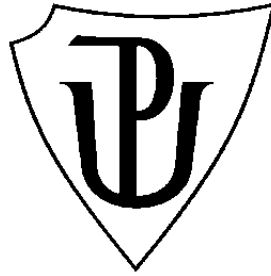


**Univerzita Palackého v Olomouci**  
**Přírodovědecká fakulta**  
**Katedra botaniky**



**Aerofytické sinice Kamerunu: studium  
morfologické variability u vybraných  
druhů**

**Diplomová práce**

Bc. Tereza Řezáčová

Studijní obor: Matematika – Biologie

Forma studia: prezenční

Vedoucí diplomové práce

Doc. RNDr. Petr Hašler, Ph.D.

Olomouc 2016

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci vypracovala samostatně a že jsem veškerou použitou literaturu řádně citovala v seznamu na konci práce.

V Olomouci dne:

.....  
Tereza Řezáčová

## **Poděkování**

Během svého působení jako studentka na Přírodovědecké fakultě jsem zažívala dobré i špatné období. Poslední rok mi velmi pomohl můj přítel, bez kterého bych neměla energii ani chuť svou práci dokončit. Těmito pár slovy bych mu chtěla poděkovat, stejně jako mojí rodině za aktivní podporu v dobách mého studia. Důležitou roli hrála i psychická podpora mojí kamarádky, spolužačky a „sparing-partnera“ Veroniky Petřekové.

Samozřejmě největší dík patří člověku, který mi vůbec dal šanci psát tuhle diplomovou práci a spolupracovat s lidmi, na které budu s radostí vzpomínat - můj vedoucí diplomové práce Doc. RNDr. Petr Hašler, Ph.D. Je to člověk, který mi ukázal, že když člověk dře a maká, tak nakonec z jeho práce vzjede něco pěkného a i když se zprvu zdá, že se něco nedaří, vyplatí se vydržet.

## **Bibliografická identifikace**

<b>Jméno a příjmení autora:</b>	Tereza Řezáčová
<b>Název práce:</b>	Aerofytické sinice Kamerunu: studium morfologické variability u vybraných druhů
<b>Typ práce:</b>	Diplomová práce
<b>Pracoviště:</b>	Katedra botaniky
<b>Vedoucí diplomové práce:</b>	Doc. RNDr. Petr Hašler, Ph.D.
<b>Rok obhajoby:</b>	2016

### **Abstrakt:**

Tato diplomová práce má za úkol srovnat působení roztoků s různými koncentracemi živin na vybrané sinice Kamerunu.

První část, konkrétně úvod, popisuje, co jsou to sinice. Popisuje stavbu jejich vláken a speciální případy buněk či rozmnožování. Ve stručnosti nás seznamuje s diverzitou sinic a místy, kde se tyto organismy mohou vyskytovat.

Druhá část nás seznamuje s metodikou práce s dostupnými vzorky, jejich uchovávání, izolace a popisem lokalit, kde byly vzorky pro tuto diplomovou práci odebrány.

Následující kapitola obsahuje popisy jednotlivých kmenů, které se podařilo čistě vyizolovat. Obsahuje také fotografickou dokumentaci v jednotlivých typech médií a naměřené hodnoty. Fotografická dokumentace obsahuje makro a mikrofotografie.

Poslední částí je diskuze a závěr celé této diplomové práce.

**Klíčová slova:** sinice, rozmnožování, živiny, izolace

**Počet stran:** 118

**Počet příloh:** 0

**Jazyk:** Čeština

## **Bibliographical identification**

<b>Autor's first name and surname:</b>	Tereza Řezáčová
<b>Title:</b>	Aerofytic cyanobacteria of Kamerun: study of morphological variability in some species
<b>Type of thesis:</b>	Diploma thesis
<b>Department:</b>	Department of Botany
<b>Supervisor:</b>	Doc. RNDr. Petr Hašler, Ph.D.
<b>The year of presentation:</b>	2016

### **Abstract:**

The goal of this thesis is to compare the effects of solutions with various concentrations of nutrients on the chosen cyanobacteria of Kamerun.

The first part, namely the introduction describes what cyanobacteria are, the construction of their filaments and special cases of reproduction or cells. It also briefly familiarizes us with the diversity of cyanobacteria and locations of their occurrence.

The second part introduces the methodology of work with the available samples, their conservation, isolation and description of localities where the samples used for this thesis were taken from.

The following chapter contains a description of each phylum that was cleanly isolated in success. It also includes a photographic documentation of measured values in each type of medium. This documentation consists of both macro and microphotography.

The last part is a discussion and the conclusion of the whole thesis.

**Keywords:** cyanobacterium, reproduction, nutrients, isolation

**Number of pages:** 118

**Number of appendices:** 0

**Language:** Czech

## Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
1.1	Charakteristika sinic .....	9
1.2	Vznik a vývoj sinic .....	10
1.3	Typy buněk.....	11
1.3.1	Vegetativní buňky .....	11
1.3.2	Heterocyty .....	14
1.3.3	Akinety .....	17
1.3.4	Nekrotické disky .....	17
1.3.5	Aerotopy.....	17
1.4	Rozmnožování sinic .....	19
1.4.1	Kokální sinice.....	19
1.4.2	Vláknité sinice.....	20
1.5	Diverzita .....	21
1.5.1	Diverzita barev .....	22
1.5.2	Diverzita tvaru a velikosti .....	24
1.5.3	Vodní květ.....	28
1.6	Rozšíření sinic .....	31
1.6.1	Termofilní fototrofové .....	31
1.6.2	Psychofilní fototrofové .....	32
1.6.3	Halofilní fototrofové .....	34
1.6.4	Acidofilní fototrofové .....	36
1.6.5	Alkalofilní fototrofové .....	37
1.7	Tropické sinice .....	38
1.7.1	Geografické rozšíření tropických sinic .....	38
1.7.2	Sinice intertidálních a supratidálních oblastí .....	39
1.7.3	Sinice v infralitorální zóně.....	41
1.7.4	Planktonní sinice .....	44
1.7.5	Suchozemské tropické sinice .....	44
1.8	Historie studia řas a sinic.....	47
1.9	Taxonomická klasifikace sinic .....	49
<b>2</b>	<b>CÍLE PRÁCE.....</b>	<b>52</b>
<b>3</b>	<b>MATERIÁL A METODY.....</b>	<b>53</b>

3.1	Izolace vybraných kmenů, kultivace, mikroskopování a determinace.....	53
3.1.1	Izolace vybraných kmenů .....	53
3.1.2	Kultivace .....	53
3.1.3	Mikroskopování a determinace .....	54
3.2	Charakteristika lokalit .....	54
3.2.1	Charakteristika Kamerunu .....	54
<b>4</b>	<b>VÝSLEDKY .....</b>	<b>57</b>
4.1	Charakteristiky izolovaných kmenů .....	57
4.1.1	<i>Oculatella</i> sp. kmen 119 .....	57
4.1.1.1	Obrázky z roztoku K – kontrola, zvětšení 100x, imerzní olej .....	62
4.1.1.2	Obrázky z roztoku 1/10N, zvětšení 100x, imerzní olej .....	62
4.1.1.3	Obrázky z roztoku 1/10P, zvětšení 100x, imerzní olej .....	63
4.1.1.4	Obrázky z roztoku 3N, zvětšení 100x, imerzní olej .....	63
4.1.1.5	Obrázky z roztoku 3P, zvětšení 100x, imerzní olej .....	64
4.1.1.6	Makroskopická fotografie kmenů .....	64
4.1.2	<i>Blennothrix</i> sp. kmen 120 .....	65
4.1.2.1	Obrázky z roztoku K – kontrola, zvětšení 40x10 .....	69
4.1.2.2	Obrázky z roztoku 1/10N, zvětšení 40x10.....	69
4.1.2.3	Obrázky z roztoku 1/10P, zvětšení 40x10 .....	70
4.1.2.4	Obrázky z roztoku 3N, zvětšení 40x10.....	70
4.1.2.5	Obrázky z roztoku 3P, zvětšení 40x10 .....	71
4.1.2.6	Makroskopická fotografie kmenů .....	71
4.1.3	<i>Leptolyngbya</i> sp. kmen 123.....	72
4.1.3.1	Obrázky z roztoku K – kontrola, zvětšení 100x, imerzní olej .....	76
4.1.3.2	Obrázky z roztoku 1/10N, zvětšení 100x, imerzní olej .....	76
4.1.3.3	Obrázky z roztoku 1/10P, zvětšení 100x, imerzní olej .....	77
4.1.3.4	Obrázky z roztoku 3N, zvětšení 100x, imerzní olej .....	77
4.1.3.5	Obrázky z roztoku 3P, zvětšení 100x, imerzní olej .....	78
4.1.3.6	Makroskopická fotografie kmenů .....	78
4.1.4	<i>Nostoc</i> sp. kmen 139/1 .....	79
4.1.4.1	Obrázky z roztoku K – kontrola, zvětšení 100x, imerzní olej .....	83
4.1.4.2	Obrázky z roztoku 1/10N, zvětšení 100x, imerzní olej .....	83
4.1.4.3	Obrázky z roztoku 1/10P, zvětšení 100x, imerzní olej .....	84

4.1.4.4	Obrázky z roztoku 3N, zvětšení 100x, imerzní olej .....	84
4.1.4.5	Obrázky z roztoku 3P, zvětšení 100x, imerzní olej .....	85
4.1.4.6	Makroskopická fotografie kmenů .....	85
4.1.5	<i>Oculatella</i> sp. kmen 139/2 .....	86
4.1.5.1	Obrázky z roztoku K – kontrola, zvětšení 100x, imerzní olej .....	90
4.1.5.2	Obrázky z roztoku 1/10N, zvětšení 100x, imerzní olej .....	90
4.1.5.3	Obrázky z roztoku 1/10P, zvětšení 100x, imerzní olej .....	91
4.1.5.4	Obrázky z roztoku 3N, zvětšení 100x, imerzní olej .....	91
4.1.5.5	Obrázky z roztoku 3P, zvětšení 100x, imerzní olej .....	92
4.1.5.6	Makroskopická fotografie kmenů .....	92
<b>5</b>	<b>SINICE VE VÝUCE BIOLOGIE .....</b>	<b>93</b>
<b>6</b>	<b>DISKUZE .....</b>	<b>94</b>
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>99</b>
<b>8</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>	<b>100</b>



# 1 ÚVOD

## 1.1 Charakteristika sinic

Sinice (Cyanobacteria, syn. *Cyanophyta*, Cyanoprokaryota) jsou stará skupina prokaryotních organismů, jak lze odvodit z morfologických podobností s fosilními záznamy o přibližném stáří 3,5 miliard let (Schopf, 2000). Taxonomie sinic byla dříve založena hlavně na morfologických, a některé úrovně druhů na ekologických znacích (Geitler, 1932), tyto metody násilně spojily řadu taxonomických jednotek na různých úrovních, nyní rozdělované podle nové taxonomické metody založené na sekvenaci genů.

Sinice jsou skupinou fotosynteticky aktivních gram negativních eubakterií. Mají fotosystém I a II a několik výjimečně sloučených chlorofylů **a** jako hlavní fotosyntetické barvivo. U příbuzných bakterií ze skupiny Prochlorophyta se vyskytují i další pigmenty ze skupiny chlorofylů, zejména pak chlorofyl **c**. Na povrchu tylakoidů jsou umístěny fykobilizómy, drobné útvary, obsahující specifická barviva – fykobiliproteiny. Tyto proteiny jsou 3 – dva jsou modré pigmenty (c-fykocyanin, allofykocyanin) a jeden je červený (c-fykoerythrin). Fykobiliproteiny slouží jako světlosběrné pigmenty. Díky jejich citlivosti k nízké intenzitě ozáření umožňují fotosyntézu za podmínek, kdy jiné fotosynteticky aktivní organismy nejsou schopny efektivní fotosyntézy, například v půdě, uvnitř kamenů, ve velkých hloubkách. Schopností fotosyntézy, spolu se schopností některých skupin sinic fixovat dusík z atmosféry, předurčují tyto organismy k životu v extrémních a často na živiny chudých prostředích (Garcia-Pichel, 2009).

Hlavní zásobní látkou u většiny sinic je sinicový škrob. Polysacharid, patřící mezi  $\alpha$ -1, 4-glukany, který svými vlastnostmi je shodný s glykogenem některých bakterií, hub a živočichů. Ukládá se do bílých granul, které je možné pozorovat pod transmisním elektronovým mikroskopem. Dusíkatou zásobní látku představují cyanofycinová zrna, která jsou tvořena aminokyselinami argininem a asparaginem. V buňkách se vyskytují také polyfosfátové granule (volutin), díky nimž sinice překonávají období vyčerpání fosforečných živin (Kalina & Váňa, 2005).

Relativní poměr krátkých a dlouhých glukánových řetězců ve větvených polysacharidech se liší podle druhu. Rozdíly jsou úzce spjaty s fyzickými vlastnostmi  $\alpha$ -glukany. Výsledky výzkumu ukazují, že polysacharid, trojice sinic, *Prochloron*, *Prochlorococcus* a *Prochlorothrix*, v zásadě vykazuje podobnou organizaci jako škrob, ale cyanofycin u nich chybí (Suzuki, 2013).

Jejich hromadění nastává hlavně v době, kdy je nadbytek fosforečnanů v prostředí a jsou využívány až v době jejich nedostatku. To může být například při přezimování v sedimentech. Dalším typem zásobních látek mohou být tzv. cyanofycinová zrna sloužící jako zdroj energie nebo stavební látka. Jsou uchovávány ve formě polymerů argininu a kyseliny asparaginové (Šejnohová & Maršálek, 2005).

## 1.2 Vznik a vývoj sinic

V období mezi 2,5 a 0,6 miliardami let označujeme jako Age od Cyanobacteria – věk sinic (Kalina & Váňa, 2005). Dominujícími fototrofními organismy na Zemi v té době byly právě sinice. Díky nim se postupně zvyšovala koncentrace kyslíku v atmosféře. Charakteristickými útvary té doby jsou fosilní stromatolity, což jsou vrstevnaté horniny ve tvaru kup nebo bochníků, vznikající dlouhodobým růstem sinic. Stromatolity zmizely asi před 5 miliony let. Zánik se přičítá tlaku herbivorních měkkýšů. Ojedinelé se zachovali živé stromatolity, například Shark Bay v západní Austrálii.



Obrázek 1: Stromatolity ze Shark Bay v západní Austrálii

[1]

## 1.3 Typy buněk

Velikost buněk sinic je poměrně variabilní. Pohybuje se obvykle v rozpětí od 0,5  $\mu\text{m}$  až do 50-100  $\mu\text{m}$ , přičemž jsou větší než většina ostatních bakterií a archeí. Některé tvoří makroskopické kolonie vyznačující se velikostí od několika mikrometrů až do 30 centimetrů. Nejtěžší zaznamenaná makroskopická kolonie měla tvar koule a byla tvořená sinicí *Nostoc pruniforme*. Její čerstvá váha byla 3 kilogramy (Dodds & Castenholz, 1988).

### 1.3.1 Vegetativní buňky

Buňky jednobuněčných sinic mají běžně kulovitý, tyčinkovitý nebo kapkovitý tvar. Zatímco buňky tvořící vlákna mohou být zploštělé nebo válcovité. U některých díky stresu může dojít k pleomorfismu (polymorfismu - schopnost zaujímat více forem) a dokonce se můžou větvit i na tři různá vlákna (například rod *Starria*).

Ne všechny vláknité formy musí nezbytně naznačovat funkční integraci buněk do pravých mnohobuněčných organismů. Nicméně v heterocytické skupině a u některých pravých více buněčných oscilatoriálních organismů jsou funkční integrace buněk nápadně rozlišeny (Garcia-Pichel, 2009). Zatímco pojem trichom vždy označuje pouze vláknité cyanobakteriální seskupení buněk, pojem filament popisuje trichom společně s ochranným pláštěm.

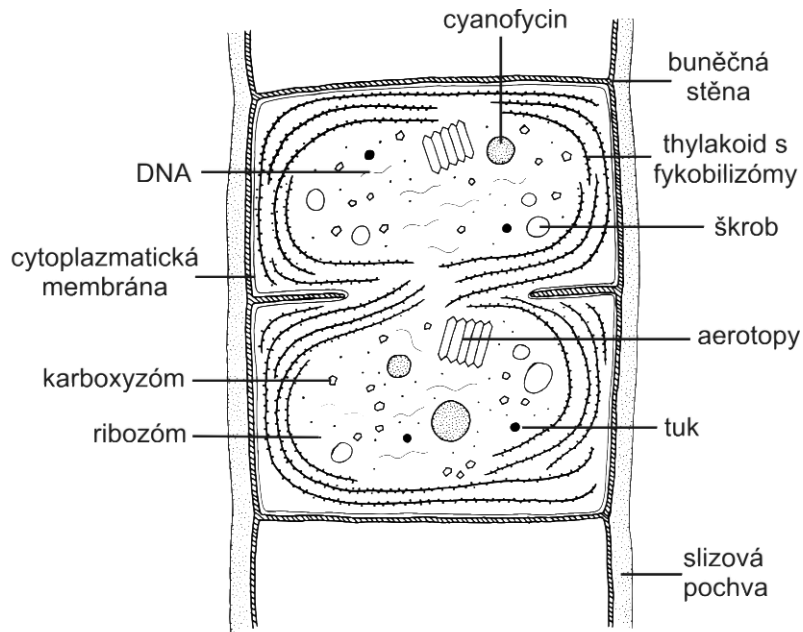
Buněčná stěna na vnější straně buněčné membrány je složená z peptidoglykanové vrstvy s tloušťkou v rozpětí od 10 nm v jednobuněčných taxonech, až 15-35 nm u vláknitých druhů a více než 700 nm u velkých zástupců řádu Oscillatoriales (cf. Hoiczky & Hansel, 2000). Po peptidoglykanové vrstvě se nachází vnější membrána lipopolysacharidového typu, která je běžnou součástí gram-negativních buněčných stěn.

Docela běžně je stěna sinic tvořená tzv. S- vrstvou, která je tvořená dvourozměrnou „krystalickou“ plochou obsahující jeden druh glykoproteinu a pokrývá celý povrch buňky (Hoiczky & Hansel, 2000). Spolu se specifickým

komplexem pórů S – vrstva dodává potřebnou strukturu pro klouzavý pohyb vláknitých sinic (Hoiczky & Baumeister, 1998).

Jako reakci na různé faktory prostředí spousta sinic produkuje exopolysacharidy (EPS), které někdy obsahují viditelné pigmenty chránící před UV světlem, jako scytonemin a MAAs (mycosporine-amino kyseliny) (Böhm *et al.*, 1995). Exopolysacharidy jsou součástí společenstev bakterií, hub, řas a některých protist. Jejich složení je druhově specifické (Neu, 2003). Tyto látky sekretují speciální buňky a slouží primárně k udržení adheze biofilmu. Sekundárně chrání buňku nebo slouží jako difúzní bariéra proti toxinům (Brake & Hasiotis, 2010). Exopolysacharidy obsahují funkční skupiny (karboxyly, hydroxyly, aminové skupiny), které mohou oddělit ionty a molekuly toxinů a zmírnit toxické působení látek v okolí buněk. Některé typy EPS mohou také vázat těžké kovy. Mohou také napomáhat odstraňování metabolitů z buňky či jejího povrchu a také omezit difúzi látek do buňky. Rychlost difuze závisí na typu biofilmu a koncentraci látek rozpuštěných v okolním vodním prostředí (Stewart, 1998)

Obsah buňky sinice může být rozdělen na část, kde se vyskytují tylakoidy, zařazené buď paralelně nebo radiálně k membráně buňky ve více méně stočených skupinkách na okraji buňky. Vnitřní část je obvykle bez tylakoidů a je zde uložena nukleoplasma, která obsahuje DNA buňky. Tylakoidy v sobě nesou fotosyntetický aparát. Jen buňky rodu *Gloeobacter* nemají tylakoidy a jejich fotosyntetický aparát je umístěn v cytoplasmatické membráně. Pozice tylakoidů v buňce mají určitý taxonomický význam, proto studium ultrastruktury buněk, zejména architektura uložení tylakoidů, přináší cenné doplňkové údaje ke klasifikaci sinic v rámci jejich systematiky.



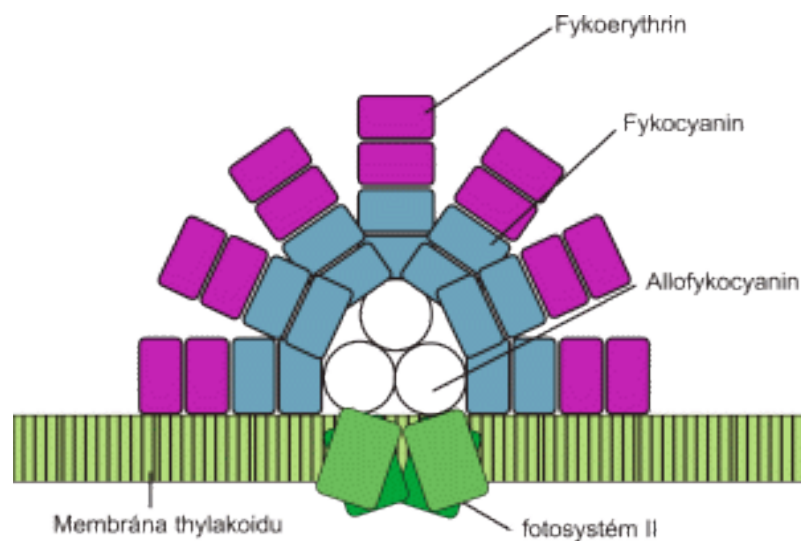
**Obrázek 2: Stavba vegetativní buňky [2]**



**Obrázek 3: Vegetativní buňky**

(autor: Bc. Tereza Řezáčová)

Fykobilizomy se objevují na cytoplazmatické straně tylakoidů a slouží jako světlosběrný systém. Nachází se ve většině sinic, ale chybí v taxonech s chlorofylem **b**. Granula, která nejsou ohraničená membránou, se vyskytují v cytoplasmě a jsou složena z polyfosfátů, lipidových inkluzí, glykogenových granulí (rezervní materiál), cyanofycinu a karboxyzómů hromadící enzym rubisco (ribulosa-1,5-bisfosfát-karboxylasa/oxygenasa). Ve spoustě druhů planktonního typu se také vyskytují plynové vezikuly, což jsou plynem naplněné bílkovinné váčkovité struktury, které poskytují organismům schopnost udržení se v daném vodním sloupci.



Obrázek 4: Struktura fykobilizomu [3]

### 1.3.2 Heterocyty

Cyanobakteriální taxony společně s heterocyty vytvářejí monofyletickou skupinu (Henson *et al.*, 2004). Schopnost vytvářet heterocyty můžeme považovat za odvozený charakteristický znak a vyskytuje se bez výjimky v Nostocophycidae. Heterocyty se vytvářejí s vyšší frekvencí v reakci na nedostatek dusíku v prostředí (Garcia-Pichel, 2009).

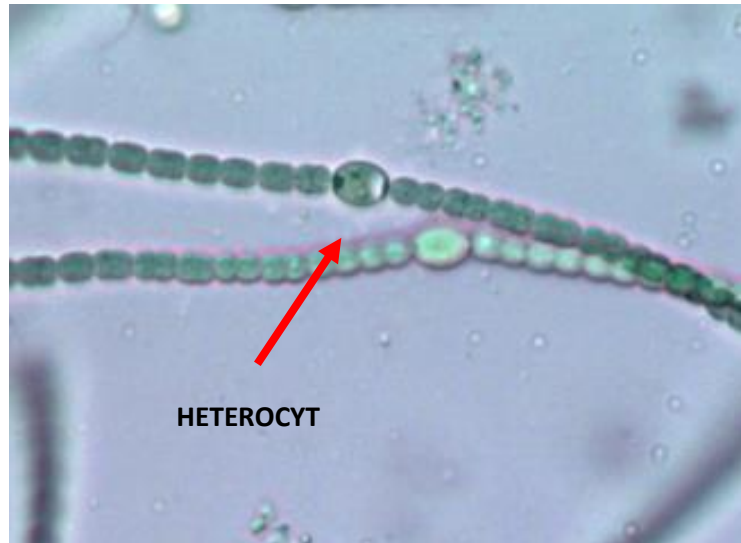
Tyto buňky jsou morfologicky poměrně různorodé. Mohou být větší nebo menší než vegetativní buňky a jsou kulatého, vejčitého, ledvinitého nebo dlouze cylindrického tvaru. Mají tlustou buněčnou stěnu, homogenní obsah a velmi často výrazná cyanoficinová zrnka u pórů (míst kontaktu se sousední buňkou). Heterocyty se mohou diferencovat terminálně nebo interkalárně, což má svůj taxonomický význam. Vývoj heterocytů je odstartován autoregulačním genem *hetR*.

Heterocyty vykazují geny nitrogenové fixace a syntézy nitrogenázy, přičemž enzym nitrogenáza vykazuje vysokou citlivost ke kyslíku, kterým je inaktivována. Kyslík vytvářející fotosystém II v heterocytech chybí a adenosintrifosfát (ATP) je však poskytován funkčním fotosystémem I.

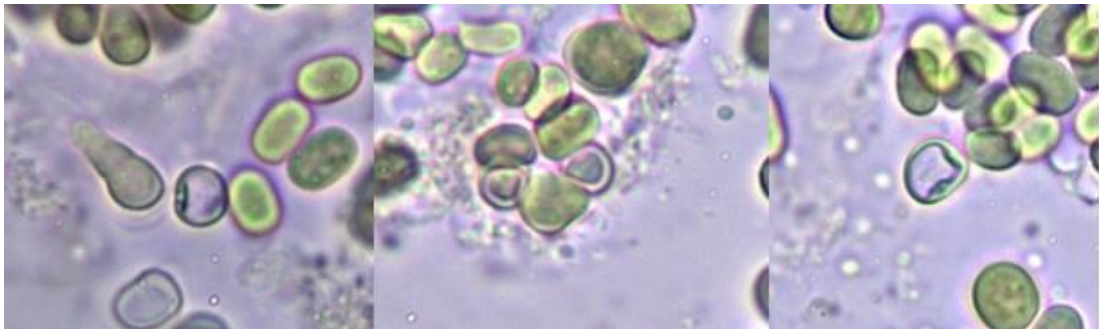
Fixaci dusíku známe i u jiných druhů, které netvoří heterocyty. Jsou to například *Trichodesmium erythraeum*, *Lyngbya aestuarii* atd. Problém deaktivace nitrogenázy kyslíkem je u těchto sinic odstraněn časovým odstupem mezi fotosyntézou a fixací dusíku, která probíhá v noci.

Heterocyty jsou předmětem pozornosti a intenzivních studií, protože poskytují excelentní modelový systém pro studii determinace prokaryotických buněk (Chen *et al.*, 1987a). Detailní data dostupná na ultrastruktuře heterocytu, na ultrastrukturálních změnách, které se odehrávají během diferenciaci heterocytů, a na mechanismech, kterými je heterocyt ovládán, přišly ze studií druhu *Anabaena* (Sharma & Hofsten, 1987). Heterocyty vznikají jako reakce na nedostatek dusíku a jsou místem fixace dusíku v anaerobních podmínkách. Uvnitř poskytují anaerobní mikroprostředí nezbytné pro správnou fyziologickou funkci enzymu nitrogenázy. In vivo jsou heterocyty metabolicky závislé na vegetativních buňkách a ty fixují uhlíkové sloučeniny, které regulují fixaci dusíku (Jensen *et al.*, 1986).

Faktory ovlivňující aktivitu izolovaných heterocytů z *Anabaena variabilis* jsou různé potenciální osmoregulátory (Jensen *et al.*, 1986). Ačkoliv je vývoj heterocytů závislý na podmínkách životního prostředí, obzvláště na příjmu dusíku a metabolismu uhlíku a dusíku (Kohl *et al.*, 1987), schopnost produkovat heterocyty je charakteristická pouze u Nostocales a Stigonematales. Místo vzniku heterocytů v trichomu (terminální nebo laterální, jedno nebo dvou pórové, atd.) a do určité míry také forma heterocytů (obzvláště apikálních) je geneticky určena pro každý rod a druh zvlášť. Konečnou pozici heterocytů můžeme rozlišovat na heteropolární, symetrické, sub-symetrické a metamerické trichomy. Jedná se o charakteristickou vlastnost daných rodů, obzvláště u čeledi Nostocaceae. Četnost heterocytů ve vláknech je závislá na podmínkách prostředí. Ale procesy, díky nimž přibývají nebo ubývají, mohou být u různých rodů odlišné (Schlangstedt *et al.*, 1987).



**Obrázek 5: Heterocyt s cyanoficinovými zrnky**  
(autor: Bc. Tereza Řezáčová)



**Obrázek 6: Heterocyty u kmenu 139/1 (autor: Bc. Tereza Řezáčová)**



### 1.3.3 Akinety

Jsou to nepohyblivé buňky s tlustou buněčnou stěnou. Většinou jsou větší než vegetativní buňky. Obsahují velké množství cyanofycinu (proteinová zrna). Jsou považovány za klidová stádia v životním cyklu sinic a objevují se jen v heterocytózních sinic. Obdobné buňky mohou tvořit i kokální sinice a říkáme jim artrospory.

Jsou odolné vůči špatným podmínkám prostředí, jako je vysychání, trávení ve střevech zvířat a nízké teploty. Nejsou však odolné vůči vysokým teplotám. Akinety mají omezenou metabolickou schopnost včetně omezené fotosyntetické aktivity. Podíl reakčních center fotosystému I vzhledem k fotosystému II je mírně vyšší než ve vegetativních buňkách (Sukenik *et al.*, 2007).

### 1.3.4 Nekrotické disky

Nekrotické disky vznikají odumíráním buněk u vláknitých sinic. Na počátku se rozpadnou trichomy na hormogonie, kratší vlákna nebo dokonce se vytvoří nepravé větvení pomocí sebezničujícího procesu, který začíná ztrátou turgoru, následuje vylití obsahu buňky a nakonec zmenšení a oddělení od sousedních buněk. Na závěr se rozpadnou, natrhnou nebo zbydou jako malý pozůstatek buňky.

### 1.3.5 Aerotopy

Plynové měchýřky, dříve nazývané také jako gas-vezikuly, jsou zpravidla agregované do aerotopů. Plynový měchýř je dutá struktura složená z proteinů. Běžně má formu protažených váčků s kuželovitými zakončeními. Objevují se v pěti skupinách bakterií a ve dvou skupinách archeí. Jsou ale převážně omezené na planktonní mikroorganismy, které se díky nim mohou vznášet ve vodním sloupci. Regulováním poměru obsahu plynových měchýřů jsou vodní mikroorganismy schopny se vertikálně přesouvat. V pomalu rostoucích organismech jsou takové pohyby prováděny efektivněji než pomocí bičíku (*flagellum*). Plynové měchýřky nepropouštějí vodu, ale jsou vysoce propustné pro plyny a běžně vyplněny vzduchem. Je to pevná struktura s nízkou stlačitelností, ale pokud je překročena určitá hranice

tlaku, tak dojde ke zploštění a následně ke ztrátě schopnosti se vznášet. Měchýřky se u každého organismu liší šířkou od 45 do více než 200 nm. Užší plynové měchýřky jsou silnější (mají vyšší kritickou hodnotu tlaku) než širší. Obsahují ale méně prostoru pro plyn na objem stěny a jsou tím pádem méně efektivní pro vznášení.

Průzkum sinic obsahující aerotopy odhalil, že pomocí přirozeného výběru se prosadily ty, které měly co největší možnou šířku měchýřků, kterou jim dovolil tlak prostředí. Velikost aerotopů je hlavně určena buněčným turgorovým tlakem a hloubkou ve vodě, ve které se nachází. Šířka plynových měchýřů je určena geneticky, pravděpodobně díky sekvenaci aminokyselin v obsažených proteinech. Až 14 genů je zapojeno do tvorby gas-vezikul, ale dosud byly viditelně přítomny produkty pouze dvou genů: GvpA a GvpC. GvpA utváří žebra, které formují strukturu. GvpC je napojený na vnější kostry a zpevňuje strukturu proti kolapsu. Evoluce plynových měchýřků je zkoumána ve vztahu s homologiemi těchto proteinů (Walsby, 1994).

Většina planktonických sinic dosahuje maxima svého růstu až v době pozdního léta, je tedy pravděpodobné, že se tyto sinice mezitím rozrůstají na dně vod a jakmile nastanou příznivé podmínky, tak vyplouvají k hladině. Jejich následné shromažďování na hladině v době rozvoje vodního květu je nejspíš adaptací, která vede k potlačení rozvoje řas, které jim konkurují (Rosendorf, 2009).

Tím, že si sinice dokáží aerotopy sami vytvářet v závislosti na abiotických podmínkách, mohou následně regulovat svou polohu ve vodním sloupci. Schopnost migrace ve vodním sloupci během dne a noci se nazývá diurnální vertikální migrace. Migrace k hladině začíná před 15 úsvitem a v odpoledních hodinách dochází k migraci směrem k sedimentu. Mechanismy, které migraci řídí, jsou velmi rozmanité a vyžadují další zkoumání. Předpokládá se však, že sinice, stejně jako další planktonní organismy, aktivně vyhledávají místa s vyšší koncentrací živin. Zvláště ve sladkovodních ekosystémech, kde nedochází k periodickým změnám hladiny, dochází ke vzniku redukčního anoxického prostředí a zvedníkají některé živiny v lépe využitelné formě (Round, 1966).

## 1.4 Rozmnožování sinic

Dělení buněk je u všech sinic podobné. Membrána buněk a vnější vrstvy buněčné stěny (peptidoglykanová vrstva, vnější membrána a S-vrstva) rostou centripetálně k protoplastu. Na závěr se mateřská buňka dělí na dvě dceřiné. Princip dělení sinic se zřejmě liší složením a regulací genů od gram-negativních a gram-pozitivních bakterií. Výzkum tohoto procesu na genetické úrovni je teprve na začátku (Miyagishima *et al.*, 2005).

### 1.4.1 Kokální sinice

Dělicí rovina buněk může jít buď středem, nebo jinou částí buňky:

**Binární dělení** je dělení buňky ve dvě stejně velké dceřiné buňky. Dceřiné buňky rostou do více méně stejné velikosti, jakou měla mateřská buňka, než nastane další binární dělení. Reprodukce se může dít v jedné, dvou nebo třech rozdílných dělicích rovinách procházejících středem buňky a je často charakteristickým znakem pro danou čeleď.

**Nerovnoměrné dělení** se liší od binárního dělení nesouměrným rozestavením dělicích rovin. Následkem toho se v horní části normálně polarizované buňky vytváří malá buňka (spora), která je často ještě napojená k větší části hlavní buňky. Menší buňka zůstává na spojeném místě dělení, roste a dále se rozděluje.

**Mnohonásobné dělení.** Tento druh dělení je spojován s reprodukcí pomocí malých buněk, které se nazývají baeocyty (pohyblivé či nepohyblivé endospory některých sinic)(Waterbury & Stanier, 1978).

Rozlišujeme dva typy:

- a) postupné dělení – rychlá sekvence po sobě jdoucích binárních dělení bez výrazného růstu buňky mezi děleními. Následkem toho tyto malé buňky zůstávají v ochranném plášti mateřské buňky.
- b) souběžné dělení – tento proces je započatý shlukováním malých buněk a jejich jader a následným rozdělením na jednotlivé buňky. Poté se skupiny tylakoidů

seřadí do velkých paralelních formací obklopující jaderné části. Na závěr krajní vrstvy cytoplasmatické membrány společně s vrstvami buněčné stěny rozdělí jaderné oblasti obklopené tylakoidy a tím vytvoří nové baeocyty (Kunkel, 1984).

### 1.4.2 Vláknnité sinice

U vláknitých sinic, které mají pravé nebo nepravé větvení, vždy probíhá dělení příčně k podélné ose trichomu. Dceřiné buňky se běžně dělí a rostou do velikosti mateřské buňky, než se znovu začnou dělit. Rychlé dělení buněk vede k centripetálnímu začlenění nových buněčných stěn, než jsou dokončena předchozí dělení. Následkem toho se utvoří charakteristické úplné, poloviční či pouze částečné formace buněčných stěn v trichomu.

Pro efektivnější šíření se mohou vláknité sinice rozpadnout na pohyblivé (hormogonie) nebo nepohyblivé jednotky. Fragmentace trichomu se objevuje buď pomocí nekrotických disků v heterocytech, nebo interkalárně dělením mezi dvěma vegetativními buňkami. Vláknnité sinice vytvářejí hormocyty a hormogonie na konci vláken nebo rozpadem kompletně celého vlákna. Hormocyty jsou nepohyblivé málobuněčné fragmenty a hormogonie jsou krátké pohyblivé fragmenty trichomů (Komárek & Anagnostidis, 2005). Pohyblivé nebo nepohyblivé jednotky se liší v počtu od pár buněk až po dlouhá vlákna složená ze stovek buněk. V některých případech apikálně vytvořená rozmnožovací jednotka se může skládat pouze z jedné buněčné jednotky – monocyt.

