou řízeny světlem nebo gravitací (Vosolsobě, 2020).

Tento hormon najdeme i u řas, z tohoto důvodu předpokládáme, že suchozemské rostliny se vyvinuly právě z řas. Řasy však nemají receptory pro auxin, ale některé skupiny řas mají schopnost cíleně transportovat auxin do jiných buněk. Tuto dovednost přijaly řasy nejspíš od bakterií. Díky výzkumu genů, které jsou zodpovědné za přenos auxinu, byla vyloučena teorie, že předchůdci suchozemských rostlin jsou parožnatky (Vosolsobě, 2020, Irozhlas.cz, 2018).

Dalším důkazem, že vyšší rostliny vznikly ze Streptophyta je homologie chloroplastů. Chloroplasty vyšších rostlin jsou velmi podobné plastidům Streptophyta, a to především stejným obsahem barviv – chlorofyl *a* a *b* a karotenoidy. Dalším aspektem je homologie peroxozomů, kde je podobné spektrum enzymů. Dalším důležitým společným znakem je fragmoplast, který napomáhá při vzniku buněčné destičky při dělení buněk (King et. al., 2006, Rensing, 2018, Kalina & Váňa, 2005, Martin et al., 2018). Dalším důkazem je plazmatická membrána, která je složená z růžičkovitě uspořádaných proteinů, tzv. rozety. V plazmatické membráně je enzym celulosasyntáza, který syntetizuje celulózu. Tento enzym je uspořádán v kruhu po šesti a šest takových kruhů tvoří rozety. Z této rozety poté vznikne 36 vláken celulózy, která vytvoří micelu celulózy a ta je základní strukturální jednotkou buněčné stěny. Proto se díky rozetám stavba buněčné stěny Zygnematophyceae nejvíce podobá buněčné stěně vyšších rostlin (Campbell & Reece, 2006).

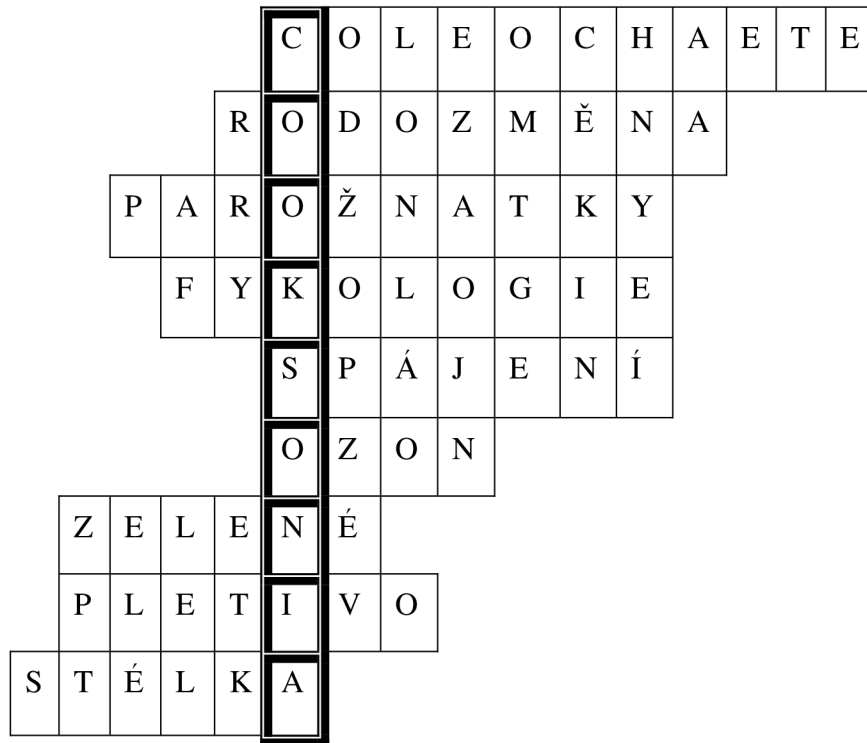
## Metodický list: Role řas v přechodu rostlin na souš



(Paleos.com,2022)

**? Na obrázku vidíte nejstarší suchozemskou rostlinu z oddělení Protracheophyta, pocházející z devonu. Název této rostliny zjistíte z tajenky.**

Na obrázku je rod *Cooksonia barrandei*. Dnes již patří mezi vyhynulé rody suchozemských rostlin. Jejich fosílie jsou staré až kolem 420 milióny lety. Nejstarší fosílie této rostliny byla nalezena v České republice u Loděnic u Berouna. *Cooksonia barrandei* se jmenuje po svém nálezci francouzském paleontologovi Joachimovi Barrandemovi (Kvaček, 2018).



1. Jaký rod byl považován za předchůdce rostlin díky své podobnosti s játrovkami (latinsky)?
2. Jaké je označení pro životní cyklus, ve kterém se střídají pohlavní a nepohlavní generace?
3. Jaké řasy mají nejsložitější stélku (česky)?
4. Jak se nazývá věda věnující se řasám a sinicím?
5. Jak se říká pohlavnímu rozmnožování u spájkivek (česky)?
6. Který plyn v atmosféře umožnil rostlinám přechod na souš?
7. V učebnicích se řasy dělí podle barev. Jaké řasy podle tohoto dělení jsou považovány za předchůdce rostlin?
8. Jak se nazývá soubor buněk společného původu, stejné stavby a funkce?
9. Jak se nazývá tělo řas?

## Metodický list: Role řas v přechodu rostlin na souš

### Praktická část – mikroskopování spájivek

🏠 Pro tuto úlohu je potřeba koupit kultury spájivek (CCALA 706 *Spirogyra lacustris*, CCALA 690 *Spirogyra mirabilis*, CCALA 951 *Zygnema* sp., CCALA 704 *Mougeotia* sp.– <https://ccala.butbn.cas.cz/>) nebo si spájivky nasbírat (*Zygnema*, *Mougeotia* a *Spirogyra*). Kde si spájivky můžete nasbírat, najdete v Atlasu sinic a řas ČR (Kaštovský et al., 2018).

Studenty rozdělte do dvojic nebo trojic a každé skupince dejte 2 vzorky.

### Úkoly:

- 1) pozorování spájivek
- 2) určování spájivek

### Potřeby:

- 2 kultury spájivek
- mikroskop
- podložní a krycí sklíčka
- pipeta
- klíč pro určování řas (Atlas sinic a řas 1, 2- Kaštovský et al., 2018)

### Klíč pro určování řas:

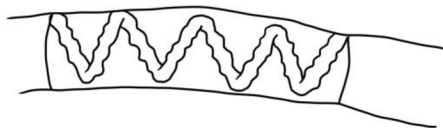
#### 1. *Mougeotia*

-buňky s jedním deskovitým chloroplastem uloženým uprostřed buňky v podélné ose



#### 2. *Spirogyra* (šroubatka)

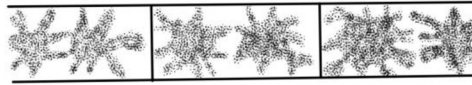
-chloroplasty spirální (v jedné buňce jeden nebo více)



## Metodický list: Role řas v přechodu rostlin na souš

### 3. *Zygnema* (jařmatka)

-buňky s dvěma hvězdicovými chloroplasty



(podle Kaštovský et al., 2018)

#### Postup:

- 4) Od svého vyučujícího dostanete 2 kultury spájivek.
- 5) Pozorujte vzorky pod mikroskopem a pomocí klíče určete, o jaký jde rod.
- 6) Zakreslete podobu řasy, které vidíte a stručně nákres popište.

