

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI  
PEDAGOGICKÁ FAKULTA



**Bakalářská práce**

Diversita, taxonomie a ekologie sinic z polárních oblastí

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI  
PEDAGOGICKÁ FAKULTA

Bakalářská práce

Nikola Gregorová

Diversita, taxonomie a ekologie sinic z polárních oblastí

Olomouc 2017

Mgr. Jana Štěpánková, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a použila jen uvedených pramenů a literatury.

V Olomouci dne 21. 4. 2017

.....

podpis

Na tomto místě bych ráda poděkovala Mgr. Janě Štěpánkové, Ph.D. za odborné vedení práce a poskytování cenných rad a připomínek. Dále bych chtěla poděkovat RNDr. Lud'ku Sehnalovi za vstřícnost, důležité rady, podporu a věcné připomínky. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat Masarykově univerzitě, zejména Ústavu pro výzkum toxických látek v prostředí (RECETOX), za poskytnutí vzorků z Antarktidy a umožnění následné realizace praktické části této práce.

# Obsah

<b>1. ÚVOD A CÍLE PRÁCE</b>	<b>7</b>
<b>2. VYMEZENÍ POLÁRNÍCH OBLASTÍ</b>	<b>9</b>
<b>2.1. HISTORIE</b>	<b>9</b>
2.1.1. ANTARKTIDA	9
2.1.2. ARKTIDA	10
<b>2.2. GEOGRAFIE A KLIMA</b>	<b>10</b>
2.2.1. GEOGRAFIE A KLIMA ANTARKTIDY	11
2.2.2. GEOGRAFIE A KLIMA ARKTIDY	11
<b>2.3. ŽIVOT V POLÁRNÍCH OBLASTECH</b>	<b>12</b>
2.3.1. ANTARKTICKÁ FLORA A FAUNA	12
2.3.2. ARKTICKÁ FLORA A FAUNA	13
<b>3. BIOLOGIE SINIC V POLÁRNÍCH OBLASTECH</b>	<b>15</b>
<b>3.1. EKOLOGIE</b>	<b>15</b>
3.1.1. KRYOVEGETACE	16
3.1.2. PŮDNÍ ŘASY	16
3.1.3. MOKŘADY	17
3.1.4. POTOKY	17
3.1.5. JEZERA	17
<b>3.2. TAXONOMIE</b>	<b>18</b>
3.2.1. PRINCIPY MODERNÍ TAXONOMIE	19
3.2.1.1. Molekulární metody	20
3.2.1.2. Morfologický přístup	20
3.2.1.3. Ekologický přístup	23
<b>3.3. DIVERZITA</b>	<b>23</b>
3.3.1. LEPTOLYNGBYA	24
3.3.2. NOSTOC	25
3.3.3. CHROOCOCCUS	25
3.3.4. OSCILLATORIA & PHORMIDIUM	25
3.3.5. SCHIZOTHRIX	26
3.3.6. GLOEOCAPSA	27
<b>4. SELEKČNÍ TLAKY</b>	<b>28</b>
<b>4.1. EXTRÉMNOST POLÁRNÍCH OBLASTÍ</b>	<b>28</b>
4.1.1. TEPLOTA	28
4.1.2. ZÁŘENÍ	29
4.1.3. NEDOSTATEK VODY	29
<b>4.2. ADAPTAČNÍ A AKLIMATIZAČNÍ MECHANISMY</b>	<b>30</b>
4.2.1. TEPLOTA	30
4.2.2. ZÁŘENÍ	31
4.2.3. NEDOSTATEK VODY	32

<b>5. MATERIÁL A METODY</b>	<b>34</b>
<b>5.1. ODBĚR VZORKŮ</b>	<b>34</b>
<b>5.2. TAXONOMICKÁ KLASIFIKACE</b>	<b>35</b>
<b>5.3. METODY HODNOCENÍ BIODIVERSITY</b>	<b>35</b>
<b>6. VÝSLEDKY</b>	<b>37</b>
<b>7. DISKUSE</b>	<b>41</b>
<b>8. ZÁVĚR</b>	<b>44</b>
<b>SEZNAM ZKRATEK</b>	<b>45</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA</b>	<b>46</b>
<b>PŘÍLOHY</b>	<b>54</b>

# 1. Úvod a cíle práce

Arktida a Antarktida představují unikátní prostředí bohaté na dobře adaptované organismy k extrémním podmínkám (Peck 2005). Organismy žijící v polárních oblastech musí odolávat mnoha stresovým faktorům prostředí, kterými jsou především krátká vegetační sezóna, nízká teplota, nedostatek živin, značné výkyvy v záření a dostupnosti vody během vegetační sezóny a UV záření. Klíčovou roli v Arktických a Antarktických ekosystémech hrají sinice (Friedmann et al. 1993; Elster 2002, Elster & Benson 2004; Strunecky et al. 2010), které jsou velmi dobře adaptované na extrémní podmínky polárních oblastí a dominují jak sladkovodním, tak terestrickým ekosystémům a jsou významnými primárními producenty.

Obecně, sinice patří do skupiny autotrofních organismů s dlouhou evoluční historií a mnoha zajímavými metabolickými funkcemi. Sinice měly obrovský význam v evoluci života na planetě Zemi, přičemž mezi dva hlavní evoluční příspěvky sinic patří bohatost zemské atmosféry na kyslík a přenos plastidů do rostlin. Dále je schopnost některých druhů sinic fixovat dusík velmi významná pro spoustu terestrických i vodních ekosystémů na planetě z hlediska dostupnosti živin, stejně tak při symbióze s různými druhy rostlin, vlákný hub a primitivních zvířat (Sivonen & Jones 1999).

Sinice, jako dominantní organismy, jsou běžně nacházeny ve všech sladkovodních ekosystémech jak na Arktidě, tak na Antarktidě (Broady 1996; Vincent 2000; Broady 2005; Komárek 2008 a další). Avšak, diverzita jednotlivých taxonů v různých oblastech je stále známa velmi málo. Navíc, sinicová mikroflóra polárních oblastí není dobře známa také z pohledu moderní taxonomie, což je důvod proč stále nebylo zařazeno několik morfologických typů na úrovni druhu (Komárek 2014). Moderní klasifikace sinic je založena na kombinaci polyfazického hodnocení genetické a fenotypové diversity populací a kmenů. Tento typ studií by měl poskytovat základní informace pro následující ekofyziologické a biochemické studie (Komárek et al. 2008).

Tato práce se zabývá zejména ekologickou diversitou a taxonomií sinic z polárních oblastí. Cílem teoretické části je charakterizovat a vymezit polární oblasti, biologii sinic v polárních oblastech a extrémní faktory prostředí, které jsou pro polární oblasti typické. Cílem experimentální části je popis diverzity sinic v různých vodních antarktických ekosystémech, kde jsou dominantními organismy. Studovanými vodními ekosystémy jsou mokřady, rybníky, potoky, jezera a smáčená skalní stěna. Dalším cílem je srovnání taxonomického složení mikrobiálních povlaků, mezi sledovanými stanovišti a druhovou diverzitou v rámci

jednotlivých ekosystémů. Vzorke pro tuto práci byly odebrány během expedice Masarykovy Univerzity na Antarktidě v sezóně 2014-2015.



## 2. Vymezení polárních oblastí

### 2.1. Historie

Polární oblasti představují v současnosti nejchladnější prostředí na planetě Zemi. Pokud se však podíváme na historický vývoj kontinentů, je zřejmé, že jak Arktické oblasti, tak Antarktida v určitých etapách vývoje byly svou polohou mnohem blíže rovníku (Dietz & Holden 1970), a tak tvořily hostinné prostředí pro široké spektrum organismů.

V prvohorách, přibližně před 300 miliony lety, vznikl společný superkontinent, tzv. Pangea (Veevers 2004). Tento superkontinent byl zpočátku typický suchým a teplým klimatem, které se s přechodem do druhohor změnilo na klima vlhčí, ale stále teplé. V této etapě vývoje Země byl tropický pás široký tak, že i na pevninských částech Arktidy, stejně jako na Antarktidě, panovalo mírné klima s lesy. Východní část Antarktidy dokonce stále patřila do oblastí tropických až subtropických. Avšak zhruba před 200 miliony lety se Pangea začala vlivem deskové tektoniky rozdělovat a postupně vznikly dva menší superkontinenty, kterými byly Gondwana a Laurasia. Zatímco z Gondwany následně vznikaly kontinenty jižní polokoule včetně Antarktidy, Laurasia sjednocovala kontinenty severní polokoule. Dalším pohybem, v důsledku deskové tektoniky, se Antarktida a jednotlivé části Arktidy dostaly až do polohy, jak je známe dnes (Torsvik et al. 2008).

#### 2.1.1. Antarktida

Během vývoje planety Země prošla Antarktida všemi klimatickými pásmy a až do období třetihor převažovalo na Antarktidě tropické až subtropické klima, což se změnilo oddělením Antarktidy od Austrálie. Toto odpojení kontinentů otevřelo cestu studeným mořským proudům, které začaly obklopotvat Antarktidu, a začalo docházet k postupnému zaledňování tohoto kontinentu (Lawver et al. 1992).

V dobách před zaledněním poskytovala Antarktida vhodné prostředí pro rozvoj velmi bohaté fauny i flory (Convey et al. 2008). Stejně jako na jiných kontinentech, kolonizace Antarktických terestrických prostředí živými organismy naplno propukla během prvohor, kdy po mohutné kolonizaci souše bakteriemi, sinicemi a řasami, následované plavuněmi a přesličkami začaly vznikat vyspělejší organismy jako cévnaté rostliny v čele s cykasy a jehličnany. Během prvohor došlo také ke kolonizaci terestrických prostředí živočichy, z nichž prvními byli bezobratlí, posléze následování i obratlovci, z nichž první skupinou osídlující i souš byli obojživelníci. Měnící se složení jak fauny, tak flory na Antarktidě během evoluce

života na planetě Zemi je jasně dokumentováno prostřednictvím fosilních nálezů různých druhů organismů (Wright et al. 1984; Vodrážka & Crame 2011; Harper et al. 2016).

### 2.1.2. Arktida

Oblasti, které jsou v dnešní době označovány jako Arktida (viz kapitola 2.2.2.), se vyvíjely od třetihor nezávisle na sobě, jako výsledek postupného rozpadu superkontinentu Laurasie. Oddělováním jednotlivých částí tohoto kontinentu vznikly kontinenty Severní Amerika, Evropa a Asie, tak jak je známe dnes, a právě nejsevernější oblasti těchto kontinentů tvoří Arktické oblasti. Tyto významné geologické události probíhaly na počátku třetihor, v období před 66 miliony lety až do období před 30 miliony lety (Rogers 1996).

Velký význam pro vývoj současné arktické fauny i flóry mělo období na počátku neogénu v třetihorách, kdy byla Eurasie propojena se Severní Amerikou prostřednictvím Beringijské pevniny. Tento pevninský most tak propojoval všechny severní kontinenty a umožnil migraci rostlin i živočichů napříč kontinenty severní polokoule (Hoberg et al. 2003). Další předpokládanou oblastí, z které organismy během historického vývoje Země migrovaly do Arktidy, jsou vysoké hory ve středu Asie, Evropy i Severní Ameriky. Současnou podobu arktické flory a fauny však nejvíce ovlivnila nedávná historie Arktidy, která byla extrémně dramatická zejména mohutnými a rozsáhlými klimatickými změnami. Tyto změny měly za následek fragmentaci, značné rozšíření a znovu spojení dříve izolovaných populací (Stebbins 1984; Stebbins 1985; Abbott & Brochmann 2003).

## 2.2. Geografie a klima

Arktida i Antarktida jsou označovány jako senzory a indikátory globálních klimatických změn a vysoce citlivé ekosystémy odrážející klimatické odchylky (Teufel 2016). Jejich citlivost ke klimatickým změnám značně souvisí s jejich geografickým rozložením k pólům planety. To způsobuje, že jak Arktida, tak zejména Antarktida, patří mezi nejchladnější oblasti na planetě. Naprostá většina ledu na Zemi je uložena v polárních oblastech, tudíž je zřejmé, že měnící se teplota planety se projeví nejvýraznějším způsobem právě v těchto místech, kde jako nejčastější indikátory klimatických změn slouží množství mořského ledu nebo síla permafrostu. Obecně je výzkum klimatických změn v polárních oblastech jedním z největších témat posledních několika desetiletí. Zajímavý trend publikovali Turner & Overland (2009), podle kterých dochází na Antarktidě k opačné klimatické změně než na Arktidě, zatímco na Arktidě ledu ubývá, na Antarktidě množství ledu narůstá. Situace však v současnosti není tak

jednoznačná a jen stěží lze stanovit takový obecný závěr, což je podpořeno informacemi v textu níže (kapitoly 2.2.1 a 2.2.2).

### 2.2.1. Geografie a klima Antarktidy

Antarktida je definována jako Antarktická pevnina obklopená částí Jižního oceánu ležící jižně od Antarktické konvergence. Kontinentální (pevninská) Antarktida se dále dělí na Antarktický poloostrov, Východní Antarktidu a Západní Antarktidu. Oproti tomu Jižní oceán je rozdělen do dvou základních zón, a to na vnitřní a vnější Antarktické moře. Vnitřní moře představuje oblast mezi antarktickou pevninou a zónou Antarktické konvergence, zatímco vnější moře představuje oblast mezi zónou Antarktické konvergence a zónou Subtropické konvergence. Jako skutečné jižní polární oblasti jsou označovány oblasti ohraničené Antarktickou konvergencí, tedy přibližně za 58° jižní zeměpisné šířky (de Blij 1978, Anisimov et al. 2007). Antarktida je teplotně izolována od zbytku planety Jižním oceánem, přičemž hlavní bariérou je Antarktická konvergence, která brání přístupu teplým větrným i mořským proudům. S tím souvisí také skutečnost, že Antarktida, s výjimkou Antarktického poloostrova, reaguje na klimatické změny pomaleji než severní polární oblasti. Hlavními hodnotícími parametry při změnách klimatu v polárních oblastech jsou teplota a množství mořského ledu. Zatímco na Antarktickém poloostrově byl, na základě minimálně 5 nezávislých měření, prokázán kontinuální nárůst teploty, pro kontinentální část Antarktidy se klimatická data liší. Srovnání dlouhodobých záznamů teploty signalizuje sezónní variabilitu, kdy se střídají teplejší období s těmi chladnějšími (van Ommen & Morgan 1996; van Ommen & Morgan 1997; Curran et al. 1998; Anisimov et al. 2007). Na základě těchto měření je zřejmé, že citlivým indikátorem klimatických změn je na Antarktidě pouze oblast Antarktického poloostrova. Stejný trend je potvrzen také satelitními snímky, které podávají informace o množství mořského ledu (Jacka & Budd 1998; Cavallieri et al. 2003).

### 2.2.2. Geografie a klima Arktidy

Jako Arktida jsou označovány oblasti ležící uvnitř Arktického kruhu, tedy za 66° severní zeměpisné šířky. Tam patří Severní ledový Oceán, ostrovy jako Grónsko, Island či souostroví Svalbard a severní části kontinentů Severní Ameriky, Evropy a Asie. Arktidu tvoří zejména zamrzlý oceán obklopený kontinenty a otevřenými oceány, což souvisí se skutečností, že Arktida je silně ovlivňována sezónním atmosférickým transportem a mořskými proudy z okolních oblastí (Hoberg et al. 2003).