Životní cyklus sinic může být pouze s binárním dělením jednoduchý, jak s odpočinkovými obdobími, tak i bez nich. Složitější jednobuněčné sinice, jako například zástupci řádu Pleurocapsales a odloučené rody jako *Chroococidiopsis*, vykazují složitější cykly, které obsahují produkci specifických šířících jednotek - baeocyty. Mezi vláknitými sinicemi vykazují velmi složité životní cykly zástupci rodu *Nostoc*, při kterém se může několikrát přizpůsobit vlivu prostředí (Mollenhauer, 1986b).

### Formace větvení vláknitých sinic:

Nepravé větvení probíhá u členů rodu Oscillatoriales a Nostocales, které mají ve vláknech jeden trichom v každém ochranném plášti. Trichom se rozpadne, jeden nebo dva jeho konce se vysunou z ochranného pláště na místě prasknutí. Prasknutí může být v heterocytu způsobené nekrotickou buňkou nebo formováním látky podobné intercelulárnímu disku. Nepravé větvení nacházíme nejčastěji u druhů jako *Oscillatoria*, *Spirulina*, *Phormidium*, *Nostoc*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*.

Pravé větvení je přímo způsobené dělením buněk s dělicí rovinou jinou než kolmou k délce osy vlákna. Hlavní druhy se rozlišují na Y, T a V formace. Y formace má počáteční dělicí buňku ve tvaru Y. T formace větví v jedné nebo více sériích vláken s dělicími rovinami počátečních větvících buněk více méně paralelní k podélné ose vlákna. Třetí typ je ve tvaru V a je to dichotomický typ větvení s jednou sérií vláken rozdělující se na dvě větve z jedné buňky. Pravé větvení můžeme nalézt u druhu *Stigonema*.

## **1.5 Diverzita**

Bakterie obývaly Zemi po 3,8 miliard let a život na naší planetě byl mikroskopický po 3,2 miliard let (Schopf, 1994). Během své existence se organismy vyvinuly do neuvěřitelně široké diverzity, ačkoliv značná část téhle diverzity mohla už existovat už v Archeozoiku. Sinice, tím pádem oxygenická fotosyntéza, se vyvinuly přibližně před 2,7 až 2,2 miliard let, přičemž předci sinic jsou mnohem starší. S ohledem na vysoké stáří se sinice jako skupina diverzifikovaly a postupně se adaptovaly na nově vznikající biotopy na Zemi (Blank, 2004). Skrze fotosyntézu (Blankenship, 1992) byly sinice zodpovědné za podstatné okysličení atmosféry země (Buick, 1992), což umožnilo rozvoj aerobních forem života. V rámci fototrofních organizmů jsou sinice poměrně unikátní. Kromě oxidu uhličitého jsou sinice schopny fixovat plynný dusík. Tento jev není v přírodě až tak častý. V průběhu štěpení molekuly N<sub>2</sub> se spotřebovává velké množství ATP, tudíž sinice tuto cestu přednostně nevyužívají. Přes svoji drobnou stélku sinice představují významné primární producenty (Karl *et al.*, 2002). Sinice jsou podstatnými účastníky v současných a bývalých ekosystémech Země. Pro pochopení evoluce života bio-geo-chemických

cyklů na Zemi jsou znalosti o ekologii a evoluci sinic nutností. Tyto organismy úspěšně kolonizovaly téměř všechna osvětlené prostředí na Zemi, mnohé z nich jsou považovány za nepříznivé pro život, jako jsou termální prameny atd. Sinice přizpůsobené extrémním podmínkám často hrají velmi důležitou roli daného biotopu.

Jako monofyletická skupina uvnitř říše Bacteria, sinice jsou velmi pestré, jak morfologicky, tak fyziologicky. Jsou také výjimečné, protože některé druhy jsou schopné diferenciaci buněk, což je mezi prokaryoty jedinečné. Mnohé druhy vykazují nevšední flexibilitu a přizpůsobují se široké škále životních podmínek, to je přidružováno k jejich metabolické přizpůsobivosti (Stal, 1991).

### 1.5.1 Diverzita barev

Modro-zelený vzhled sinic je způsoben dvěma typy pigmentů: chlorofyl **a** a fykobiliproteiny, které vytváří struktury na fotosyntetických membránách (tylakoidy), nazývané fykobilizómy. Ty slouží pro zachycování velmi nízkých intenzit ozáření pro zachování běhu fotosyntézy. Nasbírané světlo je sesláno do fotosyntetických reakčních center a je užíváno k elektronovému transportu. Sběr světla je důležitým procesem téměř všech sinic a fykobiliproteiny tím pádem hrají zásadní roli. Sinice prošly obrovskou diverzifikací svých světlo-sběrných antén a pojem „modro-zelené bakterie“ není příliš pravdivý, protože paleta barev, která charakterizuje tuhle skupinu organismů, je mnohem pestřejší. Rozsah barev dovoluje díky pigmentaci život na různých biotopech a také díky rozmanitosti barev mohou někdy dva druhy koexistovat ve stejném prostředí (Stomp *et al.*, 2004).

V základu existují tři druhy fykobiliproteinů: allofykocyanin, fykocyanin a fykoerythrin. Tyto proteiny jsou organizovány ve skupinkách, které utváří fykobilizóm (Grossman *et al.*, 1993). Allofykocyanin (absorbuje maximální vlnovou délku světla 650 nm) utváří základ těchto skupinek a je přítomný ve všech fykobilizómech i v malém množství. Fykocyanin (absorbuje maximální vlnovou délku 620 nm) je spojen s allofykocyaninem. Pigment fykocyaninu je modrý fykocyanobilin (PCB). V jednom případě vykazoval fykocyanin schopnost obsahovat přídavný chromofor fykorobilin (PUB), který je jindy pouze ve fykoerythrinu (absorbuje maximální

vlnovou délku světla 565 nm)(Swanson *et al.*, 1991). Červené chromofory fykoerythrinu jsou PUB a fykoerytrobilin (PEB).

Fykocyanin může být ve velkém nahrazen fykoerithrinem, následkem toho má sinice červenou barvu. Sinice, které obsahují oba dva pigmenty ve stejném množství, mohou být zbarvené hnědě, nebo téměř černě. Některé jsou schopny dodatečné barevné adaptace a mohou aktivně měnit množství nebo poměr zastoupení fykocyaninu a fykoerythrinu podle toho jaké části světelného spektra jsou zrovna vystaveny (Tandeau de Marsac, 1977). Sinice vytváří více modrého fykocyaninu, když jsou vystaveny červenému světlu a více červeného fykoerythrinu, když jsou vystaveny zelenému světlu. Fykoerytrocyanin (absorbuje maximální vlnovou délku 570 nm) je další fykobiliprotein, který byl zjištěn u několika sinic, ale je poměrně vzácný a obsahuje neobvyklý chromofor (Bryant *et al.*, 1976).

Fykoerythrin vykazují značné množství diverzity. Obsahují buď PUB a PEB nebo pouze PEB. Na základě složení chromoforu obsahuje fykoerythrin různé spektrální vlastnosti. Ke všemu relativní množství PUB a PEB se mohou měnit pro optimalizaci sběru světla. Fykoerythrin obsahující vysoké množství PUB by byl lépe přizpůsobený modrému světlu, jaké je v otevřeném oceánu (Palenik, 2001). Přičemž sinice bohaté na PEB jsou lépe uzpůsobené na světlo, které se převážně vyskytuje na pobřežních vodách. Tento druh barevné adaptace je zcela odlišný od dříve zmíněných doplňkových adaptací. Barevné změny v sinicích mohou být ovládnány typem fytochromů, které se chovají jako receptory a detekují změny ve světelném spektru (Kehoe & Grossman, 1996). PUB chromofor přenáší světelnou energii do PEB (Swanson *et al.*, 1991). Ačkoliv u mořských diazotropních sinic *Trichodesmium erythraeum* je tento převod neefektivní. Je známo, že poměr PUB a PEB slouží jako přepínač, který moduluje převod energie do fotosystému II, čímž chrání nitrogenázu před fotosyntetickou inaktivací kyslíkem (Subramaniam *et al.*, 1999).

Některá Prochlorophyta (*Prochlorococcus*, *Prochloron*, *Prochlorothrix*) postrádají fykobilizomy a fykobiliproteiny a mají docela jinou pigmentovou kompozici. Jednobuněčný *Prochloron didemni* (Lewis & Withers, 1975) a vláknité druhy *Prochlorothrix hollandica* (Burger-Wiersma *et al.*, 1989) obsahují chlorofyl **a** a

**b**, *Prochlorococcus* obsahuje divinyl deriváty chlorofylu **a** a **b** (Goerick & Repeta, 1992). *Prochlorococcus* je miniaturní jednobuněčný druh známý jako nejvíce rozšířený fototrofní organismus v oceánu (Chisholm *et al.*, 1988). Některé skupiny *Prochlorococcus* mohou produkovat velmi malé množství fykoerythrinu (Hess *et al.*, 1996). Funkce tohoto fykoerythrinu není jasná, ale mohl by být zapojený do sběru světla, i když už bylo uvažováno nad tím, že by mohl sloužit jako fotoreceptor (Mullineaux, 2001).

Fykocyaniny termofilních sinic mohou být odlišné od těch, které mají mezofilní organismy (Samsonoff & MaColl, 2001). Tyto fykocyaniny vzdorují termální denaturaci lépe než pigmenty z mezofilních geneticky odlišných skupin stejného druhu. Fykocyanin termofilního *Synechococcus lividus* má absorpční spektrum posunuté spíše k modré (absorbuje maximální vlnovou délku 608 nm místo 620 nm). Změněné absorpční maximum může být důsledek změn struktur proteinů, který způsobuje vyšší termo-stabilitu. Termofilní sinice s nižší optimální teplotou jako je *Phormidium terebriforme* obsahují fykoerythrin. Posun k modrému absorpčnímu světlu může být reakce na nedostatek fykoerythrinu, jak je známo u *S. lividus*.

### **1.5.2 Diverzita tvaru a velikosti**

Sinice vykazují obrovskou morfologickou diverzitu, která vždy byla základem taxonomie této skupiny organismů. Na základě jejich morfologie a charakteristik dělení buněk jsou sinice rozděleny do pěti podskupin, které jsou z velké části podporovány analýzou genu 16S rRNA (Wilmotte & Herdman, 2001). Kokální sinice jsou seskupeny ve dvou hlavních podskupinách I a II. Kokální *Gloeobacter violaceus* má výjimečné postavení v systému, protože se jedná o morfotyp sinice postrádající klasické thylakoidy (Rippka *et al.*, 1974). Z hlediska vývoje považujeme tento druh za nejprimitivnější a vývojově nejpůvodnější. Jeho kořeny z hlediska fylogeneze zasahují do podskupiny I. Sinice v podskupině I se dělí binárním dělením, zatím co v podskupině II mohou procházet mnohanásobným dělením. Sinice patřící do podskupiny II mohou vytvářet velké počty velmi malých dceřiných buněk, baeocytů, které následně dorostou do buňky normální velikosti.



Vláknité sinice jsou ve skupině III-V. Podskupina III se skládá ze všech vláknitých sinic, které mají všechny jeden stejný typ buňky (Oscillatoriales). Podskupiny IV a V obsahují vláknité sinice, které vykazují odlišné typy buněk, což je vzácný fenomén mezi prokaryoty. Všechny sinice patřící do podskupin IV a V jsou schopné fixovat vzdušný dusík. Tato fixace se odehrává ve specializovaných buňkách – heterocytech (5-10% buněk vlákna). Heterocyty nerostou ani se nedělí. Mnohé druhy patřící do těchto podskupin, jsou také odlišovány pomocí akinet – buňka, která je schopná přežít nepříznivé podmínky (chlad, nutriční deficit a jiné) (Adams & Duggan, 1999), a hormogonií – krátké pohyblivé neheterocystní trichomy s malými buňkami, které pomáhají rozšíření dané sinice. Akinety vyklíčí, když jsou podmínky vhodné pro rozmnožování. Není přesně známo, jak dlouho jsou schopné akinety přežít, ale byla zjištěna životaschopnost po několika dekadách v úplném suchu. Sinice v podskupině V se odlišují od podskupiny IV pravým větvením vláken, plynoucí z dělení buněk ve více než jedné rovině.

Velikost buněk tvořící sinice je velmi různorodá. Kokální piko sinice (*Prochlorococcus* a *Synechococcus*) patří k nejmenším sinicím. *Prochlorococcus* má buňky o průměru menší než 0,5  $\mu\text{m}$  (Chisholm *et al.*, 1988). Piko sinice jsou běžně definované jako organismy s průměrem buněk < 2  $\mu\text{m}$ , ale v praxi tento limit ne vždy souhlasí s fylogenezí 16S rRNA genů. Organismy s většími buňkami jsou tedy zahrnuty ve skupině piko sinice. Tito zástupci se hodně vyskytují v planktonu. *Prochlorococcus* se objevuje pouze v oligotrofních mořských prostředích (oceány, středozemní moře, rudé moře), zatím co *Synechococcus* lze najít jak ve sladké, tak ve slané vodě a také v prostředích bohatých na živiny.

Piko sinice byly také nalezeny v bentickém hypersalinním prostředí (Abed *et al.*, 2002). Tyto nekultivované „pikobentické“ sinice jsou velké 0,75 – 1  $\mu\text{m}$  a vyskytují se v koloniích podobných *Gloeocapsa*, ale nezdají se být příliš blízce příbuzné k jakémukoliv jinému druhu sinic. Dodnes není známo, jak moc jsou rozšířené a jaká je jejich funkce v bentickém porostu.

Existují kokální sinice s průměrem buněk větších než 30  $\mu\text{m}$ . Buňky sinic podskupiny II (Pleurocapsales), jako jsou *Dermocarpa* a *Hyella*, mohou dosahovat

velkých rozměrů, obzvláště těsně před mnohonásobným dělením sloužícím k produkci baeocytů. Tyto drobné buňky mohou být přes mikroskopické sledování zaměněny za piko sinice. Piko sinice mají malé genomy a jsou specialisté. Obzvláště nejmenší piko sinice *Prochlorococcus* s velikostí genomu od 1,6 – 2,4 Mbp a jsou uzpůsobeny ke specifickým životním podmínkám v prostředích, kde prosperují, zatímco o trochu větší *Synechococcus* spp. může být všestrannější. Důležitá výhoda malých buněk je velký poměr povrchu a objemu, což zvyšuje afinitu pro živiny a může být na ni pohlíženo jako na adaptaci pro život v prostředí s omezeným množstvím živin.

Mnohé sinice vykazují velmi vysokou organizovanost. Endolitická sinice *Hyella* z podskupiny II utváří velmi složité a velké struktury s pseudofilamenty uvnitř kalcitu na pobřežích a na dolomitech na mořských pobřežích (Lukas & Golubis, 1983). Funkce této složité mnohobuněčné struktury není zatím zcela jasná, ale spekuluje se nad tím, že by mohla sloužit ke kontaktu nejnvnitřnějších buněk s vnějším prostředím.

*Merismopedia* je charakteristická dobře organizovanými destičkovitými koloniemi obsahujícími osm až šedesát čtyři buněk. Mechanismem dělení je podobná jednobuněčnému rodu *Synechocystis* (Palinska *et al.*, 1996). Ačkoliv v kulturách se destičkové formace často ztrácejí, tak v přirozeném prostředí se zdají být přirozenou stabilní vlastností. Kolonie se utváří binárním dělením buněk ve dvou rovinách kolmých k sobě. *Eucapsis* je rod, který se liší dělením buněk ve třech rovinách a tvoří kubické agregáty. *Merismopedia* se často vyskytuje v bentických prostředích především v mikrobiotických hustých porostech. Formace destičkových kolonií může mít ekologické výhody. Kolonie se mohou pohybovat za světlem nebo od světla, podle situace, zda ho potřebují více či méně. Příbuzný rod *Microcystis* je kokální sinice vyskytující se převážně v planktonu tvoří kolonie. Dělení buněk v tomto organismu probíhá ve třech rovinách a tvoří velké nepravidelné kolonie rozličného tvaru. *Microcystis* má také plynná tělíska (měchýřky, gas vesikuly, aerotopy), díky kterým se udržuje v daném vodním sloupci. Tahle strategie je výhodná, protože dovoluje získat více světla než jiným fototrofním organismům, které plynové měchýřky postrádají, i přes to že syntéza plynových měchýřků je více metabolicky náročná (Walsby, 1994).

Rychlost vznášení záleží na velikosti buňky (nebo kolonie). Přesunout se určitou vzdálenost ve vodním sloupci by trvalo malým buňkám *Microcystis* mnohem déle než koloniím, které obsahují několik desítek až stovek buněk. Stejná výhoda mohla být připisována agregátům pikosinic. Spojování drobných pikosinic do agregátů je způsobeno vylučováním extracelulárních polymerických substancí (EPS). Vylučování EPS je často spuštěno nevyváženým růstem, což je způsobené deficitem živin. Jiné jednobuněčné sinice, které utvářejí dobře strukturované kolonie, jsou například *Gloeocapsa* a *Gloeotheca*. První zmíněná sinice se často nachází v mikrobiotických hustých porostech, zatímco *Gloeotheca* utváří biofilm na jeskynních stěnách skládajících se z uhličitánů. Tvorba agregátů s buňkami zapuštěných v hlenovité půdě může být důležitá adaptace pro přežití v takových bentických či suchozemských prostředích. Živná půda vytvořená z EPS může uchovávat vodu, čímž dovolí organismům přežít období sucha (Potts, 1994). EPS také na sebe váže živiny, imobilizuje toxické látky, chrání před vysokým zářením a může mít i další výhody pro organismy.

Trichom vláknitých sinic vykazuje širokou škálu velikostí až přes dva řády. Může být menší než 1  $\mu\text{m}$  nebo dokonce větší než 50  $\mu\text{m}$ . Mezi nejtenčí sinice patří *Halomicronema*, dále pak halofilní, středně termofilní sinice *Pseudanabaena*, známá z pelagických a bentických prostředí, *Schizothrix* pocházející z mořských mikrobiologických hustých porostů a další sinice podobné rodu *Phormidium*.

*Lyngbya* patří mezi nejrobustnější sinice. Byli nalezeni jedinci, kteří měli trichomy široké až 50  $\mu\text{m}$ . Tyto sinice se převážně objevují v bentických prostředích utvářejících husté porosty na různých pobřežních sedimentech. Byly rovněž objeveny jako epifyty a také byl jejich výskyt zaznamenán na korálech. Trichomy takto velkých sinic mohou být dlouhé několik milimetrů nebo dokonce centimetrů. Mnohé druhy mají velmi tlusté mnohvrstevné a dobře strukturované vrstvy slizu v podobě slizové pochvy.

*Microcoleus chthonoplastes* je kosmopolitní sinice tvořící ploché kolonie porůstající pevné podklady, které jsou charakteristické tvorbou svazků vláken, které jsou uzavřené v dobře strukturovaném slizovém obalu (Garcia-Pichel *et al.*, 1996). Jeden svazek může obsahovat až sto individuálních vláken a velké svazky mohou být

rozvětveny. Funkce těchto svazků *Microcoleus* není jasná a v kulturách se často vytrácejí. S největší pravděpodobností tyto svazky poskytují mikroprostředí, které udržuje vodu a živiny a zároveň ochraňuje organismus před vysušením a před světlem. V mnohých případech byla uvnitř svazku nalezena vláknitá anoxygenní fototrofní bakterie *Chloroflexus* (Ley *et al.*, 2006). Role těchto bakterií, ať už výhodná či nikoliv, není přesně známá. Individuální trichomy druhu *M. chthonoplastes* se pohybují pomocí klouzavého pohybu a bylo vypořádáno, že vyjíždějí ze společného slizového obalu. Jestli se mohou aktivně pohybovat do stávajícího svazku, není známo. Jiné příklady sinic, které utvářejí zřetelné struktury, jsou například *Rivularia*, patřící do podskupiny IV, které utváří kalcifikované bentické struktury v mořských prostředích a tekoucích vodách (Whitton, 1987).

Terestriční zástupci rodu *Nostoc* jsou dalším příkladem sinic podskupiny IV s makroskopickými strukturami, které mu dovolují žít a přežít v extrémních podmínkách vyprahlých prostředí (Mollenhauer *et al.*, 1999).

Mnohé vláknité planktonní sinice se organizují do kolonií nebo uzavírají do obalů. To je případ mořské N<sub>2</sub> fixující sinice *Trichodesmium*, která vytváří válcovité nebo protáhlé agregáty (Davis & McGillicuddy Jr., 2006). Podobné agregáty vytváří ve smíšených (brakických) vodách i heterocystní sinice *Nodularia* a sladkovodní *Aphanizomenon* (Walsby *et al.*, 1997). Funkce těchto agregátů je podobná těm popisovaných dříve u kokální *Microcystis*.

### 1.5.3 Vodní květ

Vodní květ vzniká v důsledku přemnožení planktonních skupin sinic zejména v letním období. K tomuto přemnožení dochází ve vodách, kde je nadbytek dusíkatých a fosforečnanových živin. Společenstvo vodního květu tvoří hlavně druhy rodu *Anabaena*, *Microcystis*, *Aphanizomenon* a *Planktothrix*. V našem mírném pásu jsou nejčastější vodní květy v době od konce května a většinou vytrvají až do října. Největší rozrůstání vodního květu je obvykle v srpnu. Na podzim se vlivem nízké teploty koncentrace buněk ve vodě snižuje. Sinice a řasy pomocí svých klidových stádií přečkají nepříznivé podmínky v bahně. S příchodem jara, v době míchání vodních

mas, jsou tato stádia vyplavena k hladině a dávají tak vznik novým populacím. Napomáhají jim v tom právě aerotopy, případně velmi malý objem buněk.

Díky aerotopům mají sinice schopnost stoupat k vodní hladině a zde se mohou hromadit buď ve formě zelených kašovitých povlaků a vrstev, nebo jako drobné, až několik milimetrů velké částičky v podobě jehliček a vloček. Vyskytují se jak ve stojatých, tak pomalu tekoucích vodách. Pro vodnokvěté sinice je známý fenomén cirkadiální migrace, kdy změnou pozice ve vodním sloupci putují za optimálním ozářením, za vyšší koncentrací živin, popřípadě unikají predačnímu tlaku. Sinice produkují toxiny, které mohou způsobovat zdravotní potíže. Kromě toho dochází při rozkladu biomasy k hnilobným procesům, které vyčerpávají kyslík a může dojít k produkci dalších toxinů (Hindák, 2001).

Cyanotoxiny patří mezi sekundární metabolity a jsou biologicky aktivní. Mohou také fungovat jako určitý druh komunikace jako signální molekuly. Cyanotoxiny mohou také působit za účelem potlačení růstu konkurenčních autotrofních organismů, v období rozvoje vodního květu dochází k výrazné dominanci sinic.

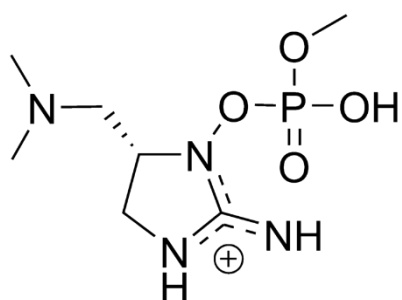
Toxiny, které produkují sinice, nejsou zdaleka tak toxické jako například bakteriální botulin (*Clostridium botulinum*) nebo toxin tetanu (*Clostridium tetani*). Kdybychom je srovnávali s rostlinnými alkaloidy, jsou toxičtější. Například s kurare nebo strychninem (Maršálek *et al.*, 1996). Jejich toxicitu můžeme srovnat s hadími toxiny.

Z chemického hlediska se rozlišují cyanotoxiny na bázi alkaloidů, cyklické a lineární peptidy a lipopolysacharidy. Z hlediska biologické aktivity můžeme cyanotoxiny dělit na hepatotoxiny, neurotoxiny, imunotoxiny, imunomodulanty, mutageny a genotoxiny, embryotoxiny a cytotoxiny (Maršálek, 2002). Mezi nejznámější toxiny patří například anatoxin-as, mikrocystin LR, cylindrospermopsin, kyselina doomová atd.

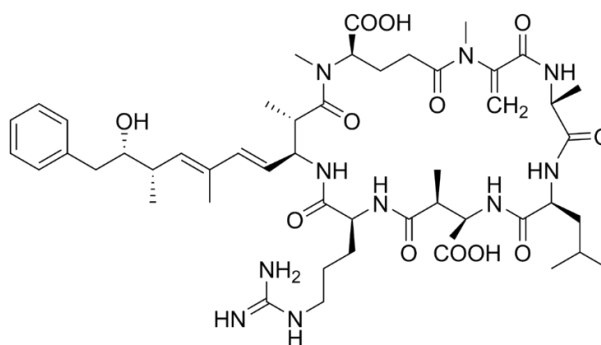
Nejběžnější neurotoxiny, hepatotoxiny jsou vylučovány hlavně druhy rodu *Microcystis*, *Anabaena flos-aquae*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Planktothrix rubescens* a *Trichodesmium*. Cytotoxiny nepůsobí smrtelné otravy, mají pouze

selektivní účinek na bakteriální, houbové a jiné buňky. Člověk je využívá jako cytotoxická antibiotika s protinádorovými účinky.

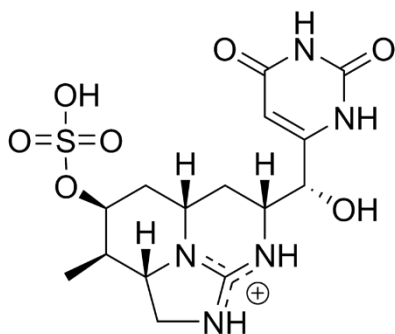
Cyanotoxiny se mohou dostat do organismu buď požitím vody, nebo jen kontaktem s vodou. Následkem kožního kontaktu mohou být alergie, záněty spojivek a bronchitidy. Není moc zaznamenaných případů otravy člověka, ale spíše skotu díky kontaminované vodě. Úhyny skotu jsou známé ze stepních oblastí Austrálie, Ukrajiny, Spojených států a jižních oblastí Ruska (Kalina & Váňa, 2005).



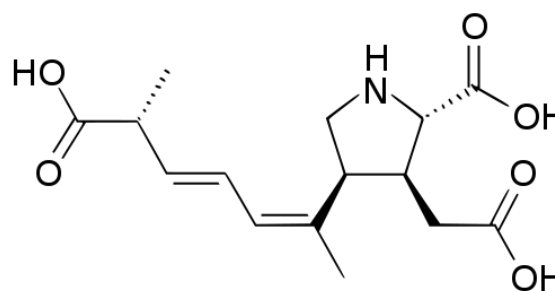
Obrázek 7: Anatoxin-as [4]



Obrázek 8: Mikrocystin LR [5]



Obrázek 9: Cylindrospermopsin [6]



Obrázek 10: Kyselina doomová [7]

## 1.6 Rozšíření sinic

Sinice s ohledem na jejich stáří měly dostatek času se úspěšně adaptovat na širokou škálu habitatů. Nacházíme je prakticky kosmopolitně vyjma několika typů extrémních habitatů, jako jsou extrémně kyselá jezera apod. Spousta mikroskopických sinic žije v extrémně vysokých teplotách  $> 70^\circ$ , jako jsou pouště, geotermální prameny (např. *Synochococcus bigranulatus*, *Komvophoron jovis*). Mohou žít v mrtvém moři, kde je koncentrace soli 7x vyšší než v oceánech. A ve vysoce kyselých nebo extrémně zásaditých podmínkách. Mohou žít i ve sněhu (např. *Leptolyngbya nigrescens*).

Takové extrémní podmínky pro ně mohou být buď optimální (plná adaptace), nebo omezující pro jejich růst. Náhlé změny v prostředí má běžně dva druhy reakcí. Změny v jejich metabolismu a biochemického složení nebo změny v jejich morfologické struktuře. Ke všemu se můžou změnit důležité pochody v jejich životním cyklu.

Kyslíkaté fototrofní mikroorganismy jsou často nalezeny v prostředí s extrémními teplotami, hodonotou pH, koncentrací soli a radiací. Tyhle extrémní fototrofy obsahují jak sincipie, tak jiné typy řas.

Prokaryotické sinice patřící do eubakteriální domény nevlastní viditelný nukleus a nemají orgány obklopené intracelulární membránou. V dnešní době je převážně akceptováno, že prokaryotické buňky se vyvinuly ve složitější eukaryotické organismy pomocí procesu nazývaný – eukaryogeneze (Seckbach & Oren, 2007).

### 1.6.1 Termofilní fototrofové

Již Charles Darwin přišel s teorií, že život vznikl v „malém teplém rybníku“ (Davies, 1999). V dnešní době se předpokládá, že první prokaryotické buňky vznikly v teplých prostředích, i když fotosyntéza není zdánlivě kompatibilní s velmi vysokými teplotami (Seckbach, 1996). Zatím Archea jsou schopna existence v teplotách kolem  $114^\circ\text{C}$  a pravděpodobně i ve vyšších. Některé heterotrofní eubakterie mohou růst až v  $95^\circ\text{C}$ , přičemž tolerance sinic byla prokázána přibližně do  $74^\circ\text{C}$ . Takové termofilní druhy se hojně vyskytují v horkých pramenech po celém světě (Ward &

Castenholz, 2000). Fotosyntetické eukaryotní organismy jsou ještě méně tolerantní. Nejvyšší teplota podporující fotosyntézu eukaryot je 57 °C, což je stejné rozpětí jako maximální teplota umožňující růst prvoků a hub.

Existence termofilních sinic byla zdokumentována v průběhu mikrobiologické charakterizace horkých pramenů. Poprvé v Yellowstone National Park, Wyoming, USA (Copeland, 1936; Brock, 1978) a později v jiných geotermálních oblastech po celém světě. Mnohé geotermální prameny vypouštějí vodu blízko bodu varu. Postupné ochlazování vody ve výtoku pramenů přináší stabilní teplotní gradient, ve kterém se rozmisťují populace mikroorganismů podle svých teplotních požadavků, přičemž jako optimum růstu sinic bylo stanoveno 73 – 74 °C.

Různé druhy jednobuněčných sinic jako *Synechococcus* (*Thermosynechococcus*) jsou nejvíce termofilní. Mezi komunitami nalezenými v horkých pramenech existují rozdíly: termofilní *Synechococcus* (*Thermosynechococcus*), hojně se vyskytující v Yellowstonu, nejsou v horkých pramenech na Islandu (Ward & Castenholz, 2000).

Vláknité sinice jsou méně termotolerantní: *Mastigocladus laminosus*, *Phormidium* spp. a jiné termofilní *Oscillatoria* mají svůj horní teplotní limit pro růst mezi 55 – 62 °C. Některé termofilní sinice jako například *M. laminosus* (horní teplotní limit 58 °C) a *Chlorogloeopsis* HTF (horní teplotní limit 64 °C) mají schopnost fixovat dusík. Hlubkový přehled ekologie, taxonomie a fyziologie termofilních sinic vytvořili Ward a Castenholz (2000).

## 1.6.2 Psychofilní fototrofové

V Arktických a Antarktických pásech se povrchové vrstvy moře teplotou blíží k bodu mrazu. Navzdory nízkým teplotám vody se může vytvořit velmi hustý fytoplankton s poměrně vysokou primární produkcí. Aktivní fotosyntetické komunity se také nachází v oblasti Antarktidy, jak v ledu, tak na něm, ve sladké vodě a solných jezerech a pramenech, dokonce pod kameny či uvnitř nich. Mimo to existují chladná prostředí i v mírném pásu ve vyšších nadmořských výškách.



Diverzita fotosyntetických mikroorganismů, které žijí v chladných prostředích, je překvapivě velká. Nízké teploty zdánlivě nezpůsobují žádné zvláštní problémy pro funkci kyslíkové fotosyntézy. Autotrofní mikroorganismy, jak prokaryotické stejně jako eukaryotické, jsou schopny díky regulaci složení lipidů ve svých membránách měnit svoji fluiditu, což jim pomáhá přizpůsobit se okolním proměnlivým teplotám a mohou fungovat tak dlouho, dokud jejich cytoplasmatická voda nezmrzne (Seckbach & Oren, 2007).

Významné množství informací o životě sinic z chladných prostředí bylo získáno na Antarktidě (Vincent, 2000). Byla nalezena široká škála druhů jak jednobuněčných, tak vláknitých. Například rozsáhlé oblasti ledního šelfu McMurdo jsou pokryty hustým porostem rodu *Oscillatoria* společně s rodem *Nostoc*. Bentické porosty lemující dna ledem pokrytých louží v různých oblastech Antarktidy jsou složeny z rodů jako *Oscillatoria*, *Lyngbya*, *Phormidium* a *Microcoleus*.

Sinice jsou nalezeny ve všech sladkých vodách Antarktidy. *Phormidium* a *Synechococcus* jsou četné v jezeře Vanda. *Leptolyngbya frigida* se utváří v jezerech oblasti Dry Valleys někdy společně s *Lyngbya martensiana*. Dusík fixující druh *Nostoc commune* se hojně vyskytuje v půdě Antarktidy. Pod antarktickými skalami a v jejich prasklinách může být často nalezen *Chroococcidiopsis* (Grilli-Cailola & Billi, 2007).

Antarktické sinice nejsou pravými psychrofilny, protože většina nalezených druhů roste optimálně v teplotách o hodně vyšších než v polárním prostředí, typicky v rozsahu 15 až 35 °C. Rychlost jejich růstu v chladných polárních regionech je tím pádem velmi nízká. Jejich přežití je z velké části založeno na odolnosti vůči vysychání a mraznutí, přizpůsobivosti k nízkým výživovým hodnotám, častému vysokému osvětlení a UV radiaci a menšímu počtu jejich predátorů. Ve vodních prostředích Antarktidy a Arktidy jsou sinice vzácné (Vincent, 2000). Tzv. kryoseston je společenstvo řas a sinic, které se vyvíjí na sněhu a zabarvuje ho červeně, žlutě nebo zeleně. Vyvíjí se jen v letním období, to znamená v době, kdy je na povrchu ledovců nebo v přetrvávajících sněhových polích dostatek vody. Tyto řasy tedy vlastně rostou ve vodním prostředí obklopeném ledem a sněhem. Je samozřejmé, že musí být adaptovány nejen na nízké teploty a rychlé přechody ze zmrzlého do vegetačního

stavu, ale i na silné záření. U řady druhů vznikají v buňkách ochranné karotenoidy a jiné pigmenty, které překrývají chlorofyl, a výsledná barva buněk i celého společenstva je žlutá, oranžová nebo sytě červená (např. *Leptolyngbya nigrescens*). Dalším extrémním výskytem mohou být například geotermální a ledovcové potoky. Vhodným nalezištěm může být ostrov Jamese Rosse a celá oblast kolem Antarktického poloostrova je svým horním úsekem potoka typická pro převládající sinice *Leptolyngbya fritschiana* a na středním toku se vyskytuje zvláštní morfortyp *Nostoc commune* a *Phormidium autumnale* (Komárek, 2008).

### 1.6.3 Halofilní fototrofové

Vysoká koncentrace anorganických solí nevylučuje výskyt autotrofních organizmů, přičemž některé mohou tolerovat až přesycené roztoky. Právě halofilní nebo vysoce halotolerantní organismy mohou být nalezeny v doménách prokaryotních bakterií i eukaryotních. Halofilní sinice stejně tak jako halofilní eukaryotické řasy přispívají primární produkcí v solných jezerech (Javor, 1989).

Sinice se objevují převážně mezi fototrofními organismy žijícími ve vysoce slaných prostředích jako solná jezera, solné laguny a solné pláně. Mnohé druhy, které žijí ve slaných prostředích, tolerují sůl a dokonce ji některé druhy vyžadují. V takovém prostředí můžeme nalézt jak kokální, tak i vláknité sinice (Javor, 1989). Obecný přehled výskytu a vlastností halofilních sinic byl naposledy prezentován Orenem (2000).

Jedna z nejrozšířenější vláknitých druhů je *Microcoleus chthonoplastes*, bentický druh, který tvoří kobercové povlaky. Vyskytuje se po celém světě v prostředích o salinitě 200 g/l a vyšší (Javor, 1989). Jeho trichomy jsou běžně schovány ve více vrstvách slizových obalů. Hloubková taxonomická studie jedinců *Microcoleus* sesbíraných z celého světa dokazuje, že existuje jeden kosmopolitní druh s obrovskou schopností přizpůsobit se široké škále salinity (Garcia-Pichel *et al.*, 1996). Další druh vláknitých sinic velmi rozšířený v prostředích s vysokou salinitou je *Halospirulina tapeticola* (Nübel *et al.*, 2000). Nejvíce rozšířená a zároveň nejznámější kokální halofilní sinice je *Aphanothece halophytica* (také známá pod spoutou jiných jmen, například *Coccochloris elabens*, *Cyanothece*, *Halothece* a další).