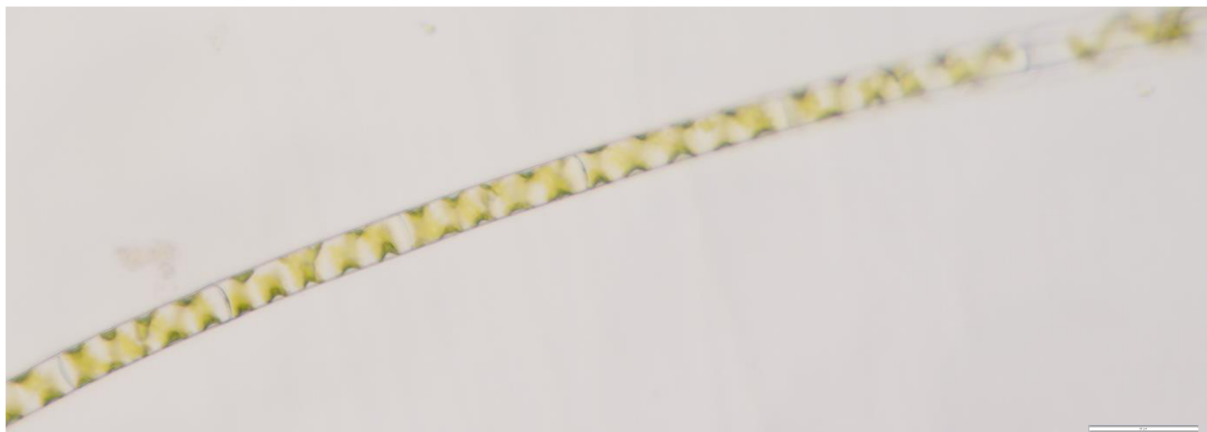
#### Nákresy:



Obr.1: CCALA 951 *Zygnema* sp. (měřítko 50  $\mu\text{m}$ )

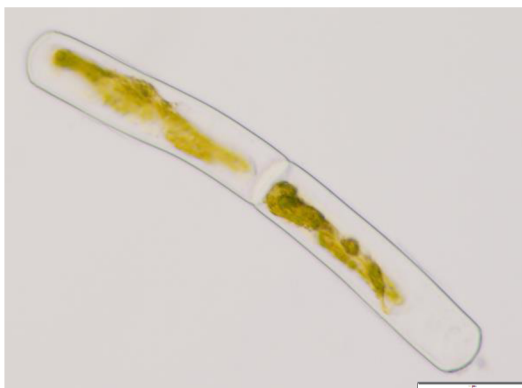
❶ Tento rod má obvykle 2 chloroplasty na buňku a každý plastid má jeden velký pyrenoid.

## Metodický list: Role řas v přechodu rostlin na souš



Obr.2: CCALA 690 *Spirogyra mirabilis* (měřítko 50  $\mu\text{m}$ )

① *Spirogyra* (česky šroubatka) má spirálovitě stočený chloroplast v buňce.



Obr.3: CCALA 704 *Mougeotia* sp. (měřítko 50  $\mu\text{m}$ )

### ☀ Diskuze:

- 1) Jaké rody jste pomocí klíče určili? Podle jakého znaku, jste to poznali?
- 2) Prezentujte výsledky svého bádání ostatním skupinám.



## Metodický list: Role řas v přechodu rostlin na souš

---

Opakování:

**? Z které linie zelených řas jsou předci vyšších rostlin? Jaké do ní patří třídy?**

Suchozemské rostliny mají předky v zelených řasách, a to v rámci linie Streptophyta. Dlouho se však vedou diskuse, ze které skupiny v rámci streptofytní linie pochází společný předek řas a vyšších rostlin-ze třídy Coleochaetophyceae, Zygnematophyceae nebo Charophyceae (Vosolsobě, 2020).

**? Ze které třídy pochází nejpravděpodobnější předek suchozemských rostlin?**

Nejpravděpodobnější teorií je, že předek suchozemských rostlin pochází ze spájkivých řas (třída Zygnematophyceae) (Vosolsobě, 2020, Rensing, 2018).

**? Zamyslete se nad tím, s jakými problémy se musely suchozemské rostliny vypořádat.**

Rostliny musely vyřešit problém se získáváním a rozvodem živin, dále se slunečním zářením a zpevnění stavby svého těla (Campbell & Reece, 2006, Arteaga-Vazquez, 2016).

Proto došlo u suchozemských rostlin k diferenciaci na rostlinná pletiva. Těmito pletivy jsou vodivá pletiva, která rozvádí vodu s živinami od kořenů až po listy rostliny a produkty fotosyntézy do míst, kde jsou potřeba. Před vyschnutím chrání rostlinu krycí pletiva. Dalšími pletivy jsou podpůrná, která udržují tvar rostliny a zásobní pletiva, která uchovávají látky pro přežití. Dalším znakem jsou mnohobuněčná embrya, která se vyvíjí ze zygoty a jsou vázána na mateřský sporofyt. Výhodou toho je, že mateřské pletivo poskytuje zárodku živiny. K přenosu těchto živin napomáhají embryu placentární transportní buňky. Mnohobuněčná embrya vznikla nejspíše proto, aby bylo embryo chráněno mateřskou buňkou a mělo dostatek živin. Dále je u vyšších rostlin typická rodozměna. Rodozměna je životní cyklus, ve kterém se střídají dvě fáze v rámci jednoho životního cyklu. Tyto fáze jsou gametofyt a sporofyt. Gametofyt je haploidní a sporofyt diploidní. Dalším znakem jsou spory chráněné sporopoleninem a mnohobuněčná gametangia (Campbell & Reece, 2006, Arteaga-Vazquez, 2016).

## Metodický list: Role řas v přechodu rostlin na souš

---

### SEZNAM LITERATURY:

ARTEAGA-VAZQUEZ, M. A. 2016. *Land Plant Evolution: Listen to Your Elders*, Current Biology, Volume 26, Issue1, Pages R26–R29, ISSN 0960–9822.

<https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.12.001>.

CAMPBELL, N. A. & REECE, J. B. 2006. *Biologie*. Brno: ComputerPress, 543 s. ISBN 80-251-1178-4

CZE.SCIENCES-WORLD.COM. 2022. Elucidace Chara genomu: Důsledky pro vznik půdních rostlin v paleozoické éře [Cit. 1.3.2022] Dostupné z: <https://cze.sciences-world.com/elucidating-chara-genome-60047>

FIELD, K. J., PRESSEL S., DUCKETT J. G., RIMINGTON W. R., BIDARTONDO M. I. 2015. *Symbiotic options for the conquest of land*. TrendsEcolEvol. 30(8):477-86. doi: 10.1016/j.tree.2015.05.007. PMID: 26111583.

GRAHAM, L. E. 1984. *Coleochaete and the Origin of Land Plants*. American Journal of Botany, vol. 71, no. 4, Botanical Society of America, pp. 603–08,

<https://doi.org/10.2307/2443336>.

HAIG D. 2015. *Coleochaete and the origin of sporophytes*. Am J Bot. 102(3):417-22. doi: 10.3732/ajb.1400526. 9. PMID: 25784475.

IROZHLAS.CZ. 2018. *„Evoluce nešla nejpřímější cestou.“ Čeští vědci pomohli s objasněním přechodu života z vody na souš*. Praha. [Cit. 1.3. 2022] Dostupné z:

[https://www.irozhlaz.cz/veda-technologie/priroda/vedci-evoluce-zivot-voda-sous\\_1807122049\\_pj](https://www.irozhlaz.cz/veda-technologie/priroda/vedci-evoluce-zivot-voda-sous_1807122049_pj)

KALINA, T. & VÁŇA, J. 2005. *Sinice, řasy, houby, mechorosty a podobné organismy v současné biologii*. Vyd. 1. Praha: Karolinum. 606 s. 32 s. obr. příl. ISBN 80-246-1036-1

KAŠTOVKÝ, J., HAUER, T., GERIŠ, R., CHATTOVÁ, B., JURÁŇ, J., LEPŠOVÁ-SKÁCELOVÁ, O., PITELKOVÁ, P., PUZSAI, M., ŠKALLOUD, P., ŠŤASTNÝ, J., ČAPKOVÁ, K., BOHUNICKÁ, M., MÜHLSTEINOVÁ, R. 2018. *Atlas sinic a řas České republiky 1.Vyd. 1*Powerprint s.r.o, Praha. ISBN: 978-80-7568-124-9

KING, R. C., STANSFIELD, W. D., MULLIGAN P. K. 2006. *A Dictionary of Genetics*, Seventh Edition. Oxford University Press.

KVAČEK, J. 2018. *Česká zkamenělina přepisuje vnímání dějin*. vesmir.cz [online]. 2018-04-30 [Cit. 1.3.2022]. [Dostupné online](#).

MARTIN W. F. & ALLEN J. F. 2018. *An Algal Greening of Land*. Cell. 174(2): 256-258. doi: 10.1016/j.cell.2018.06.034. PMID: 30007415.

MIHULKA, S. 2001. *Pomáhaly houby rostlinám na souši? Fosilní spory ze středního ordoviku*. Praha: Vesmír 80, 374, 2001/7

## Metodický list: Role řas v přechodu rostlin na souš

---

PALEOS.COM. 2022. Dostupné z: <http://palaeos.com/plants/tracheophyta/cooksonia.html>

RENSING, S. A. 2018. *Great moments in evolution: the conquest of land by plants*. CurrentOpinion in Plant Biology, Volume 42, Pages 49-54, ISSN 1369-5266, <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2018.02.006>.