Arktida, z důvodu různých klimatických zpětnovazebných mechanismů, reaguje na klimatické změny rychleji a mnohem výrazněji než jakákoliv jiná oblast na Zemi, což má následně dopad na množství mořského ledu, sílu permafrostu a hydrologii obecně. Jako jasné důkazy mohou svědčit například úbytek mořského ledu v Arktidě o 30% za posledních 130 let nebo značný úbytek plochy permafrostu. Tato extrémní citlivost Arktidy ke klimatickým změnám zapříčiní nevratné dopady na množství ledu, cirkulaci vody v oceánech a zvýšení hladiny moří, což bude mít ekologický, sociologický i ekonomický dopad na život na planetě (Anisimov et al. 2007). Avšak stále není jasné, zdali projevy klimatických změn v Arktidě jsou přírodním cyklem klimatické variability nebo jsou přímým výsledkem globálního oteplování. Je však zřejmé, že tyto klimatické změny výrazným způsobem ovlivňují vývoj bioty a do budoucna budou znevýhodněny především organismy vázané na led či sněh.

## **2.3. Život v polárních oblastech**

Veškeré součásti živé přírody, od bakterií až po nejvyspělejší obratlovce, musí v polárních oblastech čelit velmi nehostinným podmínkám prostředí a základním předpokladem pro jejich přežití je přítomnost obranných adaptačních či aklimačních mechanismů (viz kapitola 4). Jelikož vegetační sezóna v polárních oblastech trvá jen několik týdnů až měsíců, je diverzita organismů v polárních oblastech ve srovnání s jakýmkoliv jiným ekosystémem na planetě velmi omezená. Velmi významnou roli hrají sinice, které jsou jako významní primární producenti základem naprosté většiny ekosystémů (Vincent 2000). Na Arktidě mají také velký význam při vývoji půdy, kdy tvoří půdní krusty, které jsou základem pro její vývoj, a tak umožňují růst vyšších rostlin (Sehna et al. 2014).

### **2.3.1. Antarktická flora a fauna**

Environmentální stresy, kterým musí antarktická biota čelit, jsou již velmi dobře popsány (viz kapitola 4) a řadí Antarktidu mezi nejextrémnější prostředí na planetě. Navíc, aktivní život většiny organismů na kontinentální Antarktidě je omezen na několik dní až týdnů v roce, což výrazně omezuje rozvoj bohatších společenstev. Na Antarktickém poloostrově a přilehlých ostrovech se toto období prodlužuje na 3-5 měsíců (Convey 1996), což má za následek i větší diverzitu fauny i flory ve srovnání s Antarktidou kontinentální.

Antarktické ekosystémy jsou obecně velmi prosté, a to jak svojí diverzitou, tak strukturou (Block 1984; Smith 1984; Convey 2001, Convey 2008). Půdy jsou velmi slabě vyvinuté, a tak na Antarktidě můžeme nalézt pouze 2 druhy kvetoucích rostlin, kterými jsou *Colobanthus quitensis* a *Deschampsia antarctica*, a to pouze v pobřežních částech (Komárková et al.

1985). Ovšem jiní zástupci antarktické flory, jako mechy, lišejníky, a především řasy a sinice, kolonizují toto nehostinné prostředí velmi hojně. Antarktida je jediným kontinentem na světě, na kterém dominují právě tyto typy nižších rostlin (Peat et al. 2007). Především sinice hrají úlohu velmi významných primárních producentů. Kombinace mnoha stresových faktorů má za následek také velmi omezenou faunu. Na Antarktidě se nevyskytují žádní původní terestriční savci, plazi nebo obojživelníci a ptáci jsou zastoupeni jen několika druhy, jako jsou druhy *Pygoscelis adeliae*, *Aptenodytes forsteri*, *Sterna paradisaea* a *Catharacta maccormicki* (Milius 2000). Faunální komunity jsou zastoupeny především bezobratlými, kdy hojně rozšíření jsou roztoči, chvostokoci a jiní mikroskopičtí bezobratlí jako hlístice, želvušky či vířníci (Block 1984; Convey 2001; Convey 2008).

### 2.3.2. Arktická flora a fauna

Ačkoliv arktická biota musí čelit také extrémním environmentálním stresům, ve srovnání s Antarktidou jsou arktické ekosystémy mnohem bohatší a diverzitnější. Arktická biota je charakteristická klesající diverzitou v závislosti na rostoucí zeměpisné šířce. Diverzita živočichů, rostlin a mikrobiálních společenstev klesá od boreálních lesů až do polárních pouští v nejsevernějších částech Arktidy, kde si svou druhovou rozmanitost zachovávají jen ty nejprimitivnější organismy, přičemž tento gradient je způsoben především teplotou (Callaghan et al. 1995).

Arktická flora je v současnosti zastoupena přibližně 5900 druhy, což jsou 3% všech známých rostlinných druhů na planetě. Větší část z nich tvoří primitivní druhy, tzv. kryptogamy, jakými jsou například mechy, játrovky, lišejníky nebo řasy. Dominantním zástupcem mečů je např. *Polytrichum juniperinum*, z lišejníků *Celtaria islandica* a z řas druh *Chlamydomonas* spp. (Callaghan et al. 1995; Elster 2002). Menší část tvoří cévnaté druhy rostlin, kterých je na Arktidě zhruba 1800 druhů (Matveyeva & Chernov 2000; Callaghan et al. 1995). Řadíme k nim např. *Salix arctica*, *Lagotis minor* a *Pedicularis hirsuta* (Callaghan et al. 1995). Diverzita arktických terestriálních živočichů za hranicí lesa čítá přibližně 6000 druhů, což jsou 2% všech popsaných živočišných druhů na Zemi. Arktické ekosystémy obývá zhruba 315 druhů obratlovců, z nichž 75 jsou savci, např. druhy *Ursus maritimus* (Thiemann et al. 2008) a *Microtus middendorffi*, 240 ptáci, např. druh *Calidris alba*, 2 plazi a 5 obojživelníci. Nejdiverzitnější skupinou živočichů na Arktidě je hmyz, který je zastoupen přibližně 3300 druhy, z nichž polovinu tvoří dvoukřídlí. Například druhy *Tipula carinifrons* a *Bombus polaris*. Ve srovnání s Antarktidou jsou hojní i další bezobratlí jako pavouci (300 druhů),

roztoci (700 druhů), chvostoskoci (400 druhů), hlístice (500 druhů) a další (Callaghan et al. 1995).

### **3. Biologie sinic v polárních oblastech**

Sinice hrají klíčovou roli v ekosystému jako primární producenti. Vyskytují se téměř ve všech typech polárních ekosystémů, kde často tvoří značnou část biomasy. Díky dokonalým adaptacím jsou schopné přežít v nejrůznějších typech polárních oblastí. Plasticita sinic je dána změnou morfologických a fyziologických charakteristik v závislosti na typu prostředí. V souvislosti s tím je považujeme za modelové organismy pro vysvětlení aklimatizace a adaptace na extrémní podmínky.

#### **3.1. Ekologie**

Sinice se obecně vyskytují ve velmi rozmanitých ekologických nikách zahrnujících také extrémní oblasti, jako jsou pouštní skály, chladné nebo horké vodní prameny a velmi chladné cirkumpolární oblasti (Castenholz & Waterbury 1989; Potts & Whitton 2000; Comte et al. 2007). Ačkoliv během posledních desetiletí byla věnována značná pozornost rychlému ohřívání zemské atmosféry, většina planety zůstává při teplotě kolem bodu mrazu. Extrémně chladné podmínky jsou charakteristické zejména pro Arktidu, Antarktidu a vysokohorské oblasti, které jsou odděleny velkými vzdálenostmi a klimatickou bariérou.

V těchto nehostinných oblastech jsou dominantní složkou vegetace mikroorganismy, z nichž sinice patří mezi nejhojnější fototrofní zástupce. Navíc, jejich vláknité formy jsou nejhojnější skupinou organismů, které se vyskytují v různých sladkovodních i terestrických stanovištích v polárních oblastech (Comte et al. 2007), kde tvoří bentické povlaky a filmy na dně jezer, rybníků a potoků (Zakhia et al. 2007, Jungblut et al. 2010). Ačkoliv sinice dominují polárním ekosystémům, musí se vypořádávat s drsnými podmínkami prostředí, jako jsou nízké teploty, opakované zamrzání a rozmrzání, vysoká variabilita světelných podmínek, živin či osmotického režimu (Vincent 2000, Jungblut et al. 2010). Oscillatoriales, vláknité a sliz produkující sinice, tvoří většinu biomasy sinicových povlaků, a stejně tak jsou zodpovědné za jejich trojrozměrnou strukturu. Navíc se zdá, že tolerují značný rozsah environmentálních podmínek a udržují pomalou stálou rychlost růstu navzdory nízkým okolním teplotám (Tang et al. 1997).

Ekologické nároky sinic na chladné prostředí se projevují různou životní strategií. Ve vztahu k teplotě se dělí organismy v chladných ekosystémech na dva základní typy, a to psychrofilní, s teplotním optimem pod 10 °C, a psychrotrofní organismy s teplotním optimem větším než 10 °C (Tang et al. 1997).

Prostředí výskytu sinic je určeno rozsahem sezónního a denního kolísání vody a teploty. Mezi typické polární ekosystémy řadíme ledovce a jejich tající povrch, kde dochází ke vzniku

specifických společenstev, tzv. kryokonitů, permafrost, subglaciální systémy (jezera, ledovcový kras), sněhová pole, která mohou být trvalá či přechodná a jezera, která nevymrzají až na dno a po většinu roku jsou stratifikovaná a pokrytá ledem. Tato výše zmíněná prostředí řadíme mezi stabilní. Mezi nestabilní stanoviště řadíme polární mokřady, které v zimě nevymrzají a jsou považovány za hydroterestrické biotopy, a dále pak půdu a skály, tedy terestrické biotopy, kde je voda v tekutém stavu přítomna jen velmi krátkou dobu anebo se nachází ve formě vodních par či vzdušné vlhkosti (Pouličková 2011).

### 3.1.1. Kryovegetace

Populace řas a sinic, běžně se vyskytující na stále zasněženém území jak antarktických, tak arktických oblastí jsou označovány jako kryovegetace, kryoplankton nebo kryoseston. Povrch sněhu řadíme mezi extrémní stanoviště řas díky fluktuacím v ozáření a nízkým teplotám. Překvapivě se stanovištěm na povrchu sněhu vyhýbají sinice, a to i přes vysokou toleranci extrémů. Dominantou společenstev na povrchu sněhu jsou však řasy. Nejběžněji zastoupeným druhem sněžných polí je *Chlamydomonas nivalis*. Mezi další zástupce patří organismy z rodu *Scotiella*, *Carteria* nebo *Cryocystis*, kteří reprezentují životní stádia zelených bičíkovců. Dalšími společenstvy, která jsou zpravidla řazena do kategorie kryovegetace, jsou kryokonity. Tato společenstva vznikají na povrchu ledovců a skládají se především z bakterií, sinic a řas (Pouličková 2011).

### 3.1.2. Půdní řasy

Základem půdních společenstev v polárních oblastech, a zejména na Arktidě, jsou půdní krusty. Sinice mají zásadní význam pro tvorbu těchto krust, tvoří jejich významnou část a největší význam mají jejich vláknité formy. Staly se dominantní skupinou díky odolnosti proti vysychání a schopnosti využít krátkou periodu vlhka, mezi dlouhými obdobími sucha, pro vlastní růst a vývoj. Důkazem této adaptace může být skutečnost, že i 70 let stará sinice v herbářovém stavu (tedy vyschlém) může po ovlhčení plně obnovit svou metabolickou aktivitu. Stejný fenomén je pozorován právě u půdních krust, které jsou schopny i po několika letech vysychání plně obnovit svůj metabolismus během následujících 24 hodin po dešti. Specifickým biotopem polárních oblastí jsou také půdy kolem mechorostů, kde převažují zejména sinice z rodů *Nostoc*, *Oscillatoria* a *Aphanocapsa*. (Pouličková 2011).



### 3.1.3. Mokřady

Pojem mokřad vystihuje určité území, které je po většinu roku zcela zatopené nebo půdně nasycené, díky spodní vodě. Jedná se o přechodný typ mezi suchozemským a vodním ekosystémem. Arktické a antarktické mokřady jsou charakterizovány přítomností kapalné vody pouze v průběhu krátké vegetační sezóny. Jedná se o široce rozložené a odledněné oblasti, které poskytují hlavní zdroj mikrobiální aktivity. Sdružují dohromady všechny typy stanovišť, kde se voda vyskytuje v kapalném stavu v průběhu několika týdnů až měsíců v letním období. Dominantní složkou polárních mokřadů jsou prokaryotické sinice, především Oscillatoriales (Tang et al. 1997; Šabacká & Elster 2006), a také široké spektrum eukaryotických řas (Elster 2002; Šabacká & Elster 2006). Mezi nejhojnější typy mokřadních stanovišť patří nasycené minerální a ornitogenické půdy, průsaky a mělké lotické a lentické mokřady. Nejčastěji zde dominují vláknité sinice, které jsou vystaveny stresujícím podmínkám jako je vysychání nebo neustálé cykly zmrazování a rozmrzání (Šabacká & Elster 2006).

### 3.1.4. Potoky

V polárních oblastech se nachází velké množství vody ve formě ledu, která je v tomto stavu pro většinu organismů nedostupná. Avšak v průběhu letní sezóny dochází k tání sněhu a ledovců, což vede ke vzniku malých říček a potoků. Následně vzniklé sladkovodní ekosystémy jsou pak tvořeny sítí jezer, potoků, půdní a podzemní vody a jsou spojeny v povodích podle spádového průtoku vody (Crump et al. 2007), přičemž potoky a říčky jsou hlavní složkou jak arktické, tak antarktické krajiny. Obecně obsahují rozmanitou floru, které dominují sinice, ale jejich diverzita v závislosti na lokalitě je značná. Jasně o tom svědčí fakt, že zatímco jedno místo na pobřeží východní Antarktidy má břehy pokryté mechy s dominantními sinicemi *Stigonema minutum* a *Plectonema* spp., o 30 km dále na sever jsou komunity rozšířeny o 5 dalších druhů, patřících i mezi rozsivky a spájivky (Ohtani & Kanda 1987; Vincent 2000). Obecně platí, že povlaky v arktických potocích jsou zřídka tak rozšířené a dobře vyvinuté jako na Antarktidě (Vincent 2000).

### 3.1.5. Jezera

Přírodní vodní nádrže, které se tvoří ve sníženinách zemského povrchu a nejsou přímo vázány na oceán, nazýváme jezera. Mimo to, že jezera tvoří zásobárny sladké vody na různých kontinentech, představují také velmi příznivý typ ekosystému, osídlovaný různými druhy organismů jak z rostlinné, tak živočišné říše.

V polárních oblastech představují bentické zóny jezer nejbohatší ekosystémy, jejichž biomasu tvoří z velké části shluky sinic. Nedávné výzkumy v polárních oblastech odhalily, že podledovcová jezera poskytují stanoviště pro život v podmínkách, které byly dříve považovány za nehostinné (Priscu et al. 2008).

Navíc, jezera jsou hlavním rysem arktických a antarktických krajín a pravděpodobně patří mezi citlivé indikátory změn klimatu. Mnoho z jejich ekosystémových vlastností je citlivých na malé změny ročních teplot. Tyto vlastnosti, v kombinaci se silnými klimatickými změnami a úbytkem stratosférického ozonu ve vysokých zeměpisných šířkách naznačují, že jsou polární jezera velmi vhodným místem pro sledování účinku globálních změn (Vincent et al. 1998).