Pokusy o přezkoumání výskytu sinic ve vysoce slaných prostředích jsou narušovány současným matoucím stavem pojmenování sinic (Oren, 2000). Nedávné pokusy o aplikaci moderního přístupu ve studiu taxonomie, včetně molekulárních metod, přinesly jistou přehlednost oproti předchozímu zmatku, především v charakterizaci *M. chthonoplastes*, skupiny *Aphanothece* (*Cyanothece*, *Halothece*)(Garcia-Pichel *et al.*, 1998) a *Halospirulina* (Nübel *et al.*, 2000).

V jezeře Great Salt Lake (Utah, USA) jsou sinice charakteristickou součástí jeho bioty. *A. halophytica* se nachází až v prostředí s nejvyšší salinitou. Ke všemu byly vláknité rody jako *Phormidium* nebo *Oscillatoria*, stejně tak jako *Microcoleus*, *Spirulina* a *Nodularia* nalezeny v plytkých sedimentech jezera (Post, 1977). V Mrtvém moři (Izrael) však sinice tvoří podstatnou součást bioty. Rozmanitá komunita sinic, jak kokálních, tak vláknitých, byla objevena ve velmi slaném jezeře Solar Lake (Sinai, Egypt)(salinita 80-180 g/l), jak ve vodním sloupci, tak v bentických mikrobiálních porostech (Cohen *et al.* 1977). Solné pláně jsou také bohatým zdrojem halofilních sinic (Javor, 1989). Hlavní součástí této komunity jsou obvykle *M. chthonoplastes*, které utváří koherentní (souvislý) vysoce produktivní porost.

Ve vyšších salinitách se někteří zástupci rodů *Phormidium*, *Spirulina*, *Aphanothece* a *Synechococcus* stávají dominantní (Javor, 1989). Obzvláště zajímavé jsou vrstvené komunity sinic uvnitř sádrovce v solných jezerech střední salinity (Sørensen *et al.*, 2004). Horní vrstva obsahuje *Aphanothece* (*Cyanothece*), který je pevně usazený v mukózní látce tvořící žlutohnědou barvu dna jezer. Pod zelenou vrstvou se hlavně nachází vláknitá sinice *Phormidium*.

Halofilní a halotolerantní sinice si udržují svou intracelulární koncentraci iontů na relativně nízké úrovni, ačkoliv ionty jako  $K^+$  a  $Cl^-$  mohou při zvýšení úrovně salinity přechodně vstoupit do buněk. Aby bylo možné dosáhnout stejné salinity na obou stranách buněčné membrány, musí se na ní nahromadit dostatečné množství organických rozpouštědel. Druhy, které jsou méně odolné vůči salinitě, obvykle využívají disacharidy (například sacharózu a trehalózu) jako osmotická rozpouštědla (Reed *et al.*, 1986). Mnohé vodní a halofilní druhy, včetně hojně se vyskytujícího *Microcoleus*, produkují glucosylglycerol jako osmotický stabilizátor. V nedávných letech byla hloubkově studována biosyntéza glukosylglycerolu a jeho regulace na

molekulární biologické úrovni u kmene *Synechocystis* PCC 6803. Glukosylglycerol je produkováný v reakci o dvou krocích z ADP-glukózy a glycerol-3-fosfátu s glukosylglycerolového fosfátu jako mezičlánek. Enzymový systém tvořící glukosylglycerol vyžaduje aktivaci solí a/nebo hypertonické podmínky (Hagemann *et al.*, 1999). Sinice, které jsou přizpůsobeny pro život v nejvyšší koncentraci soli (*A. halophytica*, *Halospirulina*) produkují glycin-betain jako jejich osmoticky aktivní rozpouštědla. Doplnková rozpouštědla jako L-glutamát betain byly rovněž nalezeny (Reed *et al.*, 1986).

#### 1.6.4 Acidofilní fototrofové

Eukaryotické řasy a do menšího stupně i sinice rostou v různých kyselých prostředích. Prostředí pro acidofilní řasy se nachází na místech jako sirných polích v Pozzuoli (blízko Neapoli, Itálie), Island, Yellowstonský Národní Park (Wyoming, USA). Mikroorganismy žijící v kyselém prostředí musí chránit své vnitřní složky jako chlorofyly, DNA a ATP, které jsou nestabilní v nízkých hodnotách pH. Acidofilní mikroorganismy udržují své intracelulární medium na téměř neutrálním pH (Beardall & Entwisle, 1984). Jejich povrchová bariéra je extrémně nepropustná k protonům a selektivní mechanismy zabráňují H<sup>+</sup> iontům vstoupit dovnitř buňky. Acidofilové používají protonové pumpy jako obranný mechanismus k udržení své intracelulární pH na požadované téměř neutrální hodnotě.

Sinice běžně rostou v prostředích s neutrálním nebo zásaditým pH, vzácně s nižším pH. Podle Brock (1973) bentické a planktonní sinice nebyly nikdy nalezeny v pH pod 4-5. Zatímco, eukaryotické řasy se rozmnožují i v pH nižším než 3. Nicméně později Steinberg *et al.* (1998) prokázali, že existují sinice tolerující kyselé prostředí. Populace dvou vláknitých sinic připomínající *Oscillatoria*, *Limnothrix* a *Spirulina* sp. byly nalezeny v kyselých bavorských jezerech, z nichž jedno mělo pH 2,9. Eukaryotické fytoplanktony se ve zmíněném jezeře téměř neobjevovaly. Navíc průzkum stovce jezer ve Švédsku a Kanadě ukázal, že sinice se vždy vyskytují i v nejkyselějších jezerech až do pH kolem 3,7. Sinice jako *Aphanocapsa* sp. a několik *Chroococcus* spp. byly dominantní v kyselějších jezerech Kanady (Steinberg *et al.*, 1998).

### 1.6.5 Alkalofilní fototrofové

Fotosyntetická spotřeba CO<sub>2</sub> vede k navýšení pH a následkem toho společenstva sinic a eukaryotických řas mohou být vystaveny zvýšeným hodnotám pH během denní doby. Většina fototrofních mikroorganismů je schopná přežít do pH 9-10. Oproti škále informací dostupných o halofilních fototrofních mikroorganismech byl proveden pouze základní výzkum pro adaptaci fototrofů pro život při vysokém pH.

V sodných jezerech Východní Afriky se běžně vyskytují populace *Spirulina platensis*, jejíž biomasa může dosáhnout velké hustoty a vysoké primární produktivity v hodnotách pH 11 a více (Grant & Tindall, 1986). Jiné rody jako je *Anabaenopsis* (*Cyanospira*) a kokální druhy jako *Synechococcus*, *Gloeocapsa*, se rovněž za obdobných podmínek pH mohou vyskytovat (Boussiba *et al.*, 2000). *Gloeotheca linaris* a *Microcystis aeruginosa* mají svou optimální hodnotu okolo 10 pH a růst *Plectonema nostocorum* byl zjištěn až v hodnotách až do 13 pH, nejvyšší pH ve kterém byl zaznamenán život.

*S. platensis* je obligátní alkalofil, který nejlépe roste v hodnotách pH 9-10 a stále roste 80% rychlostí svého maxima v hodnotách 11,5. *Spirulina* je hlavním zdrojem potravy pro četné komunity plameňáků, kteří se na nich živí v Afrických sodných jezerech. Bývá dále využívána jako doplněk stravy lidí i zvířat a také si našla svou cestu k trhu se zdravými potravinami (Cifferi, 1983). Ve vysokých hodnotách pH organismus vykazuje zvýšené nároky na ionty Na<sup>+</sup>: v pH 9-10, 250 mM Na<sup>+</sup> je nutné pro optimální růst a pod 50 mM Na<sup>+</sup> neprobíhá žádný růst. V nepřítomnosti Na<sup>+</sup> buňky umírají a dochází k lyzi. Bylo zavedeno, že Na<sup>+</sup> je zapojen do homeostáze pH skrze aktivitu Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> antiportů (Boussiba *et al.*, 2000).

Obzvláště zajímavé jsou taková prostředí, která kombinují vysoké hodnoty pH s přítomností vysoké koncentrace soli, např. Mono Lake, California, USA. V tomhle místě dominují eukaryotické řasy, přičemž sinice zde byly rovněž nalezeny (Javor, 1989). V zásaditých (pH 10, 8 – 11, 2) solných jezerech ve Wadi Natrun (Egypt) *Spirulina* byla nalezena s obsahem až do 92 g/l soli (jezero Gabara). Jezero Muluk (159 g/l soli) má porosty zástupců rodů *Phormidium* a *Synechococcus*. Jiné ještě více

solné alkalické jezera v oblasti Wadi Natrun jako jezera Hamra, Gaar, Rizunia a Zugm (240, 374, 389 a 394 g/l, postupně) také obsahují sinice (Oren, 2000).

## 1.7 Tropické sinice

Tropické mořské ekosystémy jsou charakterizovány specifickou flórou sinic. Nejvíce pravděpodobným omezujícím faktorem geografické distribuce druhů je teplota. Při porovnání s otevřeným oceánem, největší biodiverzitu sinic můžeme zaznamenat v litorálních zónách, kde utváří intertidální a infralitorální porost. Sinice tady žijí endolitickým způsobem v uhličitanových substrátech, nebo utvářejí symbiotické vztahy, obzvláště s houbami a sumkami. Jejich diverzita, která je obzvláště v méně přístupných infralitorálních oblastech, je stále převážně neznámá. Může být však také zdrojem různých bioaktivních sluků a některé z nich jsou důležité jako zastrašující efekty pro býložravce.

Jako fotosyntetické organismy jsou sinice *sensu lato* (včetně Prochlorophyta) důležitou součástí primární produkce, jak bentického prostředí, tak i otevřeného oceánu. V tropických mořských ekosystémech je ovšem jejich hlavní role jako organismů, které fixují dusík. Prvořadý význam v často oligotrofních tropických oceánech má planktonický druh *Trichodesmium erythreum*, který netvoří heterocyty a vytváří vodní květy s vysokou schopností fixace dusíku. Tento druh pravděpodobně reprezentuje podstatný zdroj dusíku pro podmořský a globální cyklus dusíku.

### 1.7.1 Geografické rozšíření tropických sinic

Studie rozšíření sinic je ovlivňována problémy v rozeznávání rozdílných druhů díky jejich jednoduché morfologii. Dodnes se v literatuře objevily pouze floristické seznamy užívající tradiční „geitlerovský“ přístup a Drouetsův systém (Drouet, 1981) (Zeneveld, 1988). Nicméně vyšlo najevo, že Drouetsův systém neodráží přirozenou diverzitu sinic (Stam, 1978). Hlavní identifikační postup je stále podle Geitlera, který převážně pracuje s popsány druhy z temperátních oblastí. Mnozí taxonomové pracující s kmeny z tropických oblastí se setkávají s populacemi, které dobře nekorespondují s žádnými popisovanými druhy. Často je spojují s jinými nejpodobnějšími taxony z temperátních oblastí (Komárek, 1985). Tyto nepřesné

interpretace vedly k domněnce, že jisté druhy popsané v temperátních oblastech, jsou geograficky více rozšířené, než ve skutečnosti.

Navzdory těmto metodickým problémům bylo potvrzeno fenotypickou a fylogenetickou analýzou, například na druhu *M. chthonoplastes* od Garcia-Pichel et al. (1996), že některé druhy, kromě několika druhů sinic s (sub)kosmopolitním rozšířením (například *Lyngbya aestuarii*, *Microcoleus chthonoplastes* Gomont), se zdají být omezeny pouze na oblasti s teplou vodou (například planktonní rody *Trichodesmium* (Capone et al., 1997), *Prochlorococcus* (Partensky et al., 1999) a bentické rody *Prochloron* (Lewin & Cheng, 1989), *Herpyzonema* a *Hormothamnion* (Hoffmann, 1993)). Rozšíření těchto taxonů naznačuje, že teplota je pravděpodobně podstatný faktor omezující jejich distribuci (Hoffmann, 1994). To bylo potvrzeno studiem kultur dvou klonů rodu *Prochlorococcus*, které vykazaly minimální teplotu pro růst u jednoho klonu 15 a u druhého 12,5 °C (Moore et al., 1995). Stejným způsobem je omezen růst a aktivita buněk na vody s teplotou nad 20°C u rodu *Trichodesmium*, který lze občas nalézt ve vodách chladnějších než 20°C (Capone et al., 1997).

### 1.7.2 Sinice intertidálních a supratidálních oblastí

Bentické sinice jsou velice rozšířené na pobřežích. Často vytvářejí pohledem rozpoznatelné souvislé a epilittické nárosty na skalách a sedimentech. Téměř na všech skalnatých pobřežích stojatých vod se vyskytují lišejníky a sinice (Stephenson & Stephenson, 1949). Jejich výskyt byl zaznamenán i v tropických oblastech jako je okolí Seychel (Taylor, 1968).

Výskyt rozsáhlejších porostů sinic je sledován jak uvnitř, tak i na povrchu mnoha tropických pobřežních písků a naplaven. Mnohé složitější typy hrají důležitou roli v budování a chytání sedimentů nebo v srážení uhličitánů (Golubic, 1973). Některé z těchto litorálních komunit, kde dominují sinice, jsou omezeny na teplou vodu. To zejména platí pro ty, které utvářejí dobře vyvinuté stromatolity, což jsou fosilované porosty. Byly popsány mnohé příklady stromatolitů (Walter, 1976). Nejčastěji se vyskytují v lagunách a krytých pobřežních oblastech, některé z nejlépe vyvinutých exemplářů jako například v Shark Bay (západní Austrálie) nebo Perském zálivu, se nacházejí v hyper-slaných vodách. Při pohybu z supralitorální do interlitorální oblasti

vytváří porosty často zóny. Rozšíření druhů porostů je určeno četností a délkou působení sub-areálu, energií vln a druhů či množství sedimentu, přesunutých vlnami (Golubic, 1985). Povrchová morfologie porostů závisí na převládajících životních podmínkách, ale také na dominantním druhu (Zhang & Hoffmann, 1982).

Intertidálním oblastem často dominují vláknité druhy neheterocystní (například *Lyngbya*, *Microcoleus*, *Phormidium*, *Schizothrix*) a heterocystosní (například *Rivularia* Bornet *et* Flahaut, *Calothrix*, *Scytonema*), které vytvářejí ochranné slizové obaly vláken (pochvy). Vertikální sekce porostů obvykle obsahují různé skupiny prokaryotních organismů v nenápadně zbarvených vrstvách. Povrchové vrstvě často dominuje kosmopolitní *Lyngbya aestuarii* Gomont. Tento druh se pravděpodobně chrání proti velkým dávkám ultrafialového záření pomocí žluto-hnědých extracelulárních pigmentů na ochranném obalu (buněčné stěně), tzv. scytonemin (Garcia-Pichel & Castenholz, 1991). Tento pigment vzniká kondenzací tryptofanu a fenylypropanu (Kalina & Váňa, 2005). Další běžně se vyskytující člen mikrobiálních porostů je *Microcoleus chthonoplastes* Gomont.

Mangrovové lesy, společně s mnoha tropickými a sub-tropickými pobřežními lagunami, jsou obývány širokou škálou komunit sinic, které žijí na podestýlce z listů a kořenů, živých kořenech a často utvářejí velké porosty na okolních sedimentech (Phillips *et al.*, 1996). Mnohé z těchto komunit jsou schopné fixovat vzdušný dusík. Rody *Oscillatoria*, *Lyngbya*, *Phormidium* a *Microcoleus* jsou v těchto prostředích často rozšířené, stejně jako heterocystní rody, jako například v některých oblastech *Scytonema* (Potts, 1979). Vertikální zóny jsou hodně sledovány na pneumatoforech nebo opěrných kořenech.

Sinice, které žijí uvnitř vápencových skal, jsou také důležitý prvek intertidálních prostředí (Radtke *et al.*, 1997). Kolonizace mořských skal endolity může být velmi rychlá (Potts & Whitton, 1980). Endolitická společenstva sinic vykazují dobře rozeznatelné tvary zón, které jsou důkazem změn dominance a početnosti různých druhů a může být ve vzájemném vztahu s rozdíly rozsahu vln a vertikální rozmístění makro-flóry a makro-fauny (Taton & Hoffmann, 1999). Ve vyšších oblastech běžně převažuje *Herpyzonema*, *Hormathonema* Ercegovic, *Scytonema*, *Solentia* a *Kyrtuthrix*, zatímco *Microcoleus* se obvykle objevuje pouze v nižších intertidálních



zónách. Mezi uhličitanovými pobřežími mírných a tropických pásů je důležitý rozdíl ve výskytu a převaze *Herpyzonema intermedium* (Taton & Hoffmann, 1999), ačkoliv v temperátních oblastech jako je Středozemní moře (Le Campion-Alsumard, 1979) je nahrazen v intertidálních zónách druhem *Hyella balani*.

### 1.7.3 Sinice v infralitorální zóně

Viditelné sublitorální bentické porosty bývají často zaznamenány v teplejších vodách, kde se objevují tenké filmy vláknitých druhů na povrchu písků relativně běžně oproti těm, které se nacházejí v intertidálních oblastech. Jsou jednodušší a obecně nevykazují vertikální zónování. Skládají se z tenkých vrstev navzájem prorostlých vláken často jednoho druhu. Tlustší porosty mohou zasahovat do nižší části pobřeží v chráněných středně hyper-slaných podmínkách (Bauld *et al.*, 1992) a mohou dokonce utvářet stromatality (Golubic & Browne, 1996). Porosty se sinicemi byly pozorovány až do hloubek 50 m. Avšak růst bývá často nejrychlejší v hloubkách menších než 10 m. Tyto vnější porosty se utvářejí v místech, kde pohyb sedimentů a spásáčů (fytofágů) je nízký (Whitton & Potts, 1982).

V infralitorálních zónách existuje velmi vysoká biodiverzita, obzvláště poblíž korálových útesů, kde se vyskytují oscilatorní rody jako *Oscillatoria*, *Hydrocoleum* a *Microcoleus*. Tyto rody jsou reprezentovány mnoha druhy, z nichž některé ještě nebyly ani popsány (Hoffman & Demoulin, 1993). Je k dispozici málo informací o jejich ekologii, včetně jejich interakcí s býložravci, ačkoliv některé zprávy zmiňují, že jsou hromadně spásány, například sumýši.

Epifytické sinice (především *Calothrix*, *Microchaete*, *Lyngbya*) jsou spolu s rozsivkami, Chlorophyta a Rhodophyta, přítomny na pelagických makro řasách jako *Sargassum* (Phlips *et al.*, 1986) a na bentických makro řasách (Hoffman, 1993). Tato epifytická společenstva jsou důležitými přispěvateli do celkové produktivity (Moncreiff *et al.*, 1992) a jsou podstatným zdrojem potravy pro mořské druhy bezobratlých spásáčů (Mukai & Iijima, 1995). Mnohé z těchto epifytických sinic mají heterocyty, jimiž fixují vzdušný dusík, což by mohlo přispívat k podílu živin dusíku v moři (Capone & Carpenter, 1982).

Tropické oblasti jsou také charakterické obzvláště pestrou diverzitou endolitických skupin sinic (zahrnující například rody *Hyella* a *Solentia*), které můžeme nalézt v kostře žijících či mrtvých korálů (Le Campion-Alsumard *et al.*, 1995) a v ostatních podložích vápence. Podstatně přispívají k rozkladu uhličitanových a korálových útesů (Chazottes *et al.*, 1996) a k bioerozy vápencových pobřeží. Novodobé studie vykazují vysokou diverzitu endolitických sinic v mělkých tropických a subtropických mořích. Spousta nových taxonů, obzvláště včetně rodu *Hyella*, byla dosud popsána v posledních 20 letech, například z Baham, Floridy a Arabského zálivu (Golubic *et al.*, 1996).

Černo-pásová nemoc (BBD) je rozšířeným fenoménem nacházejícím se na korálových útesech (Richardson, 1996). Nemoc se skládá z mikrobiální komunity, kde dominuje vláknitá sinice *Phormidium corallyticum* (Rützler & Santavy, 1983) asociovaná s bakteriemi a houbami. Běžně vytváří kroužek o tloušťce 1 mm mezi kostrou a živou tkání korálu. Černo-pásová nemoc může způsobit smrt celých korálových kolonií kvůli ničení tkáně během pohybu kroužků. Tato nemoc se považuje za globální faktor degradace korálových útesů (Williams & Bunkley-Williams, 1990).

Pozoruhodný jev tropických oblastí, speciálně korálových útesů, je přítomnost množství sinic druhu patřících do rodů *Aphanocapsa*, *Prochloron*, *Synechocystis*, *Borzia* a *Oscillatoria*, které žijí v symbióze s houbami (Wilkinson, 1992) nebo sumkami (Pardy & Royce, 1992). Nedávno byl izolován nový fotosyntetický jednobuněčný prokaryotický druh *Lissoclinum patella* a byl dočasně nazván *Acaryochloris marina* (Miyshita *et al.*, 1996). Jeho nejvíce odlišující vlastnost je přítomnost unikátního světlosběrného systému, který užívá chlofyl-d jako hlavní pigment a chlorofyl **a** jako vedlejší pigment. Jako jiné druhy ve skupině Prochlorophyta (Larkum *et al.*, 1994) také obsahuje pigment podobný chlorofylu **c** (Miyashita *et al.*, 1997), který se u sinic *sensu stricto* (v širším smyslu) nevyskytuje. Některé z těchto organismů, obzvláště *Prochloron* a *Acaryochloris*, jsou zajímavými předměty studií, jež se zabývají původem různých typů řasových a sinicových plastidů (Turner, 1997).

Korálové útesy jsou jedny z tropických mořských prostředí, ve kterých zdánlivě hrají diazotrofní sinice důležitou roli ve fungování ekosystému. Sinice

můžeme nalézt v jednodruhových nebo míšených řasových porostech a jako epifyty na větších řasách. Sinice hrají důležitou roli v rozpouštění vzdušného dusíku v korálových útesech (Burris, 1976), kde se touto formou fixuje 20-40% požadovaného ročního množství  $N_2$  (Borowitzka & Larkum, 1986). Předpokládaný roční příspěvek korálových útesů do globálního cyklu dusíku činí 2,8 Tg, s průměrným místním tempem fixace  $N_2$  25  $gm^{-2}$  za rok (Capone & Carpenter, 1982).

Bentické sinice postrádají strukturální obranné mechanismy (např. kalcifikace) a často se periodicky objevují v prostředí útesů, které jsou terčem býložravců, navzdory tomu jsou však málo oblíbenou potravou pro spoustu mořských živočichů. Některé z těchto sinic, jako je rod *Hormothamnion* (*Hydrocoryne*) a *Lyngbya* (Orjala & Gerwick, 1996), jsou pro většinu, ale ne pro všechny potencionální konzumenty, nestravitelné, pravděpodobně kvůli přítomnosti sekundárních metabolitů, které účinně odrazují od požívání. Mořské sinice dosud byly častým zdrojem neobvyklých sekundárních metabolitů (Faulkner, 1995) s měnící se bioaktivitou. Představují diverzitu strukturálních tříd: cyklické peptidy, depsipeptidy, lineární peptidy, guanidinů, fosfonátů, purinů, lipidů a makrolidů. Běžně obsahují dusík (výrazná rozdílnost od nalezených makroskopických řas) a jsou často halogenovány (například chloridové amidy)(Moore, 1981). Některé sekundární metabolity z mořských sinic byly zkoumány v rámci farmakologické aktivity (například cytotoxicita nádorových buněk, inhibitor proteázy)(Shimizu, 1996). Mnohé bioaktivní peptidy nalezené v sinicích obsahují strukturální vlastnosti metabolitů popsaných ze sumek a hub žijících na korálových útesech (Namikoshi & Rinehart, 1996).

Jeden z nejbohatších zdrojů sekundárních metabolitů sinic je bentická vláknitá *Lyngbya majuscula* (Vlasy mořské panny)(Hooper *et al.*, 1998), jedna z nejdéle známých sinic, která způsobila rozmach kontaktní dermatitidy mezi rybáři, kvůli přítomnosti derivátů aminokyselin zvaných tzv. lyngbyatoxiny (Cardellina *et al.*, 1979). Jiný druh *Lyngbye*, popsaný z korálových útesů v Papua Nová Guinea (Hoffmann & Demoulin, 1991) *L. bouillonii*, kde vytváří rozsáhlé porosty, silně přirostlé ke korálům v infralitorálu, což bylo prokázáno jako bohatý zdroj neobvyklých makrolidů a peptidů (Klein *et al.*, 1999). *Hormothamnion enteromorphoides* obsahuje sérii alespoň 15 cyklických peptidů (Gerwick *et al.*, 1989). Jejich chemikální obranný systém je tím pádem pravděpodobně klíčový prvek dovolující jim setrvat v útesech.

#### 1.7.4 Planktonní sinice

Oproti hojnému výskytu ve sladkých vodách v moři existuje pouze několik málo pravých planktonních druhů sinic. Existují čtyři skupiny sinic vyskytující se v planktonu tropických oceánů v množství, které je dostatečně velké na to, aby šel změřit jejich vliv na místní ekologii. Jde o pikoplanktonní *Synechococcus*, *Prochlorococcus* a vláknité druhy *Trichodesmium* (Capone *et al.*, 1997) a *Richelia* (Villareal, 1992). Existují ovšem různé nahlášené rody sinic, (Sournia, 1970) jako například *Katagnymene* (Wille, 1904), ale žádné z nich nemají stálý podstatný vliv na ekosystém.

#### 1.7.5 Suchozemské tropické sinice

V nedávné době upoutala pozornost role sinic v popraskaných půdách pouští a jiných suchých prostředích. Hlavním úspěchem sinic na holých skalách se zdá být díky odolnosti vůči vysušení, schopnost přizpůsobit se vysoce intenzivnímu světlu a dovednosti fixování atmosférického dusíku. Po kontaktu s vlhkostí může dojít během pár minut až několika hodin k zotavení po vysušení. Závisí to na délce, po kterou byla sinice vysušená, a na frekvenci cyklů, během kterých se vysušuje a zvlhčuje. Při zotavení ze sucha probíhá nejprve návrat respirace následovaný fotosyntézou a na závěr  $N_2$  fixace. Reakce sinic na vysoce intenzivní světlo z velké části závisí na množství ozáření během růstu. Buňky vyrůstající při ozáření  $50 \mu\text{mol fotonů m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ( $\lambda = 400\text{-}700 \text{ nm}$ ) nebo méně jsou už fotoinhibovány při hodnotě  $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  a ve vyšší světelné intenzitě jsou už silně ovlivňovány (Lüttge, 2008).

Zdánlivě holé skalní povrchy vystavené slunečnímu světlu se vyskytují ve všech typech tropických biomů včetně stolových hor Guyanské vysočiny v Jižní Americe (Huber, 1995), a na skalnatých sucích v deštných pralesích, vlhkých a suchých savanách (Büdel *et al.*, 1999) a polopouštích (Büdel & Wessels, 1991). Bližší vyšetřování těchto povrchů nám odhalilo překvapivě vysokou variabilitu sinic a lišejníků, které mají jako fotobionta sinici, tzv. cyanolišejníky, žijících v těchto drsných podmínkách (Büdel *et al.*, 1999). Tyto studie dokázaly, že charakteristická barva skalních suků je hlavně ovlivněná složením organické vrstvy vyskytující se na jejich povrchu. Černá barva skalních suků a jiných odhalených skalnatých povrchů v

mokrých savanách a deštných pralesech je způsobená hustou vrstvou sinic někdy pomíchanou s cyanobakteriálními mikrolišejníky. Charakteristická okrově žlutá barva povrchu kamene a skalních suků v suchých savanách a polopouštích je vytvořená hustou vrstvou cyanolišejníků převážně rodu *Peltula*, tato barva vzniká oxidačními procesy na povrchu samotné skály (Büdel *et al.*, 1999).

Skalnaté výběžky jako skalní suky jsou edaficky suché a mohou být považovány za “xerické ostrovy”, charakterizované extrémní teplotou, slunečním zářením a vodním stresem. Odhalený skalní povrch je vystavován teplotám až 65°C (Büdel *et al.*, 1994). Období fotosyntetické aktivity u sinic a cyanolišejníků jsou omezena přístupností tekoucí vody (Büdel & Lange, 1991), což znamená, že jsou závislé na deštích. Tyto deště probíhají v suchých savanách několik málo dní v roce, zatímco mokré savany jsou bez nich jen pár týdnů a v deštných pralesech prší téměř každý den. O ekologické funkci těchto sinicových a cyanolišejníkových povrchů se zatím mnoho neví.

Stolové hory Guyanské vysočiny v Jižní Americe patří ke skalnaté formaci staré 800-1600 miliónů let, zvané Roraima, a jsou situovány jako ostrovy obklopené savanou a deštnými pralesy. Vrcholy hor s charakteristickým placatým tvarem bývají ve výšce 500-2100 m nad okolní krajinou. Skalnatý povrch těchto hor má charakteristickou černou barvu indikující velké rozšíření cyanobakteriálního biofilmu a vrstev. Když v Auyan Tepui napršelo, biofilm se namočil a objevil se charakteristický barevný vzor, podél brázd červená a na vyvýšených částech povrchu načernale-zelená. Příslušné komunity sinic byly složené z následujících druhů: *Chroococcus* sp., *Gloeocapsa sanguinea*, *Plectonema* sp., *Stigonema hormoides*, *S. ocellatum*, *S. panniforme* a *Scytonema crassum*. Červená část byla tvořena převážně sinicí *Gloeocapsa sanguinea* a načernale-zelené části obsahovaly převážně *Stigonema ocellatum*, *S. panniforme* a *Scytonema crissum*. Biomasa (vyjádřena obsahem chlorofylu **a**) byla v černozeleňých místech téměř dvojnásobná oproti částem rudým. Büdel *et al.* (1994) objevili v Serrania Parú Tepui černou vrstvu sinic tvořenou z těchto druhů: *Gloeocapsa rupicola* Kützinger, *G. sanguinea*, *Schizothrix thelephoroides*, *Scytonema ocellatum*, *Stigonema minutum*, *S. ocellatum* a *Xenococcus* sp.

Skalní suky se skládají převážně z granitu, ruly nebo vzácněji z pískovce. Mohou být vysoké několik desítek až stovek metrů a jsou značně geologicky staré, alespoň  $10 \times 10^6$  roků s průměrem  $40\text{-}50 \times 10^6$  (Lüttge, 1997a). Mikroskopický průzkum okrově zbarvených skalních povrchů v suchých savnách a polopouštích Afriky, Austrálie a vyschlého jihozápadu Severní Ameriky odhalily, že ve všech případech hustých vrstev cyanobakteriálních mikrolíšejnů je hlavně přítomen rod *Peltula*, ale také někteří zástupci cyanolišejnů z čeledi Lichinaceae (Büdel *et al.*, 1999). Sinice byly hojné, ale nikdy nepřevažovaly. Jednobuněčný rod sinic *Chroococcidiopsis* rostl kryptoendoliticky a byl téměř ve všech pozorovaných místech primárním fotobiontem lišejnů rodu *Peltula*. Druhy *Gloeocapsa sanguinea*, *Calothrix* sp., *Plectonema tomasinianum* a *Tolypothrix* sp. byly nalezeny promíchané s cyanolišejnky, které byly nalezeny na sklanatém povrchu (Wessels & Büdel, 1989). K hnědé barvě skalnatých suků navíc přispívají jejich vlastní oxidační procesy.

V deštných pralesech jsou lišejnky extrémně vzácné. Neheterocystní řád Oscillatoriales se ve všech studovaných případech objevoval velmi zřídka. Jeden z mála členů toho řádu vlastníci barevný ochranný plášť je rod *Schizothrix*, který můžeme najít v silně izolovaných prostředích, často ve spojení s ranou tvorbou půdy.

Okrově zbarvené skály. V suchých savanách odhalené skalní povrchy (pískovec, granit) často vykazují kryptoendolitický růst různých sinic. V suchých savanách severovýchodního Transvaalu, Jižní Afrika, popsali Weber *et al.* (1996) velký systém růstu sinic. Byly nalezeny pískovcové pláně o velikosti  $5000 \text{ m}^2$ , které utváří část Brakrivierského systému (Brakrivier system). Brakrivier protéká voda pouze několik dní v roce a je zodpovědný za odhalování oblasti s pískovcem pomocí přesunu jakéhokoliv materiálu pokrývající povrch kamene během období zavodnění. Po celé pískovcové oblasti byla přítomna kryptoendolitická komunita sinic, vyskytující se ve vyšších vrstvách pískovce, od hloubky 0,4 - 0,9 mm a tvořící pás tlustý 0,7 - 1,5 mm. Kromě převažujícího *Chroococcidiopsis* sp., větvený vláknitý druh *Nostochopsis lobatus* Wood ex Bornet et Flahault a vláknitý *Microcoleus* cf. *sociatus* W. et G. S. West se objevily spolu s nedokonalými houbami (Weber *et al.*, 1996).

Formace pískovce zvaná The Clarens v národním parku Golden Gate Highlands v Jižní Africe byla dříve pojmenovaná “jeskynní pískovec” kvůli tvaru skal s četnými

výklenky (místními lidmi nazývané “holkrans”). Wessels & Büdel (1995) objevili rozsáhlý kryptoendolitický růst sinic podél výklenku pískovce. Tato komunita se skládala hlavně z *Chroococcidiopsis* sp., vzácně doplněného druhu *Synechococcus* sp. a *Gloeotheca* sp. Ke všemu se objevovali tzv. Tintenstriche (inkoustové pruhy), které jsou utvářeny společenstvím jednobuněčných a vláknitých sinic porovnatelné složením druhů k těm, které byly nalezeny v Evropských Alpách Jaagem (1945). V tomto prostředí byla nalezena obzvláště vysoká průměrná hodnota chlorofylu **a** – 63 mg m<sup>-2</sup>.

Hypolitické prostředí. Další stejně zvláštní prostředí pro sinice obývající skály jsou křemenné oblázky v polopouštiních oblastech jako Knersvlakte v Jižní Africe, poušť Namib, poušť Negev a Sonoran (Büdel & Wessels, 1991). Několik jednobuněčných druhů sinic osídlilo hypolitické prostředí, mezi nimi byly *Chroococcidiopsis* sp. a *Pleurocapsa* cf. *minor* Hansgirg (Büdel & Wessels, 1991). Ačkoliv se vyskytují v hojném počtu, jako například v Knersvlaktu, jejich biomasa a vliv na ekosystém nebyl vyhodnocen.

## 1.8 Historie studia řas a sinic

Italský vědec Guiseppe Meneghini (1839) byl prvním, kdo studoval a popsal termo-acidofilní řasy vyskytující se v sirných horkých pramenech v Acquasanta (Ascoli Piceno, Itálie). Sledoval „velmi malé kuličky“, které měřily 0,2 – 2 μm. Předložil nový druh *Coccochloris orsiniana* (Cyanophyta) bez jakékoliv diagnózy.

V následujících sto letech byly tyto řasy a sinice vždy považovány za jeden druh. Zaujaly mnoho algologů, kteří se snažili vyjasnit jejich systematickou pozici. Kvůli jejich jednoduché morfologii a do té doby neexistujících způsobů zkoumání byly tyto řasy identifikovány jako *Palmella orsiniana* (Chlorophyta)(Kützing, 1849), *Chroococcus varius* (Tilden, 1898), *Protococcus botryoides* f. *caldarium* (Tilden, 1898), *Pleurococcus sulphurarius* (Chlorophyta) (Galdieri, 1899), *Pleurocapsa caldaria* (Collins et al., 1901), *Palmellococcus thermalis* (West, 1904), *Pluto caldarius* (Copeland, 1936), *Cyanidium caldarium* (Geitler & Ruttner, 1936), *Dermocarpa caldaria* (Drouet, 1943) a *Rhodococcus caldarius* (Hirose, 1958). Používáním morfometrických analýz vzorků z terénu De Luca a Taddei (1970) poprvé

identifikovali dvě termo-acidofilní řasy. Ty byly pojmenovány *Cyanidium caldarium* forma A a *Cyanidium caldarium* forma. Na začátku osmdesátých let minulého století použila škola v Neapoli morfologická, fyziologická a ultrastrukturální data k vyvrácení předchozích popisů a utvořila definitivní taxonomii těchto řas. Byly rozpoznány dva druhy: *Cyanidium caldarium* (Tilden) Geitler a *Galdieria sulphuraria* (Galdieri) Merola (Merola *et al.*, 1981).

Zájem o tyto řasy žijící v extrémních podmínkách vedlo mnohé vědce k podstoupení sérií geografických expedicí po celém světě, při kterých dokumentovali, že tyto řasy, které byly zkoumány pouze v některých amerických a evropských lokalitách (Acquasanta, Campi Flegrei v Itálii a Yellowstone národní park v USA), jsou přítomné na všech kontinentech, kdekoliv, kde jsou podmínky prostředí, které jim dovolují přežít. Jedinými výjimkami jsou Afrika a Antarktida, kde nebyl jejich výskyt zaznamenán.