VOSOLSOBĚ, S. 2020. *Kdy se rostlina stala rostlinou*. Živa: přírodovědecký časopis. Praha: Živa. č.1

## Pracovní list: Biotické interakce řas a sinic

Datum:

Jméno:

### Teoretická část:

#### Symbióza:

Symbióza je úzké soužití dvou či více organismů. Symbióza může být dvojího typu – endosymbióza a ektosymbióza.

Zelené řasy, které vstupují do symbiotického vztahu s bezobratlým organismem nebo prvokem, jsou tradičně označovány jako tzv. zoochlorelly.

Mezi symbiózy řadíme mutualismus, parazitismus a komensalismus. Toto řazení je podle toho, jaký z toho mají partneři v symbiotickém vztahu prospěch.

#### Mutualismus:

Mutualismus je forma symbiózy, ve které mají všichni zúčastnění ze vzájemného vztahu prospěch. Ne vždy se dá poznat, zda je tento vztah bez výhrady výhodný pro všechny zúčastněné. Někdy to vypadá, že ano, ale pokud se na to podíváme z bližšího hlediska, můžeme zjistit, že tomu tak úplně není. Takovým jsou případem jsou například lišejníky.

U lišejníků není zcela jasné, zda jde o mutualismus nebo jinou interakci. Jedná se o symbiotický vztah mezi mykobiontem (houby) a fotobiontem (řasy nebo sinice). Dlouho bylo předpokládáno, že se jedná o mutualismus, ale dnes se přikláníme spíše k teorii, že jde o příklad kontrolovaného parazitismu. Bylo prokázáno, že houbová složka získává více výhod než fotobiont, kterému tento vztah zas tolik neprospívá. Rovněž bylo zjištěno, že řasy a sinice v tomto symbiotickém vztahu rostou o dost pomaleji, než když žijí samostatně.

#### Komensalismus:

Komensalismus je další biologickou interakcí mezi dvěma organismy, při které má jeden organismus z této interakce prospěch a druhého tato interakce nijak neovlivňuje. U řas je komensalismus častý, řasy rostou často na schránkách měkkýšů, krunýřích želv nebo a velmi často je nalezneme na kůře stromů (komplex rodů *Desmococcus/Pleurococcus/Apatococcus*, *Trentepohlia* a *Chlorella* sensu lato).

#### Parazitismus:

Parazitismus je mezidruhová interakce, u které se jeden organismus živí na úkor druhého organismu. Jedná se tedy o vztah parazita a hostitele. Parazité mohou být endoparazité a ektoparazité. Parazitismus u řas je relativně vzácný a tyto řasy jsou většinou vázány na jednoho hostitele.

## Pracovní list: Biotické interakce řas a sinic

---

### Praktická část – Mikroskopování

#### Úkoly:

- 1) pozorování řas
- 2) sběr a pozorování lišejníků

#### Pomůcky:

- kapátko
- mikroskop
- podložní a krycí sklíčko
- kultury řas
- lišejník

#### Postup:

- 1) Od svého vyučujícího dostanete 2 kultury.
- 2) Pozorujte vzorky pod mikroskopem.
- 3) Zakreslete a stručně popište pozorované řasy. Soustředte se na chloroplasty.
- 4) Zhotovte dočasný preparát příčného řezu lišejníkem a pozorujte pod mikroskopem.
- 5) Zakreslete a stručně popište příčný řez lišejníkem.

Nákres č.1:

Rod:

Zvětšení:

## Pracovní list: Biotické interakce řas a sinic

---

Nákres č.2:

Rod:

Zvětšení:

Nákres č.3

Rod:

Zvětšení:

## Pracovní list: Biotické interakce řas a sinic

---

Diskuze:

- 1) Prezentujte výsledky svého bádání ostatním skupinám.

Otázky

**? Jaké interakce řadíme mezi symbiózy?**

**? Jaký vztah popisuje interakci tvorbu lišejníků?**

**? Doplňte do tabulky vzájemné vztahy symbiontů v jednotlivých interakcích.**

	Symbiont 1	Symbiont 2
Mutualismus		
Komensalismus		
Parazitismus		

## Pracovní list: Biotické interakce řas a sinic

Vyberte správné odpovědi ANO/NE. Příslušná písmena vytvoří tajenku.

- 1) Symbióza je soužití výhradně dvou organismů.
- 2) Fotobiontem v lišejníku jsou houbová vlákna.
- 3) Jednostranně prospěšný vztah dvou organismů se nazývá komensalismus.
- 4) Organismus živící se na úkor druhého je hostitel.
- 5) Zoochlorelly jsou hnědé řasy
- 6) Parazitismus je u řas velmi častý.
- 7) Oboustranně prospěšný vztah dvou organismů se nazývá mutualismus.
- 8) Řasy najdeme často na kůře stromů

Tajenka:

ANO	NE
P	S
A	Y
M	R
A	B
Z	I
I	Ó
Z	T
A	É



## Metodický list: Biotické interakce řas a sinic

Datum:

Jméno:

? řešení otázky a úkolu z pracovního listu

✿ diskuze

📄 doplňující informace

📖 metodická poznámka

Teoretická část:

Symbióza:

Symbióza je úzké soužití dvou či více organismů. Symbióza může být dvojího typu – endosymbióza a ektosymbióza (Petrušek, 2018).

Zelené řasy, které vstupují do symbiotického vztahu s bezobratlým organismem nebo prvokem, jsou tradičně označovány jako tzv. zoochlorelly (Pouličková, 2011).

Mezi symbiózy řadíme mutualismus, parazitismus a komensalismus. Toto řazení je podle toho, jaký z toho mají partneři v symbiotickém vztahu prospěch (Čepička et al., 2007).

Mutualismus:

Mutualismus je forma symbiózy, ve které mají všichni zúčastnění ze vztahu prospěch. Ne vždy se dá poznat, zda je tento vztah bez výhrady výhodný pro všechny zúčastněné. Někdy to vypadá, že ano, ale pokud se na to podíváme z bližšího hlediska, můžeme zjistit, že tomu tak úplně není. Takovým jsou případem jsou například lišejníky (Čepička et al., 2007).

U lišejníků není zcela jasné, zda jde o mutualismus nebo jinou interakci. Jedná se o symbiotický vztah mezi mykobiontem (houby) a fotobiontem (řasy nebo sinice). Dlouho bylo předpokládáno, že se jedná o mutualismus, ale dnes se přikláníme spíše k teorii, že jde o příklad kontrolovaného parazitismu. Bylo prokázáno, že houbová složka získává více výhod než fotobiont, kterému tento vztah zas tolik neprospívá. Rovněž bylo zjištěno, že řasy a sinice v tomto symbiotickém vztahu rostou o dost pomaleji, než když žijí samostatně (Ahmadjian, 1993).

## Metodický list: Biotické interakce řas a sinic

---

### Komensalismus:

Komensalismus je další biologickou interakcí mezi dvěma organismy, při které má jeden organismus z této interakce prospěch a druhého tato interakce nijak neovlivňuje. U řas je komensalismus častý, řasy rostou často na schránkách měkkýšů, krunýřích želv nebo a velmi často je nalezneme na kůře stromů (komplex rodů *Desmococcus/Pleurococcus/Apatococcus, Trentepohlia* a *Chlorella sensu lato*) (Pouličková, 2011).

### Parazitismus:

Parazitismus je mezidruhová interakce, u které se jeden organismus živí na úkor druhého organismu. Jedná se tedy o vztah parazita a hostitele. Parazité mohou být endoparazité a ektoparazité. Parazitismus u řas je relativně vzácný a tyto řasy jsou většinou vázány na jednoho hostitele (Campbell & Reece, 2006).

### ① Symbióza:

Řasy mohou být díky symbióze s hostitelem nějakým způsobem ovlivněny (např. ztrátou bičíků), jednou z hlavních změn při endosymbióze u řas je zpomalený růst (Pouličková, 2011).

Mezi symbionty patří asi 150 druhů řas. Zelené řasy, které vstupují do symbiotického vztahu, jsou tradičně označovány jako tzv. zoochlorelly. Zoochlorelly nejsou druhem, ale je to název pro řasy, které mají stejnou ekologickou strategii, protože bylo zjištěno, že zástupci zoochlorell jsou polyfyletičtí, tedy nemají společného předka a patří do několika různých rodů. Zoochlorelly žijí v těle sladkovodních i mořských bezobratlých nebo prvoků, můžeme je najít například v různých sasankách, nezmarech nebo nálevnicích (Pouličková, 2011, Pröschold et al., 2011).