### **3.2. Taxonomie**

Správnou orientaci v diverzitě organismů umožňuje metoda taxonomické klasifikace. V případě sinic a jejich taxonomického řazení bylo běžné členění podle morfologických znaků, avšak postupem času bylo nutné přistoupit k určitým změnám v souladu s využitím moderních experimentálních a genetických metod. Historie systematiky sinic byla neobvykle bouřlivá. Metabolické vlastnosti oxygenní fotosyntézy, které charakterizují sinice a jejich sdílení ekologických nik s eukaryotními řasami, jsou známy již déle než sto let. Sinice byly v tradiční botanice rozlišovány na základě fenotypových vlastností. V několika průkopnických studiích z konce 19. století (Thuret 1875, Bornet & Flahault 1887, Gomont 1892) byla popsána první komplexní taxonomická monografie pro sinice, která byla uznána fykology jako pozdější výchozí bod při taxonomickém rozřazování. Základní jednotkou tohoto systému je druh, tak jak je definován v botanice a zoologii (např. Mayr 1982). Geitler (1932) poskytuje aktualizované taxonomické shrnutí a determinační manuál, který rozpoznává 1300 druhů, zařazených do 145 rodů, 20 čeledí a 3 řádů. Důležitým rysem Geitlerovy práce je také fakt, že spoléhá na morfologii vzorků odebraných v terénu. Jeho klasifikační systém ohlašuje začátek moderní systematiky sinic, který uznávají jak fykologové, tak mikrobiologové (Palinska & Surosz 2014).

Morfologie sinic je velmi závislá na vnějších faktorech. Sinice vynikají vysokou schopností přizpůsobit se poměrně rychle měnícím se podmínkám prostředí. Tato schopnost tak komplikuje celkové pojetí a identifikaci druhu. Za primární kritérium pro studium a fylogenetickou klasifikaci jsou dnes obvykle považovány molekulární metody. Avšak morfologickou ani genetickou metodu, např. na základě sekvence 16S rRNA genů, nelze považovat za výlučně taxonomicky klasifikující. Proto bylo zavedeno polyfazičné hodnocení

taxonů, které spočívá v kombinaci molekulárních metod s cytomorfologickou analýzou, cytologií, ekofyziologickou charakteristikou a ekologickými daty (Komárek 2015).

Sinice patří mezi gram-negativní fotosyntetizující bakterie, které (podle fosilních nálezů) dosáhly většinu své morfologické diverzity před dvěma miliardami let (Schopf 2002; Zakhia et al. 2008). Zároveň jsou řazeny mezi morfologicky nejvýrazněji rozlišené prokaryotní organismy (Whitton 1992; Casamata et al. 2005). Nicméně fylogenetické vztahy jsou mezi jednotlivými druhy relativně špatně pochopitelné. Tradičně byly sinice klasifikovány podle morfologických znaků a ekologických nároků na život (Geitler 1932; Desikachary 1959; Casamata et al. 2005). Avšak Stanier et al. (1978) a Rippka et al. (1979) tvrdí, že vzhledem k řazení sinic k prokaryotním organismům nelze jejich systematické zařazení zakládat na tradičních botanických metodách, ale spíše na základě uchovávání laboratorních kultur (Casamata et al. 2005). Nicméně, morfologické změny vyvolané stabilními kultivačními podmínkami v kontrastu s plasticitou přirozeného životního prostředí mohou být pro taxonomii sinic problematické (Stanier et al. 1971). Například práce Palinska et al. (1996) ukazuje, že morfologická rozdílnost u sledovaných sinic rodů *Synechococcus*, *Synechocystis*, *Merismopedia* a *Eucapsis* se neodráží v genetické diversitě. Z toho důvodu pak tradiční botanický systém, založený pouze na morfologických metodách, může mít za následek chybné taxonomické zařazení (Nelissen et al. 1995; Neilan et al. 1997; Casamata et al. 2005).

### 3.2.1. Principy moderní taxonomie

Taxonomická klasifikace je metoda pro registraci diverzity všech organismů na Zemi v závislosti na evolučních (genetických) a ekologických vztazích a fenotypové variaci. Proto, aby tento systém fungoval co nejlépe, je nutná neustálá úprava a aktualizace dle nových poznatků. Současný systém sinic by měl být modifikován podle kombinovaných markerů, v kterém by molekulární data měla být korelována s ultrastrukturními, fenotypovými a ekologickými daty. Právě genetické znaky, založené na molekulárním sekvenování jsou, v souladu s fenotypovými markery, v dnešní době často používaným přístupem pro moderní definici tradičních rodů (Komárek 2015; Komárek 2016).

Dnešní moderní taxonomie se zakládá na principu polyfázického přístupu. Tento přístup spočívá v kombinaci molekulárních metod s cytomorfologickou analýzou, cytologií, ekofyziologickou charakteristikou a ekologickými daty (Komárek 2015). Tato metoda se zabývá také studiem náhod a korelací mezi jednotlivými znaky. Výsledný systém, který pak z polyfázického přístupu vychází, musí být nejen fylogeneticky správný, ale musí také

umožňovat identifikaci různých populací na základě různosti znaků (Komárek 2015, přednáška) (Komárek 2015).

### 3.2.1.1. Molekulární metody

Molekulární sekvenování a DNA/DNA hybridizace umožňují rozlišit odlišný genotyp jakýchkoliv modelových druhů sinic. Jako základní kritérium pro obecnou definici je přijat gen 16S rRNA. Rozvoj molekulárních metod přinesl obrovský posun v mnoha oborech včetně systematiky. Tyto metody umožňují, na základě genetické informace, velmi detailní popis vztahu mezi dvěma organismy. Avšak pokud jde o sinice, prozatím bylo za použití nových molekulárních technik, jako je sekvenování DNA, PCR náhodně amplifikované polymorfní DNA či DNA polymorfismu (Mullins et al. 1995; Neilan et al. 1995, Otsuka et al. 1999; Casamata et al. 2005), geneticky analyzováno jen malé množství sinic. Tudíž fylogenetické vztahy mezi sinicemi jsou popsány relativně málo.

Pro rozsáhlé fylogenetické studie je nejběžněji používanou metodou sekvenování 16S rRNA, z důvodu využitelnosti pro rozlišení širokého spektra taxonomických skupin a stejně tak jednotlivých druhů (Neilan 1995; Nelissen et al. 1996; Casamata et al. 2005). Tato metoda je nezávislá na kultivačních nebo růstových podmínkách a může být provedena prostřednictvím PCR z malého množství DNA vyextrahovaného buď z laboratorní kultury či směsných nárostů z prostředí. Navíc, bylo popsáno již několik dalších přístupů, které rozšiřují analýzy sinic založené na 16S rRNA. Tyto přístupy zahrnují ošetření kultur antibiotiky za účelem potlačení růstu heterotrofních bakterií v non-axenických kulturách, fyzické očištění sinic prostřednictvím mikromanipulace či molekulární klonování (Casamata et al. 2005).

### 3.2.1.2. Morfologický přístup

Morfologie byla dříve stěžejní metoda pro systematické zařazování sinic, která je však v současnosti kombinována či úplně nahrazena molekulárními systematickými metodami. Obecně dělíme sinice do tří skupin, a to na kokální (*Chroococcales*), vláknité (*Oscillatoriales*) a vláknité s heterocyty (např. *Noscoales*). V dnešní době probíhá morfologické zařazování sinic do systému na základě již vytvořených určovacích klíčů, které velmi podrobně shrnují důležité morfologické znaky a jejich odchylky u jednotlivých zástupců (Komárek & Anagnostidis 1998; Komárek & Anagnostidis 2005; Komárek 2013).

Pro morfologickou klasifikaci sinic jsou využívány obecné znaky jako jsou buněčná morfologie, struktura buněk či typ vytvářených kolonií, přičemž u vláknitých sinic přibývají znaky jako morfologie vlákna či větvení. Specifické znaky pro základní typy sinic jsou

shrnuty v Tabulce 1. V oblasti buněčné morfologie hrají velkou roli rozměry jednotlivých buněk nebo celých vláken. Pro taxonomickou klasifikaci jsou, kromě tvaru, důležitými parametry také šířka a délka. Navíc mohou být buňky nebo celá vlákna polarizovány, přičemž polarizace je považována za vyšší evoluční stupeň. Specifické struktury v podobě zvětšených buněk, které se vyskytují u vláknitých druhů schopných dlouhodobé dormance, jsou akinety, které umožňují přežití v nepříznivých podmínkách. Navzdory funkční a morfologické odlišnosti, akinety disponují stejnými metabolickými procesy jako vegetativní buňky (Komárek & Anagnostidis 1998; Komárek & Anagnostidis 2005; Komárek 2013).

Struktura buňky je jednoduchá, přičemž všechny sinice mají stejný základní typ buněčné struktury. Všechny mají gram-negativní buněčnou stěnu. U některých druhů je přítomen slizový obal. Nejdůležitějším znakem vnitřní buněčné struktury, využívaným pro taxonomickou klasifikaci, je uspořádání tylakoidů. Dalším důležitým strukturním znakem je přítomnost dalších buněčných organel. Pravidelně se vyskytují DNA, ribozomy, plazmidy, již zmiňované tylakoidy, fykobilizomy, fosfátová tělíska, glykogen, cyanophycin, lipidové granule a karboxyzomy. Přičemž nepravidelně se vyskytují plynové váčky a aerotopy (skupina plynových váčků uspořádaná do shluku), které jsou typické pro planktonní druhy. Buněčné dělení sinic je u všech velmi podobné, kdy plazmatická membrána centripetálně vrůstá do buňky a rozdělí tak buňku na 2 totožné organismy. Toto dělení je označováno jako binární dělení (Komárek & Anagnostidis 1998; Komárek & Anagnostidis 2005; Komárek 2013).

**Tabulka 1.** Morfologické znaky základních 3 typů sinic dle Komárek a Anagnostidis (1998), Komárek a Anagnostidis (2005) a Komárek (2013)

Typ	Buněčná morfologie	Struktura buňky	Morfologie vlákna	Větvění	Buněčné dělení	Kolonie
<b>Kokální</b>	Tvar buňky může být kulovitý, oválný, tyčinkovitý, nepravidelný nebo jehlovitý. Struktura buňky je obecně uniformní a mají podobně seskupené organely.	S-vrstva buněčné stěny má hexagonální strukturu. Velká diverzita v uspořádání thylakoidů, závisí na enviromentálních podmínkách. Nepřítomnost pochev.	–	–	Binární centripetální dělení.	S výjimkou rodů <i>Cyanobium</i> , <i>Cyanothece</i> , <i>Synechococcus</i> a <i>Synechocystis</i> , které žijí samotářsky, tvoří ostatní zástupci variabilní kolonie.
<b>Vláknité</b>	Tvar buněk může být sudovitý, kulovitý, cylindrický, kratší než širší a obráceně. Důležitým znakem je terminální buňka vlákna, která může mít několik tvarů. Specifickým útvarem je kalyptra (ztloustlá membrána), jejíž vývoj je pravděpodobně spojen s formováním nekridických buněk.	S-vrstva buněčné stěny má monoklonální strukturu. Speciální umístění plynových váčků, inkluzí a aerotopů v buňce. Bohatá variabilní granulace je jedním z nejcitlivějších taxonomických kritérií.	Jednořadá vlákna. Přítomnost pórů s mikroplasmodesmaty. Pro taxonomické hodnocení je využíván průměr pórů a jejich rozmístění v buněčném povrchu. Tvar vlákna může být rovný, ohnutý, stočený nebo šroubovitý. Buňky vláken vylučují různé koloidní látky, jako jsou sliz nebo glykokalyx, což následně v mnoha případech vede k tvorbě pochvy.	U některých rodů ( <i>Plectonema</i> , <i>Pseudophormidium</i> , <i>Pseudoscytonema</i> ) se vyskytuje falešné větvení, u jiných ( <i>Borzia</i> , <i>Pseudanabaena</i> , <i>Oscillatoria</i> ) se nevyskytuje nikdy.	Buněčné dělení probíhá vždy kolmo k podélné ose vlákna. Výjimkou je rod <i>Pseudanabaena</i> .	V prostředí je známo mnoho typů kolonií: 1) volně plovoucí shluky vláken ( <i>Leptolyngbya</i> , <i>Plectonema</i> , <i>Trichodesmium</i> ) 2) vlákna přichycená k substrátu ( <i>Heteroleibleinia</i> , <i>Homeothrix</i> , <i>Leibleinia</i> ) 3) šroubovitě kolonie ( <i>Spirulina</i> , <i>Arthrospira</i> ) 4) povlaky na substrátě (např. <i>Lyngbya</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Phormidium</i> , <i>Crusta</i> ) 5) vzpřímená vlákna v jehlicích ( <i>Schizothrix</i> , <i>Symploca</i> )
<b>vláknité s heterocyty</b>	Složení buněčné stěny a přítomnost intracelulárních struktur je téměř identické s vláknitými typy sinic. Typický taxonomický znak pro tuto skupinu jsou heterocyty, které jsou morfologicky a funkčně odlišné od ostatních buněk vláknitých sinic. Vyrývají se z vegetativních buněk. Strukturně jsou obklopeny tlustým, pevným obalem, složeným z vnitřní glykolipidové, střední polysacharidové a vnější vláknité vrstvy. Thylakoidy v heterocytech jsou redukovány. Hlavní funkcí heterocytů je fixace vzdušného dusíku.	Všechny heterocytní typy mají stejnou strukturu buněčné stěny. Součástí buněčné stěny jsou póry a mikroplasmodesmata, spojující sousední buňky ve vlákně. Thylakoidy jsou obvykle rozmístěny po celé buňce.	Jednořadá i víceřadá vlákna. Naprostá většina heterocytních typů má vlákno obalené pochvou nebo slizovým obalem. Přičemž pochvy bývají obvykle pigmentovány. Navíc, početné množství zástupců má impregnovanou pochvu anorganickými částicemi.	U několika čeledí je znám typ pravého větvení: T-typ, V-typ a reversní Y-typ. Zatímco ostatní čeledi disponují nepravým větvením.	U většiny rodů je buněčné dělení binární dostředivé, ale existují rody, u kterých je dělení nepravidelné. Jednořadá typy se dělí kolmo k podélné ose vlákna. Zatímco u víceřadých typů mají buňky schopnost dělení i v jiných směrech.	Finální podoba kolonie je závislá na daném druhu a jeho charakteristickém prostředí.

### 3.2.1.3. Ekologický přístup

V moderní taxonomii sinic hraje důležitou roli také prostředí, a tedy ekologické požadavky jednotlivých druhů, které jsou druhově specifické a musí tak být součástí taxonomického členění. Příkladem můžou být dva zástupci rodu *Leptolyngbya* z polárních oblastí, kdy druh *Leptolyngbya vincentii* je typický svým výskytem v mokřadech, kdežto druh *Leptolyngbya antarctica* je běžným zástupcem polárních jezer. Navíc, zeměpisné rozložení druhů je závislé na distribuci, korespondující s podmínkami prostředí, a je tedy patrné, že nemohou existovat tzv. všudypřítomné druhy. Například *Leptolyngbya antarctica* je dle studie Komárek et al. 2007 pravděpodobně endemitním zástupcem rodu *Leptolyngbya* na Antarktidě, kdežto např. *Chroococcus minutissimus* se vykytuje pouze v oblasti Karibiku (Rejmánková et al. 2004). Pro pochopení ekologie sinic je žádoucí shoda izolovaných kmenů a jejich protějšků z přírody. Jedině takto mohou být fyziologická data získaná z laboratorních kultur s jistotou extrapolována na přírodní podmínky. Avšak nevhodné podmínky pro kultivaci laboratorních kultur vedou ke ztrátě různých morfologických znaků, neschopnosti výzkumníků vypěstovat určitý organismus v laboratoři, nesprávné identifikaci kmenů ve sbírkách kultur a ztěžují v mnoha případech využití taxonomického řazení založeného na laboratorních kulturách k taxonomické identifikaci terénních populací (Nübel et al. 1997).