Všechna dodnes získaná data naznačují, že termo-acidózní prostředí po celém světě jsou obývány smíšenými komunitami druhu Cyanidiales. K tomu všemu byla objevena a charakterizována nová termo-acidofilní fototrof z jiného kmene. De Luca *et al.* (1978) popsal *Cyanidioschyzon merolae* De Luca, Taddei a Varano, řasa charakterizována velmi malými rozměry, 1,5x3 µm, dále binárním dělením, jednou mitochondrií, jedním plastidem a absencí buněčné stěny. O patnáct let později Sentsova (1994) vyizoloval tři nové druhy *Galdieria*, *Galdieria partita* Sentsova a *Galdieria daedala* Sentsova z Kamchatka peninsule (Rusko) a *Galdieria maxima* z Kunashir Island (Rusko).

Do konce 20. století bylo o diverzitě, struktuře populací a fylogenetických vztazích Cyanidiales známo velmi málo. V klíčovém výzkumu (1990) taxonomie a evoluce rudých řas ponechali Garbary a Gabrielson tyto organismy ve skupině Porphyridiales. Skrze nové metody molekulární biologie získala studie termo-acidofilních řas nové podněty. Tento výzkum odhalil neočekávanou biodiverzitu mezi Cyanidiales, která změnila tehdejší pohled na celou skupinu ohledně fylogeneze těchto řas. Fylogenetické analýzy ukázaly přítomnost čtyř odlišných linií Cyanidiales: linie *Galdieria* spp. (nezahrnuje však *Galdieria maxima*), linie *Cyanidium caldarium*, nová



monofyletická linie mezofilních *Cyanidium* spp. a linie *Cyanidioschyzon merolae* společně s *G. maxima* (Ciniglia *et al.*, 2004).

Navíc různé molekulární studie potvrdily, že tyto extrémofilní řasy jsou evolučně vzdáleně příbuzné k jiným červeným řasám a že došlo v minulosti k jejich rozdělení mezi Cyanidiales (před cca 1342 ± 22 miliony let)(Yoon *et al.*, 2002). Na základě těchto dat Yoon *et al.* (2006a) navrhl novou klasifikaci Rhodophyta zakládající nový poddruh Cyanodyphytina, který obsahoval jenou třídu Cyanidiaphyceae. Později Yoon *et al.* (2006b) studoval strukturu populace Cyanidiales v endolithických a interlithických prostředích v Pisciarelli (Naples, Itálie) a v Larderello (Toskánsko, Itálie). Biomolekulární data a ekofyziologické testy podpořily instituci nového druhu Galdieria, který byl pojmenován Galdieria phlegrea (Pinto *et al.*, 2007).

## 1.9 Taxonomická klasifikace sinic

Taxonomická klasifikace je primární metodou pro zhodnocení diverzity všech biologických skupin organismů. Klasifikační kritéria se od dob založení Linném během let průběžně měnily. Taxonomie byla původně systém, který sloučil morfologicky podobné taxy do klasifikačních skupin, který se později přeměnil na systém hierarchie, který ideálně odrážel evoluční vztahy a utváří síť hypotéz o evoluční historii. Původní fáze systematické klasifikace byly poněkud nahodilé a umělé, dalo by se říci, že odrážely fylogenetické vztahy. Následkem čehož musí být klasifikace znovu prozkoumána, pokud nesouhlasí s fylogenetickou evidencí.

Sinice (cyanoprokaryotes) jsou obzvláště náročnou skupinou na klasifikaci. Jsou možná jedny z nejstarších skupin organismů na zemi, jejichž některé fosílie mají morfologii velmi podobnou dnešním druhům (Knoll, 2008). Jejich dlouhá a pravděpodobně složitá evoluční historie (pravděpodobně dosažená horizontálním šířením genů, což je indikováno jejich homoplazií) je složitá na rozpoznávání jen pomocí morfologie. Mnohé morfologické znaky používané k definici vyšších tax (kokální vs trichální forma, zašpičatěnost, polarita, druhy větvení, rozměry, přítomnost akinet, atd.) se zdánlivě několikrát vytratily a objevily během evoluce moderních druhů a rodů (Shih *et al.*, 2013). Bylo publikováno několik systémů klasifikace vyšších úrovní sinic. Po prvních klasifikačních systémech (Bornet & Flahault, 1886-1888)

Geitler (1925) poprvé předložil *Chroococcales*, *Entophysalidales*, *Pleurocapsales*, *Dermocapsales*, *Siphononematales*, *Nostocas* a *Stigonematales*, ale o sedm let později si osvojil systém navrhnutý Frémym (1929), který obsahoval tři řády: *Chroococcales*, *Chamaesiphonales* a *Hormogonales* (Geitler, 1932). O deset let později rozpoznal *Chroococcales*, *Dermocarpales*, *Pleurocapsales* a *Hormogonales* (Geitler, 1942), systém užívaný o 24 let později jen s pár úpravami (Starmach 1966). Desikachary (1959) popsal hlavně *Stigonematales* a následoval ostatní autory v seskupování nevětvičích se vláknitých tax do jednoho řádu (ačkoliv si zvolil *Nostocales*). Prescott (1962) využil Frémyho systém (1929) a Bourrelly (1970) použil Desikacharyův systém vyšší klasifikace. Rippka et al. (1979) doporučoval roztríd'ování na pět sekcí, což se stalo primárním základem pro Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, který reorganizoval na pět podskupin, místo řádů, I (= *Chroococcales*), II (= *Pleurocapsales*), III (= *Oscillatoriales*), IV (= *Nostocales*) a V (= *Stigonematales*) (Castenholz, 2001).

Taxonomický systém sinic byl radikálně změněn obzvláště kvůli uvedení elektronové mikroskopie a nových metod charakterizace tax sinic, molekulární a genetické metody. Sinice byly téměř neustále přezkoumávány od dob práce Francise Droueta, během posledních padesáti let byly zároveň předkládány radikálně odlišné výzkumy. První skupina vědců, řídicí se Drouetem, chtěla zjednodušit systematickou klasifikaci redukováním počtu tax (Otsuka *et al.*, 2001), zatímco druhá skupina předložila rozdělení jak druhů, tak rodů (a o všem všech vyšších stupňů tax), k dosažení monofyletických taxonomických skupin (Anagnostidis & Komárek, 1985). Třetí skupina prosazovala opatrnost a doporučila moratorium přezkoumávání tax, dokud neexistuje podstatně více molekulárních důkazů (Hoffmann, 2005). Cílem tohoto přístupu je zrušit nomenklaturu definující řády, čeledě, rody a druhy a nahradit je podskupinami, „čeledmi“ a „rody“, které neodráží evoluční historii, jen poskytují dočasnou umělou nomenklaturálně nesprávnou, ale příhodnou a stabilní metodu určování sinic (Castenholz, 2001).

Zatímco Komárek *et al.* (2014) rozpoznávají výhody a nevýhody těchto tří přístupů, je prosazován další systém taxonomické klasifikace, který odráží evoluční historii a obsahuje monofyletické taxy. Jeho autoři mají pocit, že je lepší mít úzce definované, monofyletické rody, každý obsahující relativně málo druhů než velké špatně definované polyfyletické rody obsahující mnoho nepříbuzných druhů. Tento

taxonomických systém zatím není k dispozici. Avšak v nedávných letech byla provedena značná práce (Anagnostidis & Komárek, 1989; Büdel & Kauff, 2012) během které byly popsány mnohé nové rody a druhy. Zatímco tento systém ještě není stabilní ani kompletní klasický systém a přístup nejdůležitějších vědců 20. století zabývajících se sinicema (Geitler, Frémy, Elenkin, Desikachary) je natolik zastaralý a chybný, že bez použití provizorního taxonomického systému, který jasněji odráží moderní evidenci, nebyl by dosažen žádný postup.

Nová Süßwasserflora série cyanoprokaryotů (sinic) je nyní konečně kompletní (Komárek, 2013). Hoffman *et al.* doporučuje používat moderní systematiku vyšších úrovní, která rozděluje třídu Cyanophyceae do čtyř podtříd: *Gloeobacteriophycidae*, *Synechococcophycidae*, *Oscillatoriohycidae* a *Nostochophycidae*. Tento systém odráží evoluční rozvoj a historii a je radikálně odlišný od předchozích systémů v tom, že rozlišuje kokální linie (dříve známých jako *Chroococcales*) a vláknité linie (dříve známých jako *Oscillatoriales*) jsou do určité míry smíšené s *Synechococcales* a *Pseudanabaenales* reprezentující jako kokální tak vláknité řády obsahující buňky s parietálními tylakoidy (a tudíž *Synechococcophycidae*), *Chroococcales* a *Oscillatoriales* obsahující buňky s více komplikovaným rozmístěním tylakoidů (a tudíž *Oscillatoriohycidae*) (Komárek & Kaštovský, 2003). Tento systém prošel několika změnami během několika let.

Žijeme v době vcelku rychlého systematického a taxonomického vývoje. Od roku 2000 bylo popsáno více než 50 rodů sinic. Na 19. IAC sympóziu v Clevelandu (28. červenec – 2. srpen, 2013) bylo předloženo 16 nových rodů společně s mnohými druhy.

## **2 CÍLE PRÁCE**

1. Kultivace vzorků aerofytických sinic získaných na území Kamerunu.
2. Hodnocení morfologické variability kultivovaných vzorků a kmenů, včetně testů gradientu živin.
3. Diskuze získaných dat s dostupnou literaturou.

### **3 MATERIÁL A METODY**

#### **3.1 Izolace vybraných kmenů, kultivace, mikroskopování a determinace**

##### **3.1.1 Izolace vybraných kmenů**

Sebrané vzorky jsem ihned po doručení zpracovala standartními postupy podle Andersen (2005). Vzorky jsem nejdříve rozvlhčila v sérologických destičkách pomocí sterilního média Z (Staub, 1961). Následně jsem pomocí inverzního mikroskopu Zeiss Axiovert 40C ověřila růst a vitalitu sinic. Vlastní izolaci přítomných druhů do kmenových kultur jsem prováděla jednak kapkovou metodou, kdy použitím sterilních pipet, skla a média jsem přečistila jednotlivé druhy a kultivovala je v tekutém médiu Z ve sterilních plastových zkumavkách o objemu 15 ml. Druh preferující růst na pevných podkladech jsem kultivovala na tuhém médiu Z (agar 1,5%). Celkem se mi podařilo úspěšně vyizolovat následně kultivovat šest kmenů.

##### **3.1.2 Kultivace**

Vyizolované kmeny jsem následně udržovala a kultivovala za definovaných laboratorních podmínek (teplota  $22 \pm 1$  °C, záření  $20 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ , světelný režim: 12 h světlo/12 h tma, kultivační nádoby – zkumavky, 100 ml Erleneyerovy baňky, Petriho misky 6 cm). Kultivace probíhala obvykle do dosažení vrcholu exponenciální fáze růstu, kterou jsem kontrolovala odhadem zabarvení kultury. Při jejím dosažení jsem kulturu přeočkovala a zároveň mikroskopicky kontrolovala a prostudovala morfoloickou variabilitu izolovaných kmenů. Jelikož při kultivacích dochází k omezení morfoloické variability, širší variabilitu jsem studovala pomocí experimentální kultivace na gradientech živin dusíku a fosforu, které představují hlavní složky výživy sinic a řas.

Vyizolované kmeny jsem vystavila působením 5 typů médií, kde jsem zvyšovala či snižovala koncentrace dusíku a fosforu. Každý vzorek je popsán v pěti typech médií – K – konstanta (Z-médium), 1/10N, 1/10P, 3N a 3P. Roztoky 1/10N, 1/10P, 3N a 3P vycházejí z konstantního roztoku, ale snížila jsme nebo zvýšila hodnotu dusíku a fosforu. V každém médiu byly vzorky uloženy 3 týdny. Následně u každého vzorku proběhlo měření. Bylo naměřeno 30 délek a 30 šířek buněk, které byly následně

použity pro statistické výpočty. Pro každý vzorek byl vytvořen graf pro šířku a délku trichomů a Kruskal Wallisův test. Ke každému vzorku byla vytvořena fotografická dokumentace jak makroskopických fotek, tak mikroskopických.

### **3.1.3 Mikroskopování a determinace**

Izolované kmeny jsem determinovala a jejich variabilitu studovala pomocí světelného mikroskopu Olympus typ CH20, CHX21. Fotografická dokumentace byla pořízena pomocí mikroskopu Primo Star (Carl Zeiss, Německo) a kamery Micrometrics 31 (Micro-Metrics Company, USA). Při mikroskopování jsem se zaměřila na studium hlavních determinačních znaků sinic. Kdy jsem vycházela z morfologických studií a taxonomických návrhů podle Anagnostidis a Komárka (Anagnostidis a Komárek 1985, 1988, 1990, Komárek a Anagnostidis 1986, 1989). Nomenklatoriku jsem následně aktualizovala podle Komárek & Anagnostidis (1998), Komárek & Anagnostidis (2005) a Komárek (2013).

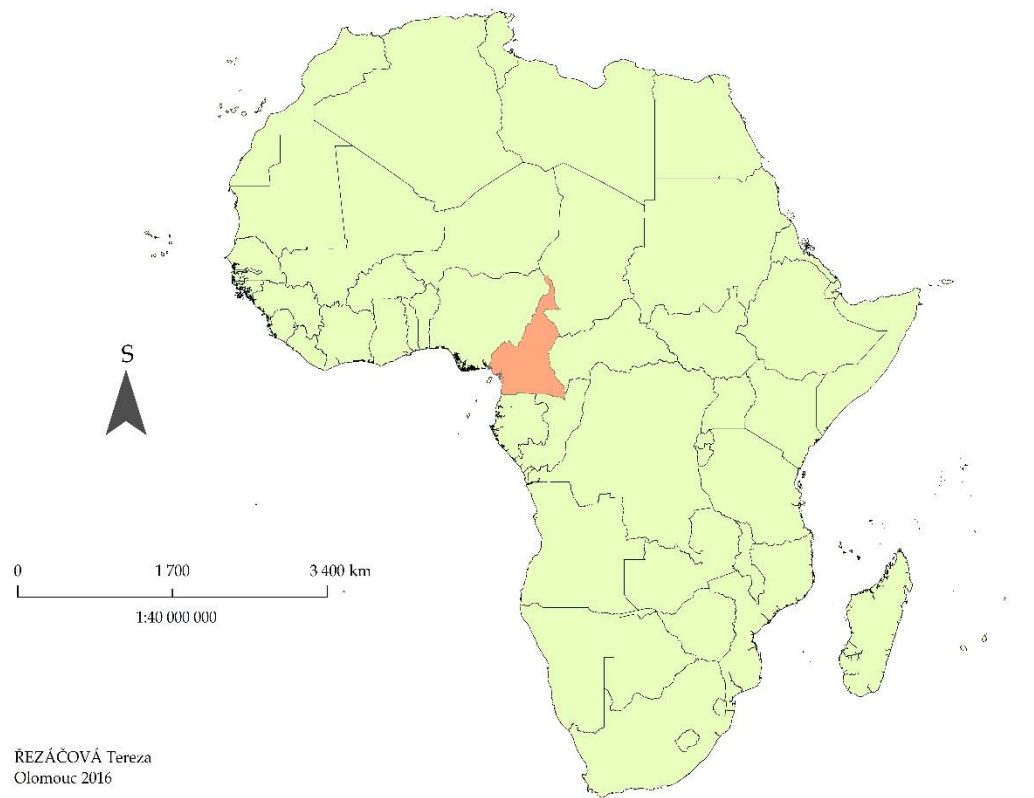
## **3.2 Charakteristika lokalit**

### **3.2.1 Charakteristika Kamerunu**

Kamerun je republika. Nachází se mezi Nigérií, Čadem, Středoafričskou republikou, Republikou Kongo, Gabonem a Rovníkovou Guineou (obrázek 11). Rozloha Kamerunu je 475 440 km<sup>2</sup>. Nejnižším bodem je Atlantický oceán (0 m). Nejdelší řekou je řeka Lagone, která má 965 km. Klimaticky se Kamerun nachází v tropickém vlhkém pásu. „Podnebí je tropické a vlhké, dešťové období je od konce května do poloviny října, období sucha od října do června. Na severu panuje semiaridní klima s vysokými teplotami, srážkové období je zkrácené na červenec - září. Území celé republiky je převážně hornaté. Horská pásma se táhnou od jihozápadu na sever přes celou republiku. Nejvyšší horou je sopka Mount Cameroon (4090 m.n.m.). Pobřežní část Kamerunu je nížinatá, ve střední části země se nachází pánevní oblast Benue a na severu tzv. Čadská pláň. [8]“

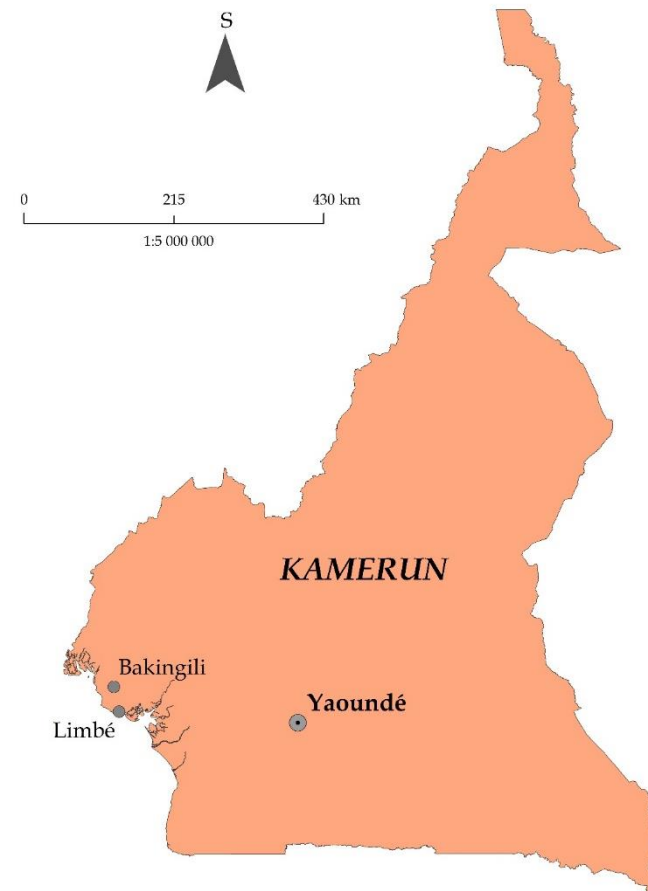
V podloží byla odhalena přítomnost homogenní rudé jílovité půdy v horních vrstvách a dále také rudé jílovité povrchy v místech soutoku více řek. Tato vrstva je nejtlustší na kopcích (780-800 mm), kde chybí tvrdá půda složená ze sedimentů

odolná vůdči erozi a obsahuje jílovité heterogenní hydromorfní materiál jako v údolích. Tyto materiály jsou převážně složeny z jemných částic (od 55 do 60% jílu + naplaveniny, více než 70% jílu + naplavenina v jílovitém hydromorfním materiálu), jejich chemické složení je charakterizováno silicí (<60% SiO<sub>2</sub>), hliníkem (<35% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) a železem (<14% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Jejich hlavní jílovité minerály jsou neorganizované a špatně krystalizované kaolony. Průměrné limity tekutosti (44.56% oproti 91.58%) a plasticity (22.4 oproti 45.93) odhalila, že jílovitý hydromorfní materiál má největší plasticitu. Tyto materiály jsou vhodné pro hrnčířství a výrobu cihel. Avšak vysoký podíl železa (mezi 11-12% ) brání efektivnímu využití při výrobě keramiky.



REZÁČOVÁ Tereza  
Olomouc 2016

**Obrázek 11: Afrika, zobrazená oblast - Kamerun** (autor: Bc. Řezáčová Tereza)



REZÁČOVÁ Tereza  
Olomouc 2016

**Obrázek 12: Kamerun - místa nálezů** (autor: Bc. Řezáčová Tereza)



## 4 VÝSLEDKY

Diplomová práce je zaměřena na kultivaci, studium morfologické variability a determinaci tropických aerofytických sinic. Výsledky se vztahují k 24 vzorkům, které sbíral Dr. Lothar Krienitz v Keni. Prvně jsem vzorky podrobila předběžnému mikroskopickému zpracování, kde jsem se pokusila zjistit přibližné spektrum zastoupených sinic a podle toho jsem následně volila techniky laboratorního zpracování vzorků: technika izolace a kultivace s následnou determinací.

Z daných vzorků jsem čistě vyizolovala kmeny 119, 120, 123, 139/1, 139/2. Ty jsem uchovávala a přeizolovala v tekutých i tuhých Z médiích. V materiálu se vyskytují hlavně zástupci rodu – *Oculatella* (2x), *Leptolyngbya*, *Nostoc* a *Blennothrix*.

### 4.1 Charakteristiky izolovaných kmenů

#### 4.1.1 *Oculatella* sp. kmen 119

Jedná se drobnou vláknitou sinicí, která se svým habitem podobá zástupcům rodu *Leptolyngbya* a liší se přítomností červenavých až temně hnědých rodopsinu podobných pigmentů.

Kolonie tohoto kmene tvoří souvislé nebo chomáčovité povlaky, které se vznášejí na hladině nebo jsou přisedlé k povrchu kultivační nádoby (obrázek 20). Vlákna jsou jednotlivá nebo navzájem propletená. Nepravé větvení není přítomno. Šířka vláken je  $0,8 \pm 1,1 \mu\text{m}$  (obrázek 15, tabulka 1). Slizová pochva je velmi tenká, bezbarvá, často neznatelná a pozorovatelná až na konci ulomených vláken, kde bez vlákna pokračuje dál a drží si svůj tvar. Ve vláknu se může vyskytovat jeden či více trichomů. Jednotlivé buňky jsou dlouze protáhlé a mají délku  $1 \pm 4,1 \mu\text{m}$ . Buňky tvořící vlákno nejsou stejně dlouhé. Uvnitř buněk je uprostřed typický světle zbarvený proužek nukleoplasmu. Apikální buňky jsou většinou nejdelší ( $3,2 \pm 4,1 \mu\text{m}$ ), zaoblené a zakončené tmavě červenou špičkou. Heterocyty, akinety nebo aerotopy nejsou přítomny. Vzácně se vyskytují granula. Rozmnožuje se rozpadem vláken, příležitostně pomocí nekrotických buněk.

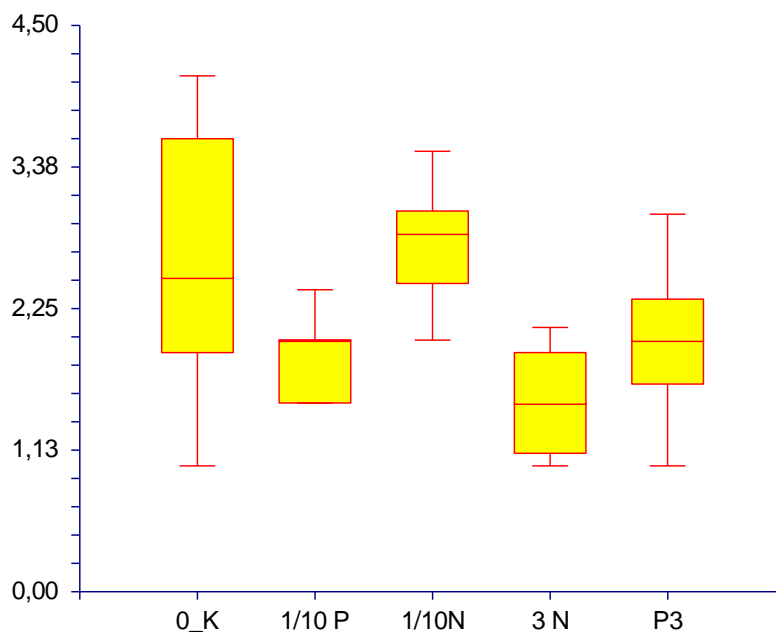
Při nižší koncentraci dusíku jsou vlákna přibližně stejně široká jako v základní koncentraci živin média Z (obrázek 16, tabulka 1). Naopak statisticky signifikantně jsou užší než v médiu s vyšším obsahem živin fosforu. Vlákna se častěji vyskytují stočená a méně propletená. Slizová pochva je užší než u vláken v běžném médiu Z. Ve vlákně se může vyskytovat jeden či více trichomů. Buňky jsou cylindrické a jejich délky ve vláknech jsou přibližně stejné. Nejmenší zaznamenaná délka buňky byla 2  $\mu\text{m}$ . Občasná přítomnost granul umístěných u buněčné stěny, jinak homogenní obsah buněk s občasnou přítomností světle zbarvené nukleoplasmy uprostřed. Apikální buňky jsou nejdelšími buňkami, častější výskyt bez tmavě červené špičky. Žádná přítomnost akinet, heterocytů a větvení.

Při nižší koncentraci fosforu jsou vlákna přibližně stejně široká jako v základní koncentraci živin média Z (obrázek 17, tabulka 1). Statisticky signifikantně jsou užší než v médiu s vyšším obsahem živin fosforu. Vlákna jsou většinou ve snopcích, nejsou zvlněná. Slizová pochva je bezbarvá a tvoří záhyby kolem buněk. Ve vlákně většinou jeden či dva trichomy. Buňky jsou cylindrické  $1,5 \pm 2,4 \mu\text{m}$  dlouhé. Buňky, tvořící vlákno, jsou přibližně stejně dlouhé. Obsah buněk je homogenní s častou a výraznou přítomností světle zbarvené nukleoplasmy uprostřed. Častý výskyt tmavě červené špičky u apikálních buněk, které jsou stejně dlouhé jako zbytek buněk. Žádná přítomnost akinet, heterocytů a větvení. Vlákna často rozlámaná.

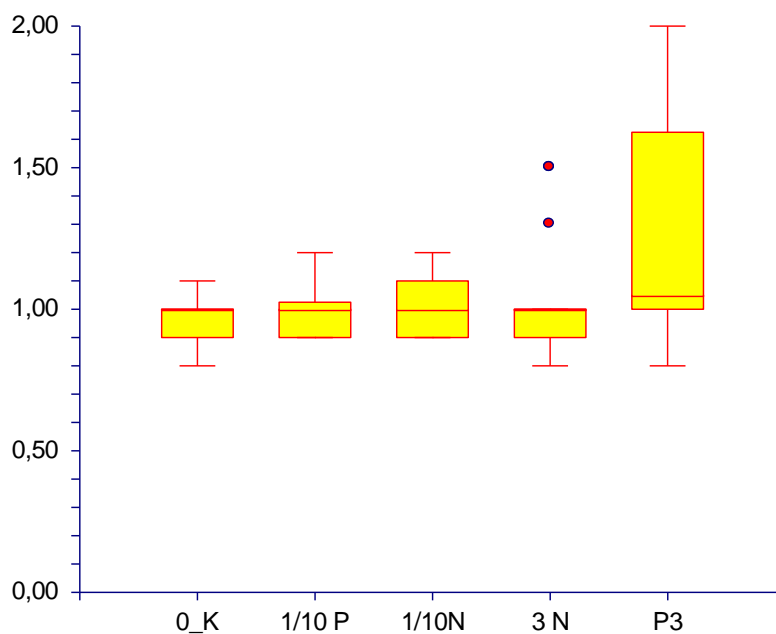
Při vyšší koncentraci dusíku je šířka vlákna 1,5  $\mu\text{m}$ , což je statisticky signifikantně větší než v základní koncentraci živin média Z (obrázek 18, tabulka 1). Vlákna jsou rovná, mohou se smotávat. Slizová pochva je tenká, bezbarvá, kopíruje tvar jednotlivých buněk. Ve vlákně se může vyskytovat jeden či více trichomů. Buňky jsou cylindrické  $1 \pm 2,1 \mu\text{m}$  dlouhé. Špiše delší než kratší. Buňky ve vlákně nejsou stejně dlouhé. Obsah buněk je homogenní s občasnou přítomností světle zbarvené nukleoplasmy uprostřed. Apikální buňky jsou přibližně stejně dlouhé jako ostatní buňky. Zřídka se vyskytuje tmavě červená špička. Žádná přítomnost akinet, heterocytů a větvení.

Při vyšší koncentraci fosforu je šířka vlákna  $0,8 \pm 2 \mu\text{m}$ . V tomto roztoku jsou naměřena nejširší vlákna, která jsou rovná, smotaná, jednotlivá nebo ve shlucích. Slizová pochva je tenká, bezbarvá, občas od vlákna lehce vzdálená. Buňky jsou dlouhé  $1 \pm 3 \mu\text{m}$  a statisticky signifikantně jsou delší než v základní koncentraci živin média Z (obrázek

19, tabulka 1). Jsou cylindrické, občas stejně dlouhé jak široké. Obsah buněk je homogení s občasnou přítomností světle zbarvené nukleoplasmu uprostřed. Apikální buňky jsou většinou delší než ostatní, občas stejně dlouhé. Zřídka se vyskytuje tmavě červená špička. Žádná přítomnost akinet, heterocytů a větvení.



**Obrázek 13:** Variabilita délek vegetativních buněk, *Ocumatella* sp. kmen 119,  $F = 25,90$ ,  $p = 0,000000^*$



**Obrázek 14:** Variabilita šířek vegetativních buněk, *Ocumatella* sp. kmen 119,  $F = 11,20$ ,  $p = 0,000000^*$

Naměřené délky byly ve všech médiích rozmanitější než naměřené šířky. Šířky měly nejrůznější míry v médiu 3P (obrázek 13 hodnota P3). V ostatních médiích byly šířky ± konstantní, což znamená, že na tento kmen měl vliv hlavně roztok 3P, ve kterém došlo k velké diverzitě. Největší rozpětí délek bylo v konstantním médiu. Zde byly buňky dokonce i statisticky signifikantně nejdelší. Nejkratší buňky se vyskytovaly v roztoku 3N.

**Tabulka 1:** Popisné statistiky rozměrů buněk *Oculatella* sp. kmen 119.

Kmen 119	DÉLKA			ŠÍŘKA		
	$\bar{x} \pm \text{STD}$	MIN	MAX	$\bar{x} \pm \text{STD}$	MIN	MAX
1/10N	2,75 ± 0,4703264	2	3,5	1 ± 9,097177 E-02	0,9	1,2
3N	1,493333 ± 0,3867935	1	2,1	1 ± 0,1640017	0,8	1,5
1/10P	1,853333 ± 0,2763473	1,5	2,4	0,9933333 ± 0,0827682	0,9	1,2
3P	1,99 ± 0,5267663	1	3	1,266667 ± 0,3968265	0,8	2
K	2,670968 ± 0,9846128	1	4,1	0,9774194 ± 6,688137 E-02	0,8	1,1

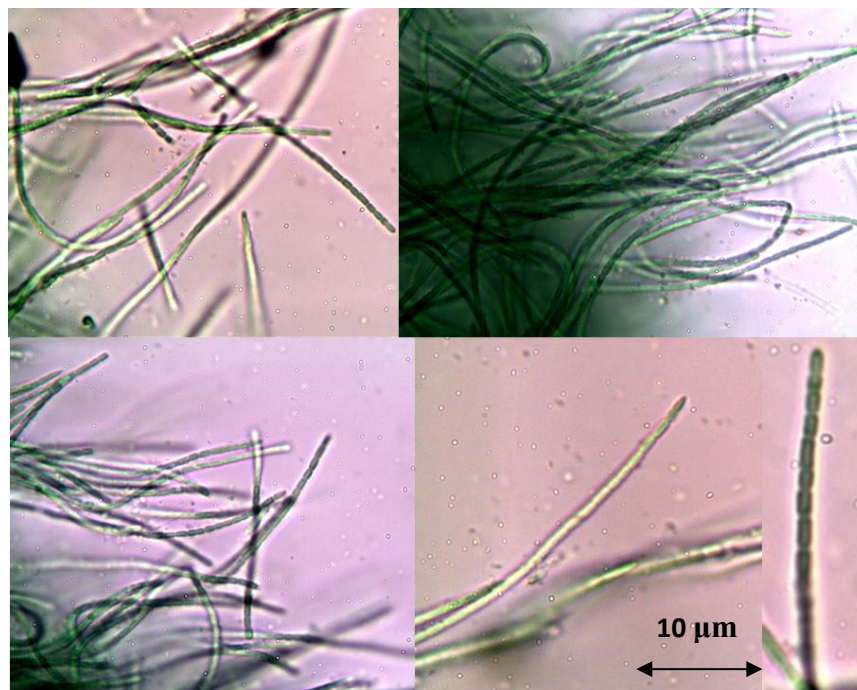
**Tabulka 2:** Kruskal Wallisův test, mnohonásobné porovnávání rozdílů v délce buněk.