## Metodický list: Biotické interakce řas a sinic

---

### Praktická část – Mikroskopování

Pro tuto úlohu je potřeba koupit kultury (CCALA 306 *Coccomyxa glaronensis*, CCALA 492 *Stichococcus bacillaris*, CCALA 132 *Nostoc commune* – [www.ccala.butbn.cas.cz](http://www.ccala.butbn.cas.cz)), nebo si nasbírat vlastní kolonie (*Nostoc*).

🏠 Studenty rozdělte do dvojic nebo trojic a každé skupině rozdejte 2-3 vzorky.

### Úkoly:

- 1) pozorování řas
- 2) sběr a pozorování lišejníků

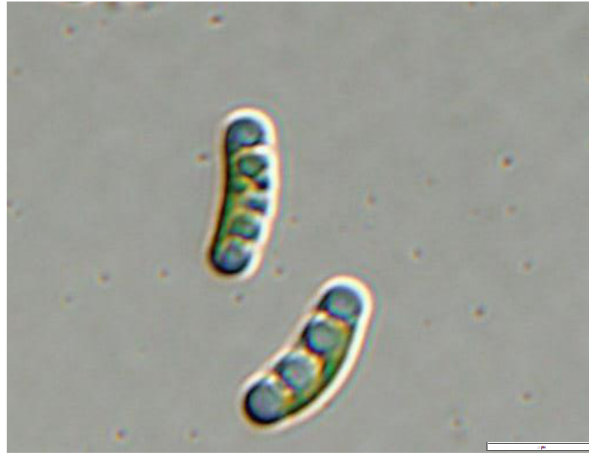
### Pomůcky:

- kapátko
- mikroskop
- podložní a krycí sklíčko
- kultury řas
- lišejník

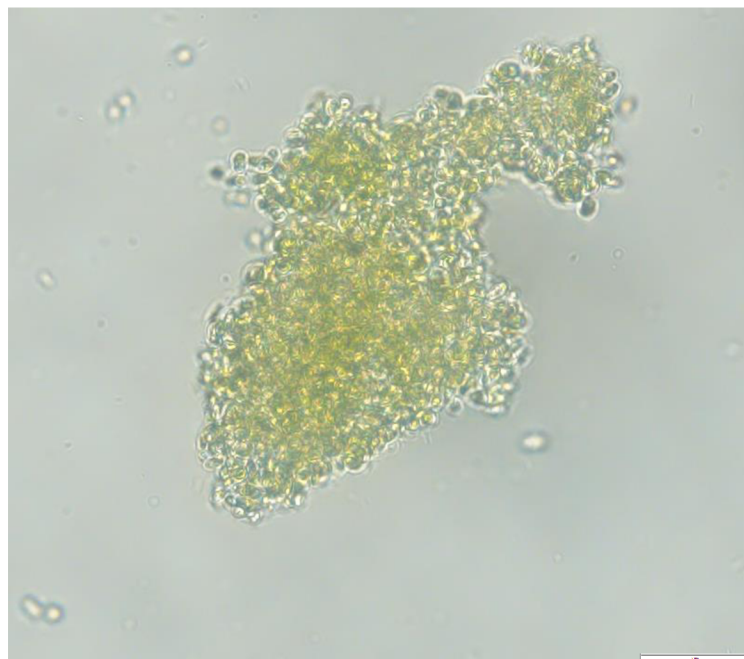
### Postup:

- 1) Od svého vyučujícího dostanete 2 kultury.
- 2) Pozorujte vzorky pod mikroskopem.
- 3) Zakreslete a stručně popište pozorované řasy. Soustředte se na chloroplasty.
- 4) Zhotovte dočasný preparát příčného řezu lišejníkem a pozorujte pod mikroskopem.
- 5) Zakreslete a stručně popište příčný řez lišejníkem.

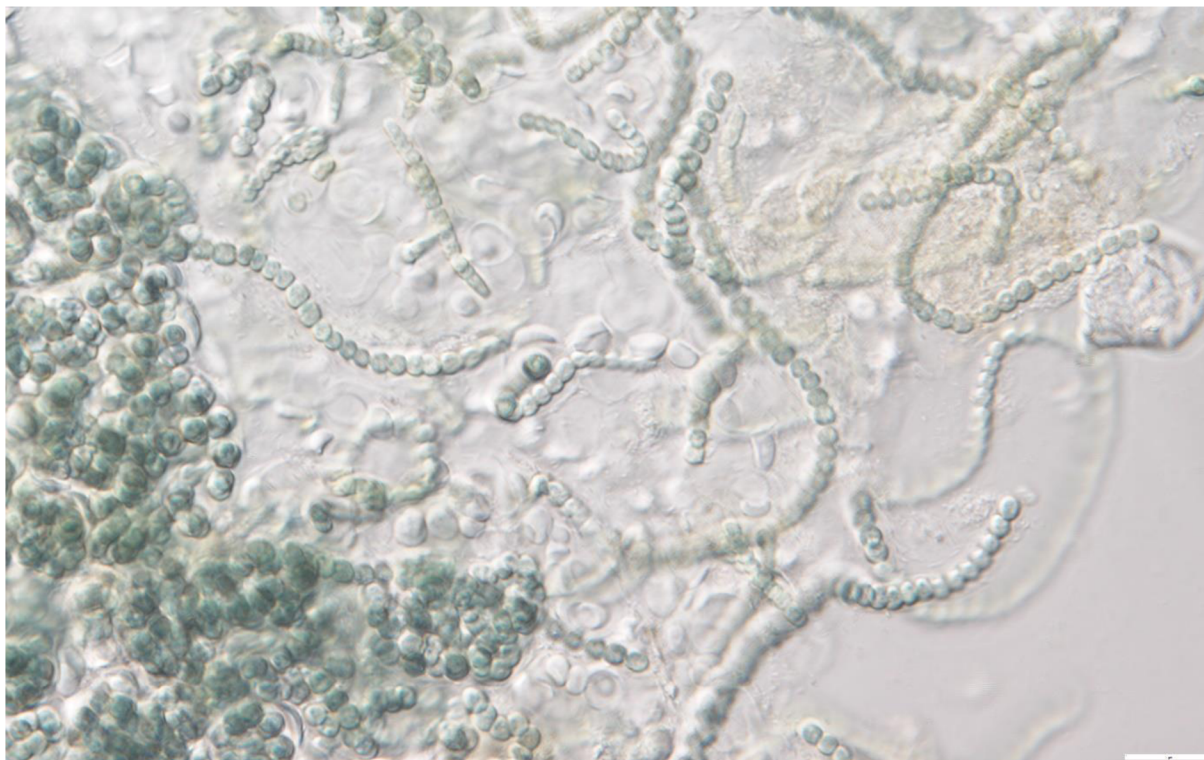
Nákresy:



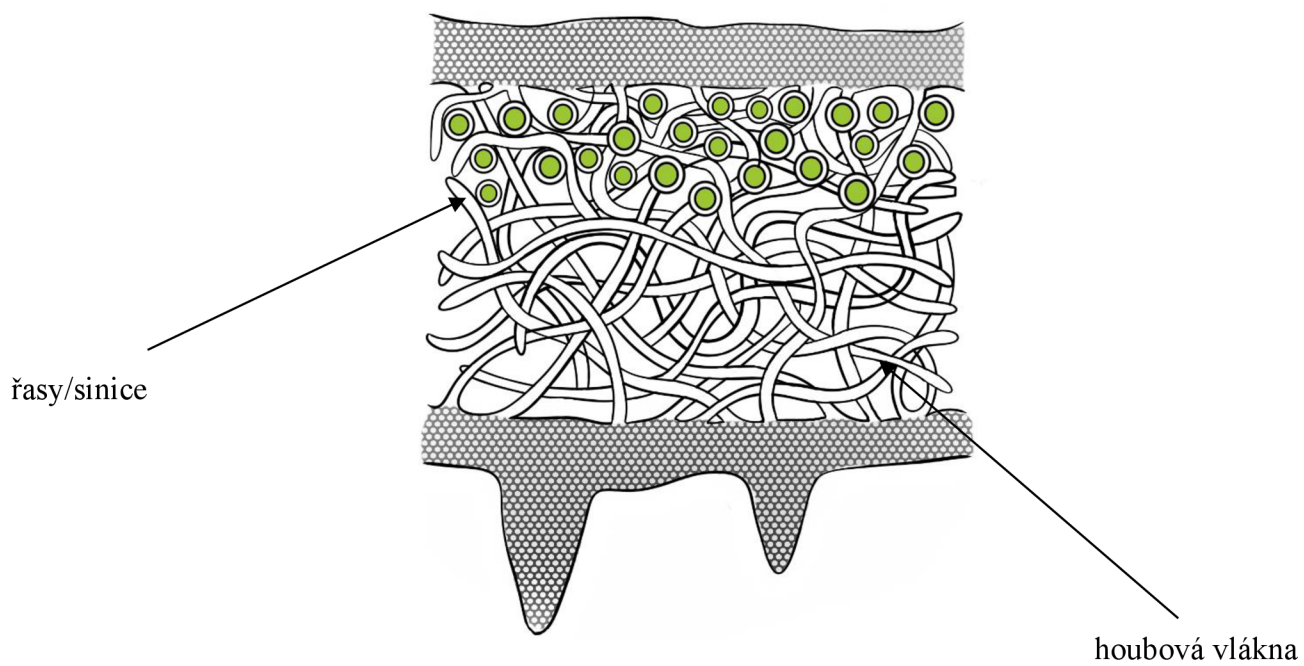
Obr.1: CCALA 492 *Stichococcus bacillaris* (měřítko 20  $\mu\text{m}$ )