## 3.3. Diverzita

Sinice jsou často dominantou arktických, a především antarktických terestriálních i vodních ekosystémů. Výzkum výskytu a dominance sinic v jednom z nejnáročnějších prostředí na světě, jakými polární oblasti bezpochyby jsou, může přinést velmi užitečné informace nejen o ekologii a diverzitě, ale může také poskytnout velmi cenné informace pro jiné obory, jako je například ekofyziologie. Obecně je jako diverzita označována různorodost společenstva, přičemž vyšší diverzita znamená stabilnější ekosystém (Komárek et al. 2008).

V polárních oblastech jsou sinice přítomné téměř ve všech typech ekosystémů včetně sněhu, ledovcových jezer a ledových šelfů, přičemž v některých případech dosahují pozoruhodné koncentrace biomasy. Ekosystémy v polárních pouštích Arktidy a Antarktidy obsahují různé druhy stanovišť kolonizované sinicemi, ačkoliv jejich rozmanitost je nízká. Strategie pro mikrobiální úspěch v těchto typech prostředí nejsou adaptace na růst při nízkých teplotách, ale tolerance různých environmentálních extrémů. Další důležitou funkcí, která sinicím umožňuje rozšířený výskyt v těchto prostředích, je přežití delšího období dormance (Quesada & Vincent 2012).

Nedávné odhady ukazují, že na Antarktidě je přítomno až 700 taxonů sinic, přičemž dominují druhy jako *Anabaena*, *Aphanocapsa*, *Calothrix*, *Chroococcidiopsis*, *Gloeocapsa*, *Lyngbya*, *Mastigocladus*, *Microchaete*, *Microcoleus*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Plectonema*, *Pseudoanabaena*, *Nodularia*, *Nostoc*, *Schizothrix*, *Scytonema*, *Stigonema*, *Synechococcus* a *Tolypothrix* (Thajuddin & Subramanian 2005).

Je již dobře známo, že v závislosti na ekologických i geografických faktorech se sinice z různých oblastí liší, a to i v měřítku celých klimatických pásem. Ať už jde o tropické oblasti nebo biotopy polárních oblastí, přinášejí podmínky pro širokou škálu specializovaných a jedinečných mikrobiotopů. Aplikace striktních klíčů, které obsahují hodnocení druhů popsaných převážně z mírného pásma, pro stanovení sinicových taxonů z tropických či polárních biotopů je tedy velmi problematická (Komárek 1999).

Následující podkapitoly jsou věnovány zástupcům nejhojnějších rodů sinic v polárních oblastech. Byly vybrány rody *Leptolyngbya*, *Nostoc*, *Chroococcus*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Schizothrix* a *Gloeocapsa*.

### 3.3.1. Leptolyngbya

Běžné a ekologicky důležité vláknité sinice rodu *Leptolyngbya* jsou široce rozšířené v mnoha typech různých ekosystémů po celé Zemi. Několik druhů je v polárních oblastech dominantní složkou mikrobiální komunity, ale o jejich diversitě a ekologickém významu v dané lokalitě je toho známo velmi málo (Komárek et al. 2007).

*Leptolyngbya antarctica* je dle studie Komárek et al. 2007 charakteristickým druhem pro bentos jezer, kde tvoří masivní povlaky na dně trvale zamrzlých jezer, zřídka se pak stává součástí mokřadů. Tento druh je pravděpodobně endemický pro Antarktidu a může být srovnáván s druhy sinic „*Leptolyngbya – types*“ popsanými z jiných podobných antarktických stanovišť (Komárek & Růžička 1966; Parker et al. 1972, 1977, 1981, 1982; Simmons et al. 1981; Wharton et al. 1981, 1982, 1983; Wharton 1982; Love et al. 1983, Komárek et al. 2007, 2008). Oproti tomu, *Leptolyngbya glacialis* se vyskytuje ve formě malých shluků ve vlhké půdě, na okrajích mokřadů a v litorálu potoků. Tento druh je spolu-dominantní v mokřadech, kde formuje charakteristicky pevnou, tmavě zelenou, podpovrchovou vrstvu povlaků. Dále je běžný pro přímořské oblasti Antarktidy a jedná se o pravděpodobně široce rozšířený druh. Dalšími zástupci rodu *Leptolyngbya*, typickými pro mokřady polárních oblastí, jsou *Leptolyngbya vincentii*, *Leptolyngbya* sp. 2, *Leptolyngbya* sp. 3 a další (Komárek et al. 2007, 2008). *Leptolyngbya erebii* je typickým zástupcem mnoha ekosystémů, od stojatých vod a potoků, přes ledovcová jezírka až po mokřady. Dále se vyskytuje také v kryokonitech na



povrchu ledovců. Pravděpodobně je rozšířena pouze na Antarktidě, ale obvykle netvoří velkou část biomasy (Komárek et al. 2007).

### 3.3.2. Nostoc

Dalším významným zástupcem polárních oblastí jsou sinice rodu *Nostoc*. Jedná se o rod vláknitých sinic, které tvoří makroskopické i mikroskopické kolonie a jsou běžné jak v terestrickém, tak vodním prostředí. Úspěch tohoto rodu v terestrickém prostředí je spojen se schopností zůstat ve vysušeném stavu po měsíce až roky a plně obnovit metabolickou aktivitu během hodiny až několika dnů po rehydrataci kapalnou vodou. *Nostoc* také dokáže ustát opakované cykly zamrzání a rozmrzání, a tak je důležitou součástí extrémních prostředí v Arktidě a Antarktidě (Dodds et al. 1995).

Kolonie druhu *Nostoc muscorum* a *Nostoc commune* jsou nacházeny v nejextrémnějších prostředích včetně Arktidy a Antarktidy (Potts et al. 1987, Dodds et al. 1995). Například *Nostoc commune* Vaucher ex Bornet et Flahault „sensu lato“ je jedním z nejběžnějších druhů sinic v odledněné části na ostrově Jamese Rosse v Antarktidě. *Nostoc commune* „type 1“ je charakteristickým druhem vyskytujícím se v mokřadech. Dalším, pro mokřady typickým zástupcem je sinice *Nostoc commune* „type 2<sup>b</sup>“, který se běžně vyskytuje i v půdě, zatímco vlhké skály jsou stanovištěm *Nostoc commune* „type 4<sup>b</sup>“. (Komárek et al. 2008).

### 3.3.3. Chroococcus

Pro tento polymorfní rod kokálních sinic bylo popsáno několik odlišných morfotypů z různých polárních ekosystémů. Obecně, kokální typy jsou méně rozšířené než vláknité typy sinic, což se projevuje nižší diverzitou. Jak uvádí Komárek et al. 2008, téměř žádný zástupce tohoto rodu se nestává dominantní složkou dané biocenózy. V arktických i antarktických mokřadech jsou běžně nacházeny druhy *Chroococcus* sp. 1 („large“)<sup>a</sup>, *Chroococcus* sp. 2 („middle“)<sup>b</sup>. Druhy *Chroococcus* cf. *helveticus* a *Chroococcus* cf. *prescottii* jsou nacházeny nejen v mokřadech, ale i v jezírkách, na smáčených stěnách a v půdě (Komárek et al. 2008, 2012). Dalším zástupcem rodu *Chroococcus* v polárních oblastech, jehož výskyt je omezen pouze na smáčené stěny, je druh *Chroococcus minimus* (Izaguirre et al. 1993).

### 3.3.4. Oscillatoria & Phormidium

Vláknité, sliz produkující sinice z řádu *Oscillatoriales*, zvláště zástupci rodů *Oscillatoria* a *Phormidium*, mají široce rozšířené morfotypy, které dominují v antarktických i arktických mikrobiálních povlacích potoků, jezer a mokřadů (Vincent & Hobbie 2000; Strunecký et al.

2012). Avšak podobné morfotypy jsou známy z mnoha dalších prostředí po celém světě a jejich identifikace je obtížná (Strunecký et al. 2010).

Studie Jungblut et al. (2005) ukazuje, že sezónní jezírka v polárních oblastech jsou typicky kolonizována zástupci rodu *Oscillatoria*, přičemž dominují druhy *Oscillatoria* cf. *fragile*, *Oscillatoria* cf. *limosa* a *Oscillatoria* cf. *priestleyi*. Typickými zástupci pro rod *Phormidium* v těchto ekosystémech jsou druhy *Phormidium* cf. *deflexum*, *Phormidium* cf. *autumnale* a *Phormidium* cf. *priestleyi*. Jiná situace je však v mokřadech, kde typickými druhy z rodu *Oscillatoria* jsou *Oscillatoria* sp. 1<sup>a</sup> a *Oscillatoria subproboscidea*, která je zároveň nejběžnějším zástupcem potoků v Antarktidě, jak ukazuje studie Komárek et al. (2008). Dalším zástupcem rodu *Oscillatoria*, který je vázán zejména na půdní ekosystémy, je *Oscillatoria* cf. *fracta*, kdežto pro jezera je typický druh *Oscillatoria* sp. 2. Z rodu *Phormidium* je běžným zástupcem potoků a mokřadů *Phormidium pseudopriestleyi*, jak ukazují studie Komárek et al. (2008) a Strunecký et al. (2010). Zástupcem rodu *Phormidium* typickým pro mokřady je *Phormidium murrayi*, který je také obvyklý v ornitogenních ekosystémech, tedy v místech s velkým přísunem živin z hnízdišť ptáků (Comte et al. 2007), kdežto jako běžný zástupce potoků byl identifikován druh *Phormidium priestleyi* (Komárek et al. 2008). Jak uvádí Varin et al. (2010), *Phormidium priestleyi* je endemickým zástupcem rodu *Phormidium* na Antarktidě. V půdě polárních oblastí je tento rod zastoupen druhem *Phormidium vulgare* (Strunecký et al. 2010).

Hojně rozšířeným druhem v polárních oblastech je také *Phormidium autumnale*, který je od revize taxonomického systému v roce 2014 řazen do rodu *Microcoleus*, a tudíž je označován jako *Microcoleus autumnale* (Komárek 2016).

### 3.3.5. Schizothrix

Rod vláknitých sinic *Schizothrix* je morfologicky velmi jednoduchý, zcela jasně vymezený od jiných druhů a definovatelný podle současné literatury (Komárek and Anagnostidis 2005). Vyznačuje se vysokou ekologickou specifičností a mnoho druhů je jak ekologicky, tak morfologicky odlišných do té míry, že jejich taxonomická klasifikace je založena pouze na morfologických a ekologických markerech. Často tvoří dominantní roli v konkrétní biocenóze nebo přinejmenším patří k charakteristickým druhům určitého společenstva (Komárek & Kovacik 2013).

V polárních oblastech jsou zástupci rodu *Schizothrix* běžnými kolonizátory všech typů ekosystémů od jezer až po smáčené stěny skal a kamenů. V Arktidě jsou také zástupci tohoto rodu nacházeni i v kryokonitech (Säwström et al. 2002). Druhy *Schizothrix* cf. *callicola* a

*Schizothrix fragilis* jsou běžně nacházenými zástupci v mokřadech, půdách, v jezerech a na povrchu smáčených kamenů (Matula et al. 2007). Dalším druhem typickým pro všechna vlhká stanoviště je *Schizothrix* cf. *lacustris*, který je dokonce i běžnou součástí půdních krust. Endemitním druhem pro Antarktidu je *Schizothrix* cf. *antarctica*, který je typický pro „seepages“, tudíž mokřady (Komárek et al. 2008). Dalším běžným druhem je *Schizothrix* cf. *facies*, který se na Špicberkách vyskytuje jen ve velmi rychle tekoucích potocích a vodopádech, kde roste připojena ke kamenitému substrátu a tvoří charakteristické, rezavé až žluto-hnědé povlaky. Velmi důležitým zástupcem rodu *Schizothrix* v polárních oblastech je druh *Schizothrix nigra*, který kolonizuje mokré a holé skály a tvoří makroskopické kolonie, které usnadňují nahromadění detritu na kamenitých substrátech (Komárek & Kovacik 2013).

### 3.3.6. *Gloeocapsa*

Variabilní společenstvo epilitických druhů rodu *Gloeocapsa* z vlhkých skal se běžně vyskytuje v mnoha lokalitách. Různé morfotypy dosud nebyly identifikovány s jistotou a většina populací je charakteristická podle modrého, fialového nebo načervenalého pouzdra. Totožnost podobných shluků z různých vysokých hor a vlhkých skal po celém světě je stále diskutabilní, a to především vzhledem k obtížím při pěstování těchto druhů v laboratorních podmínkách. Z celé řady různých morfotypů je nejběžnější druh *Gloeocapsa* cf. *alpina*, která má fialové pouzdro a je běžně nacházena na povrchu vlhkých kamenných bloků v blízkosti potoků nebo soliterně v mokřadech (Komárek et al. 2012). Mezi zvláštní polární druhy, běžně rozšířené po vlhké přímořské zóně Antarktidy, patří *Gloeocapsopsis*-type, který je typický tvorbou povlaků ve stabilizovaných mokřadech, ojediněle v litorálu stabilních jezer. Další druh *Gloeocapsa* sp. je běžným zástupcem mokřadů a dominantním typem ve společenstvech polárních půd (Pandey et al. 2004; Komárek et al. 2008). Druhy *Gloeocapsa kuetzingiana*, *Gloeocapsa ralfsiana*, *Gloeocapsa magna* patří mezi zástupce běžné pro jezera, mokřady a potoky. Navíc, druh *Gloeocapsa kuetzingiana* je důležitým zástupcem na skalách a druh *Gloeocapsa ralfsiana* je významným zejména v půdách (Pandey et al. 2004). Dominantou vlhkých skal jsou druhy *Gloeocapsa* cf. *alpina*, *Gloeocapsa* cf. *nigrescens*, *Gloeocapsa* cf. *rupestris* a *Gloeocapsa sanguinea*, přičemž *Gloeocapsa nigrescens* je běžně nacházena i v půdě. Pro řeky a vodopády polárních oblastí je typická *Gloeocapsa alpina*, kterou jinak nalézáme i v mokřadech (Pandey et al. 2004).

## 4. Selekční tlaky

### 4.1. Extrémnost polárních oblastí

Na Zemi existuje více než 70 % chladných ekosystémů, které mají stabilně teplotu pod nebo v blízkosti bodu mrazu. K chladným stanovištím patří hluboké oceány, vysokohorské nebo polární oblasti. Chladným prostředím ve většině případů dominují mikroorganismy (včetně gramnegativních a grampozitivních bakterií, sinic, zástupců skupiny Archea, kvasinek, plísní a prvoků), ty představují nejhojnější přizpůsobené formy života na Zemi v chladných oblastech na úrovni druhové rozmanitosti a biomasy (Morgan-Kiss et al. 2006).