Kmen 119	K	1/10P	1/10N	3N	3P
K	0,0000	3,3006	1,5951	5,6385	2,5418
1/10P	3,3006	0,0000	4,8561	2,3189	0,7527
1/10N	1,5951	4,8561	0,0000	7,1751	4,1034
3N	5,6385	2,3189	7,1751	0,0000	3,0716
3P	2,5418	0,7527	4,1034	3,0716	0,0000

**Tabulka 3:** Kruskal Wallisův test, mnohonásobné porovnávání rozdílů v šířce buněk.

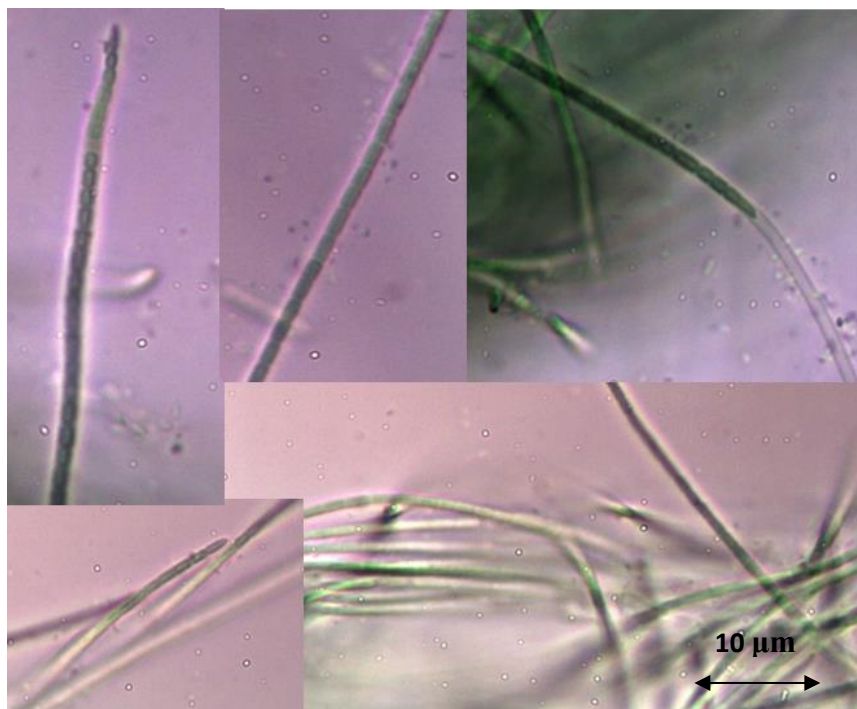
<b>Kmen 119</b>	K	1/10P	1/10N	3N	3P
K	0,0000	0,4564	0,6328	0,1998	3,1273
1/10P	0,4564	0,0000	0,1749	0,6509	2,6493
1/10N	0,6328	0,1749	0,0000	0,8258	2,4743
3N	0,1998	0,6509	0,8258	0,0000	3,3001
3P	3,1273	2,6493	2,4743	3,3001	0,0000

**4.1.1.1** Obrázky z roztoku K – kontrola, zvětšení 100x, imerzní olej



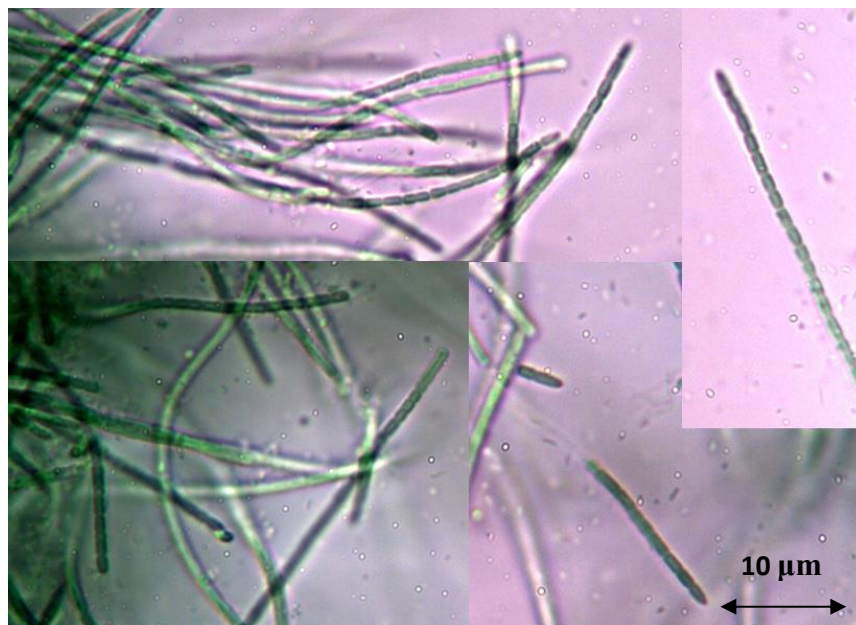
Obrázek 15: autor Bc. Řezáčová Tereza

**4.1.1.2** Obrázky z roztoku 1/10N, zvětšení 100x, imerzní olej



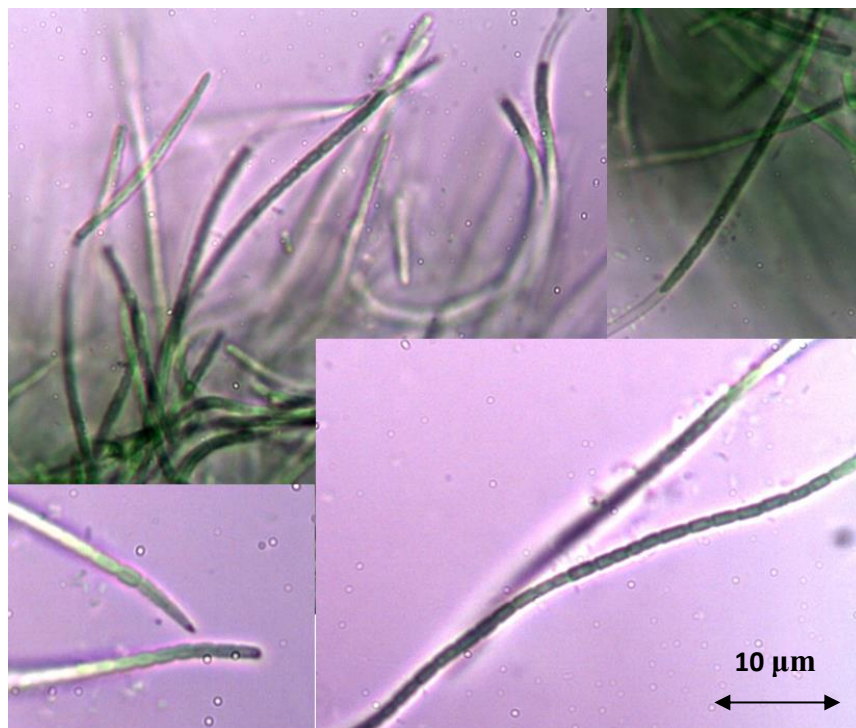
Obrázek 16: autor Bc. Řezáčová Tereza

4.1.1.3 Obrázky z roztoku 1/10P, zvětšení 100x, imerzní olej



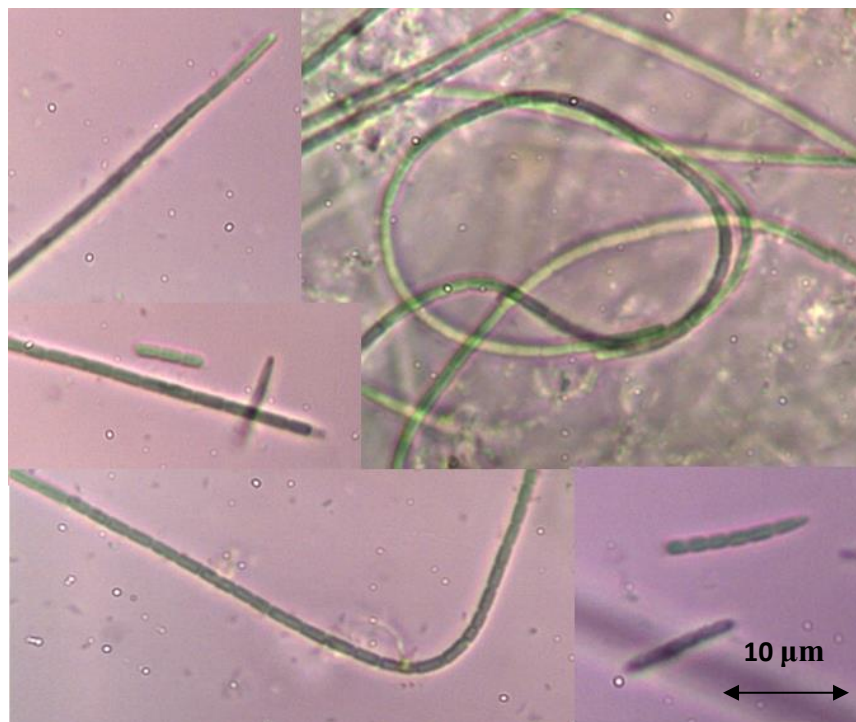
Obrázek 17: autor Bc. Řezáčová Tereza

4.1.1.4 Obrázky z roztoku 3N, zvětšení 100x, imerzní olej



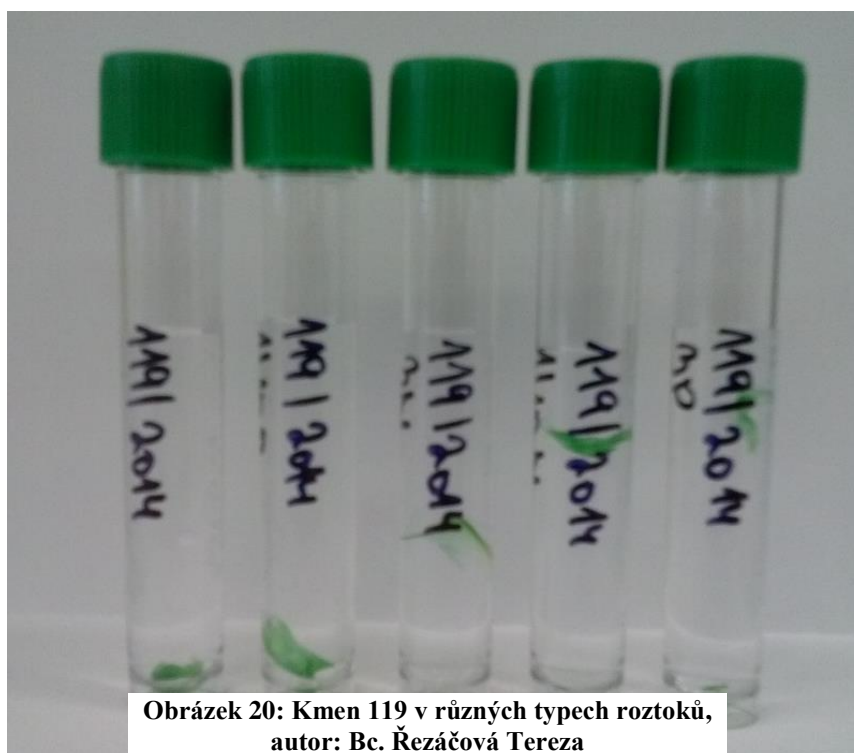
Obrázek 18: autor Bc. Řezáčová Tereza

#### 4.1.1.5 Obrázky z roztoku 3P, zvětšení 100x, imerzní olej



Obrázek 19: autor Bc. Řezáčová Tereza

#### 4.1.1.6 Makroskopická fotografie kmenů



Obrázek 20: Kmen 119 v různých typech roztoků,  
autor: Bc. Řezáčová Tereza



### 4.1.2 *Blennothrix* sp. kmen 120

*Blennothrix* sp. patří do čeledi *Oscillatoriaceae*. Typickým reprezentantem této čeledi je sinice *Oscillatoria*. U kmene 120 byla provedena molekulární analýza, která bude dále zkoumána. Předběžné výsledky ovšem ukazují na *Blennothrix*. Tato větší vláknitá sinice je velmi blízká druhu *Plectonema wollei* jak po morfologické, tak molekulární stránce.

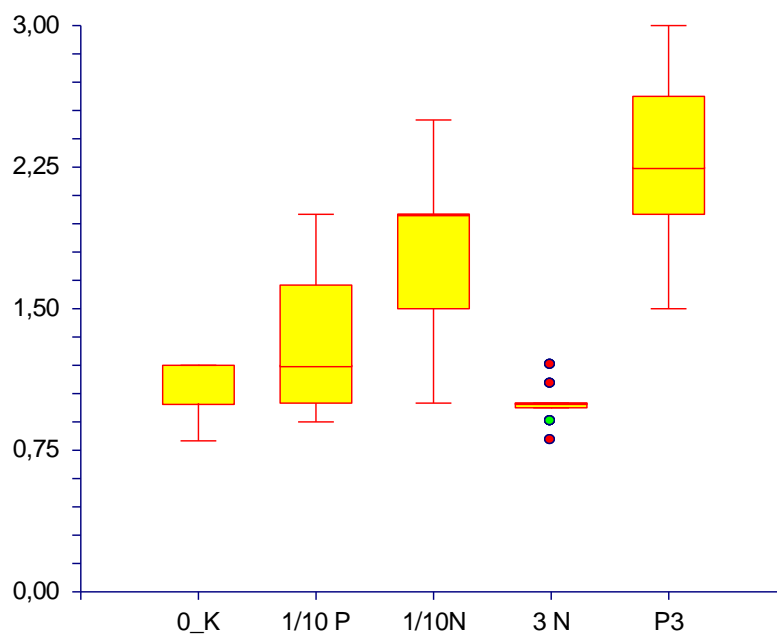
Kolonie tohoto kmene roste základní koncentraci živin média Z velmi pomalu. Tvoří zhruba centimetrovou vrstvu u hladiny, ze které se po povrchu kultivační rozrůstají další vlákna (obrázek 28). Vlákna jsou pevná, propletená mezi sebou a špatně oddělitelná. Kolonie má tmavě-hnědou až černou barvu. Jednotlivá vlákna jsou dlouhá až několik centimetrů, šířka je  $3,5 \pm 4,5 \mu\text{m}$  a často tvoří provazce o 2-7 vláknech (obrázek 23). Barva vlákna je hnědozelená až tmavě zelená. Ve vláknu se může vyskytovat jeden či více trichomů. Nepravé větvení není přítomno. Slizová pochva na povrchu je dobře viditelná, bezbarvá a široká 1-2  $\mu\text{m}$ . Vlákna jsou většinou rovná, zřídka tvoří smyčky nebo jiné útvary. Buňky jsou dlouhé  $0,8 \pm 1,2 \mu\text{m}$ . Jsou válcovitého tvaru a jsou kratší než širší. Přeprádky mezi buňkami jsou občas špatně viditelné. Buňky mají homogenní obsah s občasným výskytem tmavých granul. Apikální buňka je delší než ostatní a je knoflíkovitě zakončená. Občas má na straně, kdy se nenapojuje již na žádnou buňku kalyptru. Rozmnožuje se rozpadem vláken a hormogoniemi, které byly příležitostně přítomny v dané koncentraci.

Při nižší koncentraci dusíku roste kolonie také velmi pomalu. Vlákna jsou křehká a v mikroskopu je častá přítomnost prázdných slizových obalů, které nadále drží svůj tvar. Šířka vlákna je  $3,5 \pm 5 \mu\text{m}$ . Statisticky signifikantně jsou užší než v médiu s vyšším obsahem fosforu. Vlákna jsou rovná a zřídka tvoří provazce. Zbarvení je světlejší než v základní koncentraci živin média Z (obrázek 24, tabulka 4). Slizová pochva je tenká (většinou do 1  $\mu\text{m}$ ), bezbarvá. Bunky jsou dlouhé  $1 \pm 2,5 \mu\text{m}$  a jejich obsah je homogenní s častými malými černými granuly. Některé dosahují délky až 2,5  $\mu\text{m}$  a jsou stejně dlouhé jak široké. Apikální buňky jsou většinou delší. Na povrchu může být nevýrazná kalyptra, ale většinou se nevyskytuje. Nejsou knoflíkovitě zakončeny, pouze obloukem. Absence větvení. Hormogonie ve vzorku nebyly pozorovány. Spouta rozpadlých buněk s vylitým obsahem do okolí. Nejsou přítomny akinety ani heterocyty.

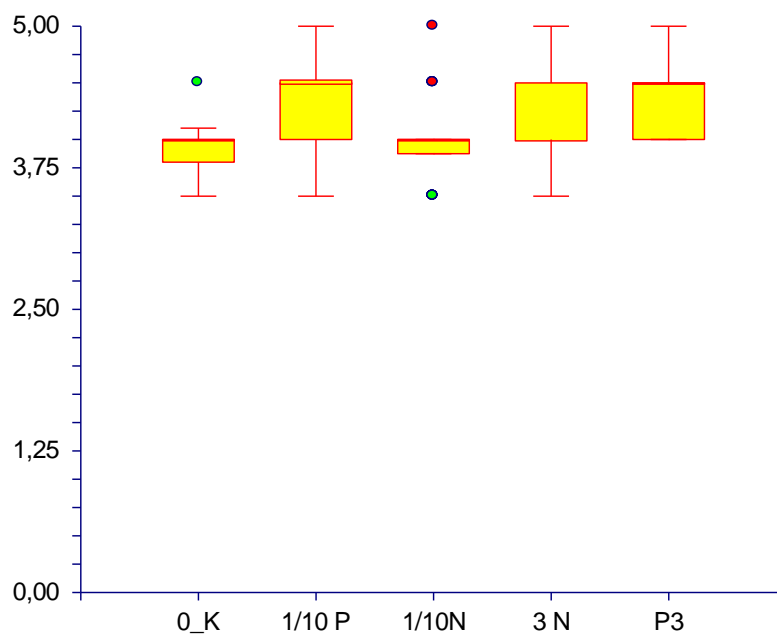
Při nižší koncentraci fosforu roste kolonie opět pomaleji. Vlákna jsou rovná a křehká. Kolem vláken je viditelné zvrásněná slizová pochva, která je silnější než v roztoku s nižším obsahem dusíku. Šířka vlákna je  $3,5 \pm 5 \mu\text{m}$  (obrázek 25, tabulka 4). Zřídka se vlákna proplétají. Jednotlivé buňky jsou diskovité a dlouhé  $0,9 \pm 2 \mu\text{m}$ . Přechody mezi buňkami jsou dobře viditelné. Nemají homogenní obsah, častá granula a nerovnoměrné rozložení nukleoplasmu, která se koncentruje nejvíc kolem granul. Apikální buňka je až 2x delší než ostatní buňky. Zakončení je hemisférické s občasnými náznaky knoflíkového rozšíření. Ve vzorku pozorovány i hormogonie. Často v jednom slizovém obalu je vlákno rozpadlé 3-5 trichomů. Absence větvení.

Při vyšší koncentraci dusíku kolonie roste rychleji. Vlákna jsou propletená, pokud ne tak jsou rovná. Slizový obal je více zvrásněn než při níže koncentraci fosforu a je tlustší. V jednom obalu mohou být až 4 vlákna, které vznikly jako rozpad na hormogonie nebo lyzí buněk. Šířka vlákna je  $3,5 \pm 5 \mu\text{m}$  (obrázek 26, tabulka 4). Statisticky signifikantně jsou vlákna širší, než v základní koncentraci živin média Z. Vlákna jsou hnědozelená, tmavě zelená. Trichomy jsou dlouhé  $0,8 \pm 1,2 \mu\text{m}$ . Mají homogenní obsah. Občas koncentrace hmoty u jednotlivých přepážek mezi trichomy. Apikální buňky jsou hemisférické, 2-3x delší než ostatní buňky. Apikální buňky jsou mnohem světlejší. Běžný výskyt prasklých buněk s vylitým obsahem nukleoplasmu. Absence větvení. Častá rozmnožovací stadia hormogonií.

Při vyšší koncentraci fosforu kolonie roste rychleji a je zde větší množství vláken, která nejsou přisedlá ke kultivační nádobce. Vlákna jsou dlouhá, rovná a  $4 \pm 5 \mu\text{m}$  široká (obrázek 27, tabulka 4). Statisticky signifikantně jsou širší než u ostatních koncentrací živin. Slizová pochva je tenká, končí s vláknem nebo pokračuje dál za trichom. V jednom obalu může být jeden nebo více trichomů. Vlákna jsou světle hnědozelená. Buňky jsou dlouhé  $1,5 \pm 3 \mu\text{m}$ . Spíše diskovité než cylindrické a jejich obsah je homogenní. Apikální buňky jsou hemisférické s lehkým zúžením a jsou 2x delší než průměrná buňka ve vlákně. Apikální buňky jsou světlejší než ostatní. Častá přítomnost prázdných slizových obalů a vylitého obsahu buněk. Absence větvení. Hormogonie nezpozorovány.



**Obrázek 21:** Variabilita délek vegetativních buněk, *Blennothrix* sp. kmen 120,  $F = 87,18$ ,  $p = 0,000000^*$



**Obrázek 22:** Variabilita šířek vegetativních buněk, *Blennothrix* sp. kmen 120,  $F = 10,26$ ,  $p = 0,000000^*$

Variabilita délek buněk roste vzhledem ke kontrole ve všech typech médií kromě média s vyšším obsahem dusíku. Největší variabilita je v roztoku s vyšší i s menší koncentrací fosforu. U naměřených šířek nedochází k tak velkým roztlům a rozdíly mezi roztoky. Nejmenší variabilita šířek je v médiu se snížením obsahem dusíku, který výrazně eliminuje růst buněk.

**Tabulka 4:** Popisné statistiky rozměrů buněk *Blennothrix* sp. kmen 120.

Kmen	DÉLKA			ŠÍŘKA		
	$\bar{x} \pm \text{STD}$	MIN	MAX	$\bar{x} \pm \text{STD}$	MIN	MAX
120						
1/10N	1,766667 ± 0,4204541	1	2,5	3,983333 ± 0,3591977	3,5	5
3N	1 ± 9,826074E-02	0,8	1,2	4,283333 ± 0,4488171	3,5	5
1/10P	1,33 ± 0,3583006	0,9	2	4,333333 ± 0,4011478	3,5	5
3P	2,333333 ± 0,461133	1,5	3	4,34 ± 0,3358982	4	5
K	1,058064 ± 0,1088552	0,8	1,2	3,9 ± 0,2265686	3,5	4,5

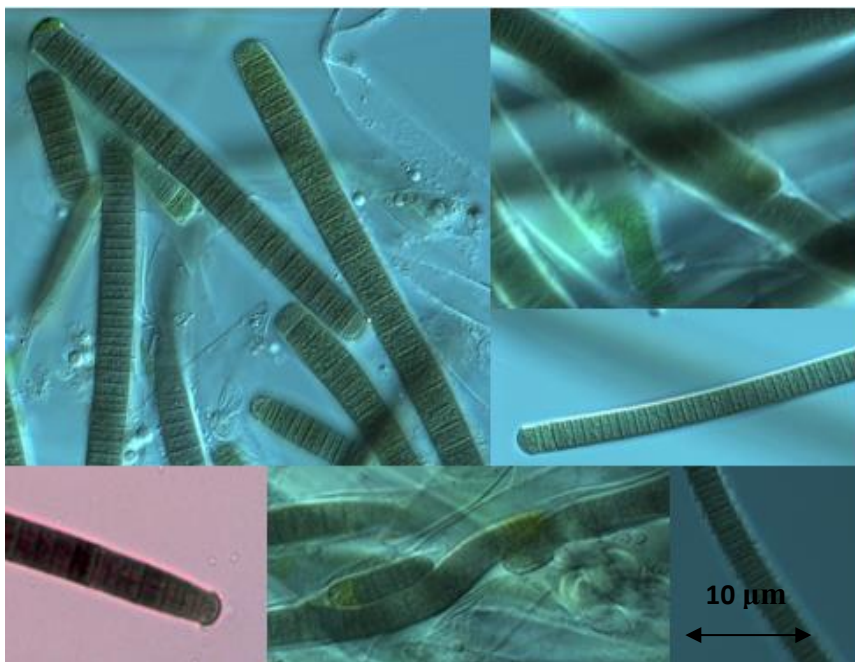
**Tabulka 5:** Kruskal Wallisův test, mnohonásobné porovnávání rozdílů v délce buněk.

Kmen 120	K	1/10P	1/10N	3N	3P
K	0,0000	1,7356	4,6910	1,2547	7,3880
1/10P	1,7356	0,0000	2,9314	2,9661	5,6066
1/10N	4,6910	2,9314	0,0000	5,8975	2,6752
3N	1,2547	2,9661	5,8975	0,0000	8,5727
3P	7,3880	5,6066	2,6752	8,5727	0,0000

**Tabulka 6:** Kruskal Wallisův test, mnohonásobné porovnávání rozdílů v šířce buněk.

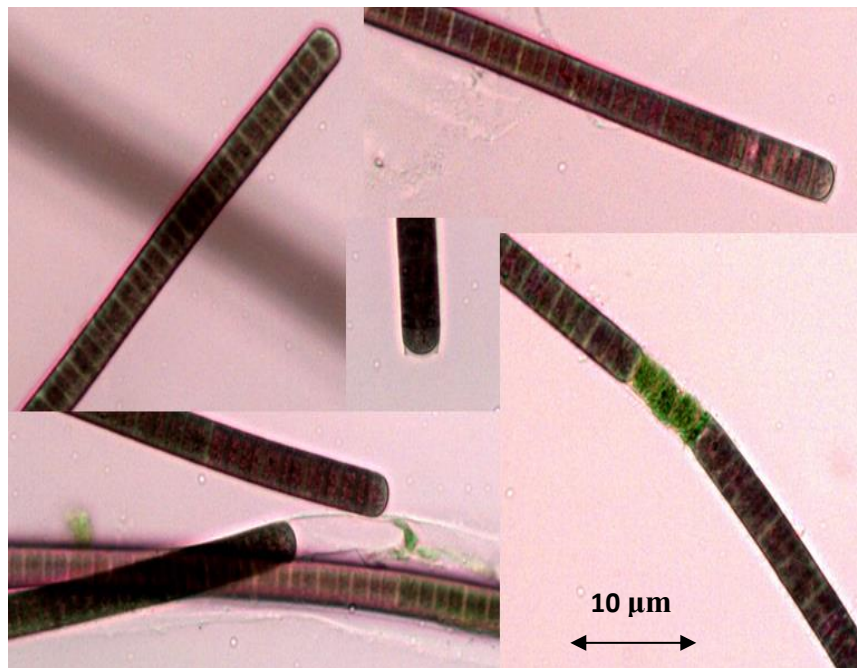
Kmen 120	K	1/10P	1/10N	3N	3P
K	0,0000	4,2746	0,8134	3,5252	4,3424
1/10P	4,2746	0,0000	3,4331	0,7433	0,0673
1/10N	0,8134	3,4331	0,0000	2,6899	3,5004
3N	3,5252	0,7433	2,6899	0,0000	0,8106
3P	4,3424	0,0673	3,5004	0,8106	0,0000

#### 4.1.2.1 Obrázky z roztoku K – kontrola, zvětšení 40x10



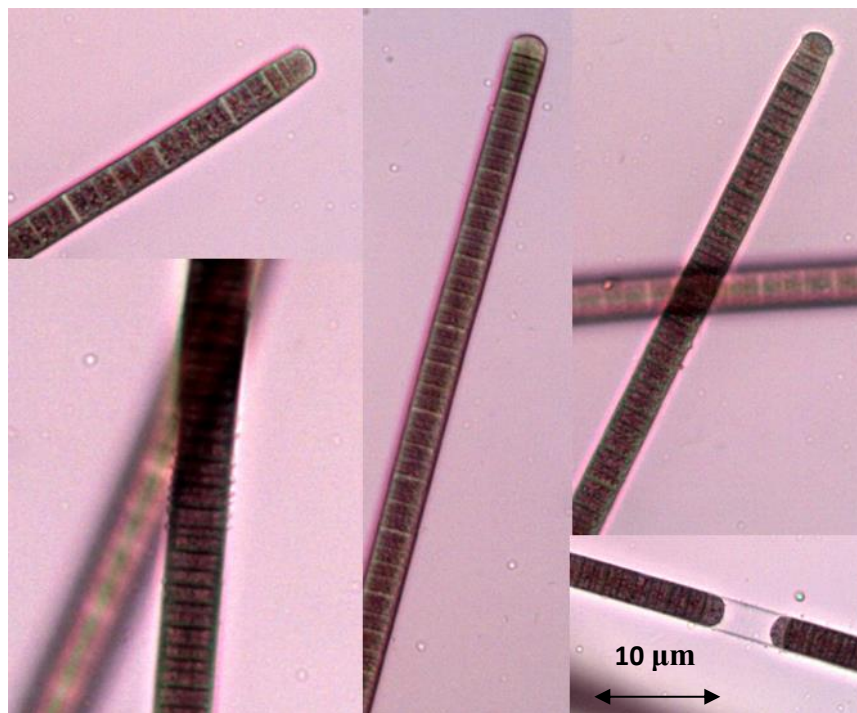
Obrázek 23: autor Bc. Řezáčová Tereza, Doc. RNDr. Petr Hašler, Ph.D.

#### 4.1.2.2 Obrázky z roztoku 1/10N, zvětšení 40x10



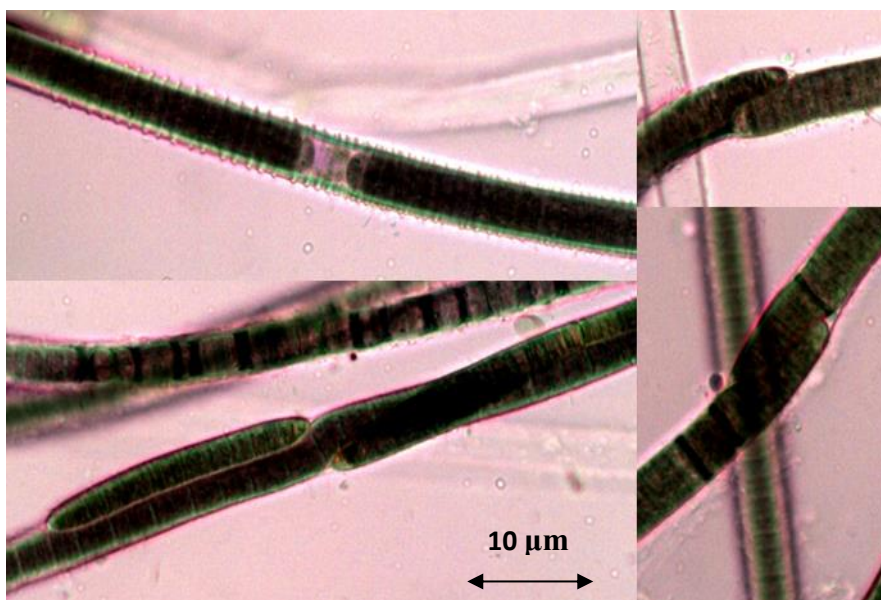
Obrázek 24: autor Bc. Řezáčová Tereza

#### 4.1.2.3 Obrázky z roztoku 1/10P, zvětšení 40x10



Obrázek 25: autor Bc. Řezáčová Tereza

#### 4.1.2.4 Obrázky z roztoku 3N, zvětšení 40x10



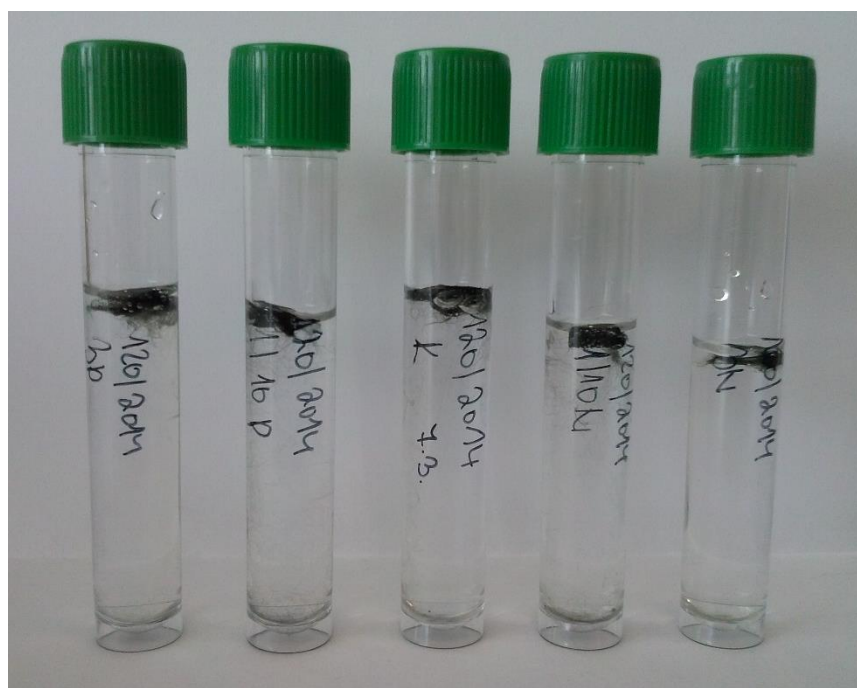
Obrázek 26: autor Bc. Řezáčová Tereza

#### 4.1.2.5 Obrázky z roztoku 3P, zvětšení 40x10



Obrázek 27: autor Bc. Řezáčová Tereza

#### 4.1.2.6 Makroskopická fotografie kmenů



Obrázek 28: Kmen 120 v různých typech roztoků, autor: Bc. Řezáčová Tereza

### 4.1.3 *Leptolyngbya* sp. kmen 123

Izolovaný kmen svými vlastnostmi odpovídá sinicím z okruhu rodu *Leptolyngbya*. Nicméně s ohledem na specifitu morfologických znaků kmene není v současné době možné tento kmen determinovat na druhové úrovni.

Kolonie roste ve standardním médiu Z nejrychleji. Tato koncentrace živin je pro rychlý růst zřejmě nejideálnější (obrázek 36). *Leptolyngbya* sp. tvoří chomáče vláken buď u hladiny, nebo na dně kultivační nádoby. Postupně se rozrůstá jak po stěnách tak volným protorem. Vlákna jdou lehce rozdělit, biomasa je hodně slizovitá a je světle hnědá, hnědo-zelená nebo tmavě hnědá. Vlákna jsou dlouhá, občas lehce zvlněná, mohou se proplétat mezi sebou nebo se vlákno obtáčí samo kolem sebe. Občas tvoří smyčky nebo se lámou. Vlákna jsou široká  $2 \pm 2,5 \mu\text{m}$  (obrázek 31, tabulka 7). Na povrchu je velmi tenká bezbarvá slizová pochva, viditelná až na konci vlákna, kde dál pokračuje nebo končí spolu s apikální buňkou. Buňky jsou protáhlé, dlouhé  $1 \pm 2,5 \mu\text{m}$ . Slizová pochva tvoří občas jamky v místě spojení dvou buněk. Buňky mohou být uprostřed zúžené. Obsah buněk je homogenní se světle zbarveným poroužkem nukleoplasmu uprostřed. Apikální buňka je delší než ostatní a na konci zaoblená. Zřídka přítomnost nepravého větvení. Nevyskytují se akinety ani heterocyty. Rozmnožuje se rozpadem vláken a dále také pomocí nekrotických buněk.

Při nižší koncentraci dusíku růst biomasy probíhá pomaleji než v základní koncentraci živin. Vlákna jsou rovná, vlnitá, tvoří smyčky nebo občas snopce o 3-4 vláknech. Vlákna jsou široká  $2 \pm 2,5 \mu\text{m}$  (obrázek 32, tabulka 7) a mají kolem sebe slizovou pochvu, která je velmi tenká a lámavá. Častý výskyt zlomků slizové pochvy mimo vlákna. Jendotlivé buňky jsou protáhlé a dlouhé  $1 \pm 2,5 \mu\text{m}$ . Buňky nejsou zúžené ani uprostřed ani na koncích. Uvnitř buněk se nukleoplasma koncentruje spíše na stěnách buňky. Světlejší část je uprostřed. Apikální buňka je stejně dlouhá jako ostatní buňky a na konci zaoblená. Rozdělení hmoty uvnitř této buňky je rovnoměrné. Zřídka přítomnost nepravého větvení. Nevyskytují se akinety ani heterocyty.

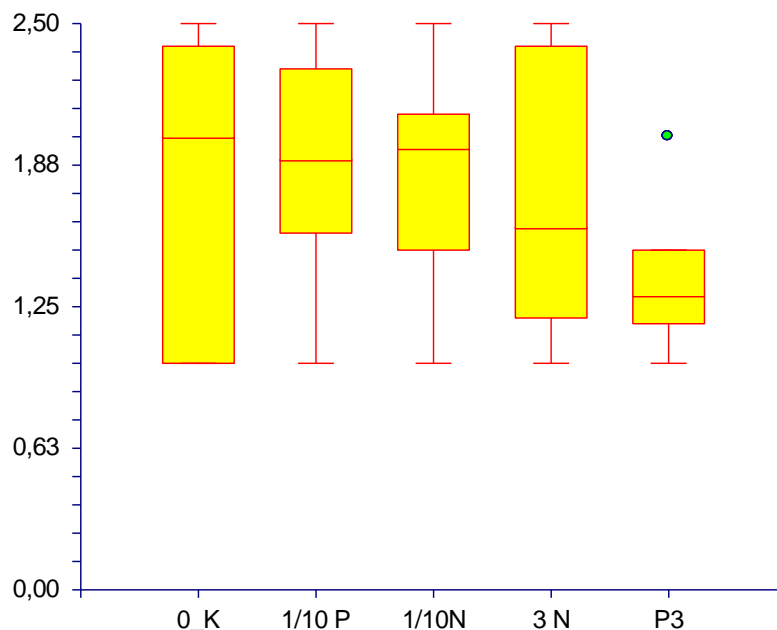
Při nižší koncentraci fosforu probíhá růst kolonií stejně rychle jako u snížené koncentrace dusíku. Vlákna jsou rovná, časté smyčky a provazce z více vláken. Vlákno je široké  $1,5 \pm 2,5 \mu\text{m}$  (obrázek 33, tabulka 7). Slizová pochva je velmi tenká, bezbarvá a



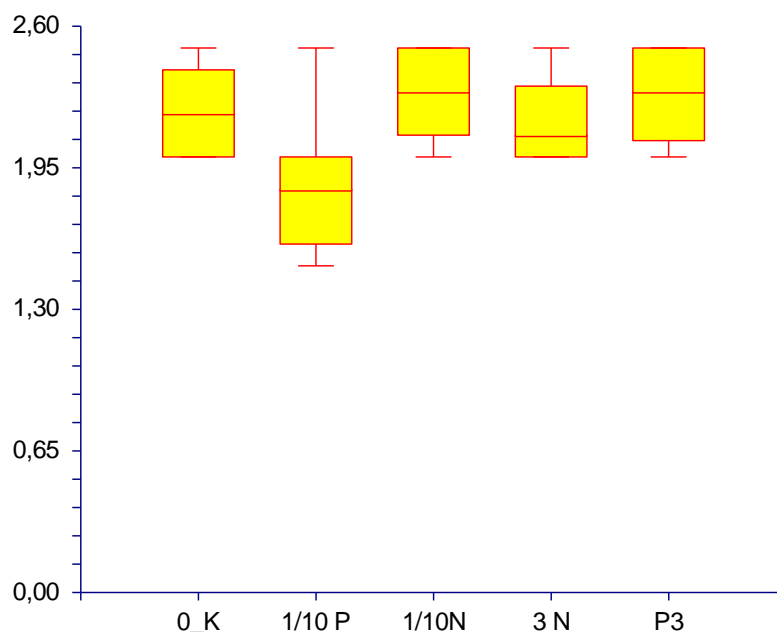
viditelná prakticky až na koncích vláken kde je delší než samo vlákno nebo končí společně s apikální buňkou. Pokud je vlákno ve smyčce, tak se slizová pochva nahromadí do tlustší vrstvy. Na povrchu má občas vrásnění. Buňky jsou protáhlé a dlouhé  $1 \pm 2,5$   $\mu\text{m}$ . Mají uvnitř světle zbarvený proužek nukleoplasmy, který je víc přiblížený k jedné z bočních buněčných stěn (není na středu). Apikální buňka je stejně dlouhá nebo kratší než ostatní buňky. Nukleoplasma je v ní rozložená homogenní, nebo má viditelnější proužek. Nepřítomnost větvení. Nevyskytují se akinety ani heterocyty.

Při vyšší koncentraci dusíku růst biomasy probíhá nejpomaleji. Vlákna jsou rovná, zvlněná, zalomená a sešroubovaná do jednoho tlustšího vlákna. Na povrchu vláken je bezbarvý slizový obal, který je pevný a tenký. Šířka vlákna je  $2 \pm 2,5$   $\mu\text{m}$  (obrázek 34, tabulka 7). Buňky jsou protáhlé a dlouhé  $1 \pm 2,5$   $\mu\text{m}$ . Některé jsou uprostřed zúžené. Nukleoplasma uvnitř je schromážděna spíše u buněčných stěn, kde je buňka výrazně tmavší. Apikální buňka je delší nebo stejně dlouhá jako ostatní buňky. Na konci je zaoblená a nezúžená. Nevyskytuje se větvení, akinety ani heterocyty.