Obr.2,3: CCALA 306 *Coccomyxa glaronensis* (měřítko 20  $\mu\text{m}$ )



Obr.4: CCALA 132 *Nostoc cf. commune* (měřítko 20  $\mu\text{m}$ )

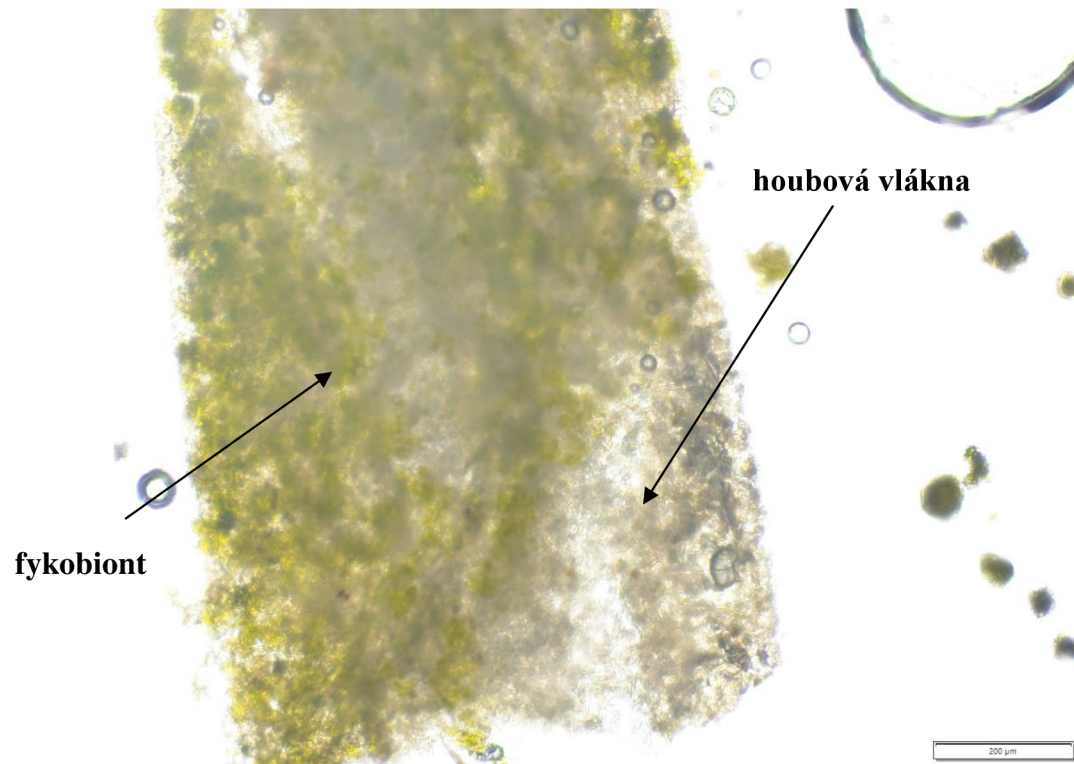


řasy/sinice

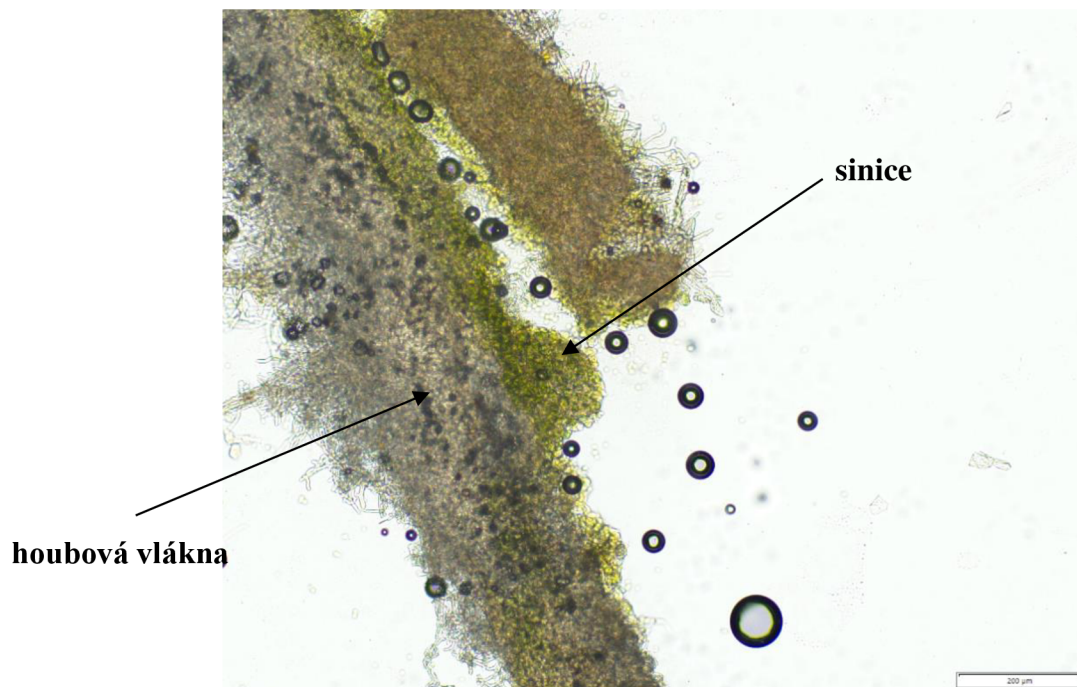
houbová vlákna

Obr.5: Schéma lišejníku s fykobiontem





Obr. 6: Lišejník s fykobiontem (měřítko 200 μm)



Obr.7: Schéma lišejníku s cyanobiontem (měřítko 200 μm)

### ■ Diskuze:

- 1) Prezentujte výsledky svého bádání ostatním skupinám.

### Otázky

#### **? Jaké interakce řadíme mezi symbiózy?**

Mezi symbiózy řadíme mutualismus, parazitismus nebo komensalismus. Toto řazení je podle toho, jaký z toho mají partneři v symbiotickém vztahu prospěch. V případě, že ze symbiózy profitují oba, jedná se o mutualismus, naopak je to u parazitismu a komensalismu, kde profituje pouze jeden symbiont. U parazitismu dochází však k poškozování druhého symbionta, kdežto u komensalismu druhému symbiontovi tento jednostranný vztah nevádí (Čepička et al., 2007).

#### **? Jaký vztah popisuje interakci tvorbu lišejníků?**

U lišejníků však není jisté, zda jde o mutualismus nebo jinou interakci. (Grupe et al., 2017, Liška, 2000). Vztahy u lišejníků jsou relativně složitější a to tím, že lišejník nemusí být tvořen pouze dvěma složkami, ale některé lišejníky mají tři a více partnerů (Nash, 2008). Dlouho bylo předpokládáno, že se jedná o mutualismus, ale tato teorie byla vyvrácena. Dnes se přikláníme spíše k teorii, že jde o příklad kontrolovaného parazitismu, čemuž nasvědčuje fakt, že houbová složka získává více výhod než fotobiont, kterému tento vztah tolik neprospívá. Bylo zjištěno, že řasy a sinice v tomto symbiotickém vztahu rostou o dost pomaleji, než při samostatném růstu (Ahmadjian, 1993).

## Metodický list: Biotické interakce řas a sinic

? Doplňte do tabulky vzájemné vztahy symbiontů v jednotlivých interakcích.

	Symbiont 1	Symbiont 2
Mutualismus	kladný	kladný
Komensalismus	kladný	neutrální
Parazitismus	kladný	záporný

Vyberte správné odpovědi ANO/NE. Příslušná písmena vytvoří tajenku.