Polární oblasti, díky jejich specifickým životním podmínkám, řadíme mezi tzv. extrémní stanoviště. Na organismy zde působí stresové faktory, jako je nízká teplota, střídání tání a vymrzání, limitující množství živin, různé úrovně viditelného a UV záření, dostupnost vody v závislosti na délce vegetační sezóny, vysychání nebo nestabilita biotopů včetně mechanického narušování (Vincent 2000).

#### 4.1.1. Teplota

Jedním z nejpodstatnějších abiotických faktorů je teplota, která ovlivňuje veškeré metabolické procesy v buňkách živých organismů. Rychlost všech biochemických reakcí je závislá na teplotě a jejich optimální průběh má za následek správný růst a vývoj organismů. Obecně, schopnost organismů reagovat na měnící se teplotní podmínky je nezbytnou vlastností pro kolonizaci nejrůznějších ekosystémů na planetě. Dle teplotního optima pro život dělíme organismy na psychrofilní (0–20 °C), mezofilní (20–50 °C) a termofilní (40–110 °C) (Russel et al. 1990).

Psychrofilní mikroorganismy úspěšně kolonizují permanentně chladné prostředí od hlubokých moří až po polární oblasti. Některé z těchto organismů, v závislosti na jejich optimální růstové teplotě, jsou také známy pod názvem psychrotolerantní nebo psychrotrofní (Morita 1975; D'Amico et al. 2006). Do této skupiny lze řadit i sinice z polárních oblastí. Ve studii Tang et al. (1997) bylo ukázáno, že 27 studovaných zástupců rodu *Oscillatoria* odebraných z jezer, potoků a sezónních jezírek v Arktidě a Antarktidě vykazovalo konzistentně psychrotrofní charakter. Teplotní optimum pro růst bylo v rozsahu 15–35 °C, z nichž některé druhy vykazovaly nepatrný růst i při 5°C. Většina izolátů však rostla při širokém teplotním rozsahu (5–30 °C) a ačkoliv nebyly geneticky adaptovány k nízkým teplotám, byly pravděpodobně tolerantní ke kolísavému teplotnímu režimu, který charakterizuje jejich prostředí (Vincent 2000). Organismy adaptované na chlad úspěšně vyvinuly genotypové a fenotypové znaky za

účelem přestát negativní dopad nízké teploty a k umožnění růstu v těchto extrémních podmínkách. U sinic jsou tyto odchylky využívány při taxonomické klasifikaci (Vincent 2000; D'Amico et al. 2006).

#### 4.1.2. Záření

Záření je základním faktorem umožňujícím život na Zemi, přičemž může mít fotokybernetické účinky (stimulující vývoj), fotoenergetické účinky (slouží jako zdroj energie), ale také fotodestrukční účinky (poškozuje organismus). Záření dopadající na zemský povrch dělíme dle jejich vlnových délek na ultrafialové záření (UV), viditelné neboli fotosynteticky aktivní záření (PAR) a infračervené záření. Přímo závislí jsou na záření všichni primární producenti, jejichž typickým znakem je fotosyntéza, která umožňuje život ostatním organismům, a to především díky produkci kyslíku a využití CO<sub>2</sub> pro tvorbu organické biomasy. Kyslík je důležitý pro většinu živých organismů a biomasa primárních producentů je základem pro všechny vyšší úrovně v trofickém řetězci (Vincent 2007).

Na život v polárních oblastech mají značný dopad UV-B záření a PAR. Zatímco PAR je nezbytný pro všechny fototrofní organismy, UV-B záření souvisí s poklesem ozonové vrstvy a negativně ovlivňuje viabilitu všech živých složek prostředí. Negativní působení UV-B záření spočívá v poškození nukleových kyselin a proteinů, což má při dlouhodobé expozici fatální následky pro všechny život nejen v polárních oblastech. Navíc arktické a antarktické sinice musí čelit extrémním změnám v dávkách PAR od kontinuálního světla během léta po kontinuální tmu během zimy. Tudíž musí být polární sinice schopné aklimatizace v široké škále PAR režimů. Jako příklad lze uvést kultury antarktických sinic rodu *Oscillatoria*, které vykazují vysoký stupeň adaptace v pigmentaci jako odpovědi k změnám v PAR (Vincent 2000). Těchto změn se hojně využívá pro taxonomickou klasifikaci (Vincent 2007).

#### 4.1.3. Nedostatek vody

Voda, sloučenina vodíku a kyslíku, je spolu s kyslíkem základním předpokladem pro existenci života na Zemi. Může se vyskytovat ve třech formách, a to plynné, pevné a kapalné. Veškeré živé organismy, ať už ve větší nebo menší míře, potřebují vodu pro správný růst a vývoj. V biologických systémech slouží voda jako médium pro přenos důležitých živin, vytváří optimální podmínky pro průběh všech metabolických reakcí a zejména u obratlovců umožňuje detoxikaci organismu. Její unikátní vlastnosti mají také obrovský význam v prostředí, kde hrají důležitou roli při výměně energie mezi jednotlivými složkami zemského

povrchu a atmosféry. Nedostatek vody má širokosáhlé důsledky, nejen na úrovni jedince, ale i pro správnou funkci na úrovni populací či celých ekosystémů (Vaclavik & Christian 2008). Absolutní množství vody, které je obsažené v polárním suchozemském prostředí, je obrovské. I přes to mluvíme paradoxně o místě, kde je voda pro organismy dostupná ve velmi omezeném množství. Většina vody v polárních oblastech je přítomna ve formě ledu. V tomto stavu ji organismy nedokáží využít. Ovšem i v polárních oblastech existuje voda, která je biologicky dostupná, a to v kapalně formě v podobě řek, potoků, jezer a krátkodobých jezírek během léta. V menším měřítku jde o vodu z tajících ledovců z kontinentálních oblastí. Problém je v tom, že tato voda není prostorově ani časově stálá. Mnoho kontinentálních potoků v polárních oblastech proudí pouze po dobu osmi týdnů za rok, během zimy se tato voda ztrácí - odpařuje, zmrzne či sublimuje (Howard-Williams & Vincent 1986). Organismy, které se snaží tuto vodu využít, se musí potýkat s častým obdobím vysušování a v nejhorším případě i s absolutní absencí vlhkosti. Z toho důvodu musí být organismy dobře adaptovány na nedostatek vody v prostředí (Kennedy 1993).

## **4.2. Adaptační a aklimatizační mechanismy**

Schopnost psychrofilních organismů přežít a množit se i při nízkých teplotách zajišťuje překonání klíčových bariér, které se objevují v trvale chladných prostředích. Tato schopnost je zajištěna buď adaptováním nebo aklimatizováním se organismu. Adaptace jsou modifikace organismů, které odpovídají vnějším podmínkám a jsou založeny na genetické fixaci. Na rozdíl od toho, aklimatizace je definována jako přivykání organismu na nové podmínky, ale bez genetické fixace, jedná se tedy o dočasný fyziologický proces. Mezi nejdůležitější adaptace patří zvýšená fluidita membrány, produkce kryoprotektantů (zejména cukrů a alkoholů), produkce anti-freeze proteinů a formování buněk vzhledem k tvorbě intracelulárních ledových krystalů. Perfektní adaptační schopnosti mikroorganismů potvrzuje i skutečnost, že z přechlazených oblačných kapek ve vysokohorských oblastech byly dokonce izolovány metabolicky aktivní bakterie (D'Amico et al. 2006; Morgan-Kiss et al. 2006).

### **4.2.1. Teplota**

Mezi hlavní adaptace udržující správný průběh metabolických reakcí a s tím spojeného růstu i při nízkých teplotách je udržení fluidity buněčné membrány (Thomashow 1998; Routaboul et al. 2000; Mock & Kroon 2002; Los & Murata 2004). Bylo prokázáno, že nízká teplota způsobuje škodlivé jevy, které mají vliv na zpevnění membrány lipidové dvojvrstvy, jako je například ztráta propustnosti pro ionty (Los & Murata 2004; Horváth et al. 1998).

Psychrofilní a psychrotrofní organismy využívají pro udržení fluidity membrán při nízkých teplotách různých kombinací mastných kyselin, které jsou následně ve formě nenasycených, rozvětvených nebo cyklických mastných kyselin zabudovávány do membrán (White et al. 2000). Významnou roli v membránových lipidech hrají zejména nenasycené kyseliny, které jsou hlavní složkou zamezující tuhnutí membrány při nízkých teplotách.

Dalším přelomovým adaptačním znakem všech organismů adaptovaných na chlad je molekulární adaptace enzymů jako kompenzace snížené rychlosti chemických reakcí při nízkých teplotách. Pro názornost, u mezofilních organismů může být aktivita enzymů při poklesu teploty z 37 °C na 0 °C snížena až 80krát. Oproti tomu, u psychrotrofních organismů je, i navzdory částečné redukci enzymatické aktivity, při teplotě 4 °C možno pozorovat růst populace psychrofilních bakterií, který je srovnatelný s tím u mezofilních druhů při 37 °C (Morgan-Kiss et al. 2006).

Fotosyntéza fototrofních psychrotolerantních organismů disponuje nespočtem množstvím adaptačních a aklimačních mechanismů, které při nízkých teplotách zajišťují přeměnu světelné energie na chemickou. Hlavními mechanismy zapojenými v adaptaci fotosyntetických procesů k nízkým teplotám jsou udržení fluidity membrán, stavové přeměny LHC komplexů či tepelná disipace nadbytečné energie prostřednictvím karotenoidů (Morgan-Kiss et al. 2006).

Další zajímavou adaptací sinic z polárních oblastí při nízkých teplotách je schopnost příjmu živin. *Oscillatoria*, *Phormidium* a *Nostoc* patří mezi nejhojnější zástupce většiny lokalit v polárních oblastech a jejich fyziologické vlastnosti ukazují, že při teplotě 5 °C jsou aktivní mechanismy jako je fixace N<sub>2</sub>, příjem dusičnanů nebo redukce dusičnanů amonných. Tato fakta jsou jasným indikátorem, že sinice z polárních oblastí jsou dobře adaptovány na nízké teploty (Pandey et al. 2004).

#### 4.2.2. Záření

Čistý led umožňuje značný průchod fotosynteticky aktivního záření (PAR), stejně jako UV-záření. Avšak bubliny, různé částice a sněhová pokrývka mají silný vliv na zpětný odraz a zachycení těchto typů záření a mohou mít za následek pokles energie, kterou přijímají organismy pod povrchem ledu (Belzile et al. 2001; Vincent 2000). Některé organismy jsou dobře adaptovány k těmto podmínkám, typickým příkladem z polárních oblastí je řasa *Chlamydomonas raudensis*, která má růstové optimum při extrémně nízkém toku záření. Přispívá k tomu zejména přítomnost světlosběrných proteinových komplexů (LHC). V kontrastu s tím jsou sinice typické nedostatkem těchto LHC, avšak disponují fykobilizomy,

kteří jim poskytují vysoce účinný proteinový komplex pro záchyt světla hluboko ve vodním sloupci, uvnitř mikrobiálního povlaku, či pod povrchem ledu. Například Hawes a Schwarz (1999) ukázali, že bentické mikrobiální povlaky v trvale zamrzlých antarktických jezerech jsou růžově zbarveny jako výsledek jejich vysokého obsahu fykoerytrinů (Vincent 2007).

Na řadě biotopů v polárních oblastech se organismy naopak musejí vyrovnávat s velmi silným přísunem slunečního záření. V přední linii obrany proti UV a vysokým dávkám PAR je produkce pigmentů, přičemž sinice z chladných ekosystémů produkují dvě třídy takových látek. První jsou v tucích rozpustné pigmenty gloeocapsin a scytonemin. První z nich je přítomen v pochvě některých druhů rodu *Gloeocapsa*, avšak tento pigment není prozatím dobře popsán jak po chemické, tak po fyziologické stránce. Oproti tomu existuje velké množství literatury, která popisuje pigment scytonemin nalezený u několika druhů sinic. Tento pigment se vyskytuje ve vysokých koncentracích převážně v povlacích, které tvoří společenstva v mnoha typech antarktických, arktických a horských prostředí. Ve vysokých koncentracích se vyskytuje například u kolonií rodu *Nostoc*, jenž tvoří černé povlaky a krusty (Vincent & Quesada 1994; Vincent 2007).

Druhou třídu pigmentů tvoří mykosporiny (Mycosporine Amino-like Acids – MAAs). Tyto ve vodě rozpustné sloučeniny se nacházejí v buňkách a dokáží absorbovat záření UVB (Garcia-Pichel & Castenholz 1993; Cockell & Knowland 1999). Například nová oligosacharidová MAA objevená v jednom ze zástupců rodu *Nostoc* (Böhm et al. 1995), byla identifikována v mikrobiálních povlacích na antarktickém ledovci (Mueller et al. 2005, Vincent 2007).

#### 4.2.3. Nedostatek vody

Polární oblasti jsou typické skutečností, že kapalná voda je dostupná pouze po několik týdnů až měsíců během vegetační sezóny. Avšak i za tuto krátkou dobu tato voda podporuje vznik početných vodních ekosystémů, jejichž dominantní složkou jsou prokaryotní sinice a široké spektrum eukaryotických řas. Ty však na konci vegetační sezóny musí čelit velmi extrémním podmínkám. Je zřejmé, že hlavním činitelem způsobujícím úmrtnost ve společenstvech jsou právě zimní mrazy a jejich vliv na organismy (Hawes 1990; Davey et al. 1992). Terénní i laboratorní studie ukázaly, že některé sinice (*Phormidium*, *Nostoc*) a některé řasy (*Prasiola*, *Zygnema*) mají schopnost tolerovat delší dobu vyschnutí (Davey 1989; Hawes et al. 1992; Jacob et al. 1992), nebo zmrazení (Davey 1989, Hawes 1990). Také je zřejmé, že mezi sinicemi a řasami existují rozdílné strategie pro přežití těchto zimních podmínek (Hawes 1990; Šabacká & Elster 2006).



Dostupné důkazy naznačují, že tolerance k vysychání odráží součet četných jednoduchých i komplexních interakcí na strukturní, fyziologické a molekulární úrovni. Například účinky reaktivních forem kyslíku při poškození spojeném s vysycháním jsou umocněny vysokými dávkami PAR či UV záření (Garcia-Pichel & Castenholz, 1999). Obecně má vysychání značný dopad na rostliny, řasy a sinice, které jsou producenty kyslíku, a tudíž je o mechanismy, které používají fotosynteticky aktivní organismy pro přečkání vodního deficitu, velký zájem.