Při zvýšené koncentraci fosforu byla v roztoku pozorována větší přítomnost bakterií. Růst kolonie je pomalejší než u konstanty. Vlákna jsou vlnitá, občas rovná. Slizová pochva je tenká a bezbarvá. Šířka vlákna je  $2 \pm 2,5$   $\mu\text{m}$  (obrázek 35, tabulka 7). Buňky jsou dlouhé  $1 \pm 2$   $\mu\text{m}$ . Statisticky signifikantně jsou užší než v ostatních typech médií. Ve vláknu se nepravidelně střídají se kratší a delší buňky. Uvnitř jsou buňky homogenní s občasným světlým proužkem nukleoplasmy uprostřed, který není vždy rozeznatelný. Apikální buňka je delší než ostatní. Na konci je zaoblená. Nevyskytuje se větvení, akinety ani heterocyty.



**Obrázek 29:** Variabilita délek vegetativních buněk, *Leptolyngbya* sp. kmen 123,  $F = 5,83$ ,  $p = 0,000222^*$



**Obrázek 30:** Variabilita šířek vegetativních buněk, *Leptolyngbya* sp. kmen 123,  $F = 21,92$ ,  $p = 0,000000^*$

Největší variabilita délek byla zaznamenána v základání koncentraci živin média Z. Naopak oproti tomu nejmenší variabilitu měl roztok se svýšenou koncentrací fosforu. Variabila šířek byla poměrně stejná. Nejmenší naměřené hodnoty šířky byly naměřeny při nižší koncentraci fosforu. Největší naměřená šířka byla při snížené koncentraci dusíku. Celkově variabilita délek byla mnohem různorodější než variabilita šířek buněk.

**Tabulka 7:** Popisné statistiky rozměrů buněk *Leptolyngbya* sp. kmen 123.

Kmen 123	DĚLKA			ŠÍŘKA		
	$\bar{x} \pm \text{STD}$	MIN	MAX	$\bar{x} \pm \text{STD}$	MIN	MAX
1/10N	1,766667 ± 0,4428227	1	2,5	2,28 ± 0,2006885	2	2,5
3N	1,733333 ± 0,5554329	1	2,5	2,173333 ± 0,1981524	2	2,5
1/10P	1,876667 ± 0,4199206	1	2,5	1,83 ± 0,2705677	1,5	2,5
3P	1,363333 ± 0,2930027	1	2	2,263333 ± 0,1956128	2	2,5
K	1,858065 ± 0,5892222	1	2,5	2,225806 ± 0,214426	2	2,5

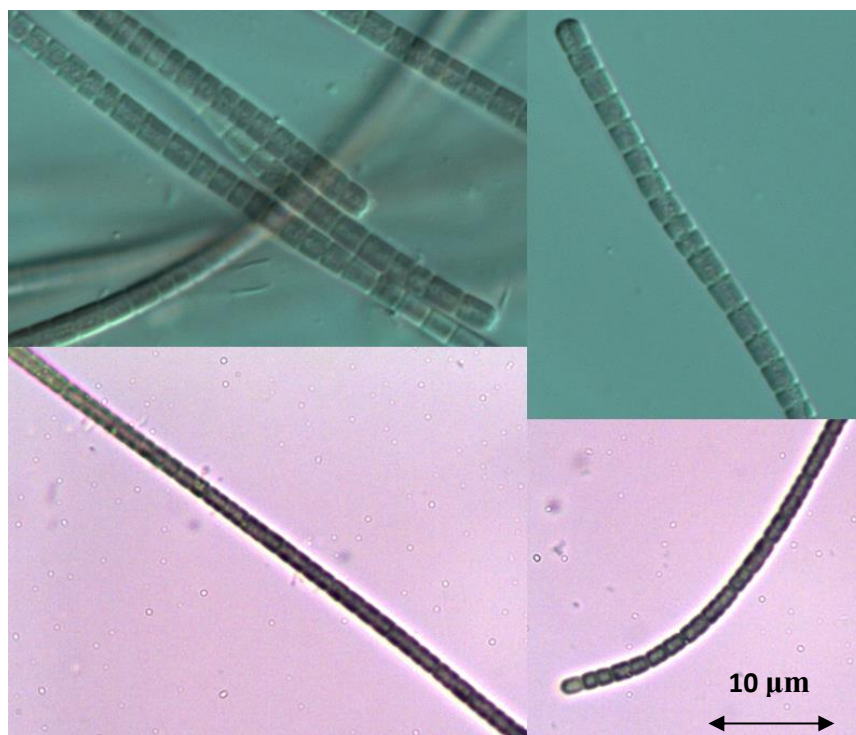
**Tabulka 8:** Kruskal Wallisův test, mnohonásobné porovnávání rozdílů v délce buněk.

Kmen 123	K	1/10P	1/10N	3N	3P
K	0,0000	0,2682	0,6545	0,8997	3,7544
1/10P	0,2682	0,0000	0,9152	1,1584	3,9900
1/10N	0,6545	0,9152	0,0000	0,2433	3,0748
3N	0,8997	1,1584	0,2433	0,0000	2,8316
3P	3,7544	3,9900	3,0748	2,8316	0,0000

**Tabulka 9:** Kruskal Wallisův test, mnohonásobné porovnávání rozdílů v šířce buněk.

Kmen 123	K	1/10P	1/10N	3N	3P
K	0,0000	5,0245	1,1649	0,6941	0,7611
1/10P	5,0245	0,0000	6,1392	4,2953	5,7387
1/10N	1,1649	6,1392	0,0000	1,8439	0,4005
3N	0,6941	4,2953	1,8439	0,0000	1,4434
3P	0,7611	5,7387	0,4005	1,4434	0,0000

#### 4.1.3.1 Obrázky z roztoku K – kontrola, zvětšení 100x, imerzní olej



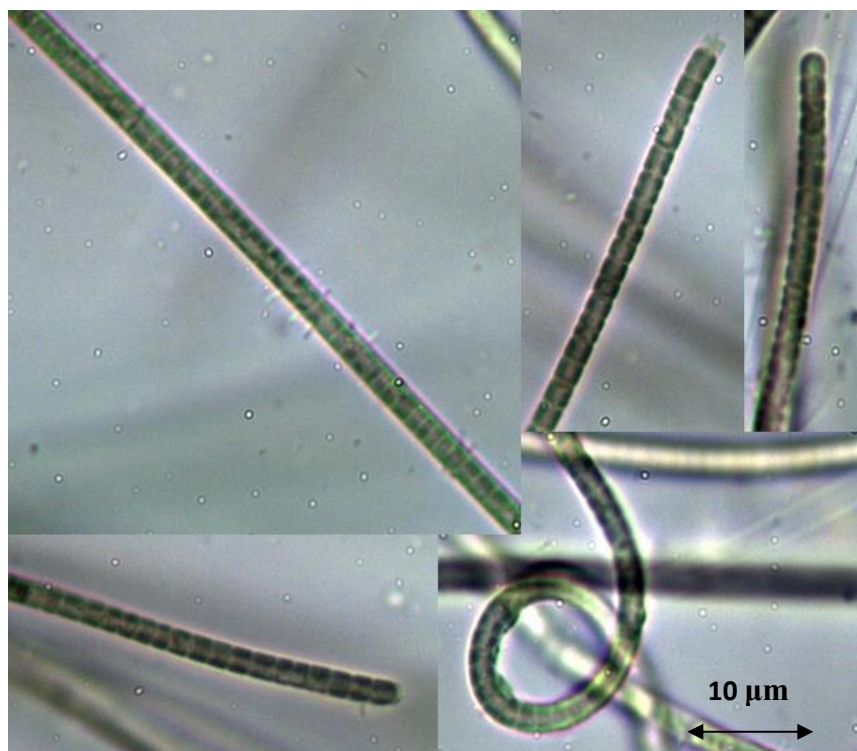
Obrázek 31: autor Bc. Řezáčová Tereza, Doc. RNDr. Petr Hašler, Ph.D.

#### 4.1.3.2 Obrázky z roztoku 1/10N, zvětšení 100x, imerzní olej



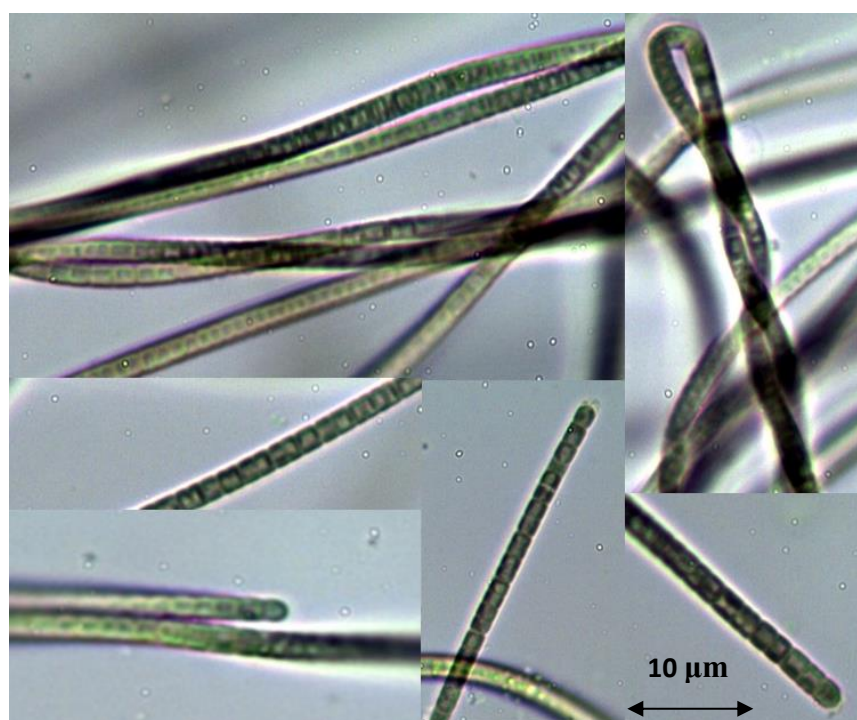
Obrázek 32: autor Bc. Řezáčová Tereza

#### 4.1.3.3 Obrázky z roztoku 1/10P, zvětšení 100x, imerzní olej



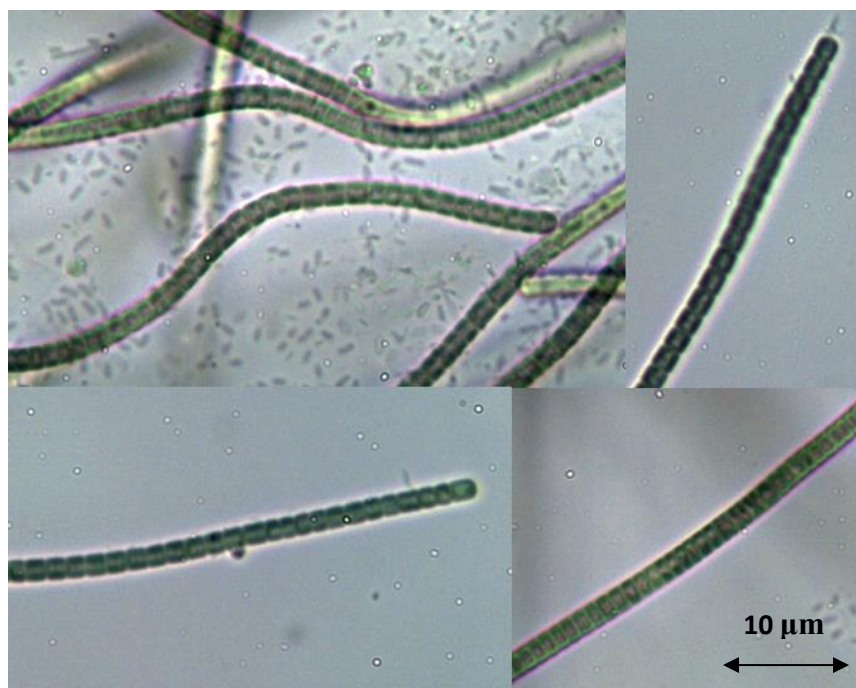
Obrázek 33: autor Bc. Řezáčová Tereza

#### 4.1.3.4 Obrázky z roztoku 3N, zvětšení 100x, imerzní olej



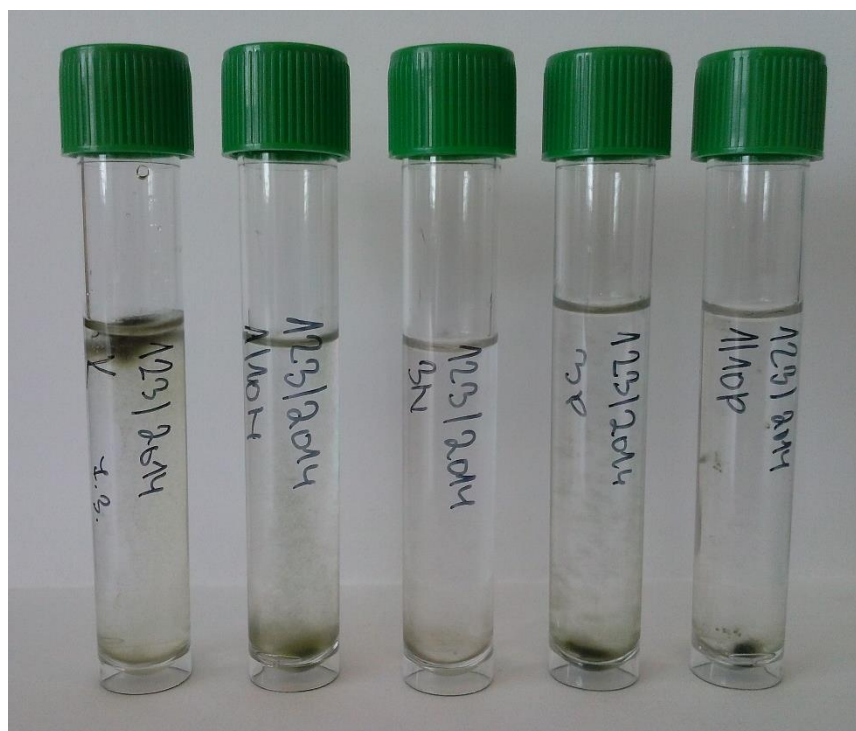
Obrázek 34: autor Bc. Řezáčová Tereza

#### 4.1.3.5 Obrázky z roztoku 3P, zvětšení 100x, imerzní olej



Obrázek 35: autor Bc. Řezáčová Tereza

#### 4.1.3.6 Makroskopická fotografie kmenů



Obrázek 36: Kmen 123 v různých typech roztoků, autor: Bc. Řezáčová Tereza

#### 4.1.4 *Nostoc* sp. kmen 139/1

Kmen 139/1 je s největší pravděpodobností *Nostoc* sp., zástupce z podčeledi *Nostocaceae*. Pro tuto skupinu jsou typické trichomy s jednou řadou buněk, které se vyskytují samostatně nebo tvoří slizovité kolonie. Vlákna jsou izopolární. Jsou přítomny heterocyty a/nebo akinety (jeden druh těchto prominentních buněk chybí pouze v pravděpodobně odvozených rodech, společně s jinými vlastnostmi plně korespondujícími s nostokálními typy). Dále je typická absence jakýchkoliv (pravých či nepravých) vláknitých větvení a omezeních meristemických zón. Reprodukce probíhá pomocí pohyblivých hormogonií, nebo nepohyblivých hormocytů, v které se celé trichomy běžně rozpadnou.

Kolonie tohoto kmene tvoří kulovité shluky na dně kulivační nádoby a jsou tvořeny akinetami, heterocyty, vegetativními buňkami a větším množstvím slizových pochev (obrázek 44). Na stěnách kulivační nádoby se přichytávají rozmnožovací stádia hormogonií ve formě dlouhých vláken s občasným heterocytem. Kolonie mají tmavě zelenou až černou barvu a dorůstají do velikosti 2-3 mm. Zástup buněk tvoří řetízky nebo se vyskytují samostatně. Šířka buněk je  $5,9 \pm 13 \mu\text{m}$  (obrázek 39, tabulka 10). Délka buněk je  $6,5 \pm 12,4 \mu\text{m}$ . Největší z buněk jsou akinety. Kolem buněk nebo jejich shluků je výrazný bezbarvý slizový obal. Kolem zralých akinet slizový obal praská. Tvar buněk se pohybuje od kulovitěho po oválný. Občasný výskyt heterocytů, které mají většinou kulovitý tvar a jsou spíše interkalární než terminální. V buňkách je přibližně homogenní obsah s občasnými granuly. V řetízcích může být vedle sebe v rovině více buněk. Při rozmnožování tvoří tento kmen dlouhá vlákna složená z pěti a více buněk protáhlého tvaru, které obsahují i mladé akinety a mohou být zakončeny heterocytem. Vlákna jsou občas smotaná do klubíčka ohraničeného slizovým obalem.

Při snížené koncentraci dusíku makroskopické kolonie byly menší než v základní koncentraci živin média Z. Buňky jsou kulovité ale spíše oválné. Častější výskyt akinet a heterocytů. Šířka buněk je  $4,2 \pm 9,7 \mu\text{m}$  (obrázek 40, tabulka 10). Délka buněk je  $4,6 \pm 10 \mu\text{m}$ . Velikost vegetativních buněk je spíše menší. Největšími buňkami jsou opět akinety. Většina akinet ale velikostně odpovídá vegetativním buňkám. Častý výskyt prázdných slizových obalů. Akinety mají viditelný slizový obal, který je odstoupen až  $1 \mu\text{m}$  od samotné buňky. Heterocyty jsou menší, ale časté, interkalární spíše než terminální. Řetízky

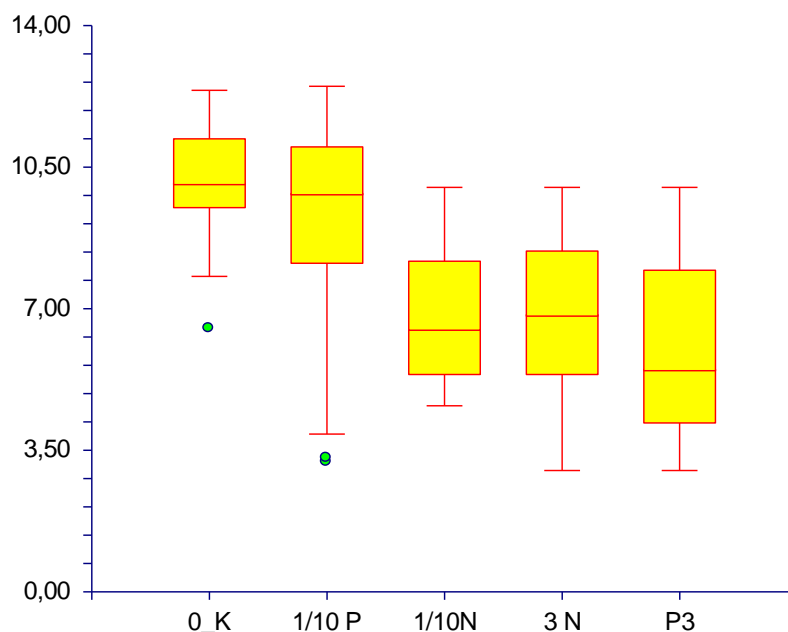
se často rozpadají, občas výskyt stočených vláken do klubička obalených slizovým obalem. Obsah buněk není homogenní, často v heterocytech výskyt cyanofycinových zrn.

Při nižší koncentraci fosforu mají kolonie kulovitý tvar a rostou maleji. Jejich velikost je stejná jako u roztoku se sníženou koncentrací dusíku, ale mají tmavší zbarvení. Buňky jsou spíše kulovitěho tvaru. Šířka buněk je  $4,1 \pm 13 \mu\text{m}$  (obrázek 41, tabulka 10). Délka buněk je  $3,2 \pm 12,5 \mu\text{m}$ . Statisticky signifikantně jsou zde buňky menší než v roztoku se sníženou koncentrací dusíku. Heterocyty jsou hlavně interkalární a vyskytují se velmi zřídka. Akinety jsou kulovitější a větší než v základní koncentraci živin média Z. Slizovité obaly jsou přítomny, ale občas nejsou dobře viditelné. Buňky nemají homogenní obsah. Koncentrace granul spíše u buněčných stěn. Výskyt dlouhých vláken s terminálními heterocyty. Buňky ve vláknech mají válcovitý tvar.

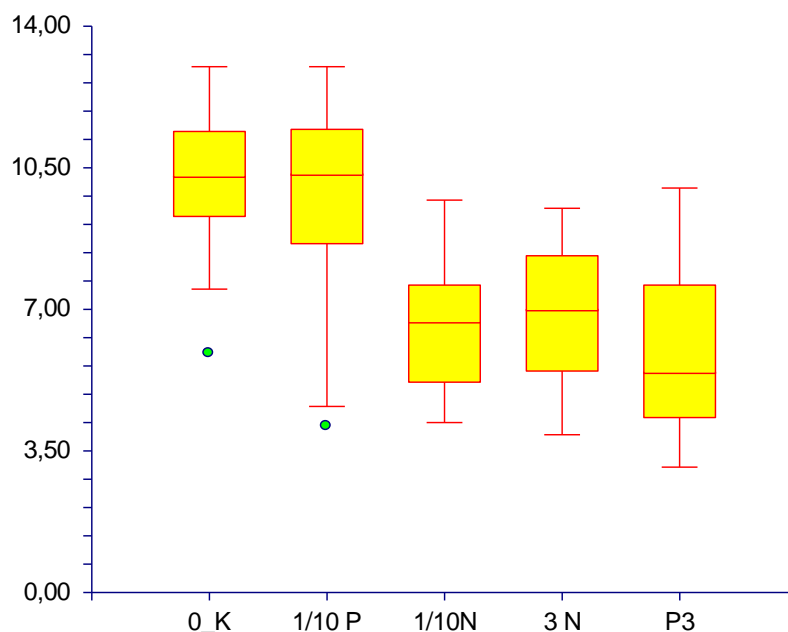
Při vyšší koncentraci dusíku kolonie rostou rychleji a mají kulovitý tvar. Jsou menší než v základní koncentraci živin média Z, ale jejich počet je větší. Buňky jsou kulovité až oválné. Šířka buněk je  $3,9 \pm 9,5 \mu\text{m}$  (obrázek 42, tabulka 10). Délka buněk je  $3 \pm 10 \mu\text{m}$ . Statisticky signifikantně jsou menší než v ostatních typech médií. Větší počet menších a středních buněk. Kolem akinet je zřetelný bezbarvý slizový obal. Akinety mohou být 8x-10x větší než vegetativní buňky, které většinou nemají homogenní obsah a jsou viditelná tmavá granula. Akinety mají homogenní obsah. Zřídka se vyskytují heterocyty. Slizové obaly viditelné pouze kolem akinet. Občas výskyt vlánek složených z vegetativních buněk s občasnými heterocyty. Buňky nejsou v řadě, ale tvoří tlustčí sloupce.

Při zvýšené koncentraci fosforu kolonie rostou rychle, jsou početnější, ale opět jsou menší než v konstantním roztoku. Buňky jsou spíše menší kulovité až oválné. Šířka buněk je  $3,1 \pm 10 \mu\text{m}$  (obrázek 43, tabulka 10). Statisticky signifikantně jsou širší než v základní koncentraci živin média Z a při nižší koncentraci fosforu. Délka buněk je  $3 \pm 10 \mu\text{m}$ . Větší počet středních buněk. Akinety jsou menší než v roztoku s vyšší koncentrací dusíku. Častý výskyt volných interkalárních heterocytů, které patří mezi menší buňky. Slizové obaly viditelné kolem akinet i kolem řetízkových provazců. Výskyt mnoha do chomáče stočených vláken obalených slizovým obalem. Řetízky většinou tvořeny jednou řadou buněk.





**Obrázek 37:** Variabilita délek vegetativních buněk, *Nostoc* sp. kmen 139/1,  $F = 23,55$ ,  $p = 0,000000^*$



**Obrázek 38:** Variabilita šířek vegetativních buněk, *Nostoc* sp. kmen 139/1,  $F = 29,97$ ,  $p = 0,000000^*$

Nejdelší buňky se nacházejí v roztoku konstantních živin média Z. Největší variabilita je obšem při zvýšené koncentraci fosforu. Celkově délka buněk zleva doprava v grafu klesá. Nejširší buňky se nacházejí v roztoku se základní koncentrací živin a se sníženou koncentrací fosforu. Nejmenší šířky se vyskytují v roztoku se zvýšenou koncentrací fosforu. Celkově jsou ale nejmenší šířky v roztocích se sníženou koncentrací dusíku a se zvýšenou koncentrací fosforu a dusíku.

**Tabulka 10:** Popisné statistiky rozměrů buněk *Nostoc* sp. kmen 139/1.

Kmen 139/1	DĚLKA			ŠÍRKA		
	$\bar{x} \pm \text{STD}$	MIN	MAX	$\bar{x} \pm \text{STD}$	MIN	MAX
1/10N	6,763333 ± 1,621086	4,6	10	6,673333 ± 1,509952	4,2	9,7
3N	6,873333 ± 1,89499	3	10	6,853333 ± 1,662722	3,9	9,5
1/10P	9,12 ± 2,734127	3,2	12,5	9,646667 ± 2,77858	4,1	13
3P	6,046667 ± 2,1386	3	10	6,006667 ± 1,998609	3,1	10
K	10,16129 ± 1,314706	6,5	12,4	10,37097 ± 1,314706	5,9	13

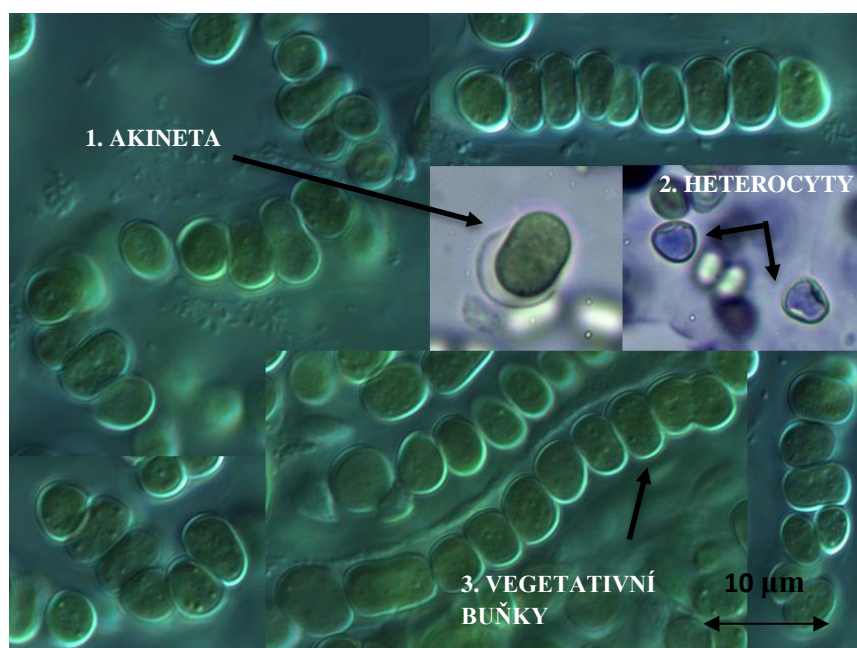
**Tabulka 11:** Kruskal Wallisův test, mnohonásobné porovnávání rozdílů v délce buněk.

Kmen 139/1	K	1/10P	1/10N	3N	3P
K	0,0000	1,6156	5,4408	5,2726	6,4485
1/10P	1,6156	0,0000	3,7943	3,6274	4,7938
1/10N	5,4408	3,7943	0,0000	0,1668	0,9995
3N	5,2726	3,6274	0,1668	0,0000	1,1663
3P	6,4485	4,7938	0,9995	1,1663	0,0000

**Tabulka 12:** Kruskal Wallisův test, mnohonásobné porovnávání rozdílů v šířce buněk.

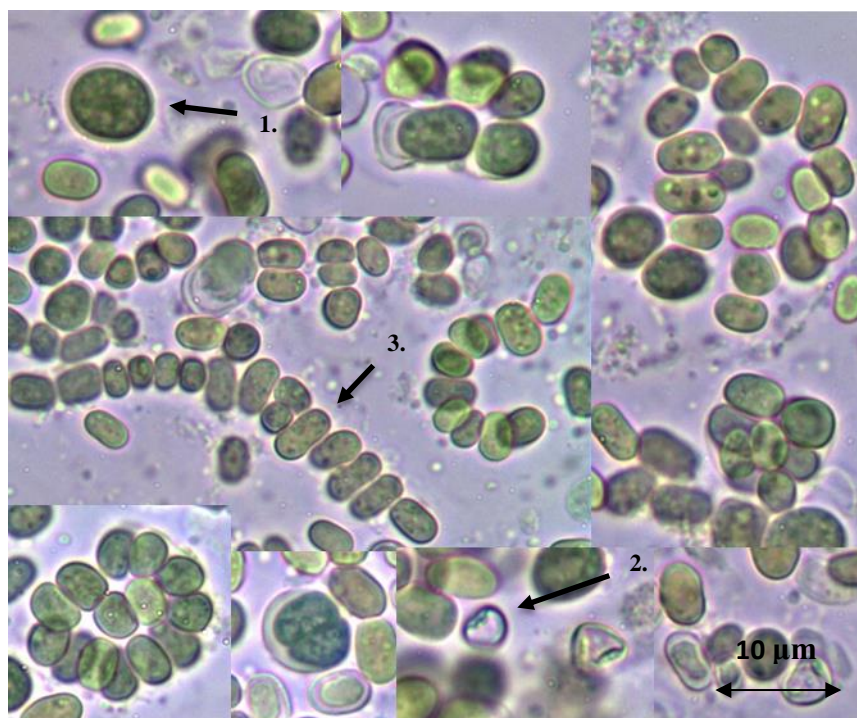
Kmen 139/1	K	1/10P	1/10N	3N	3P
K	0,0000	1,0847	5,4278	5,2105	6,5248
1/10P	1,0847	0,0000	4,3079	4,0924	5,3960
1/10N	5,4278	4,3079	0,0000	0,2155	1,0881
3N	5,2105	4,0924	0,2155	0,0000	1,3036
3P	6,5248	5,3960	1,0881	1,3036	0,0000

#### 4.1.4.1 Obrázky z roztoku K – kontrola, zvětšení 100x, imerzní olej



Obrázek 39: autor Bc. Řezáčová Tereza, Doc. RNDr. Petr Hašler, Ph.D.

#### 4.1.4.2 Obrázky z roztoku 1/10N, zvětšení 100x, imerzní olej



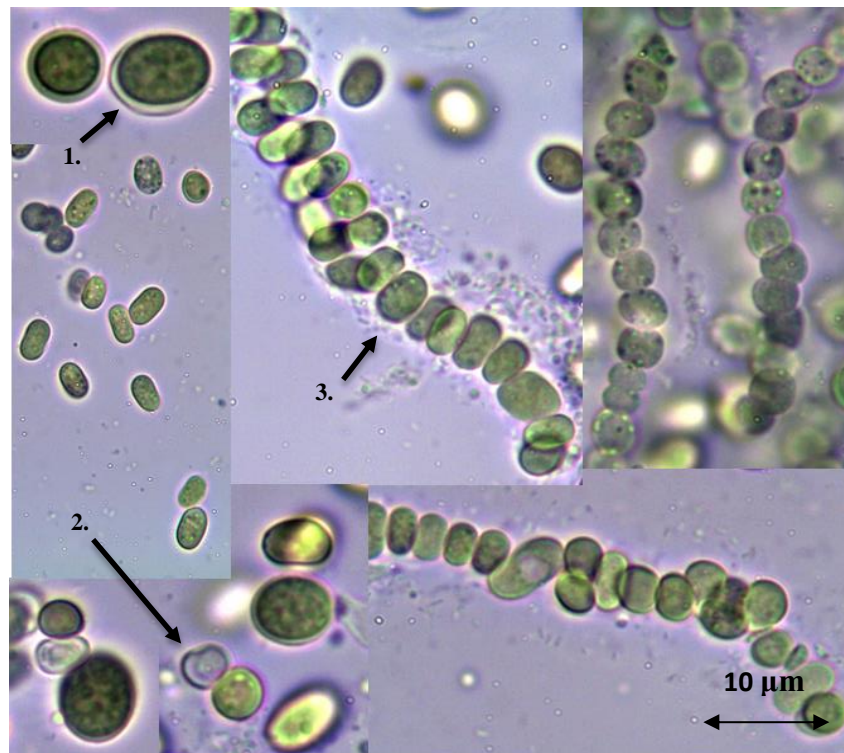
Obrázek 40: autor Bc. Řezáčová Tereza

4.1.4.3 Obrázky z roztoku 1/10P, zvětšení 100x, imerzní olej



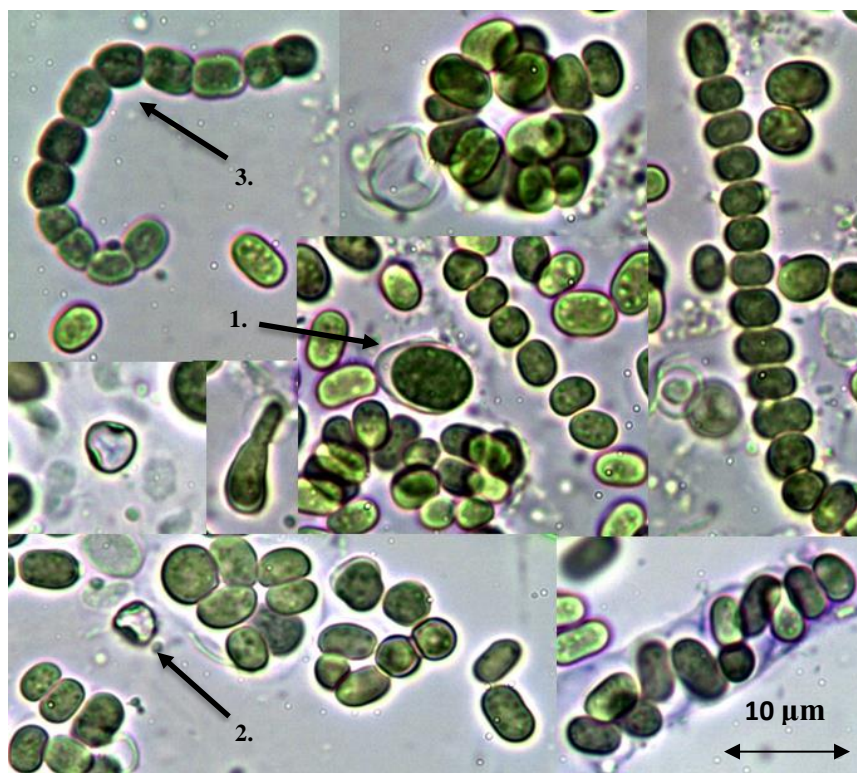
Obrázek 41: autor Bc. Řezáčová Tereza

4.1.4.4 Obrázky z roztoku 3N, zvětšení 100x, imerzní olej



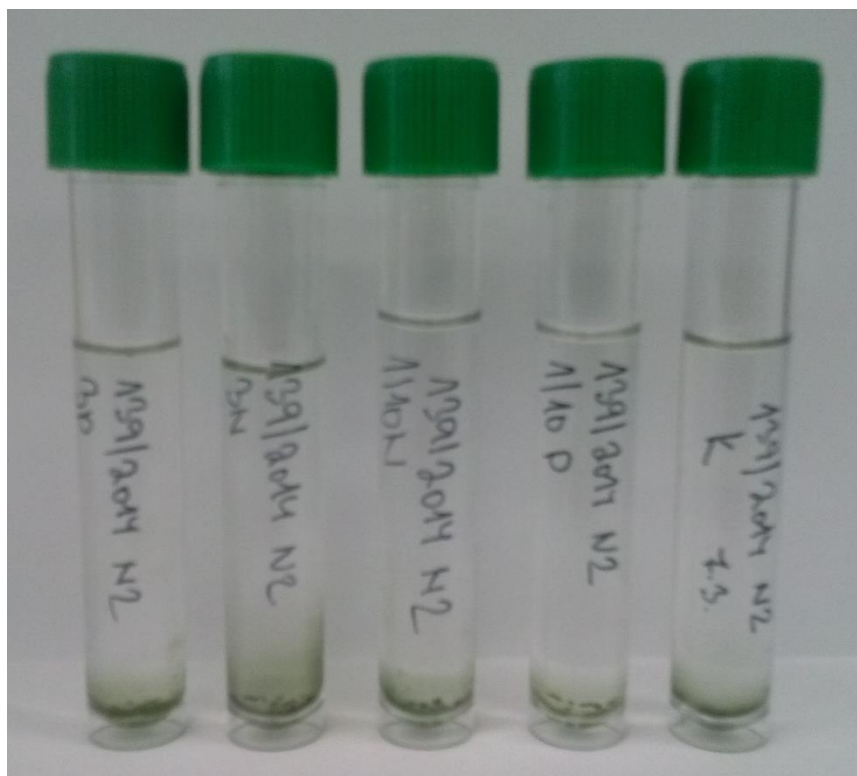
Obrázek 42: autor Bc. Řezáčová Tereza

#### 4.1.4.5 Obrázky z roztoku 3P, zvětšení 100x, imerzní olej



Obrázek 43: autor Bc. Řezáčová Tereza

#### 4.1.4.6 Makroskopická fotografie kmenů



Obrázek 44: Kmen 139/1 v různých typech roztoků, autor: Bc. Řezáčová Tereza

#### 4.1.5 *Oculatella* sp. kmen 139/2

Kmen 139/2 je vyizolován ze stejného vzorku jako kmen 139/1. Molekulární analýza u tohoto kmene neproběhla, ale dle základních charakteristických vlastností se jedná o rod *Oculatella*. Opět se jedná o drobnou vláknitou sinici, podobnou svým habitem zástupcům rodu *Leptolyngbya* a liší se v závislosti na přítomnosti červených až temně hnědých rodopsinu podobných pigmentů uložených ve špičce vláken. U tohoto kmene je občasný výskyt uložených pigmentů.