- 1) Symbióza je soužití výhradně dvou organismů.
- 2) Fotobiontem v lišejníku jsou houbová vlákna.
- 3) Jednostranně prospěšný vztah dvou organismů se nazývá komensalismus.
- 4) Organismus živící se na úkor druhého je hostitel.
- 5) Zoochlorelly jsou hnědé řasy
- 6) Parazitismus je u řas velmi častý.
- 7) Oboustranně prospěšný vztah dvou organismů se nazývá mutualismus.
- 8) Řasy najdeme často na kůře stromů

ANO	NE
P	S
A	Y
M	R
A	B
Z	I
I	Ó
Z	T
A	É

Tajenka: SYMBIÓZA



## Metodický list: Biotické interakce řas a sinic

---

### SEZNAM LITERATURY:

- AHMADJIAN, V. 1993: *The Lichen Symbiosis*, New York: John Wiley. 250 pp.
- CAMPBELL, N. A. & REECE, Jane B. 2006. *Biologie*. Brno: ComputerPress, 543 s. ISBN 80-251-1178-4
- ČEPIČKA, I., KOLÁŘ F., SYNEK P. 2007. *Mutualismus, vzájemně prospěšná symbióza*. Přípravný text – biologická olympiáda 2007-2008, NIDM ČR, Praha.
- HOEGH-GULDBERG, O. 2005. *Low coral cover in a high-CO<sub>2</sub> world*. Journal of Geophysical Research C: Oceans. 110. 10.1029/2004JC002528.
- LIŠKA, J. 2000. *Vázaný a nevázaný život lišejníků. Lichenizace jako příklad úspěšné strategie*. Vesmír: Přírodovědecký časopis. č. 11.
- NASH H. T. III. 2008. *Lichen biology*. Cambridge: Cambridge University Press. ISBN-13 978-0-521-69216-8
- PETRUSEK, A. 2018. *Symbióza aneb Žijeme spolu*. Živa: přírodovědecký časopis. Praha. č.1 str. XVII
- POULÍČKOVÁ, A. 2011. *Základy ekologie sinic a řas*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. 91 s. ISBN 978-80-244-2751-5.
- PRÖSCHOLD, T., DARIENKO, T., SILVA P. C., REISSER W., KRIENITZ L. 2011. *The systematics of Zoochlorella revisite deploying anintegrative approach*. EnvironMicrobiol. 13(2):350-64. doi: 10.1111/j.1462-2920.2010.02333.x. Epub 2010 Sep 27. PMID: 20874732.
- THURMAN, H. V. & TRUJILLO, A. P. 2002. *Oceánografie. Tajemný svět moří a oceánů*. Prentice– Hall, Inc., Computer Press. 479 s.
- VOTÝPKA, J. 2018. *Společné vykročení*. Živa: přírodovědecký časopis. Praha: Živa.

## Pracovní list: Role řas v biogeochemických cyklech

Datum:

Jméno:

### Teoretická část:

Dusík je nezbytná složka bílkovin, nukleových kyselin a chlorofylu. Prokaryota jsou schopna metabolizovat většinu dusíkatých látek, eukaryota však využívají jen určité formy dusíku. Dusík je přítomen v atmosféře ve 4/5 objemu, a to v plynné formě biatomárních molekul ( $N_2$ ). V této formě je však využitelný jen pro některé organismy, tzv. vazače dusíku. Těmi jsou často půdní bakterie, některé sinice, hlízkové bakterie a aktinomycety. Při rozkladu odumřelé hmoty uvolňují bakterie anorganické formy dusíku: dusitany ( $NO_2^-$ ) – nitrifikační bakterie, amonné ionty ( $NH_4^+$ ) – amonizační bakterie a dusičnany ( $NO_3^-$ ) – nitrifikační bakterie. Rostliny jsou schopné tyto anorganické formy přijímat v jejich minerální výživě. Dusík ve formě dusičnanů může být dále denitrifikačními bakteriemi rozložen na molekulární dusík  $N_2$ . Dusík v této formě se poté uvolní do atmosféry.

Některé sinice hrají v koloběhu dusíku roli jeho fixátorů, kteří fixují dusík ve specializovaných tlustostěnných buňkách – heterocytech. K fixaci dusíku dochází za striktně anaerobních podmínek uvnitř heterocytu, kde se pomocí enzymu nitrogenázy vytvoří z plynného  $N_2$  amonný kation  $NH_4^+$  za spotřeby ATP. Sinice, které netvoří heterocyty, tvoří tzv. diazocyty – úseky vláken, ve kterých neprobíhá fotosyntéza, ale jen dýchání. Tím je zajištěna funkčnost nitrogenázy, která je citlivá na kyslík. Sinice, které netvoří heterocyty ani diazocyty fixují dusík v noci, kdy je fotosyntéza minimální, a tím vyřeší kyslíkový problém. Část nitrogenázy je totiž velice citlivá na kyslík, který brání správné funkci nitrogenázy.

Fixace dusíku přináší pro sinice mnoho výhod. Největší výhodou je, že nejsou dusíkem nijak limitováni a mohou osídlit i biotopy, kde jiné organismy nemohou dobře prosperovat, a to díky tomu, že jsou vázané na výživu minerálních sloučenin dusíku. Tím, že dokáží osídlit i těžko osídlitelná místa mají výhodu v tom, že pro ně v tomto prostředí neexistuje žádná velká konkurence. Fixace dusíku je tedy pro sinice velkou ekologickou výhodou.

## Pracovní list: Role řas v biogeochemických cyklech

---

### Praktická část

#### Úkoly:

- 1) pozorování sinic
- 2) určování sinic

#### Pomůcky:

- kapátko
- mikroskop
- podložní a krycí sklíčko
- kultury sinic
- klíč pro určování řas (Atlas sinic a řas ČR 1,2, Kaštovský et al., 2018).
- 

#### Postup:

- 1) Od svého vyučujícího dostanete 2-3 kultury sinic.
- 2) Pozorujte vzorky pod mikroskopem, zaměřte se především na pozorování heterocytů a popřípadě akinet (doporučené zvětšení 10\*40).
- 3) S pomocí klíče určete, rody zkoumaných vzorků.
- 4) Zakreslete a stručně popište sinice. Zaměřte se na výše uvedené specializované buňky – heterocyty.

#### Nákres č.1:

Rod:

Zvětšení:

## Pracovní list: Role řas v biogeochemických cyklech

---

Nákres č.2

Rod:

Zvětšení:

Diskuze:

- 1) Jaké rody jste pomocí klíče určili? Jaký znak byl pro určování nejdůležitější?
- 2) Prezentujte výsledky svého bádání ostatním skupinám.

Otázky

**? Nakreslete a popište koloběh dusíku.**

## Pracovní list: Role řas v biogeochemických cyklech

---

**? Které organismy jsou tzv. vazači dusíku?**

**? Jak se jmenují specializované buňky, ve kterých dochází k fixaci dusíku? Pokud nejsou přítomny, které buňky jejich funkci nahrazují?**

**? Jaký enzym je zodpovědný za fixaci dusíku?**

**? Jaké výhody mají sinice díky možnosti fixovat dusík?**

## Pracovní list: Role řas v biogeochemických cyklech

Osmisměrka: (Tajenka se čte odshora dolů, zleva do prava)

B	R	O	T	Á	X	I	F	O	L	I	U	M
A	D	O	B	Y	K	E	Z	O	P	I	T	N
K	O	U	T	H	C	A	S	D	Č	Í	Á	A
T	I	H	S	I	A	O	I	A	A	E	R	N
E	O	B	N	Í	K	J	Z	N	C	R	T	Č
R	R	I	S	K	K	A	O	A	O	O	I	I
I	S	Ě	H	D	V	U	X	B	I	M	N	S
E	L	Y	T	E	N	I	K	A	A	D	A	U
E	C	A	K	I	F	I	R	T	I	N	E	D
K	A	Z	Á	N	E	G	O	R	T	I	N	K
T	I	S	H	E	T	E	R	O	C	Y	T	U

AKINETY	FIXACE	OBHAJOBA
AMONIAK	FIXÁTOR	VAZAČI
BAKTERIE	FOLIUM	RISK
DENITRIFIKACE	HETEROCYT	SINICE
DIAZOCYT	HIT	THOR
DUSIČNAN	MOR	TIS
DUSÍK	NITROGENÁZA	TIK
EZOP	NITRÁT	ZDAR

TAJENKA: Sinice jsou důležitou součástí .....