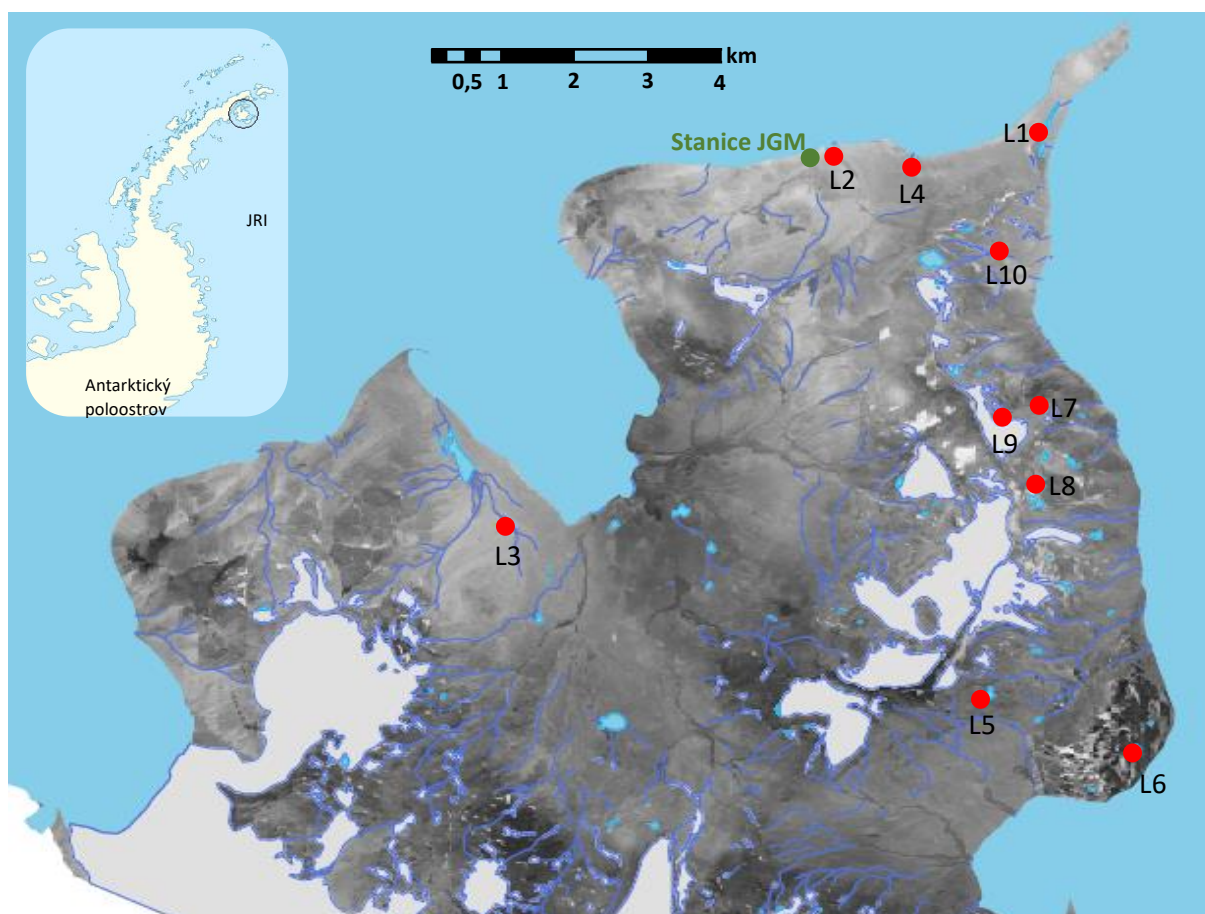
Jedním ekofyziologickým, biochemickým a molekulárním aspektem sinic, který si zaslouží pozornost s ohledem na toleranci vůči vysychání, je syntéza a funkce extracelulárních polysacharidů (Philippis & Vincenzini 1998; Adhikary 1998). Tyto biopolymery regulují ztráty a příjem vody z buněk, slouží jako matrix pro imobilizaci jiného komponentu buňky, který může poskytnout ochranu (např. UV absorbující sloučeniny) a mohou chránit buněčné stěny při bobtnání a smršťování (Caiola et al. 1993, 1996). Příkladem může být sinice druhu *Nostoc commune*, která je adaptována na suchozemské prostředí a má kosmopolitní rozšíření. Výsledky ze studie Tamaru et al. (2005) ukazují, že exopolysacharidy (EPS) u *Nostoc commune* jsou rozhodujícím faktorem pro toleranci stresu při vysychání stejně jako během zmrazování a rozmrazování a umožňují tak správnou funkci fotosyntézy.

## 5. Materiál a metody

V rámci této bakalářské práce byla provedena taxonomická klasifikace vzorků mikrobiálních povlaků z různých vodních ekosystémů na ostrově Jamese Rosse u pobřeží Antarktidy. Dále byla srovnána diverzita sinic z těchto lokalit a zhodnoceno procentuální zastoupení druhů v rámci jednotlivých lokalit. Vzorky byly zpracovány ve spolupráci s Ústavem experimentální biologie (ÚEB) a Centrem pro výzkum toxických látek v prostředí (RECETOX) Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně. Pro taxonomickou klasifikaci byl použit tradiční morfologický přístup.

### 5.1. Odběr vzorků

Materiál studovaný v rámci této bakalářské práce byl odebrán během vědecké expedice Masarykovy univerzity na ostrově Jamese Rosse v posledních 2 měsících letní sezóny 2015 (leden - únor). Masarykova univerzita zde provozuje Českou vědeckou stanici Johanna Gregora Mendela (63°48'02“J, 57°52'57“Z). Geograficky patří ostrov Jamese Rosse do



**Obrázek 1.** Mapa odledněné části ostrova Jamese Rosse (JRI) na Antarktidě s vyznačenými odběrovými lokalitami (L1–L10). Zelenou barvou je vyznačena Česká vědecká stanice Johanna Gregora Mendela (Czech Geological Survey 2009).

přímořské Antarktidy, ale hory Antarktického poloostrova chrání tuto oblast od přímého ovlivnění západními větry z Jižního Pacifického oceánu (Komárek & Elster 2008). To má za následek příznivější podmínky pro rozvoj různých forem života během letní sezóny.

Vzorky mikrobiálních povlaků, hodnocené v této práci, byly odebrány z 10 různých lokalit, které jsou uvedeny na obrázku 1. Vzorky byly odebírány na odledněné části ostrova z 5 různých typů vodních, mokřadních, příp. subatmofytických ekosystémů, a to jezer, potoků, sezónních jezírek, mokřadů a smáčené skalní stěny (Tabulka 2). Vzorky byly odebírány do sterilních odběrových zkumavek (o objemu 15 ml), zafixovány roztokem formaldehydu o výsledné koncentraci 10% a analyzovány po převozu do ČR. Informace charakterizující odběrové lokality jsou uvedeny v části Přílohy.

## 5.2. Taxonomická klasifikace

Taxonomická klasifikace vzorků, odebraných ze 3 mokřadů, 2 jezer, 2 potoků, 2 sezónních jezírek a 1 smáčené skalní stěny na odledněné části ostrova Jamese Rosse, byla provedena s využitím světelného mikroskopu Olympus X51 (Olympus, Japan). Hlavními morfologickými znaky hodnocenými při taxonomické klasifikaci sinic byly morfologie buňky, vlákna a jejich buněčná struktura. Základem pro systematickou klasifikaci, založenou na morfologických charakteristikách, byly publikace Komárek & Anagnostidis (1998), Komárek & Anagnostidis (2005) a Komárek (2013).

## 5.3. Metody hodnocení biodiversity

Hodnocení biodiversity sinic uvnitř mikrobiálních povlaků v různých typech vodních ekosystémů bylo provedeno na 2 základních úrovních, a to na úrovni  $\alpha$  a  $\beta$  diverzity. První z nich,  $\alpha$  diverzita, slouží k hodnocení druhové diverzity v rámci jednotlivých společenstev a snaží se popisovat vztahy vzájemného výskytu příslušných druhů. V této práci byl pro hodnocení biodiverzity uvnitř společenstev zvolen Simpsonův index, jehož hodnota udává, jaká je pravděpodobnost, že pokud vytáhneme ze společenstva 2 jedince, budou oba patřit do stejného druhu. Výpočet Simpsonova indexu ( $D$ ) dle vzorce:

$$D = \sum_{i=1}^S \frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

kde  $S$  je počet taxonů (druhů) ve společenstvu,  $n_i$  počet jedinců  $i$ -tého taxonu a  $N$  celkový počet jedinců ve společenstvu (Jarkovský et al. 2012).

Druhou úrovní je  $\beta$  diverzita, která sleduje změnu v druhovém složení mezi zkoumanými společenstvy. V rámci této práce byl pro hodnocení  $\beta$  diverzity použit Bray-Curtisův koeficient, který vyjadřuje podobnost biodiverzity (resp. druhového složení) studovaných lokalit (Tabulka 3). Bray-Curtisův koeficient podobnosti ( $C_{BC}$ ) byl stanoven dle vzorce:

$$C_{BC}(x_1, x_2) = \frac{\sum_{j=1}^p |y_{1j} - y_{2j}|}{\sum_{j=1}^p (y_{1j} + y_{2j})} = 1 - \frac{2W}{A + B}$$

kde  $x_1$  a  $x_2$  jsou srovnávaná společenstva,  $p$  je počet taxonů ve společenstvu,  $y_{1j}$  a  $y_{2j}$  jejich abundance ve společenstvech,  $W$  je součet minimálních abundancí druhu,  $A + B$  je součet abundancí jednotlivých společenstev (Jarkovský et al. 2012).

Hodnocení biodiverzity bylo provedeno s využitím programu Microsoft Office Excel 2016, prostřednictvím kterého byl vyhodnocen Simpsonův index, a programu Biodiversity Pro, prostřednictvím kterého byl vyhodnocen Bray-Curtisův index.

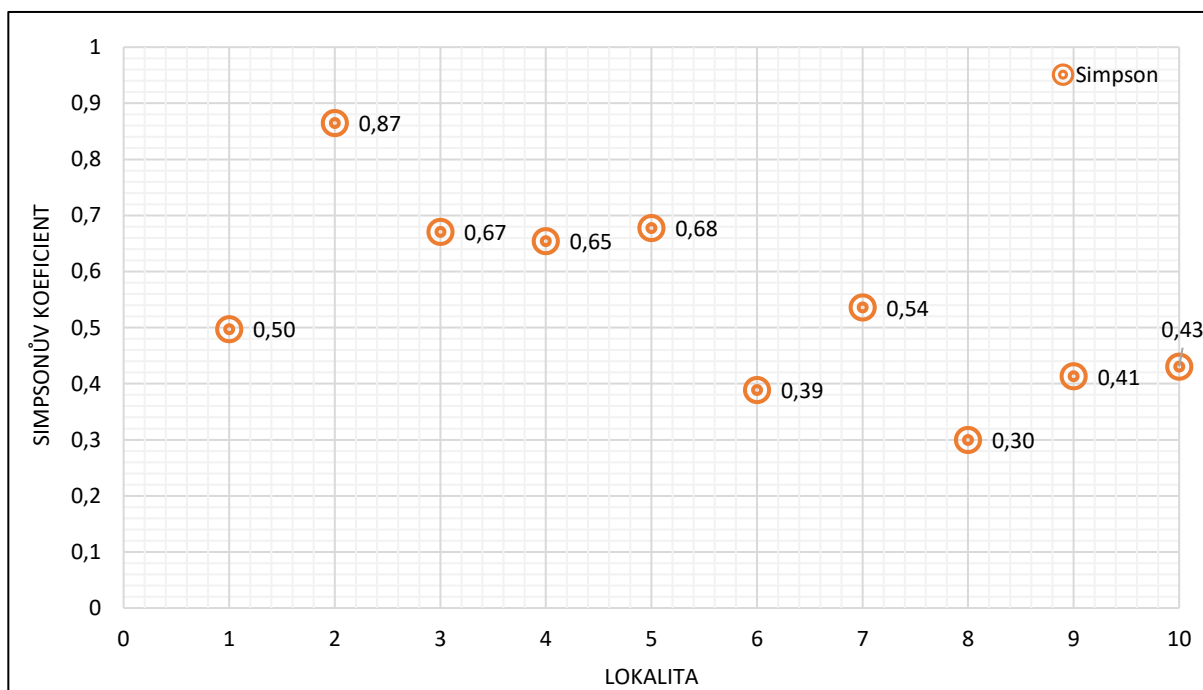
## 6. Výsledky

V rámci této práce bylo provedeno hodnocení taxonomického složení 10 studovaných společenstev z deseti různých lokalit na ostrově Jamese Rosse v Antarktidě. Napříč lokalitami bylo nalezeno celkem 23 druhů sinic patřících do 19 různých rodů. Celkový seznam nalezených druhů je uveden v tabulce 2, která také shrnuje rozmístění různých druhů v jednotlivých typech sledovaných ekosystémů. Mezi tyto ekosystémy řadíme mokřady (M), jezera (J), potoky (P), sezónní jezírka (SJ) a smáčenou skalní stěnu (S) (tabulka 2). Jak je patrné z tabulky 2, druh *Oscillatoria* sp. je velmi hojným druhem ve všech zkoumaných prostředích, i když nepředstavuje hlavní dominantu společenstva, jak je zřejmé z Obrázku 3. Oproti tomu, zástupce stejného rodu, druh *Oscillatoria* cf. *limosa*, byl nalezen pouze v mokřadním typu ekosystému. Mezi druhy, které byly nalezeny ve více než jednom typu ekosystému, patří *Nostoc* sp., *Phormidium* sp., *Phormidium* sp. 2, *Phormidium* cf. *ambiguum*, *Leptolyngbya* sp. a *Jaaginema* sp. Všechny ostatní nalezené druhy byly většinou přítomny pouze v jednom typu stanoviště.

**Tabulka 2.** Seznam jednotlivých druhů sinic a jejich výskyt v různých typech ekosystémů na ostrově Jamese Rosse. Znaménko + značí přítomnost druhu na daném typu stanoviště, zatímco znaménko - označuje nepřítomnost druhu. Zkratky M, J, P, SJ, S jsou vysvětleny výše v textu.

Druh	M	J	P	SJ	S
<i>Aphanocapsa</i> sp.	-	-	-	+	-
<i>Aphanothece</i> sp.	-	-	-	+	-
<i>Calothrix</i> sp.	-	-	-	-	+
<i>Cyanothece aeruginosa</i>	+	-	-	-	-
<i>Dichothrix</i> sp.	-	+	-	-	-
<i>Geitlerinema</i> sp.	+	-	-	-	-
<i>Gleocapsopsis aurata</i>	-	+	-	-	-
<i>Hassalia</i> sp.	-	-	-	-	+
<i>Chrocococcus</i> sp.	-	-	-	+	-
<i>Jaaginema</i> sp.	-	-	+	-	+
<i>Leptolyngbya</i> sp.	+	+	+	+	-
<i>Leptolyngbya</i> sp.1	+	+	-	-	-
<i>Microcoleus</i> sp.	+	-	-	-	-
<i>Nodularia quadrata</i>	-	-	+	-	-
<i>Nostoc</i> sp.	+	+	-	+	+
<i>Oscillatoria</i> cf. <i>limosa</i>	+	-	-	-	-
<i>Oscillatoria</i> sp.	+	+	+	+	+
<i>Phormidium</i> cf. <i>ambigium</i>	-	+	-	-	+
<i>Phormidium</i> sp.	+	+	+	-	+
<i>Phormidium</i> sp. 2	-	+	+	-	-
<i>Pleurocapsa</i> cf. <i>antarctica</i>	-	-	-	+	-
<i>Pseudoanabaena</i> sp.	-	-	+	-	-
<i>Pseudocapsa</i> sp.	-	-	-	-	+