Kolonie tohoto kmene tvoří souvislé nebo nahloučené trsy, které jsou přisedlé k povrchu kultivační nádoby a postupně z nich vyrůstají další vlákna volně do prostoru (obrázek 52). Kolonie jsou tmavě hnědé až hnědo-zelené. Vlákna jsou rovná, zvlněná nebo se proplétají. Slizová pochva není zřetelná. Přehrádky mezi buňkami jsou až 0,5  $\mu\text{m}$  široké. Vlákna jsou široká  $0,7 \pm 1 \mu\text{m}$  (obrázek 47, tabulka 13), což je statisticky signifikantně užší než při snížené koncentraci dusíku. V jedné slizové pochvě se většinou vyskytuje jeden trichom. Jednotlivé buňky jsou  $1 \pm 3 \mu\text{m}$  dlouhé a uvnitř homogenní se velmi světlým proužkem nukleoplasmy uprostřed. Buňky jsou protáhlé. Nevyskytuje se pravé ani nepravé větvení. Apikální buňka je delší než ostatní buňky ve vláknu, často je stejně dlouhá, zaoblená a nevyskytuje se tmavě červeně zbarvená špička. Rozmnožuje se rozpadem vláken, příležitostně pomocí nekrotických buněk.

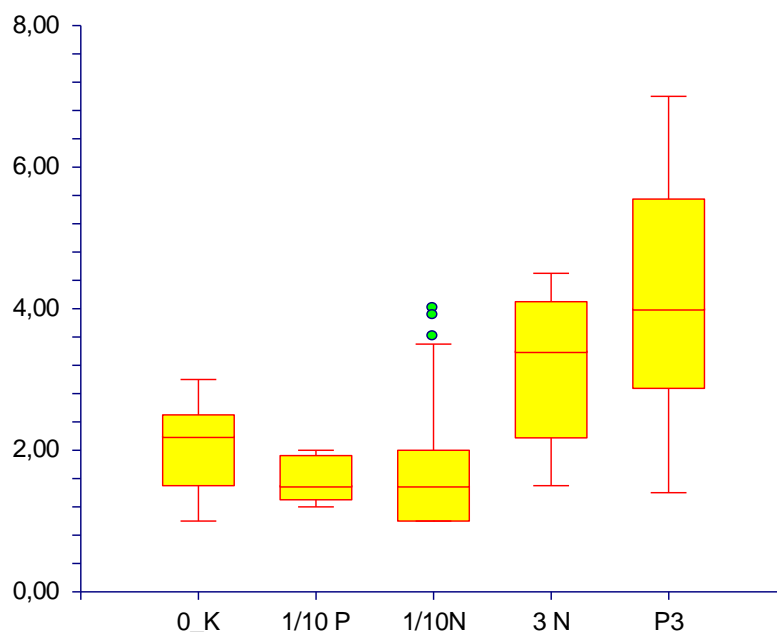
Při nižší koncentraci dusíku jsou vlákna širší než v základní koncentraci živin média Z (obrázek 48, tabulka 13). Vlákna jsou zvlněná, propletená a často zkrácená. Slizová pochva není zřetelná, výskyt úlomků. Vlákna jsou široká  $0,5 \pm 0,9 \mu\text{m}$ . V jedné slizové pochvě se většinou vyskytuje jeden trichom. Jednotlivé buňky jsou  $1 \pm 4 \mu\text{m}$  dlouhé, statisticky signifikantně jsou delší, než v základní koncentraci živin média Z. Buňky jsou protáhlé, nezúžené. Nukleoplasma uvnitř tvoří uprostřed výrazný světlý proužek. Nevyskytuje se pravé ani nepravé větvení. Apikální buňka je stejně dlouhá jako ostatní buňky ve vláknu, zaoblená a nevyskytuje se tmavě červeně zbarvená špička. Žádná přítomnost akinet a heterocytů.

Při nižší koncentraci fosforu tvoří kmen chomáčkovité kolonie, které se rozrůstají po povrchu kultivační nádoby (obrázek 52). Kolonie jsou obalené bezbarvým slizem. Vlákna jsou rovná, mírně vlnitá, propletená. Často tvoří zlomy. Slizová pochva je tenká,

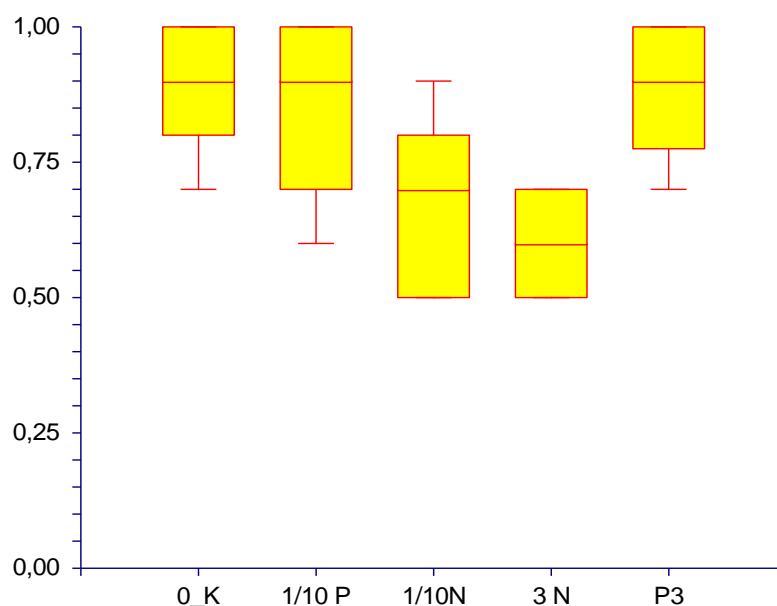
bezbarvá a často končí společně s apikální buňkou. Vlákna jsou široká  $0,6 \pm 1 \mu\text{m}$ . Statisticky signifikantně jsou tato vlákna společně s vlákny z roztoku se sníženou koncentrací dusíku užší než v ostatních médiích. Jednotlivé buňky jsou protáhlé a dlouhé  $1,2 \pm 2 \mu\text{m}$  (obrázek 49, tabulka 13). Apikální buňky jsou nejdelšími buňkami, často 2×-3× delší. Konec apikálních buněk je zaoblený. Občasná přítomnost granul umístěných u buněčné stěny, jinak homogenní obsah buněk s pravidelnou přítomností světle zbarvené nukleoplasmu uprostřed. Nevyskytuje se tmavě červeně zbarvená špička. Žádná přítomnost akinet, heterocytů ani větvení.

Při vyšší koncentraci dusíku se kolonie vznášejí na hladině a tvoří chomáče. Vlákna jsou dlouhá, rovná, vlnitá, propletená do provazců, občas samostatná. Slizová pochva je velmi tenká, pevná a bezbarvá. U zlámaných vláken pokračuje dál za vlákno a drží svůj tvar. Vlákna jsou široká  $0,5 \pm 0,7 \mu\text{m}$  (obrázek 50, tabulka 13). Statisticky signifikantně jsou užší než v kterémkoliv jiném médiu. Jednotlivé buňky jsou protáhlé, nezúžené a dlouhé  $1,5 \pm 4,5 \mu\text{m}$ . Světlý proužek nukleoplasmu uprostřed viditelný zřídka. Apikální buňky jsou zaoblené a většinou stejně dlouhé jako ostatní buňky. Nevyskytuje se tmavě červeně zbarvená špička. Častý výskyt nekrotických buněk. Žádná přítomnost akinet, heterocytů ani větvení.

Při zvýšené koncentraci fosforu tvoří kolonie menší chomáčky, rozrůstají se velmi pomalu. Vlákna jsou rovná, propletená a v místě spojení buněk tvoří časté zlomy. Vlákna jsou široká  $0,7 \pm 1 \mu\text{m}$  (obrázek 51, tabulka 13), statisticky signifikantně jsou velmi podobná svou šířkou vláknům v základní koncentraci živin média Z. Slizová pochva je tenká, pevná, bezbarvá a občas neprůhledná. Jednotlivé buňky jsou protáhlé. Zřetelný rozdíl mezi délkami,  $1,4 \pm 7 \mu\text{m}$ , výskyt krátkých barelových buněk i dlouhých protáhlých buněk. Typický světlý proužek nukleoplasmu uprostřed buněk není často zřetelný. Apikální buňky mohou být nejdelšími buňkami nebo stejně dlouhé, dokonce i kratší než ostatní buňky. Nevyskytuje se tmavě červená špička. Žádná přítomnost akinet, heterocytů ani větvení.



**Obrázek 45:** Variabilita délek vegetativních buněk, *Oculatella* sp. kmen 139/2,  $F = 30,89$ ,  $p = 0,000000^*$



**Obrázek 46:** Variabilita šířek vegetativních buněk, *Oculatella* sp. kmen 139/2,  $F = 31,14$ ,  $p = 0,000000^*$

Největší variabilita délek je v roztoku s vyšší koncentrací fosforu. V tomto médiu dosahují buňky u nejdeších délek. Nejmenší variabilita je v roztocích se sníženou koncentrací dusíku i fosforu a zároveň také v konstantní koncentraci živin. Nejratší buňky jsou v médiích se sníženou koncentrací fosforu i dusíku. Největší variabilita šířek buněk je v roztoku se sníženou koncentrací dusíku. Nejužší jsou ovšem v roztoku se zvýšenou koncentrací dusíku. Nejširší jsou v konstantním roztoku, v roztoku se sníženou i zvýšenou koncentrací fosforu.



**Tabulka 13:** Popisné statistiky rozměrů buněk *Oculatella* sp. kmen 139/2.

Kmen 139/2	DÉLKA			ŠÍŘKA		
	$\bar{x} \pm \text{STD}$	MIN	MAX	$\bar{x} \pm \text{STD}$	MIN	MAX
1/10N	1,8 ± 0,9093385	1	4	0,6766667 ± 0,150134	0,5	0,9
3N	3,173333 ± 0,9985967	1,5	4,5	0,6033334 ± 8,502873E-02	0,5	0,7
1/10P	1,563333 ± 0,30904	1,2	2	0,8566667 ± 0,1381736	0,6	1
3P	4,016667 ± 1,698089	1,4	7	0,8733333 ± 0,1229896	0,7	1
K	2,070968 ± 0,6694244	1	3	0,8774194 ± 0,1257237	0,7	1

**Tabulka 14:** Kruskal Wallisův test, mnohonásobné porovnávání rozdílů v délce buněk.

Kmen 139/2	K	1/10P	1/10N	3N	3P
K	0,0000	2,2901	1,7895	3,1674	4,0837
1/10P	2,2901	0,0000	0,4966	5,4133	6,3222
1/10N	1,7895	0,4966	0,0000	4,9168	5,8257
3N	3,1674	5,4133	4,9168	0,0000	0,9089
3P	4,0937	6,3222	5,8257	0,9089	0,0000

**Tabulka 15:** Kruskal Wallisův test, mnohonásobné porovnávání rozdílů v šířce buněk.

Kmen 139/2	K	1/10P	1/10N	3N	3P
K	0,0000	0,5412	4,5221	6,3767	0,1147
1/10P	0,5412	0,0000	3,9487	5,7883	0,4230
1/10N	4,5221	3,9487	0,0000	1,8396	4,3717
3N	6,3767	5,7883	1,8396	0,0000	6,2113
3P	0,1147	0,4230	4,3717	6,2113	0,0000

**4.1.5.1** Obrázky z roztoku K – kontrola, zvětšení 100x, imerzní olej



Obrázek 47: autor Bc. Řezáčová Tereza

**4.1.5.2** Obrázky z roztoku 1/10N, zvětšení 100x, imerzní olej



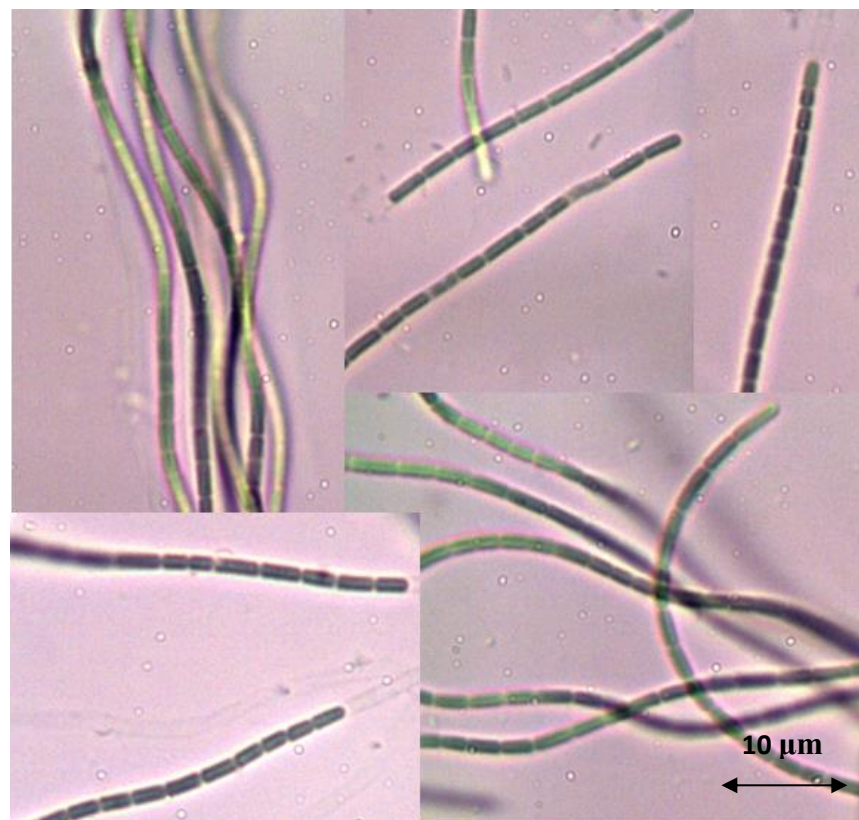
Obrázek 48: autor Bc. Řezáčová Tereza

**4.1.5.3 Obrázky z roztoku 1/10P, zvětšení 100x, imerzní olej**



**Obrázek 49:** autor Bc. Řezáčová Tereza

**4.1.5.4 Obrázky z roztoku 3N, zvětšení 100x, imerzní olej**



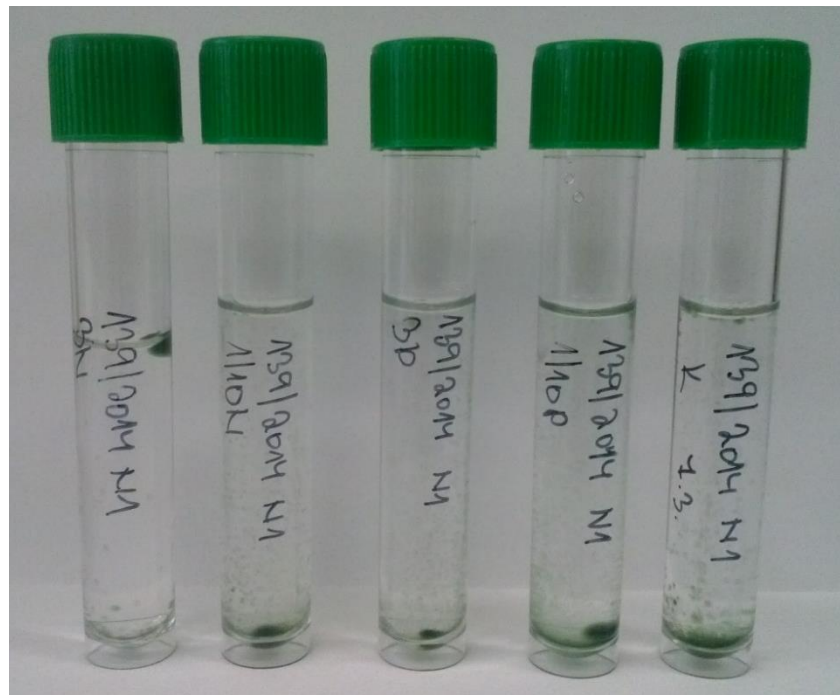
**Obrázek 50:** autor Bc. Řezáčová Tereza

#### 4.1.5.5 Obrázky z roztoku 3P, zvětšení 100x, imerzní olej



Obrázek 51: autor Bc. Řezáčová Tereza

#### 4.1.5.6 Makroskopická fotografie kmenů



Obrázek 52: Kmen 139/2 v různých typech roztoků, autor: Bc. Řezáčová Tereza

## 5 SINICE VE VÝUCE BIOLOGIE

Sinice jsou velmi častou součástí přírody kolem nás. Můžeme je nalézt dokonce i v prostředích, které jsou svými životními podmínkami běžně nepříznivé. Sinice najdeme ve sladkých i slaných vodách, na souši v půdě, na kamenech, stromech nebo na živých organismech (například lenochod).

Jejich běžná dostupnost v našich podmínkách nám zajišťuje dostatečný materiál pro výuku přírodopisu či biologie. Se správným kvalitním vybavením se žáci mohou seznámit se základními druhy sinic (případně i řas) a naučit se poznávat nejen to, co je kolem nich skryto v mikroskopickém světě, ale i zacházet se základním vybavením mikroskopu. Můžeme díky nim popsat vznik vodního květu v důsledku eutrofizace vod a další ekologické aspekty jejich výskytu.

Se sinicemi se můžeme seznámit již na základní škole ve výuce přírodopisu, kde se většinou v sedmé třídě v rámci botaniky probírají základy řas a sinic. Následně se jim věnuje část hodin v prvním ročníku na středních školách v biologii, kde žáci mají k dispozici i trvalé preparáty některých modelových druhů. Žáci a studenti by měli poznat alespoň pár zástupců této velké skupiny a celkově sinice charakterizovat. Pro cvičení jsou vhodné pracovní listy s možností si zakreslit druhy, které žáci uvidí v mikroskopu.

## 6 DISKUZE

Taxonomie sinic vyžaduje důkladnou revizi. V současné době k ní nemůžeme přistupovat pouze jedním způsobem, kdy jsou využity pouze data morfologická, molekulární nebo ekologická (Komárek *et al.*, 2009). Nachází se zde také otázka, jak můžeme vymezit jednotlivé taxony či druhy. Jedním z kritérií pro oddělení jednotlivých druhů byl navržen 97,5% limit podobnosti 16S rRNA genu, tato hodnota je poměrně široce akcetovaná. Jednou z nejlepších cest k definici rodů je molekulární separace spolu s apomorfním morfologickým znakem (např. Strunecký *et al.*, 2011), včetně dalších markerů (například morfologických či ekologických). U rodů jako je například *Synechococcus*, *Leptolyngbya* a *Pseudanabaena* je velmi obtížné definovat taxon po morfologické stránce. Proto se používá status kryptický taxon (rod nebo druh) (Dvořák *et al.*, 2015).

V rámci méj diplomové práce jsem izolovala a morfologicky charakterizovala pět kmenů vláknitých sinic z Keni. Pro detailnější určení kmenů 119, 123 a 139/2 je vhodné provést ještě molekulární analýzu DNA a přesně určit daný druh. Kmeny 120 a 139/1 molekulární analýzou prošly a ta bude následně zpracovávána v dalším výzkumu.

Kmen 119 byl morfologicky určen jako *Oculatella* sp. Rod *Oculatella* je odvozen od rodu *Leptolyngbya*, se kterým má velmi mnoho společných znaků. Čiště vyizolované druhy *Oculatella* sp. byly založeny na fylogenetických analýzách 16S rRNA genu a 16S-23S ITS (Osorio-Santos *et al.*, 2014). V tomto výzkumu popsali 27 kmenů *Oculatella* z pouště Atacama a jiných oblastí. Tento nový rod definovali poprvé v dostupné literatuře Albertano a Grilli-Caiola (1988). Komárek & Anagnostidis (2005) tento rod popsali jako zvláštní morfotyp s označením *Leptolyngbya* "Albertano/Kováčik-red". Tento rod je odlišný od všech ostatních rodů v rámci *Pseudanabaenaceae*. Rozdílnost se zakládá na přítomnosti rhodopsinu, jako červených inkluzí v apikálních buňkách vláken (Albertano *et al.*, 2000). Druh *Leptolyngbya sapera* (Schwabe) Anagnostidis (2001), je až na výskyt slizových obalů morfologicky velmi podobný kmenu 119 dle popisu Anagnostidis (2001). V kultivaci při uměle vytvořených podmínkách vytváří slizovou vrstvu na rozdíl od druhů vyskytujících se přirozeně v původním prostředí. U kmene 119 byl častý výskyt tmavě-červené špičky, o které se v morfologickém popisu Anagnostidis (2001)

nezmiňuje. Dále by mohlo jít o *Leptolyngbya patinae* (Schwabe) Anagnostidis (2001), odpovídající barvou a dalšími znaky jako například délka buněk či celkové zbarvení kolonie a vláken. Neodpovídá ovšem šířkou vláken a výskytem tmavě-červené špičky. Nikde ve výše probraných popisech se nevyskytovala zmínka o světlém proužku nukleoplasmu.

Kmen 120, *Blennothrix* sp, tvoří různobarevné stélky (olivově až černě zelená, světle až tmavě zeleno-modrá, načernalá až černá, vzácně červeno-hnědá či fialovo-černá) variabilních tvarů (rourovitá, vláknitá, chomáčovitá, šupinovitá, vzácně hemisférická a polštářovitá). Vláknina bývají rovná nebo mírně vlnitá, provázaná, větvená nebo zřídka tvoří nepravě větvené skupinky nebo chomáče (Anagnostidis & Komárek, 1988). Mimo Evropu se vyskytuje vzácně jeden evropský druh *Blennothrix brebissonii* (Kützing ex Gomont) Anagnostidis & Komárek (1988), basionym *Hydrocoleum brebissonii* Kützing ex Gomont. Tato sinice, dle morfologického popisu Anagnostidis & Komárek (1988), vytváří shluky, které jsou spojeny v řídce nepravě větvené trsy dlouhé až 5 mm. Slizový obal se mění dle toho, jestli bylo vlákno odebráno z povrchu nebo z hlubších vrstev přichycených k substrátu. Šířka trichomů 8-10  $\mu\text{m}$  sice neodpovídá mnou naměřeným hodnotám v průměru 4-5  $\mu\text{m}$ , ale vyskytovaly se občas vlákna s větší šířkou. Jednotlivé buňky jsou diskovité a 2x-4x kratší než širší, což by odpovídalo mým výsledkům. Typické hlavaté apikální buňky se vyskytují jak u *Blennothrix brebissonii*, tak u mého kmene. Toto zakončení se ale nevyskytuje u vláken, která byla vystavena působení vyšší koncentrace fosforu a dusíku a zároveň také nižší koncentraci dusíku. V základní koncentraci živin se ale typické hlavovité zakončení vyskytuje. Také se zde vyskytuje kuželovitá kalyptra. *Blennothrix brebissonii* je ovšem známější svým výskytem v mírném pásu ve sladkých vodách, pramenech nebo čirých potocích. *Blennothrix coerulea* (Gardner) Anagnostidis & Komárek (1988), jejíž vzorek byl poprvé odebrán z horských pramenů Portorika Gardnerem (1927), původně nazývaný *Hydrocoleum caeruleum* N. L. Gardner (1927). Tento druh se vyskytuje v horských pramenech a potocích, je popsán hlavně z Číny. Její výskyt byl ale také v USA (Beltrán-Magos *et al.*, 2013). Stélka je připevňená nebo volně plovoucí. Ve všech typech médií byla stélka plovoucí, pouze u snížené koncentrace dusíku byla více přisedlá k povrchu kultivační nádoby. *B. coerulea* má ovšem také často lamelózní slizovou pochvu. Tyto útvary jsem pozorovala u některých vláken v konstantním roztoku živin média Z, snížené koncentraci fosforu a nejvíce při zvýšené koncentraci dusíku. Šířka vláken ovšem dosahuje velikosti

24 až 28  $\mu\text{m}$ , což se velmi liší od mých naměřených hodnot. Dalšími mimoevropskými zástupci *Blennothrix* jsou nejpodobnější typy *Blennothrix minus* (Geitler) Anagnostidis (2001) a *Blennothrix mirifica* (Jao) Anagnostidis (2001). První zmíněný zástupce je pravděpodobně dalším velmi podobným druhem, ovšem výskyt *B. minus* byl zatím zaznamenán jen pouze v termálních pramenech na Sumatře. *B. mirifica* je co se týče charakteristických znaků velmi podobná mému kmenu, ale její výskyt je hlavně v mořích USA a slizová pochva obsahuje více trichomů než kmen 120.

*Leptolyngbya* sp. kmen 123 se dle dostupných zdrojů podobá nejvíce druhu *Leptolyngbya valderiana* (Gomont) Anagnostidis & Komárek (1988). *Leptolyngbya* je pravděpodobně polyfyletický taxon (Komárek & Anagnostidis 2005), protože obsahuje sinice s odlišnou evoluční historií. Makroskopický vzhled stélky kmene 123 je velmi blízký popsanému druhu. Zbarvení tvoří lehkou odchylku (kolonie je hnědo-zelená nebo tmavě-hnědá), ale vzhledem k tomu, že jde o kultivaci v nepřirozeném prostředí, může být tento fakt akceptován. Jednotlivé buňky jsou spíše kratší než širší. Podle Anagnostidis & Komárek (1988) jsou vlákna až do 3  $\mu\text{m}$  široká a v mém vzorku se vyskytovala vlákna o šířce 2-2,5  $\mu\text{m}$ . Buňky nejsou vůbec zúžené a nezaznamenala jsem přítomnost tmavě-červeně zbarvené špičky. Vlákna dle jejich popisu jsou rovná a nejsou na koncích protáhlá. Místem výskytu se ovšem velmi liší, protože *L. valderiana* je zaznamenána hlavně ze slaných vod (Premanandh *et al.*, 2009). *Leptolyngbya borchgrevinkii* Komárek (2005), se také shoduje v mnoha morfologických znacích. Makroskopicky se stélka tohoto druhu vyskytuje ve formě drobných gelovitých žluto-hnědých porostů, s hustě seskupenými vlákny, které jsou ohebné a vzácně vlnité, ale občas spirálně stočené ve výrazných charakteristických točitých formacích. Tento popis se až na barvu blíží více mnou popsanému kmenu. Buňky jsou ale delší než širší a jejich šířka se pohybuje od 0,8 do 2,4  $\mu\text{m}$ , což moc neodpovídá mnou naměřeným hodnotám. Tento jev ale může být způsoben podmínkami prostředí. Tato sinice se ale odlišuje hlavně místem nálezu. *L. borchgrevinkii* se vyskytuje hlavně v plytkých litorálních a glaciálních potocích, obzvláště na vlhkých subantarktických ostrovech. Běžně se vyskytují na South Shetland Islands.

*Nostoc* sp. kmen 139/1 nejvíce odpovídá druhu *Nostoc paludosum* Kützing ex Bornet *et* Flahault (1888). Vyskytuje se ve stojatých, neznečištěných vodách, močálech, rybnících, tůňkách s vodní vegetací, ve slepých ramenech a litorálních jezerech, utváří



makroskopický porost na vodních rostlinách a potopených substrátech. Tento druh je považován za kosmopolitní, ale očekává se ještě prozkoumání právě tropických oblastí. Kolonie se ve vzorku i u daného druhu rozrůstají od mikroskopických až makroskopických nepravidelných kulovitých shluků. Vyskytují se bezbarvé slizové obaly. Velikost buněk by odpovídala mnou naměřeným hodnotám. Heterocyty většinou byly ve vzorku sférické nebo soudkovité. Vegetativní buňky ovšem byly stejně velké nebo větší než heterocyty, což je přesně naopak než u *N. paludosum*. S ohledem na dostupná floristická data se domnívám, že je to možné z hlediska výskytu, že se jedná o *N. paludosum*, kdy preferuje spíše neutrální nebo kyselé prostředí. Dalším druhem, který by odpovídal vyizolovanému kmenu by mohl být *Nostoc linckia* Bornet et Flahault (1888). Kolonie jsou po rozrostení také nepravidelně shloučené a volně se vznášejí ve formě nepravidelných amorfních rozpojících se obvykle hnědých, žluto-hnědých nebo špinavě olivově-zelených gelovitých shluků. Většina buněk kmene 139/1 ovšem není soudečkovitého typu. Jejich velikost by ale opět odpovídala popsanému druhu *N. linckia*. Vyskytuje se hlavně v malých stojatých neznečištěných přehradách nebo vodních nádržích, obvykle s vodními rostlinami, v zátokách malých jezer, často s písčitymi dny. V tropických regionech byl tento druh zaznamenán v rýžových polích. Dalším ze zástupců této skupiny, který má některé morfologické znaky shodné s kmenem 139/1 je *Nostoc carneum* Agardh ex Bornet et Flahault (1888). Heterotypické synonyma tohoto druhu jsou *Nostoc rufescens* C. Agardh (1824), *Anabaena rufescens* (C. Agardh) Kirchner (1878), *Nostoc spongiaeforme* C. Agardh ex Bornet & Flahault (1886). Tento druh se vyskytuje ve stojatých neznečištěných vodách, připevněné k ponořeným rostlinám a jiným substrátům, později se mohou vznášet v masách na povrchu a ve vodním sloupci. *N. carneum* je také považován za kosmopolitní druh. Tvar buněk ale nemusí být vždy soudečkovitý a cylindrický. Akinety tohoto druhu občas mívají nažloutlou buněčnou stěnu, ale v mém vzorku se prakticky vyskytovaly bezbarvé. *Nostoc verrucosum* Vaucher ex Bornet et Flahault (1888) by mohl, dle mého názoru, být další druh odpovídající kmenu 139/1. Pravděpodobně ale preferuje zásadité substráty a mírné oblasti. Zatím nebyl prakticky nalezen v tropických regionech, i když je považován za kosmopolitní. Celkově byl nárůst kolonií ve všech typech roztoků v tohoto kmene velmi pomalý. Dle Silva et al., (1989) byl rychlejší růst v novém kulturním médiu BW<sub>3</sub>. V tomto médiu byl obsah pigmentu c-fykocyaninu závislý na použitých podmínkách kultury, obzvláště na dusíkových a uhlíkových zdrojích. Kultura *Nostoc* sp. v médiu BW<sub>3</sub> se zdá být slibným zdrojem biomasy v produkci přírodních barviv.

U kmene 139/2 se dle morfologie domnívám, že by se mohlo jednat o druh *Plectonema andinum* Schwabe (1960) (synonymum *Leptolyngbya andina* (Schwabe) Anagnostidis (2001)). Podle Anagnostidis & Komárek (1988) se zřídka vyskytuje větvení, což jsem v izolovaném kmenu také zpozorovala. Šířka buněk může být v důsledku kultivace odlišná od druhů vyskytujících se na přirozených stanovištích. Trichomy nejsou vždy zúžené. Dle makroskopické stélky a výskytu by mohl odpovídat také druh *Lyngbya* sp. sensu Albertano & Grilli-Caiola (1998). Výskyt zlomů je celkem častý, ovšem častější je poblíž překřížení buněčných stěn a ne v apikální pozici koncových buněk. Apikální buňka je bez tlustší buněčné stěny a slizové obaly jsou tenké, bezbarvé, pevné a přisedlé k trichomům. Uvedený druh by měl mít pohyblivé hormogonie. Ve vzorcích byly vzácně zpozorovány hormogonie, ale nepozorovala jsem žádný pohyb. Výskytem by se tato sinice mohla blížít místem nálezu mnou zkoumaného vzorku. Po morfologické stránce by se mohlo jednat o *Leptolyngbya* BL0902, která sdílí pouze 89% genů mezi 16S a 23S rRNA se *Spirulina laxissima* SAG 256.80 (Shimura *et al.*, 2015). K detailnějšímu srovnání by bylo vhodné provést molekulární analýzu.

## 7 ZÁVĚR

V teoretické části této diplomové práce jsem se zaměřila na celkovou definici skupiny sinic, od základního popisu po detailní zpracování morfologické variability.

Úvod do praktické části tvořila kapitola s popisem postupů a metod, které se použily k dosažení daných výsledků. V samotné praktické části této diplomové práce byl popis morfologické variability z původních 20 vzorků, kde byly zaznamenány rody jako *Leptolyngbya*, *Nodosilinea*, *Oculatella*, *Blennothrix*, *Oscillatoria*, *Plyngbya*, *Gloeocapsa*, *Asterocapsa*, *Chroococciopsis* a *Gloeocapsopsis*. Z těchto rodů se vyizolovalo 5 kmenů: *Oculatella*, *Leptolyngbya* (2x), *Blennothrix* a *Nostoc*. Ostatní rody se nepodařilo úspěšně vyizolovat. Izolované kmeny byly vystaveny působení pěti typů modifikovaných medií Z – kontrola (základní koncentrace živin média Z), snížená koncentrace dusíku (1/10N), snížená koncentrace fosforu (1/10P), zvýšená koncentrace dusíku (3N) a zvýšená koncentrace fosforu (3P). Výsledky byly zaznamenány po třech týdnech morfologickým popisem a fotografickou dokumentací. Morfologická variabilita v různých typech medií byla odlišná u sledovaných znaků, jako například: přítomnost či nepřítomnost heterocytů a akinet, absence nebo tloušťka slizové pochvy, větvení vláken, rozmnožování a hlavně délky a šířky jednotlivých buněk. Někdy nedocházelo k výrazným odchylkám v morfologii od běžného stavu. Jednotlivé změny v délce a šířce buněk byly zaznamenány do tabulek k příslušným kmenům, následně byly tyto údaje použity ke statistickému vyhodnocování. Morfologická klasifikace získaných dat byla v diskuzi porovnávána s druhy, které se mohou pravděpodobně vyskytovat na daném území.

V závěru diplomové práce je krátká pasáž o použití sinic ve výuce biologie na našich základních a středních školách.

## 8 POUŽITÁ LITERATURA

Abed, R. M. M., Schönhuber, W., Amann, R., Garcia-Pichel, F. (2002): Picobenthic cyanobacterial population revealed by 16S rRNA-targeted in situ hybridization. *Environmental Microbiology* 4, 375-382.

Adams, D. G. and Duggan, P. S. (1999): Heterocyst and akinete differentiation in cyanobacteria. *New Phytologist* 144, 3-33.

Albertano, P., Barsanti, L., Passarelli, V., Gualtieri, P. (2000): A complex photoreceptive structure in the cyanobacterium *Leptolyngbya* sp. Article in *Micron* 31(1): 27-34. PubMed.

Bauld, J., D'Amelio, E. & Farmer, J.D. (1992). Modern microbial mats. In *The Proterozoic Biosphere* (Schopf, J.W. & Klein, C., editors), 261-269. Cambridge University Press, Cambridge. *Hidrobiológica* vol.23 no.1 México ene.

Blank, C. E. (2004): Evolutionary timing of the origins of mesophilic sulphate reduction and oxygenic photosynthesis a phylogenomic dating approach. *Geobiology* 2, 1-20.

Blankenship, R. E. (1992): Origin and early evolution of photosynthesis. *Photosynthesis Research* 33, 91-111.

Böhm, G.A., Pfliegerer, W., Böger, P. & Scherer, S. (1995): Structure of a novel oligosaccharidemycosporine-amino acid ultraviolet A/B sunscreen pigment from the terrestrial cyanobacterium *Nostoc commune*. – *J. Biol. Chem.* 270: 8536–8539.

Borowitzka, M.A. & Larkum, A.W.D. (1986). Reef algae. *Oceanus*, 29: 49-54.