## Metodický list: Role řas v biogeochemických cyklech

Datum:

Jméno:

? řešení otázky a úkolu z pracovního listu

✿ diskuze

ⓘ doplňující informace

🏠 metodická poznámka

### Teoretická část:

Dusík je nezbytná složka bílkovin, nukleových kyselin a chlorofylu. Prokaryota jsou schopna metabolizovat většinu dusíkatých látek, eukaryota však využívají jen určité formy dusíku. Dusík je přítomen v atmosféře ve 4/5 objemu, a to v plynné formě biatomárních molekul ( $N_2$ ). V této formě je však využitelný jen pro některé organismy, tzv. vazače dusíku. Těmi jsou často půdní bakterie, některé sinice, hlízkové bakterie a aktinomycety. Při rozkladu odumřelé hmoty uvolňují bakterie anorganické formy dusíku: dusitany ( $NO_2^-$ ) – nitritační bakterie, amonné ionty ( $NH_4^+$ ) – amonizační bakterie a dusičnany ( $NO_3^-$ ) – nitrifikační bakterie. Rostliny jsou schopné tyto anorganické formy přijímat v jejich minerální výživě. Dusík ve formě dusičnanů může být dále denitrifikačními bakteriemi rozložen na molekulární dusík  $N_2$ . Dusík v této formě se poté uvolní do atmosféry (Rosypal et al., 2003, Šimek, 1993, Cílek, 2007).

Některé sinice hrají v koloběhu dusíku roli jeho fixátorů, kteří fixují dusík ve specializovaných tlustostěnných buňkách – heterocytech. K fixaci dusíku dochází za striktně anaerobních podmínek uvnitř heterocytu, kde se pomocí enzymu nitrogenázy vytvoří z plynného  $N_2$  amonný kation  $NH_4^+$  za spotřeby ATP. Sinice, které netvoří heterocyty, tvoří tzv. diazocyty – úseky vláken, ve kterých neprobíhá fotosyntéza, ale jen dýchání. Tím je zajištěna funkčnost nitrogenázy, která je citlivá na kyslík (Lundgren et al., 2001). Sinice, které netvoří heterocyty ani diazocyty fixují dusík v noci, kdy je fotosyntéza minimální, a tím vyřeší kyslíkový problém. Část nitrogenázy je totiž velice citlivá na kyslík, který brání správné funkci nitrogenázy (Kalina & Váňa, 2005, Chen et al., 1996).

Fixace dusíku přináší pro sinice mnoho výhod. Největší výhodou je, že nejsou dusíkem nijak limitováni a mohou osídlit i biotopy, kde jiné organismy nemohou dobře prosperovat, a to díky tomu, že jsou vázané na výživu minerálních sloučenin dusíku. Tím, že dokáží osídlit i těžko osídlitelná místa mají výhodu v tom, že pro ně v tomto prostředí neexistuje žádná velká konkurence. Fixace dusíku je tedy pro sinice velkou ekologickou výhodou (Lee, 2018, Graham et al., 2009).

## Metodický list: Role řas v biogeochemických cyklech

---

### Praktická část

Pro tuto úlohu je potřeba koupit kultury heterocytozních sinic (např. CCALA 132 *Nostoc cf. commune*, CCALA 204 *Trichormus variabilis*, CCALA 205 *Trichormus variabilis*, CCALA 006 *Anabaena sp.*, CCALA 805 *Anabaena laxa*, CCALA 133 *Nostoc cf. commune* – [www.ccala.butbn.cas.cz](http://www.ccala.butbn.cas.cz)), nebo nasbírat vlastní kultury (*Aphanizomenon*, *Nostoc*, *Nodularia*, *Trichormus*).

🏠 Studenty rozdělte do dvojic nebo trojic a každé skupině rozdejte 2-3 vzorky.

### Úkoly:

- 1) pozorování sinic
- 2) určování sinic

### Pomůcky:

- kapátko
- mikroskop
- podložní a krycí sklíčko
- kultury sinic
- klíč pro určování řas

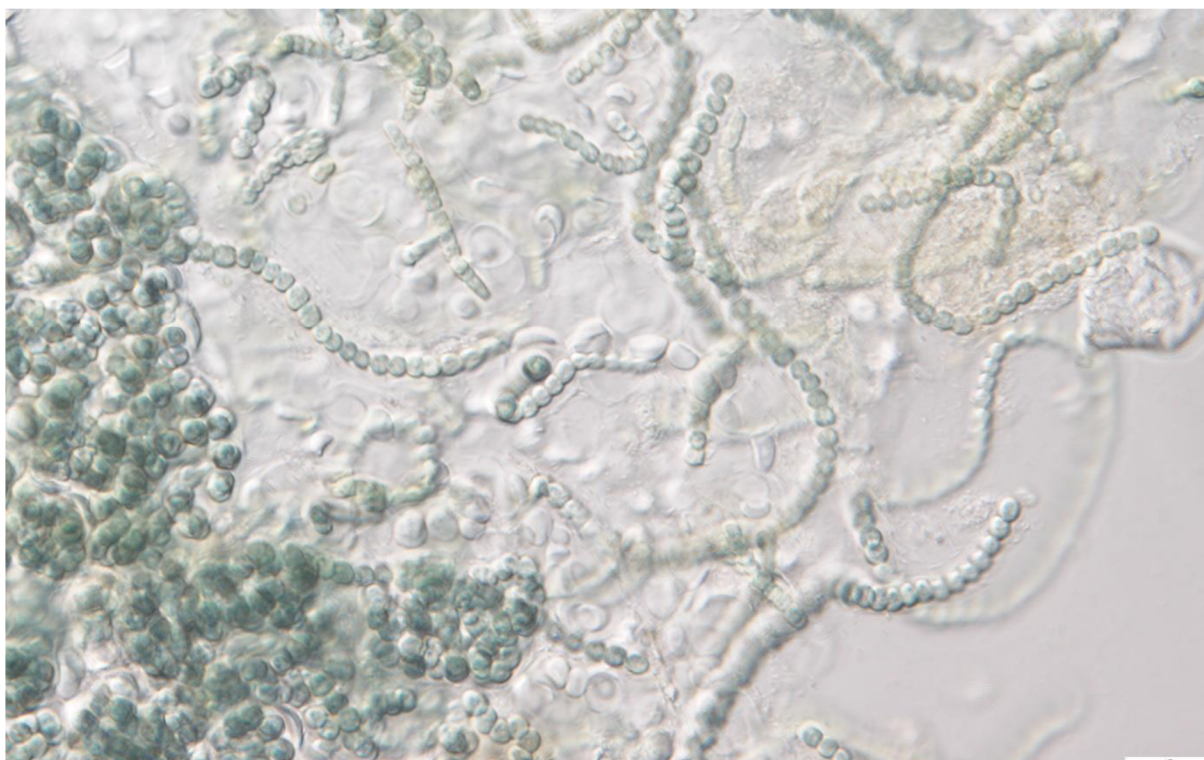
### Postup:

- 1) Od svého vyučujícího dostanete 2-3 kultury sinic.
- 2) Pozorujte vzorky pod mikroskopem, zaměřte se především na pozorování heterocytů a popřípadě akinet (doporučené zvětšení 10\*40).
- 3) S pomocí klíče určete, rody zkoumaných vzorků.
- 4) Zakreslete a stručně popište sinice. Zaměřte se na výše uvedené specializované buňky – heterocyty.

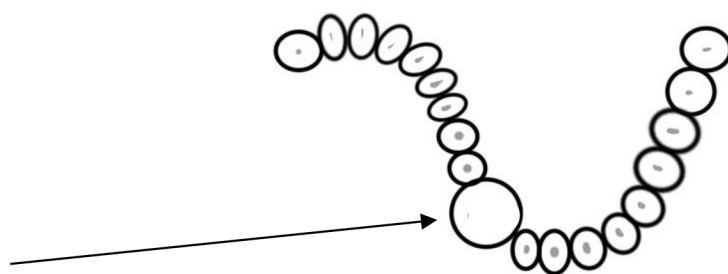


## Metodický list: Role řas v biogeochemických cyklech

Nákresy:



Obr.1: CCALA 132 *Nostoc cf. commune* (měřítko 20  $\mu\text{m}$ )



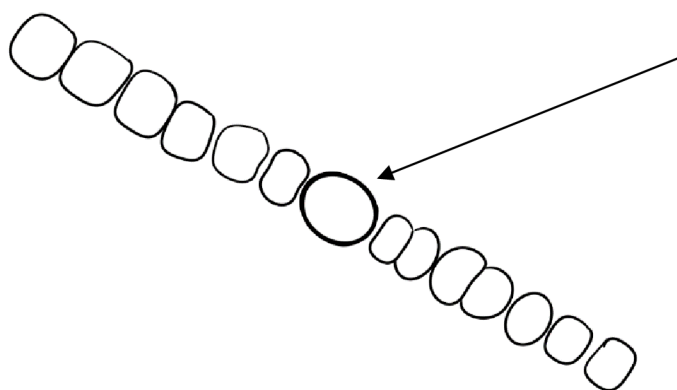
Obr.2: Nákres *Nostoc* s heterocytem



Obr.3: CCALA 204 *Trichormus variabilis* (měřítko 20 µm) (<https://ccala.butbn.cas.cz/>)