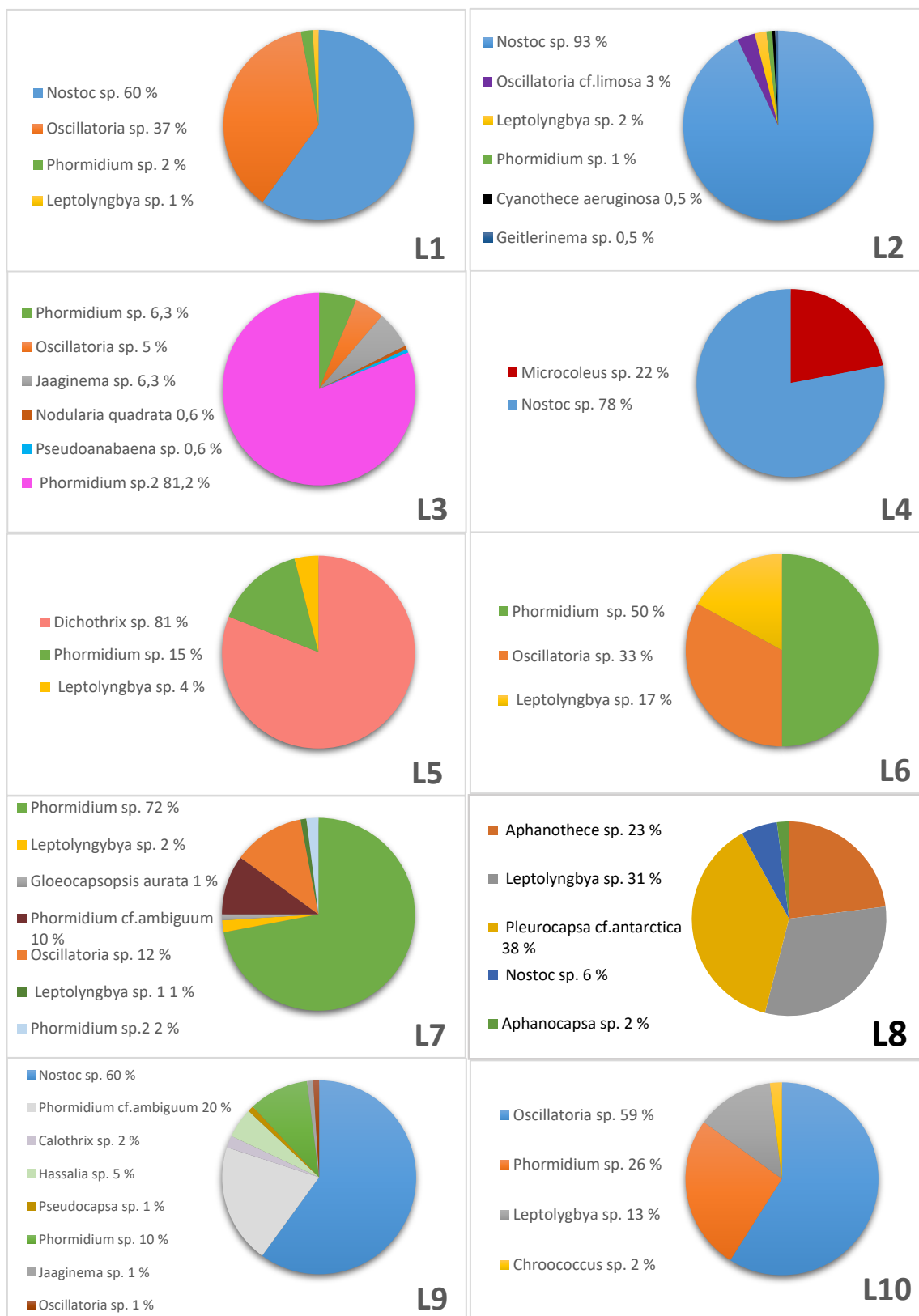
Alfa biodiverzita daných společenstev byla hodnocena pomocí Simpsonova indexu (Obrázek 2). Nejvyšší hodnota Simpsonova indexu, tedy 0,87, byla stanovena u lokality č. 2, která zastupuje jeden z mokřadů. Tato hodnota poukazuje na zvýšenou dominanci určitého druhu sinic, což je ukázáno i prostřednictvím Obrázku 3, kde je dominantním druhem na této lokalitě *Nostoc* sp. Další lokality mokřadního typu mají hodnotu Simpsonova indexu nižší než u L2, avšak i přesto indikují značnou dominanci některého druhu. U lokality 1 je hodnota Simpsonova indexu 0,50 a u lokality 4 se jedná o hodnotu 0,65. Z pohledu na Obrázek 3 je zřejmé, že dominantním druhem v obou lokalitách je opět *Nostoc* sp. V kontrastu s nejvyšší hodnotou Simpsonova indexu v L2, nejnižší hodnota indexu byla zjištěna u stanoviště č. 8 (sezónní jezírko) a to 0,30. Tato hodnota vypovídá o značně diverzitivním a vyrovnaném složení společenstva. U dalšího hodnoceného sezónního jezírka, L10, byla vypočtena hodnota 0,43, což v kombinaci s informacemi z Obrázku 3 ukazuje vyšší míru zastoupení některých z přítomných druhů. Mezi další hodnocené typy stanovišť patří jezera, tedy stanoviště (lokality) č. 5 a č. 7, kde byl vypočten index 0,68 v případě stanoviště č. 5 a 0,54 u stanoviště č. 7. Jak je patrné z Obrázku 3, vysoká hodnota indexu na stanovišti 5 je dána výraznou dominancí druhu *Dichothrix* sp. a nízkou druhovou diverzitou. Oproti tomu, hodnota indexu na lokalitě 7 je, i přes značnou dominanci druhu *Phormidium* sp., nižší. To je



**Obrázek 2.** Hodnoty Simpsonova indexu biodiverzity společenstva každé ze sledovaných lokalit (L1–L10).

způsobeno značnou druhovou bohatostí na lokalitě 7. Dalším typem vodních ekosystémů hodnocených v rámci této práce jsou potoky. Přičemž u stanoviště č. 3 byla stanovena

hodnota 0,67. Dominantním druhem tohoto stanoviště je druh *Phormidium* sp. 2 (viz Obr. 3). V kontrastu s tím, na lokalitě 6 byla stanovena hodnota indexu 0,39, která vypovídá o výrazně



**Obrázek 3.** Znázorněnu druhové složení a jejich procentuální zastoupení na studovaných lokalitách.

vyšší diverzitě než na L3. Posledním studovaným typem ekosystému byla smáčená skalní stěna (L9). Hodnota Simpsonova indexu na této lokalitě činila 0,41, což naznačuje poměrně bohatou druhovou diverzitu, jak je zřejmé i z Obrázku 3. Počty taxonů detekované na jednotlivých stanovištích jsou uvedeny v části Přílohy.

Bray-Curtisův index, který hodnotil celkovou podobnost druhového složení společenstev zkoumaných lokalit, je uveden v tabulce č. 3. Z hodnot indexu je patrné, že mokřadní lokality vykazují značnou podobnost v druhovém složení společenstev sinic. Hodnoty Bray-Curtisova indexu pro jednotlivé páry mokřadních stanovišť se pohybují v rozmezí od 61,6 % až po 74,1 %, což dokazuje značnou podobnost v druhovém složení. Nejvýraznější míra podobnosti byla zaznamenána mezi lokalitami 2 a 4, kde hodnota Bray-Curtisova koeficientu činí 74,1 %. V obou lokalitách byl ve výrazné dominanci identifikován druh *Nostoc* sp. Zajímavá je také obecná podobnost mokřadů (L1, L2, L4) se společenstvem smáčené skalní stěny (L9), kde byla zaznamenána stabilní podobnost v rozsahu 61,6 % – 63,5 %. Všechny 4 lokality jsou si také podobné dominantním druhem, kterým je *Nostoc* sp. (viz Obr. 3). V kontrastu s mokřady, u ostatních studovaných lokalit nebyla pomocí Bray-Curtisova indexu zjištěna výraznější podobnost. Dokonce, při hodnocení podobnosti L4 s L3, L5, L6 a L7 byla zjištěna nulová podobnost. Obecně, při hodnocení podobnosti ostatních studovaných lokalit pomocí Bray-Curtisova indexu nepřesahovala jeho hodnota 30%. Pouze při srovnání L6 s L7 a L10, byla jeho hodnota 42,5, respektive 51,7.

**Tabulka č. 3.** Hodnoty Bray-Curtisova indexu při vzájemném srovnání druhového složení společenstev všech studovaných lokalit

	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10
L1	*	62,3	6,7	63,2	3,0	20,0	15,2	6,1	63,3	37,5
L2	62,3	*	1,1	74,1	3,0	4,7	3,1	7,3	61,6	3,1
L3	6,7	1,1	*	0,0	5,6	16,4	12,4	0,0	7,8	7,4
L4	63,2	74,1	0,0	*	0,0	0,0	0,0	5,2	63,5	0,0
L5	3,0	3,0	5,6	0,0	*	29,5	17,3	4,9	10,1	6,3
L6	20,0	4,7	16,4	0,0	29,5	*	42,5	10,5	17,1	51,7
L7	15,2	3,1	12,4	0,0	17,3	42,5	*	2,5	21,4	22,4
L8	6,1	7,3	0,0	5,2	4,9	10,5	2,5	*	4,9	10,8
L9	63,3	61,6	7,8	63,5	10,1	17,1	21,4	4,9	*	1,6
L10	37,5	3,1	7,4	0,0	6,3	51,7	22,4	10,8	1,6	*



## 7. Diskuse

Moderní studie zaměřené na diverzitu sinic by měly být založeny na molekulárních analýzách, avšak morfologická analýza může také poskytnout dopňkové informace, které jsou vysoce relevantní k ekologickým otázkám (Komárek et al. 2008).

V této práci byla studována taxonomická diverzita sinic z 10 různých lokalit na ostrově Jamese Rosse v Antarktidě. Výsledky této práce ukazují, že ze všech zkoumaných lokalit jsou si svým druhovým složením nejvíce podobny mokřady, což bylo zjištěno na základě Bray-Curtisova indexu. Zkoumána byla 3 mokřadní stanoviště a jak ukazují výsledky této práce, ve všech těchto stanovištích představoval druh *Nostoc* sp. dominantu. Studie Komárek et al. (2008) z ostrova Jamese Rosse a Komárek (1999) z ostrova Krále Jiřího potvrzují nález tohoto druhu v mokřadních stanovištích, což poukazuje na širší biogeografickou distribuci napříč Antarktickým poloostrovem. Obecně jsou však zástupci rodu *Nostoc* (odpovídající většinou tradičně široce pojatému *N. commune*) považováni za problematické z hlediska pochopení genetické a fenotypové diverzity v různých ekosystémech polárních oblastí (Komárek & Komárek 2010). Zástupci rodu *Nostoc* se běžně vyskytují v antarktických odledněných oblastech, což dokazuje i tato práce, a jsou přítomni v několika odlišných eko- a morfo- typech. Zůstává zde však otázka, zda se jedná o jeden jediný široce rozšířený genotyp nebo jde o různé genotypy v odlišných půdních a průsakových místech, což není ještě dosud vyřešeno. Například Taton et al. (2003) identifikoval z mikrobiálních povlaků z McMurdo Dry Valleys tři různé shluky *Nostoc*, ale je třeba určit také jejich ekologickou variabilitu a životní podmínky v daném přírodním stanovišti.

Jak je uvedeno v dřívějších studiích (Vincent 2000; Nadeau & Castenholz 2000; Comte et al. 2007), dalším hojným zástupcem v mnoha typech polárních stanovišť je rod *Oscillatoria*. To potvrzují také výsledky této práce, kdy výskyt tohoto druhu byl potvrzen ve všech typech zkoumaných lokalit. V mokřadních ekosystémech byly nalezeny druhy jak *Oscillatoria* sp., tak *Oscillatoria* cf. *limosa*. Výskyt zástupců tohoto rodu v mokřadech potvrzuje i práce Komárek et al. (2008) a Komárek & Elster (2008). V potocích byl v případě obou stanovišť (L3, L6) nalezen druh *Oscillatoria* sp., jehož přítomnost v tomto typu ekosystému dokazují i jiné studie (Mcknight et al. 1999; Komárek et al. 2008; Kohler et al. 2015). V případě jezer byl na L7 opět nalezen druh *Oscillatoria* sp., jehož přítomnost v jezerech je dokumentována i z publikací Komárek & Elster (2008) a Jungblut et al. (2016). Dalším, neméně důležitým, zkoumaným akvatickým ekosystémem byla sezónní jezírka, v kterých byl také nalezen druh *Oscillatoria* sp., jehož výskyt dokládá i studie Vincent & James (1996) a Jungblut et al.

(2005). Posledním zkoumaným typem stanoviště byla smáčená skalní stěna, kde byl nalezen druh *Oscillatoria* sp. Výsledky této práce spolu s již publikovanými studii ukazují, že zástupci rodu *Oscillatoria* tvoří dominantní část jednotlivých společenstev, ale jsou velmi rozšířeni v nejrůznějších typech ekosystémů, a tak hrají důležitou ekologickou roli v polárních oblastech.

Pro hodnocení biodiverzity v rámci této práce byly zvoleny dva indexy. První z nich, Simpsonův index, slouží k hodnocení  $\alpha$  diverzity, tedy diverzity v rámci jednotlivých společenstev. Tento index ukázal, že i když se jedná o podobná stanoviště, druhová diverzita uvnitř jednotlivých stanovišť se velmi liší. Výrazný podíl na této skutečnosti má jistě geografické rozmístění jednotlivých lokalit na ostrově, stejně jako jejich mikroklima. Jak je patrné z výsledků (Obr. 3), v korelaci s rozdílnými hodnotami Simpsonova indexu je i přítomnost odlišných dominantních druhů na jednotlivých stanovištích. Jediným typem stanovišť s výskytem společného dominantního druhu jsou mokřady (viz výše). Navíc, u mokřadu na L2 byla stanovena nejvyšší hodnota indexu, a to 0,87. Vypovídá to tedy o nízké druhové diverzitě, což není v souladu s dřívějšími studii jako jsou Komárek et al. (2008) a Komárek (1999), které dokazují, že stanoviště tohoto typu jsou velmi druhově bohatá. V případě studie Komárek (1999) jde navíc o nejvíce diverzitní stanoviště na ostrově Krále Jiřího, kdy bylo nalezeno až 31 druhů. Avšak studie Komárek et al. (2008) se zmiňuje, že v závislosti na umístění mokřadu v prostředí lze pozorovat nižší zastoupení druhů, než je patrné u jiných typů stanovišť. U jiných typů vodních ekosystémů již žádné podobnosti v dominanci určitého druhu detekovány nebyly. Jako nejdíverzitnější lokality se ukázaly L6 a L8, kde hodnota Simpsonova indexu nepřekročila 0,4. Jelikož jde o různý typ ekosystémů, lze předpokládat, že vysoká druhová diverzita není dána typem vodního ekosystému, ale jinými faktory, jako je například geografické umístění na ostrově.

O podobnosti druhového složení v jednotlivých zkoumaných společenstvech vypovídá druhý z použitých indexů, a to Bray-Curtisův. Prostřednictvím tohoto indexu byla potvrzena značná podobnost všech mokřadních ekosystémů. Navíc byla detekována značná podobnost mokřadů se společenstvem smáčené skalní stěny. Lze předpokládat, že tato podobnost je dána podobnou ekologickou povahou těchto ekosystémů, kdy nejde o typicky vodní ekosystémy, ale pouze o ekosystémy na vodu silně vázané. Dále byla pomocí Bray-Curtisova indexu zjištěna podobnost lokalit L6 a L7, tedy potoku a jezera. Příčinou může být podobné geografické umístění ve východní části ostrova, s kterým souvisí i další možné faktory jako například podobné ekologické podmínky daných stanovišť. Obě stanoviště sdílí několik společných druhů, jimiž jsou *Oscillatoria* sp., *Leptolyngbya* sp. a *Phormidium* sp.