Boussiba, S., Wu, X. and Zarka, A. (2000): Alkaliphilic cyanobacteria. In: J. Seckbach (ed.), *Journey to Diverse Microbial Worlds*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 209-224.

Brake, S. S., Hasiotis, S. T. (2010): Eukaryote dominated biofilms and their significance in acidic environments. *Geomicrobiology Journal* 27 (6-7): 534-558.

Brock, T. D. (1978): *Thermophilic Microorganisms a Life at High Temperatures*. Springer Verlag, New York.

Bryant, D. A., Glazer, A. N. and Eiserling, F. A. (1976): Charakterization and structural properties of the major biliproteins of *Anabaena* sp. *Archives of Microbiology* 110, 61-75.

Büdel, B. & Lange, O.L. (1991). Water status of green and blue-green phycobionts in lichen thalli after hydration by water vapor uptake : Do they become turgid? *Bot. Acta*, 104: 361±366.

Büdel, B., Becker, U., Sterflinger, K. & Follmann, G. (1999). Fungi, algae, and lichens. In *The Vegetation of Inselbergs* (Porembski, S. & Barthlott, W., editors). Springer, Berlin.

Büdel, B., Lüttge, U., Stelzer, R., Huber, O. & Medina, E. (1994). Cyanobacteria of rocks and soils of the Orinoco lowlands and the Guayana uplands, Venezuela. *Bot. Acta*, 107: 422±431.

Büdel, B., Wessels, D.C.J. (1991). Rock inhabiting blue-green algae/cyanobacteria from hot arid regions. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 92 (Algol.Stud., 64) : 385±398.

Buick, R. (1992): The antiquity of oxygenic photosynthesis – Evidence from stromatolites in sulfate-deficient Archean lakes. *Science* 255, 74-77.

Burger-Wiersma, T., Stal, L. J. and Mur, L. R. (1989): *Prochlorothrix hollandica* gen.nov., sp.nov., a filamentous oxygenic photoautotrophic prokaryote containing chlorophylls a and b: assignment to *Prochlorotrichaceae* fam.nov. and order *Prochlorales* Florenzano, Balloni, and Materassi 1986, with emendation of the ordinal description. *International Journal of Systematic Bacteriology* 39, 250-257.

Burris, R.H. (1976). Nitrogen fixation by blue-green algae of the Lizard Island area of the Great Barrier Reef. *Aust. J. Plant Physiol.*, 3: 41-51.

Capone, D. G., Zehr, J. P., Paerl, H.W., Bergman, B.&Carpenter, E.J. (1997). *Trichodesmium*, a globally significant marine cyanobacterium. *Science*, **276**: 1221-1229.

Capone, D.G. & Carpenter, E.J. (1982). Nitrogen fixation in the marine environment. *Science*, **217**: 1140-1142.

Capone, D.G., Zehr, J.P., Paerl, H.W., Bergman, B.&Carpenter, E.J. (1997). *Trichodesmium*, a globally significant marine cyanobacterium. *Science*, 276: 1221-1229.

Cardellina, J.H., Marnier, F.J., Moore, R.E. (1979). Seaweed dermatitis : structure of lyngbyatoxin A. *Science*, 204: 193-195.

Castenholz R. W. (2001): Phylum BX. Cyanobacteria. – In: Boone D. R. & Castenholz R. W. (eds), *Bergey's manual of systematic bacteriology*, p. 473–599, Springer, New York.

Cifferi, O. (1983): *Spirulina*, the edible microorganism. *Microbiol. Rev.* 47: 551-578.

Ciniglia, C., Yoon, H. S., Pollio, A., Pinto, G and Bhattacharya, D. (2004): Hidden biodiversity of the extremophilic Cyanidiales red algae. *Mol. Ecol.* 13: 1827-1838.

Cohen, Y., Krumbein, W. E. and Shilo, M. (1977): Solar Lake (Sinai). 2. Distribution of photosynthetic microorganisms and primary production. *Limnol. Oceanogr.* 22: 609-620.

Collins, F. S., Holden, I. and Setchell, W. A. (1901): *Phycotheca Boreali-Americana*. A collection of dried specimens of the algae of North America. Issued by Frank Shipley Collins, Isaac Holden, William Albert Setchell. Fascicle XVIII. Malden, Massachusetts.

Copeland, P. J. J. (1936): Yellowstone thermal Myxophyceae. *Annals of the New York Academy of Sciences* 36: 1-232.

Davies, P. (1999): *The Fifth Miracle*. Simon and Shuster, New York.

Dodds, W. K. & Castenholz, R.W. (1988): Effects of grazing and light on the growth of *Nostoc pruniforme* (Cyanobacteria). – *Br. Phycol. J.* 23: 219–227.

Drouet, F. (1943): New species and transfers in Myxophyceae. *Am. Mild. Nat.* 30: 671-674.

Drouet, F. (1981). Revision of the Stigonemataceae with a summary of the classification of the blue-green algae. *Beih. Nova Hedwigia*, **66**: 1-221.

Dvořák, P. , Poulíčková, A. , Hašler, P. , Belli, M., Casamatta, D. A., a Papini, A.(2015): Species concepts and speciation factors in cyanobacteria, with connection to the problems of diversity and classification.- *Biodiversity and Conservation*, 24: 739–757.

Faulkner, D.J. (1995). Marine natural products. *Nat. Prod. Rep.*, 12: 223-269.

Galdieri, A. (1899): Su di un'alga che cresce intorno alle fumarole della solfatara, nota del Dott. Agostino Galdieri. *Rendiconti Reale Accad. Sci. Fis.* 5: 160-164.

Garcia-Pichel, F. & Castenholz, R.W. (1991). Characterization and biological implications of scytonemin, a cyanobacterial sheath pigment. *J. Phycol.*, **27**: 395-409.

Garcia-Pichel, F. (2009): Cyanobacteria. – In: Schaechter, M. (ed.): *Encyclopedia of Microbiology*. Pp. 107–124. – Academic Press, Oxford.

Garcia-Pichel, F., Nübel, U. and Muyzer, G. (1998): The phylogeny of unicellular, extremely halotolerant cyanobacteria. *Arch. Microbiol.* 169: 469-482.

Garcia-Pichel, F., Prufert-Bebout, L. & Muyzer, G. (1996). Phenotypic and phylogenetic analyses show *Microcoleus chthonoplastes* to be a cosmopolitan cyanobacterium. *Appl. Environ. Microbiol.*, **62**: 3284-3291.

Garcia-Pichel, F., Prufert-Bebout, L. and Muyzer, G. (1996): Phenotypic a phylogenic analysis show *Microcoleus chthonoplastets* to be a cosmopolitic cyanobacterium. *Appl. Environmental Microbiology* 62: 3284-3291.

Geitler L. (1932): Cyanophyceae. – In: Rabenhorst's Kryptogamen Flora von Deutschland, Vol. 14, p. 1196, Akad. Verlagsges., Leipzig.

Geitler, L. and Ruttner, F. (1936): Die Cyanophyceen der Deutschen limnologische Sunda-Expedition, ihre Morphologie, Systematik und Ökologie. C. Ökologischer Teil. Arch. Hydrobiol. (Stuttgart) Suppl. Bd XIV (Tropische Binnengewässer VI): 553-715.

Gerwick, W.H., Mrozek, C., Moghaddam, M.F. & Agrarwal, S.K. (1989). Novel cytotoxic peptides from the tropical marine cyanobacterium *H. enteromorphoides*. I. Discovery, isolation and initial chemical and biological characterization of the hormothamnins from wild and cultured material. *Experientia*, 45: 115-121.

Goericke, R. and Repeta, D. J. (1992): The pigments of *Prochlorococcus marinus* – The presence of divinyl chlorophyll a and chlorophyll b in a marine prokaryote. *Limnology and Oceanography* 37, 425-433.

Golubic, S. & Browne, K.M. (1996). *Schizothrix gebeleinii* sp. nova builds subtidal stromatolites, Lee Stocking Island, Bahamas. *Arch. Hydrobiol. Suppl.*, **117** (*Algol. Stud.*, **83**) : 273-290.

Golubic, S. (1973). The relationship between blue-green algae and carbonate deposits. In *The Biology of Blue-Green Algae* (Carr, N.G. & Whitton, B.A., editors), 434-472. Blackwell Scientific, Oxford.

Golubic, S. (1985). Microbial mats and modern stromatolites in Shark Bay, Western Australia. In *Planetary Ecology* (Caldwell, D.E., Brierley, J.A. & Brierley, C.L., editors), 3-16. Van Nostrand Reinhold, New York.

Golubic, S., Al-Thukair, A.A. & Gektidis, M. (1996). New euendolithic cyanobacteria from the Arabian Gulf and the Bahama Bank: *Solentia sanguinea* sp. nova. *Arch. Hydrobiol. Suppl.*, 117 (*Algol. Stud.*, 83) : 291-301.

Grant, W. D. and Tindall, B. J. (1986): The alkaline saline environment. In: R. A. Herbert, and G. A. Codd (eds.), *Microbes in Extreme Environments*. Academic Press, London, pp. 25-54.



Grilli-Cailola, M., Billi, D. (2007): Chroococciopsis from desert to Mars. In: J. Seckbach (ed.) *Algae and Cyanobacteria in Extreme environments*. Springer, Dordrecht. Pp. 555-571.

Grossman, A. R., Schaefer, M. R., Chiang, G. G. and Collier, J. L. (1993): The phycobilisome, a light-harvesting complex responsive to environmental conditions. *Microbiological Reviews* 57, 725-749.

Hagemann, M., Schoor, A., Mikkat, S., Effmer, U., Zuther, E., Marin, K., Fulda, S., Vinnemeier, J., Kunert, A., Milkowsky, C., Probst, C. and Erdmann, N. (1999): The biochemistry and genetics of the synthesis of osmoprotective compounds in cyanobacteria. In: A. Orec (ed.), *Microbiology and Biogeochemistry of Hypersaline Environments*. CRC Press, Boca Raton, pp. 177-186.

Henson, B.J., Hesselbrock, S.M., Watson, L.E. & Barnum, S.R. (2004): Molecular phylogeny of the heterocystous cyanobacteria (subsections IV and V) based on *nifD*. – *IJSEM* 54: 493–497.

Hess, W. R., Partensky, F., van der Staay, G. W. M., Garcia-Fernandez, J. M., Börner, T. and Vaultot, D. (1996): Coexistence of phycoerythrin and a chlorophyll a/b antenna in a marine prokaryote. *Proceeding of the National Academy of Sciences* 93, 11126-11130.

Hindák, F. (2001): *Fotografický atlas mikroskopických siníc*. Veda, Bratislava. Pp. 127. ISBN 80-224-0658-9

Hirose, H. (1958): Rearrangement of the systematic position of the thermal alga, *Cyanidium caldarium*. *Bot. Mag. (Tokyo)* 71: 347-352.

Hoffmann, L. & Demoulin, V. (1991). *Marine Cyanophyceae of Papua New Guinea*. II. *Lyngbya bouillonii* sp. nov., a remarkable tropical reef-inhabiting blue-green alga. *Belg. J. Bot.*, 124: 82-88.

Hoffmann, L. & Demoulin, V. (1993). Marine Cyanophyceae of Papua New Guinea. III. The genera *Borzia* and *Oscillatoria*. *Bot. Mar.*, **36**: 451-459.

Hoffmann, L. (1993). Marine Cyanophyceae of Papua New Guinea. V. Nostocales (except Rivulariaceae) and Stigonematales. *Nova Hedwigia*, **57**: 393-408.

Hoffmann, L. (1994). Biogeography of marine blue-green algae. *Arch. Hydrobiol. Suppl.*, **105** (*Algol. Stud.*, **75**) : 137-148.

Hooper, G.J., Orjala, J., Schatzman, R.C. & Gerwick, W.H. (1998). Carmabins A and B, new lipopeptides from the Caribbean cyanobacterium *Lyngbya majuscula*. *J. Nat. Prod.*, **61**: 529-533.

Huber, O. (1995). Vegetation. In *Flora of the Venezuelan Guayana*, vol. 1 (Steyermark, J.A., Berry, P.E. & Holst, B.K., editors), 97±160. Timber Press, Portland, OR.

Chazottes, V., Le Campion-Alsumard, T. & Peyrot-Clausade, M. (1996). Bioerosion rates on reefs : interaction between microborers, macroborers and grazers (Moorea, French Polynesia). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **113**: 189-198.

Chisholm, S. W., Olson, R. J., Zettler, E. R., Goericke, R., Waterbury, J. B., Welschmeyer, N. A. (1988): A novel free-living Prochlorophyte abundant in the oceanic euphotic zone. *Nature* **334**, 340-343.

Chisholm, S. W., Olson, R. J., Zettler, E. R., Goericke, R., Waterbury, J. B. and Welschmeyer, N. A. (1988): A novel free-living Prochlorophyte abundant in the oceanic euphotic zone. *Nature* **334**, 340-343.

Javor, T. E. (1989): *Hypersaline Environments. Microbiology and Biogeochemistry.* Springer-Verlag, Berlin.

Kalina, T., Váňa, J., (2005): *Sinice, řasy, houby, mechorosty a podobné organismy v současné biologii.* – Karolinum. Praha. Pp. 60-77.

Karl, D., Michaels, A., Bergman, B., Capone, D., Carpenter, E., Letelier, R., Lipschulz, F., Paerl, H., Sigman, D and Stal, L. (2002): Dinitrogen fixation in the world's oceans. *Biogeochemistry* 57/58, 47-98.

Kehoe, D. M. and Grossman, A. R. (1996): Similarity of a chromatic adaptation sensor to phytochrome and ethylene receptors. *Science* 273, 1409-1412.

Klein, D., Braekman, J.C., Daloz, D., Hoffmann, L., Castillo, G. & Demoulin, V. (1999). Lyngbyapeptin A, a modified tetrapeptide from *Lyngbya bouillonii* (Cyanophyceae). *Tetrahedron Lett.*, 40: 695-696.

Knoll A. H. (2008): Cyanobacteria and earth history. – In: Herrero A. & Flores E. (eds), *The cyanobacteria: molecular biology, genomics and evolution*, p. 1–19, Caister Academic Press, Norfolk.

Komárek J. & Kaštovský J. (2003): Coincidences of structural and molecular characters in evolutionary lines of cyanobacteria. – *Algol. Stud.* 148: 305–325.

Komárek J. (2013): Cyanoprokaryota. 3. Heterocytous genera. – In: Büdel B., Gärtner G., Krienitz L. & Schagerl M. (eds), *Süßwasserflora von Mitteleuropa/Freshwater flora of Central Europe*, p. 1130, Springer Spektrum Berlin, Heidelberg.

Komárek, J. & Anagnostidis, K. (1999). Cyanoprokaryota. 1. Chroococcales. In *Süßwasserflora von Mitteleuropa* (Ettl, H., Gärtner, G., Heynig, H. & Mollenhauer, D., editors), vol. 19. Gustav Fischer, Jena.

Komárek, J. (1985). Do all cyanophytes have a cosmopolitan distribution? Survey of the freshwater cyanophyte flora of Cuba. *Arch. Hydrobiol. Suppl* 71 (*Algol. Studies*, 38/39) : 359-386.

Komárek, J. (2008): Antarktické vegetační oázy 6. Sinice a řasy. *Živa*, č. 6, 260-264.

Komárek, J., Kaštovský, J., Ventura, S., Turicchia, S. a Šmarda, J. (2009): The cyanobacterial genus *Phormidesmis*. -*Algological Studies* 129: 41-59.

Kondrateva, N.K. (1975): Morfogenez I osnovnye puti evoljucii gormogonievych vodoroslej. (Morphogenesis and the main evolutionary tendencies in hormogonal algae.). 302 pp. – Izd “Naukova dumka”, Kiev.

Kunkel, D.D. (1984): Cell division in baeocyte producing cyanobacteria. – *Protoplasma* 123: 104–115.

Kützing, F. T. (1849) (reprint 1969): *Species algarum*. Brockhaus, Leipzig. Reprint A. Asher, Amsterdam.

Larkum, A.W.D., Scaramuzzi, C., Cox, C., Hiller, R.G. & Turner, A.G. (1994). Light-harvesting chlorophyll-c like pigment in *Prochloron*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 91: 679-683.

Le Campion-Alsumard, T. (1979). Les Cyanophytes endolithes : systématique, ultrastructure, écologie et biodestruction. *Oceanol. Acta*, 2: 143-156.

Le Campion-Alsumard, T., Golubic, S. & Hutchings, P. (1995). Microbial endoliths in skeletons of live and dead corals : *Porites lobata* (Moorea, French Polynesia). *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 117: 149-157.

Lewin, R. A. & Cheng, L. (editors) (1989). *Prochloron: A Microbial Enigma*. Chapman and Hall, New York.

Lewis, R. A. and Withers, N. W. (1975): Extraordinary pigment composition of a prokaryotic alga. *Nature* 256, 735-737.

Lukas, K. J., Golubic, S. (1983): New endolithic cyanophytes from the north Atlantic Ocean. II. *Hyella gigas* Lukas and Golubis sp. nov. from the Florida continental margin. *Journal of Phycology* 19, 129-136.

Lüttge, U. (1997a). *Physiological Ecology of Tropical Plants*. Springer, Berlin.

Lüttge, U. (1997b). Cyanobacterial Tintenstrich communities and their ecology. *Naturwissenschaften*, 84: 526±534.

Lüttge, U. (2008): *Physiological Ecology of Tropical Plants*. 2nd edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 978-3-540-71793-5. Pp. 327-340.

Maršálek, B. (2002): Sinice jako producenti biologicky aktivních látek. - *Živa*, čís. 5.

Maršálek, B., Keršner, V., Marvan, P. (1996): *Vodní květy sinic. – Nadataio flos-aquae*, Brno. 142pp.

Merola, A., Castaldo, R., De Luca, P., Gambardella, R., Musacchio, A. and Taddei, R. (1981): Revision of *Cyanidium caldarium*. There species of acidophilic algae. *Giorn. Bot. Ital.* 115: 189-195.

Miyagishima, S.-Y., Wolk, C.P. & Osteryoung, K.W. (2005): Identification of cyanobacterial cell division genes by comparative and mutational analyses. – *Mol. Microbiol.* 56: 126–143.

Miyashita, H., Adachi, K., Kurano, N., Ikemoto, H., Chihara, M. & Miyachi, S. (1997). Pigment composition of a novel oxygenic photosynthetic prokaryote containing chlorophyll d as the major chlorophyll. *Plant Cell Physiol.*, 38: 274-281.

Miyashita, H., Ikemoto, H., Kurano, N., Adachi, K., Chihara, M. & Miyachi, S. (1996). Chlorophyll d as a major pigment. *Nature*, 383: 402.

Mollenhauer, D. (1986b): Blaualgen der Gattung *Nostoc* – ihre Rolle in Forschung und Wissenschaftsgeschichte, IV. – *Natur und Museum* 116: 104–120.

Moncreiff, C.A., Sullivan, M.J. & Daehnick, A.E. (1992). Primary production dynamics in seagrass beds of Mississippi Sound: the contributions of seagrass, epiphytic algae, sand microflora, and phytoplankton. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, **87**: 161-171.

Moore, L.R., Goericke, R. & Chisholm, S.W. (1995). Comparative physiology of *Synechococcus* and *Prochlorococcus* : influence of light and temperature on growth, pigments, fluorescence and absorptive properties. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, **116**: 259-275.

Moore, R.E. (1981). Constituents of blue-green algae. In *Marine Natural Products : Chemical and Biological Perspectives* (Scheuer, P.J., editor), vol. 4, 1-52. Academic Press, New York.

Morphological and molecular studie of *Neosynechococcus sphagnicola*, gen. et sp. nov. (Cyanobacteria, Synechococcales). -Phytotaxa (in press).

Mukai, H. & Iijima, A. (1995). Grazing effects of a gammaridean Amphipoda, *Ampithoe* sp., on the seagrass, *Syringodium isoetifolium*, and epiphytes in a tropical seagrass bed of Fiji. *Ecol. Res.*, **10**: 243-257.

Mullineaux, C. W. (2001): How do cyanobacteria sense and respond to light? *Molecular Microbiology* 41, 965-971.

Namikoshi, M. & Rinehart, R.L. (1996). Bioactive compounds produced by cyanobacteria. *J. Ind. Microbiol.*, 17: 373-384.

Neu, T. R., Eitner, A., Paje, M. L. (2003): Development and architecture of complex environmental biofilms. In: Krumbein, W. E., Paterson, D. M., Zavarzin, G. A., (editors): *Fossil and recent biofilms: A natural history of life on Earth*, Kluwer Academic Publishers, Dodrecht, 29-45.

Nübel, U., Garcia-Pichel, F. and Muyzer, G. (2000): The halotolerance and phylogeny of cyanobacteria with tightly coiled trichomes (*Spirulina* Turpin) and the description of *Halospirulina tapeticola* gen.nov.,sp.nov.*Int.J.Syst.Evol.Microbiol.* 86:1265-1277.

Oren, A. (2000): Salts and brines. In: B. A. Whitton, and M. Potts (eds.), *Ecology of Cyanobacteria: Their Diversity in Time and Space*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 281-306.

Orjala, J. & Gerwick, W.H. (1996). Barbamide, a chlorinated metabolite with molluscidal activity from the Caribbean cyanobacterium *Lyngbya majuscula*. *J. Nat. Prod.*, 59: 427-430.

Palenik, B (2001): Chromatic adaptation in marine *Synechococcus* strains. *Applied and Environmental Microbiology* 67, 991-994.

Pardy, R.L. & Royce, C.L. (1992). Ascidians with algal symbionts. In *Algae and Symbioses* (Reisser, W., editor), 215-230. Biopress, Bristol.

Partensky, F., Hess, W. R. & Vaulot, D. (1999). *Prochlorococcus*, a marine photosynthetic prokaryote of global significance. *Microb. Mol. Biol. Rev.*, 63: 106-127.

Pennings, S.C., Pablo, S.R. & Paul, V.J. (1997). Chemical defenses of the tropical, benthic marine cyanobacterium *Hormothamnion enteromorphoides*: diverse consumers and synergisms. *Limnol. Oceanogr.*, 42: 911-917.

Phillips, A., Lambert, G., Granger, J.E. & Steinke, T.D. (1996). Vertical zonation of epiphytic algae associated with *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. pneumatophores at Beachwood Mangroves Nature Reserve, Durban, South Africa. *Bot. Mar.*, 39: 167-175.

Post, F. J. (1977): The microbial ecology of the Great Salt Lake. *Microb. Ecol.* 3: 143-165.

Potts, M. & Whitton, B.A. (1980). Vegetation of the intertidal zone of the lagoon of Aldabra, with particular reference to the photosynthetic prokaryotic communities. *Proc. R. Soc. Lond., Ser. B*, 208: 13-55.

Potts, M. (1979). Nitrogen fixation (acetylene reduction) associated with communities of heterocystous and non-heterocystous blue-green algae in mangrove forests of Sinai. *Oecologia*, 39: 359-373.

Premanandh, J., Priya, B., Prabakaran, D. and Uma, L. (2009): Genetic heterogeneity of the marine cyanobacterium *Leptolyngbya valderiana* (Pseudanabaenaceae) evidenced by

RAPD molecular markers and 16S rDNA sequence data. Online in Journal of Plankton Research.

Radtke, G., Le Campion-Alsumard, T. & Golubic, S. (1997). Microbial assemblages involved in tropical coastal bioerosion : an Atlantic±Pacific comparison. In *Proc. 8th Int. Coral Reef Symp.*, **2**: 1825-1830.

Reed, R. H., Borowitzka, L. J., Mackay, M. A., Chudek, J. A., Foster, R., Warr, S. R. C., Moore, D. J. and Stewart, W. D. P. (1986): Organic solute accumulation in osmotically stressed cyanobacteria. *FEMS Microbiol. Rev.* 39: 51-56.

Richardson, L.L. (1996). Horizontal and vertical migration patterns of *Phormidium corallyticum* and *Beggiatoa* spp. associated with black-band disease of corals. *Microb. Ecol.*, 32: 323-335.

Rippka, R., Waterbury, J. and Cohen-Bazire, G. (1974): A cyanobacterium which lacks thylakoids. *Archiv für Mikrobiologie* 100, 419-436.

Rosendorf P., 2009: Ekologické nároky sinic a faktory ovlivňující jejich výskyt v různých typech nádrží. [cit. 2010-08-10] Dostupné na [www.heis.vuv.cz](http://www.heis.vuv.cz)

Round, F. E., Eaton, J. W. 1966. Persistent, vertical-migration rhythms in benthic microflora: III. The rhythm of epipelagic algae in freshwater pond. *Journal of Ecology* 54: 609-615

Rützler, K. & Santavy, D.L. (1983). The black band disease of Atlantic corals. I. Description of the cyanophyte pathogen. *Publ. Staz. Zool. Napoli (Italia) Mar. Ecol.*, 4: 301-319.

Samsonoff, W. A. and MaColl, R. (2001): Biliproteins and phycobilisomes from cyanobacteria and red algae at the extremes of habitat. *Archives of Microbiology* 176, 400-405.



Seckbach, J. (1996): Biological aspect of the origin of life: Open questions in eukaryogenesis. In: J. Chela-Flores, and F. Raulin (eds.), *Chemical Evolution: Physics of the Origin and Evolution of Life*. Kluwer Academic Publishes, Dordrecht, pp. 197-213.

Seckbach, J., and Oren, A. (2007): Oxygenic photosynthetic microorganisms in extreme environments: Possibilities and Limitations, In: J. Seckbach (ed.) *Algae and Cyanobacteria in Extreme environments*. Springer, Dordrecht. Pp. 555-571.

Seckbach, J., Oren, A. (2007): General introduction. – In: Seckbach, J. (ed.): *Algae and Cyanobacteria in Extreme Environments*. Pp. 3 - 25. – Springer. Thehebrew university of Jerusalem, Israel.

Shih P. M., Wu D., Latifi A., Axen S. D., Fewer D. P., Talla E., Calteau A., Cai F., Tandeau de Marsac N., Rippka R., Herdman M., Sivonen K., Coursin T., Laurent T., Goodwin L., Nolan M., Davenport K. W., Han C. S., Rubin E. M., Eisen J. A., Woyke T., Gugger M. & Kerfeld C. A. (2013): Improving the coverage of the cyanobacterial phylum using diversity-driven genome sequencing. – *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 110:1053–1058.

Shimizu, Y. (1996). Microalgal metabolites : a new perspective. *Annu. Rev. Microbiol.*, 50: 431-465.

Shimura, Y., Hirose, Y., Misawa, N., Osana, Y., Katoh, H., Yamaguchi, H., Kawachi, M. (2015): Comparison of the terrestrial cyanobacterium *Leptolyngbya* sp. NIES-2104 and the freshwater *Leptolyngbya boryana* PCC 6306 genomes. Edited by Dr Naotake Ogasawara. Online in DNA Research. Oxford Journals.

Schopf, J. W. (1994): Disparate rates, differing fates: Tempo and mode of evolution changed from the Precambrian to the Phaeozoic. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 91, 6735-6742.

Schopf, J.W. (2000): The fossil record: tracing the roots of the cyanobacterial lineage. – In: Whitton, B.A. & Potts, M. (eds.): *The Ecology of Cyanobacteria. Their Diversity in Time and Space*. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht. pp. 13-35.

Silva, H. J., Cortinas, T. I., Ertola, R. J. (1989): Effect of nutritional factors on the culture of *Nostoc* sp. as a source of phycobiliproteins. Online in Springer International Publishing. Applied Microbiology.

Sørensen, K. B., Canfield, D. E. and Oren, A. (2004): Salt responses of benthic microbial communities in a solar saltern (Eilat, Israel). *Appl. Environ. Microbiol.* 70: 1608-1616.  
Sournia, A. (1970). Les Cyanophyceles dans le plancton marin. *Ann. Biol.*, 9: 63-76.

Stal, L. J. (1991): The metabolic versatility of the mat-building cyanobacteria *Microcoleus chthonoplastes* and *Oscillatoria limosa* and its ecological significance. *Algological Studies* 64, 453-467.

Stam, W. (1978). A taxonomic study of a number of blue-green algal strains (Cyanophyceae) based on morphology, growth and deoxyribonucleic acid homologies. PhD thesis, University of Groningen.

Staub, R. (1961): Research on physiology of nutrients of the planktonic cyanobacterium *Oscillatoria rubens*. -*Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie* 23: 83-198.

Steinberg, C. E. W., Schäfer, H. and Beisker, W. (1998): Do acid-tolerant cyanobacteria exist? *Acta Hydrochim. Hydrobiol.* 26: 13-19.

Stephenson, T.A. & Stephenson, A. (1949). The universal features of zonation between tidemarks on rocky shores. *J. Ecol.*, **37**: 289-305.

Stewart, P. S. (1998): A review of experimental measurements of effective diffusive permeabilities and effective diffusion coefficients in biofilms. *Biotechnology and Bioengineering* 59 (3): 261-272.

Stomp, M., Huismann, J., de Jongh, F., Veraart, A. J., Gerla, D., Rijkeboer, M., Ibelings, B. W., Wollenzien, U. I. A. and Stal, L. J. (2004): Adaptive divergence in pigment composition promotes phytoplankton biodiversity. *Nature* 432, 104-107.

- Strunecký, O., Elster, J. a Komárek, J. (2011): Taxonomic revision of the fresh-water cyanobacterium „Phormidium“ murray = *Wilmottia murray*. -*Fottea* 11: 57-71.
- Subramaniam, A., Carpenter, E. J., Karentz, D. and Falkowski, P. G. (1999): Bio-optical properties of the marine diazotrophic cyanobacteria *Trichodesmium* spp. I. Absorption and photosynthesis action spektra. *Limnology and Oceanography* 44, 608-617.
- Sukenik, A., Beardall, J. & Hadas, O. (2007): Photosynthetic characterization of developing and mature akinetes of *Aphanizomenon ovalisporum* (Cyanoprokaryota). – *J. Phycol.* 43: 780–788
- Suzuki, E., Onoda, M., Colleoni, C., Ball, S., Fujita, N., Nakamura, Y. (2013): Physicochemical variation of cyanobacterial starch, the insoluble  $\alpha$ -Glucans in cyanobacteria. - Akita Prefectural University. *Akita*. 54(4):465-73
- Swanson, R. V., Ong, L. J., Wilbanks, S. M. and Glazer, A. N. (1991): Phycoerythrins of marine unicellular cyanobacteria. II. Characterization of phycobiliproteins with unusually high phycourobilin content. *Journal of Biological Chemistry* 266, 9528-9534.
- Šejnohová, L. and Maršálek, B. (2005): Pohled do mikroskopického světa sinic, *Živa*, č. 3, 105-108.
- Tandeau de Marsac, N. (1977): Occurrence and nature of chromatic adaptation in cyanobacteria. *Journal of Bacteriology* 130, 82-91.
- Taton, A. & Hoffmann, L. (1999). Distribution patterns of blue-green algal endoliths in the intertidal and supratidal zones of Papua New Guinea. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* **129** (*Algol. Stud.* **94**) : 353-363.
- Taylor, J.D. (1968). Coral reef and associated invertebrate communities (mainly molluscan) around Mahe!, Seychelles. *Phil. Trans. R. Soc. B*, **254**: 129-206.
- Tilden, J. E (1898): Observation on some west American thermal algae. *Bot. Gaz.* 25: 89-105.

Turner, S. (1997). Molecular systematics of oxygenic photosynthetic bacteria. *Plant Syst. Evol. Suppl.*, 11: 13±52.

Villareal, T.A. (1992). Marine nitrogen-fixing diatom-cyanobacteria symbioses. In *Marine Pelagic Cyanobacteria : Trichodesmium and other Diazotrophs* (Carpenter, E.J., Capone, D.G. & Rueter, J.G., editors), 163-175. Kluwer Academic, Dordrecht.

Vincent, W. F. (2000): Cyanobacterial dominance in the polar regions. In: B. A. Whitton, and M. Potts (eds.), *Ecology of Cyanobacteria: Their Diversity in Time and Space*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 321-340.

Vincent, W. F. (2000): Cyanobacterial dominance in the polar regions. In: B. A. Whitton, and M. Potts (eds.), *Ecology of Cyanobacteria: Their Diversity in Time and Space*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 321-340.

Walsby, A. E. (1994): Gas vesicles. – *Microbiol Reviews*, National Center for Biotechnology Information. 58(1): 94–144

Walter, M.R. (editor) (1976). *Stromatolites*. Elsevier, Amsterdam.

Ward, D. M. and Castenholz, R. W. (2000): Cyanobacteria in geothermal habitats. In: B. A. Whitton, and M. Potts (eds.), *Ecology of Cyanobacteria: Their Diversity in Time and Space*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 37-59.

Ward, D. M., Castenholz, R. W. (2000): Cyanobacteria in geothermal habitats. In: B. A. Whitton, and M. Potts (eds.), *Ecology of Cyanobacteria: Their Diversity in Time and Space*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 37-59.

Weber, B., Wessels, D.C.J. & Büdel, B. (1996). Biology and ecology of cryptoendolithic cyanobacteria of a sandstone outcrop in the Northern province, South Africa. *Arch. Hydrobiol. Suppl.*, 117 (Algol. Stud., 83) : 565±579.

Wessels, D.C.J. & Büdel, B. (1989). A rockpool lichen community in Northern Transvaal, South Africa : composition and distribution patterns. *Lichenologist*, 21: 259±277.

West, G. S. (1904): West Indian freshwater algae. *J. Bot.* 45: 281-294.

Whitton, B.A. & Potts, M. (1982). Marine littoral. In *The Biology of Cyanobacteria* (Carr, N.G. & Whitton, B.A., editors), 515-542. Blackwell Scientific, Oxford.

Wilkinson, C.R. (1992). Symbiotic interactions between marine sponges and algae. In *Algae and Symbioses* (Reisser, W., editor), 112-151. Biopress, Bristol.

Wille, N. (1904). Die Schizophyceen der Plankton-Expedition. In *Ergebnisse der Plankton-Expedition der Humboldt-Stiftung* (Hensen, V. editor), vol. 4, 1-88. Lipsius und Tischer, Kiel.

Williams, E.H. & Bunkley-Williams, L. (1990). The worldwide coral reef bleaching cycle and related sources of coral mortality. *Atoll Res. Bull.*, 335: 1-71.

Wilmotte, A. (1994): Molecular evolution and taxonomy of cyanobacteria. – In: Bryant, D.A. (ed.): *The molecular biology of cyanobacteria*. Pp. 1–25. – Kluwer Academic Publishers, Dordrecht

Wilmotte, A., Herdman, M. (2001): Phylogenetic relationships among the cyanobacteria based on 16S rRNA sequences. In: D. R. Boone and R. W. Castenholz (eds.) *Bergey's Manual of Systematic bacteriology*, Vol. 1, 487-493.

Yoon, H. S., Ciniglia, C., Wu, M., Comeron, J., Pinto, G., Pollio, A. and Bhattacharya, D. (2006b): Establishment of endolithic populations of extremophilic Cyanidiales (Rhodophyta). *BMC Evolutionary Biology* 6: 78.

Yoon, H. S., Hackett, J. D., Pinto, G. and Bhattacharya, D. (2002): The single, ancient origin chromist plastids. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 99: 15507-15512.

Yoon, H. S., Müller, K. M., Sheath, R. G., Ott, F. D. and Bhattacharya, D. (2006a): Defining the major lineages of red algae (Rhodophyta). *J. Phycol.* 42: 482-492.

Zaneveld, J.S. (1988). *The Cyanophyta of the Ross Sea Islands and coastal Victoria Land Antarctica*. Koeltz Scienti®c Books, Koenigstein.

Zhang, Y. & Hoffmann, L. (1982). Blue-green algal mats of the salinas in San-ya, Hainan Island (China) : structure, taxonomic composition, and implications for the interpretation of Precambrian stromatolites. *Precambrian Res.*, **56**: 275-290.

### **Elektronické zdroje**

[1] - <http://sagan.blog.cz/0807/puvod-zivota-3-4>

[2] - [http://www.sinicearasy.cz/sites/default/files/Cyanobacteria\\_vlakno.gif](http://www.sinicearasy.cz/sites/default/files/Cyanobacteria_vlakno.gif)

[3] - <http://www.sinicearasy.cz/pokr/sinice>

[4] - <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anatoxin-a-S.png>

[5] - <https://cs.wikipedia.org/wiki/Cyanotoxin#/media/File:Microcystin-LR.png>

[6] - <https://cs.wikipedia.org/wiki/Cyanotoxin#/media/File:Cylindrospermopsin.png>

[7] - [https://cs.wikipedia.org/wiki/Cyanotoxin#/media/File:Domoic\\_acid.svg](https://cs.wikipedia.org/wiki/Cyanotoxin#/media/File:Domoic_acid.svg)

[8]-<http://www.businessinfo.cz/cs/clanky/kamerun-zakladni-charakteristika-teritoria-19411.html>