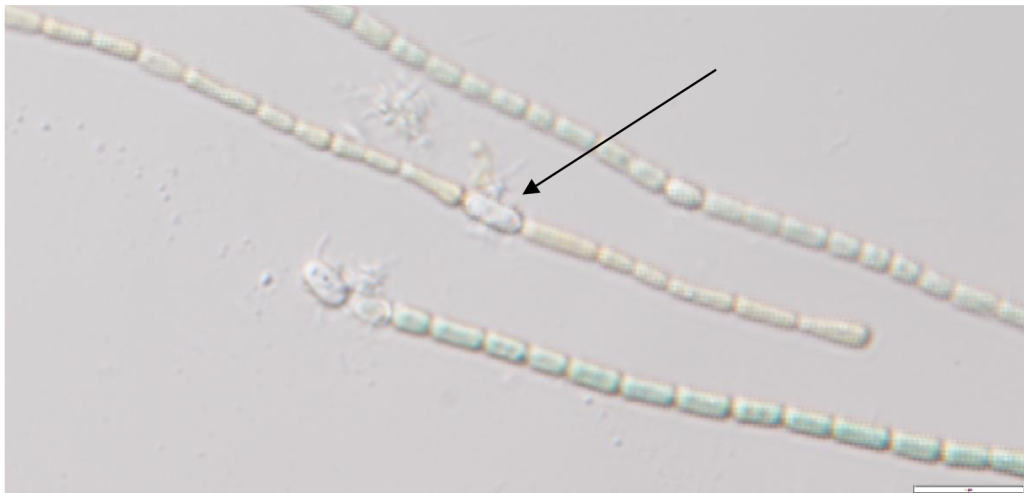
Obr.4: CCALA 205 *Trichormus variabilis* (měřítko 20 µm)



Obr.5: Nákres *Trichormus* s heterocytem



Obr.6: CCALA 006 *Anabaena* sp. (měřítko 20  $\mu\text{m}$ )



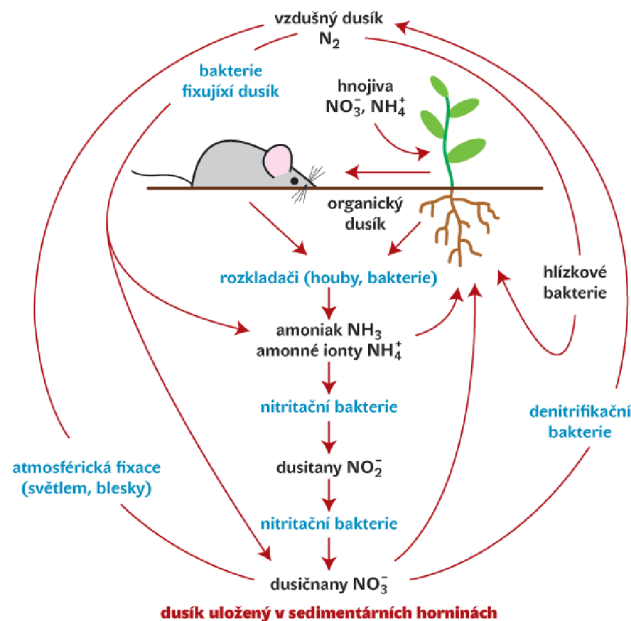
Obr.7: CCALA 805 *Anabaena laxa* (měřítko 20  $\mu\text{m}$ )

☛ Diskuze:

- 1) Jaké rody jste pomocí klíče určili? Jaký znak byl pro určování nejdůležitější?
- 2) Prezentujte výsledky svého bádání ostatním skupinám.

## Otázky

**? Nakreslete a popište koloběh dusíku.**



Obr. 13: Koloběh dusíku (Zounar, 2011)

**? Které organismy jsou tzv. vazači dusíku?**

Půdní bakterie, některé sinice, hřízkové bakterie a aktinomycety

**? Jak se jmenují specializované buňky, ve kterých dochází k fixaci dusíku? Pokud nejsou přítomny, které buňky jejich funkci nahrazují?**

heterocyty

Pokud nejsou přítomny heterocyty, zastupují je diazocyty.

**? Jaký enzym je zodpovědný za fixaci dusíku?**

nitrogenáza

**? Jaké výhody mají sinice díky možnosti fixovat dusík?**

Největší výhodou je, že nejsou dusíkem nijak limitováni a mohou osídlit i biotopy, kde jiné organismy nemohou dobře prosperovat, a to díky tomu, že jsou vázané na výživu minerálních sloučenin dusíku. Tím, že dokáží osídlit i těžko osídlitelná místa mají výhodu v tom, že pro ně v tomto prostředí neexistuje žádná velká konkurence. Fixace dusíku je tedy pro sinice velkou ekologickou výhodou (Lee, 2018, Graham et al., 2009)



## Metodický list: Role řas v biogeochemických cyklech

### Osmisměrka

B	R	O	T	Á	X	I	F	O	L	I	U	M
A	D	O	B	Y	K	E	Z	O	P	I	T	N
K	O	U	T	H	C	A	S	D	Č	Í	Á	A
T	I	H	S	I	A	O	I	A	A	E	R	N
E	O	B	N	Í	K	J	Z	N	C	R	T	Č
R	R	I	S	K	K	A	O	A	O	O	I	I
I	S	Ě	H	D	V	U	X	B	I	M	N	S
E	L	Y	T	E	N	I	K	A	A	D	A	U
E	C	A	K	I	F	I	R	T	I	N	E	D
K	A	Z	Á	N	E	G	O	R	T	I	N	K
T	I	S	H	E	T	E	R	O	C	Y	T	U

AKINETY	FIXACE	OBHAJOBA
AMONIAK	FIXÁTOR	VAZAČI
BAKTERIE	FOLIUM	RISK
DENITRIFIKACE	HETEROCYT	SINICE
DIAZOCYT	HIT	THOR
DUSIČNAN	MOR	TIS
DUSÍK	NITROGENÁZA	TIK
EZOP	NITRÁT	ZDAR

TAJENKA: Sinice jsou důležitou součástí **KOLOBĚHU DUSÍKU**

## Metodický list: Role řas v biogeochemických cyklech

---

### SEZNAM LITERATURY

CCALA.CZ. 2020. Dostupné z: <https://ccala.butbn.cas.cz/en/about-ccala-culture-collection>

CÍLEK, V. 2007. *Nový problém: globální cyklus dusíku. Ten třetí vzadu.* Přírodovědecký časopis: Vesmír. 2007/6.

GRAHAM, L. E., WILCOX, L. W., GRAHAM, J. M. 2009. *Algae*. 2nd ed. San Francisco: Pearson/Benjamin Cummings, 616 s., g 12 s., li 52 s., ti 9 s., si 7 s. ISBN 978-0-321-55965-4.

CHEN, H. M., CHIEN, C. Y., HUANG, T. C. 1996. *Regulation and molecular structure of a circadian oscillating protein located in the cell membrane of the prokaryote Synechococcus RF-1.* - *Planta* 199 (4): 520–527. ISSN: 0032-0935.

KALINA, T. & VÁŇA, J. 2005. *Sinice, řasy, houby, mechorosty a podobné organismy v současné biologii.* Vyd. 1. Praha: Karolinum. 606 s. 32 s. obr. příl. ISBN 80-246-1036-1

LEE, R. E. 2018. *Phycology*. Fifth edition. Cambridge: Cambridge University Press. xii, 535 stran. ISBN 978-1-107-55565-5.

LUNDGREN, P., SODERBACH, E., SINGER, A., CARPENTER, E. J., BERGMAN, B. 2001. *Katagnymene: characterization of a novel marine diazotroph.* – *Journal of Phycology* 37 (6): 1052–1062. 2001. ISSN: 0022-3646.

ROSYPAL, S. et al. 2003. *Nový přehled biologie.* 1. vyd. Praha: Scientia. 797 s. ISBN 80-7193-268-5.

ŠIMEK, M. 1993. *Nitrogenáza – unikátní enzym fixátorů N<sub>2</sub>.* *Biol. list.* 4: 241–256

ZOUNAR, P. 2011. *Jak ekosystém k dusíku přišel aneb Nový zdroj pod našima nohama.* *Vesmír: Přírodovědecký časopis.* *Vesmír* 90, 616, č.11