Celkové zastoupení jednotlivých druhů ve sledovaných lokalitách je velmi variabilní. Původ mikroflóry sinic může být ve své podstatě sekundární. Jak ukazuje studie Winn-Williams (1991), za druhovou bohatostí může být transport diaspor pomocí větru, nicméně vstup nových spor do ekosystému nemůže sám vysvětlit druhovou rozmanitost antarktických sinic. Sinice patří mezi organismy, které jsou ekologicky velmi plastické, přizpůsobivé a dokáží velmi rychle měnit své ekotypy či fyziologické modifikace (Hagemann 2002; Huckauf et al. 2000). Dominantní druhy z různých antarktických stanovišť (jezera, potoky, smáčené skalní stěny, mokřady atd.) jsou velmi stabilní a charakteristické, což znamená, že nemohou být závislé na občasném transportu z jiných kontinentů. Jak dokazují výsledky této práce, takovými druhy jsou zejména zástupci rodu *Nostoc*, *Oscillatoria*, *Phormidium* a *Leptolyngbya*. Jako příklad výrazně dominantních sinic z této práce mohou sloužit zástupci rodu *Nostoc*, kdy v případě stanoviště L1 byl nalezen druh *Nostoc* sp. až v 60% dominanci, u L2 byl *Nostoc* sp. zastoupen až 92 %, na L4 jeho dominance činila 70 % a u L9 dosahovala dominance také na 60 %. To vypovídá o značné dominanci a zároveň nemožnosti považovat výskyt tohoto druhu za sezónně náhodný. Toto tvrzení je podpořeno studiemi Komárek et al. (2008), Skácelová et al. (2013) a nejnovější Trnková & Barták (2017), které potvrzují dlouhodobou dominanci zástupců z rodu *Nostoc* v mokřadních typech ekosystémů na ostrově Jamese Rosse.

## 8. Závěr

V rámci této práce byla popsána taxonomická diversita sinic v různých vodních ekosystémech na ostrově Jamese Rosse v Antarktidě. Výsledky této práce jsou v souladu s dřívějšími studii sinicové diverzity, kdy nejčastěji se, napříč všemi ekosystémy, vyskytují zástupci rodů *Phormidium*, *Nostoc*, *Leptolyngbya* a *Oscillatoria*. Napříč všemi stanovišti bylo nalezeno celkem 21 druhů sinic.

Druhovú diverzita v rámci jednotlivých společenstev byla hodnocena pomocí Simpsonova indexu. Nejvyšší hodnoty Simpsonova indexu byly zjištěny u mokřadních stanovišť, což vypovídá spíše o nízké druhové diverzitě a převládající dominanci některého z druhů. Z taxonomických výsledků je zřejmé, že tímto dominantním druhem byl *Nostoc* sp.

Při hodnocení vzájemné podobnosti lokalit z hlediska taxonomického složení jednotlivých společenstev pomocí Bray-Curtisova koeficientu byla zjištěna značná podobnost mezi mokřady. Dalším zajímavým výsledkem je podobnost mezi mokřady a smáčenou skalní stěnou, což je zřejmě způsobeno podobnými ekologickými charakteristikami obou biotopů. V kontrastu s těmito výsledky, u ostatních vodních ekosystémů nebyla pozorována výraznější podobnost druhové diverzity.

Tato práce je v souladu s již publikovanými studii a rozšiřuje popis sinicové diverzity v akvatických ekosystémech na ostrově Jamese Rosse. Zejména, přidanou hodnotu přináší použití indexů biodiverzity k popisu taxonomického složení a diverzity jak v rámci jednotlivých stanovišť ( $\alpha$  diverzita), tak mezi stanovišti ( $\beta$ -diverzita).

## Seznam zkratek

**CO<sub>2</sub>** – oxid uhličitý

**DNA** – kyselina deoxyribonukleová

**EPS** – exopolysacharidy

**LHC** – light harvesting complex (světlosběrný komplex)

**MAAs** – Mycosporine Amino-like Acids

**N<sub>2</sub>** – vzdušný dusík

**PAR** – fotosynteticky aktivní záření

**PCR** – polymerázová řetězová reakce

**RECETOX** – Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí

**rRNA** - ribozomální ribonukleová kyselina

**ÚEB** – Ústav experimentální biologie

**UV** – ultrafialové záření

## Použitá literatura

- ANISIMOV, O. A., et al. Polar regions (arctic and antarctic). *Climate change*, 2007, 15: 653-685.
- BELZILE, C., et al. Bio-optical characteristics of the snow, ice, and water column of a perennially ice-covered lake in the High Arctic. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2001, 58.12: 2405-2418.
- BÖHM, G. A., et al. Structure of a novel oligosaccharide-mycosporine-amino acid ultraviolet A/B sunscreen pigment from the terrestrial cyanobacterium *Nostoc commune*. *Journal of Biological Chemistry*, 1995, 270.15: 8536-8539.
- BORNET, E.; FLAHAULT, C. Revision des Nostocacées hétérocystées. *Annls Sci. nat. (Botanique)*, 1887, sér., 5: 51-129.
- BRANIŠ, M.; HŮNOVÁ, I. *Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší*. V Praze: Karolinum, 2009. ISBN 978-80-246-1598-1.
- CALLAGHAN, T. V., et al. Arctic terrestrial ecosystems and environmental change [and discussion]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 1995, 352.1699: 259-276.
- CASAMATA, D. A., et al. Molecular and morphological characterization of ten polar and near-polar strains within the Oscillatoriales (Cyanobacteria). *Journal of Phycology*, 2005, 41.2: 421-438.
- CASTENHOLZ, R. W.; WATERBURY, J. B. Oxygenic photosynthetic bacteria. In "Bergey's Manual of Systematic Bacteriology", Vol. by JT Staley. 1989.
- CAVALIERI, D. J., et al. Ya. 30-Year satellite record reveals contrasting Arctic and Antarctic decadal sea ice variability. *Geophysical Research Letters*, 2003, 30.18.
- COCKELL, Ch. S.; KNOWLAND, J. Ultraviolet radiation screening compounds. *Biological Reviews*, 1999, 74.3: 311-345.
- COMTE, K., et al. Relationships between the Arctic and the Antarctic cyanobacteria; three *Phormidium*-like strains evaluated by a polyphasic approach. *FEMS microbiology ecology*, 2007, 59.2: 366-376.
- CONVEY, P. The influence of environmental characteristics on life history attributes of Antarctic terrestrial biota. *Biological Reviews*, 1996, 71.2: 191-225.
- CONVEY, P. Terrestrial ecosystem responses to climate changes in the Antarctic. In: "Fingerprints" of Climate Change. Springer US, 2001. p. 17-42.
- CONVEY, P., et al. Antarctic terrestrial life—challenging the history of the frozen continent? *Biological Reviews*. 2008, 83.2: 103-117.
- CRUMP, B. C., et al. Biogeography of bacterioplankton in lakes and streams of an arctic tundra catchment. *Ecology*, 2007, 88.6: 1365-1378.
- CURRAN, M. AJ., et al. Seasonal characteristics of the major ions in the high-accumulation Dome Summit South ice core, Law Dome, Antarctica. *Annals of Glaciology*, 1998, 27.1: 385-390.
- Czech Geological Survey. 2000. James Ross Island – northern part. Topographic map 1 : 25 000. First edition. Praha, Czech Geological Survey. ISBN 978-80-7075-734-5.
- DAVEY, M. C. The effects of freezing and desiccation on photosynthesis and survival of terrestrial Antarctic algae and cyanobacteria. *Polar Biology*, 1989, 10.1: 29-36.

- DAVEY, M. C., et al. Temperature variation and its biological significance in fellfield habitats on a maritime Antarctic island. *Antarctic Science*, 1992, 4.4: 383-388.
- D'AMICO, S., et al. Psychrophilic microorganisms: challenges for life. *EMBO reports*, 2006, 7.4: 385-389.
- DIETZ, R. S.; HOLDEN, J. C. Reconstruction of Pangaea: breakup and dispersion of continents, Permian to present. *Journal of Geophysical Research*, 1970, 75.26: 4939-4956.
- DE BLIJ, H. J. A regional geography of Antarctica and the Southern Ocean. *U. Miami L. Rev.*, 1978, 33: 299.
- DESIKACHARY, T. V. Cyanophyta, *Indian Council of Agric. Res.*, New Delhi, 1959, 686.
- DODDS, W. K., et al. The ecology of Nostoc. *Journal of Phycology*, 1995, 31.1: 2-18.
- ELSTER, J. Ecological classification of terrestrial algal communities in polar environments. In: *Geoecology of Antarctic ice-free coastal landscapes*. Springer Berlin Heidelberg, 2002. p. 303-326.
- GAO, Y., et al. Arctic sea ice and Eurasian climate: a review. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2015, 32.1: 92-114.
- GARCIA-PICHEL, F.; CASTENHOLZ, R. W. Occurrence of UV-absorbing, mycosporine-like compounds among cyanobacterial isolates and an estimate of their screening capacity. *Applied and Environmental Microbiology*, 1993, 59.1: 163-169.
- GEITLER, L. Cyanophyceae. In: *Cyanophyceae*. Johnson, 1932.
- GOMONT, M. 1893. *Monographie des Oscillariees*. *Ann. Sci. nat. Botan*, 1892.
- HAGEMANN, M. Environmental stress, signalling and basic acclimation reactions. *Cyanobacteria and nitrogen fixation in extreme environments*, 2002, 24.
- HANSEN, K. M., et al. Modelling the impact of climate change on the atmospheric transport and the fate of persistent organic pollutants in the Arctic. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2015, 15.11: 6549-6559.
- HARPER, C. J., et al. Structurally preserved fungi from Antarctica: diversity and interactions in late Palaeozoic and Mesozoic polar forest ecosystems. *Antarctic Science*, 2016, 28.03: 153-173.
- HAWES, I., et al. Desiccation and recovery of Antarctic cyanobacterial mats. *Polar Biology*, 1992, 12.6: 587-594.
- HAWES, I.; SCHWARZ, A. M. Photosynthesis in an extreme shade environment: benthic microbial mats from lake Hoare, a permanently ice-covered Antarctic lake. *Journal of Phycology*, 1999, 35.3: 448-459.
- HOBERG, E. P., et al. Arctic biodiversity: from discovery to faunal baselines-revealing the history of a dynamic ecosystem. *Journal of Parasitology*, 2003, 89.Suppl: S84-S95.
- HORVÁTH, I., et al. Membrane physical state controls the signaling mechanism of the heat shock response in *Synechocystis* PCC 6803: identification of hsp17 as a "fluidity gene". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1998, 95.7: 3513-3518.
- HOWARD-WILLIAMS, C.; VINCENT, W. Ecosystem properties of Antarctic streams. *New Zealand Antarctic Record*, 1986, 6: 21-27.
- HUCKAUF, J., et al. Stress responses of *Synechocystis* sp. strain PCC 6803 mutants impaired in genes encoding putative alternative sigma factors. *Microbiology*, 2000, 146.11: 2877-2889.
- IZAGUIRRE, I., et al. Temporal and spatial variations of phytoplankton from Boeckella lake (Hope Bay, Antarctic Peninsula). *Antarctic Science*, 1993, 5.02: 137-141.
- JACKA, T. H.; BUDD, W. F. Detection of temperature and sea-ice-extent changes in the Antarctic and Southern Ocean, 1949-96. *Annals of Glaciology*, 1998, 27.1: 553-559.

- JACOB, A., et al. Physiology and ultrastructure of desiccation in the green alga *Prasiola crispa* from Antarctica. *Botanica Marina*, 1992, 35.4: 297-304.
- JARKOVSKÝ, J., et al. Statické hodnocení biodiverzity. Akademické nakladatelství CERM, 2012
- JUNGBLUT, A. D., et al. Diversity within cyanobacterial mat communities in variable salinity meltwater ponds of McMurdo Ice Shelf, Antarctica. *Environmental microbiology*, 2005, 7.4: 519-529.
- JUNGBLUT, A. D., et al. Global distribution of cyanobacterial ecotypes in the cold biosphere. *The ISME Journal*, 2010, 4.2: 191-202.
- JUNGBLUT, A. D., et al. Microbial mat communities along an oxygen gradient in a perennially ice-covered Antarctic lake. *Applied and environmental microbiology*, 2016, 82.2: 620-630.
- KENNEDY, A. D. Water as a limiting factor in the Antarctic terrestrial environment: a biogeographical synthesis. *Arctic and Alpine Research*, 1993, 308-315.
- KOHLER, T. J., et al. Recovery of Antarctic stream epilithon from simulated scouring events. *Antarctic Science*, 2015, 27.04: 341-354.
- KOMÁREK, J.; RŮŽIČKA, J. Freshwater algae from a lake in proximity of the Novolazerevskaya Station, Antarctic. *Česká Botanická Společnost*, 1966.
- KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 19/1, Cyanoprokaryota, 1. Teil: Chroococcales, 548 pp. 1998.
- KOMÁREK, J. Diversity of cyanoprokaryotes (cyanobacteria) of King George Island, maritime Antarctica-a survey. *Algological Studies/Archiv für Hydrobiologie, Supplement Volumes*, 1999, 181-193.
- KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDES, K. Cyanoprokaryota: Oscillatoriales, 2. teil. Süßwasserflora von mitteleuropa. München, Elsevier GmbH. 2005.
- KOMÁREK, J. Phenotype diversity of the cyanobacterial genus *Leptolyngbya* in the maritime Antarctic. *Pol Polar Res*, 2007, 28.3: 211-231.
- KOMÁREK, J.; ELSTER, J. Ecological background of cyanobacterial assemblages of the northern part of James Ross Island, Antarctica. *Polish Polar Research*, 2008, 29.1: 17-32.
- KOMÁREK, J., et al. Diversity of the cyanobacterial microflora of the northern part of James Ross Island, NW Weddell Sea, Antarctica. *Polar Biology*, 2008, 31.7: 853-865.
- KOMÁREK, O.; KOMÁREK, J. Diversity and Ecology of Cyanobacterial Microflora of Antarctic Seepage Habitats: Comparison of King George Island, Shetland Islands, and James Ross Island, NW Weddell Sea, Antarctica. In: *Microbial Mats*. Springer Netherlands, 2010. p. 515-539.
- KOMÁREK, J., et al. Cyanobacterial diversity of Petuniabukta, Billefjorden, central pitsbergen. *Polish Polar Research*, 2012, 33.4: 347-368.
- KOMÁREK, J.; KOVACIK, L. Schizotrichacean cyanobacteria from central Spitsbergen (Svalbard). *Polar biology*, 2013, 36.12: 1811-1822.
- KOMÁREK, J. Cyanoprokaryota 3. Teil: Heterocytous Genera. Süßwasserflora von Mitteleuropa, 19 (3). Berlin Heidelberg, 2013.
- KOMÁREK, J. Principles of modern classification of cyanobacteria – přednáška. Determinační kurz, Bartošovice, 2015.
- KOMÁREK, J. Review of the cyanobacterial genera implying planktic species after recent taxonomic revisions according to polyphasic methods: state as of 2014. *Hydrobiologia*, 2016, 764.1: 259-270.



- LAWVER, L. A., et al. The development of paleoseaways around Antarctica. *The Antarctic Paleoenvironment: A Perspective on Global Change: Part One*, 1992, 7-30.
- LOS, D. A.; MURATA, N. Membrane fluidity and its roles in the perception of environmental signals. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes*, 2004, 1666.1: 142-157.
- LOVE, F. G., et al. Modern conophyton-like microbial mats discovered in Lake Vanda, Antarctica. *Geomicrobiology Journal*, 1983, 3.1: 33-48.
- MATUŁA, J., et al. Cyanoprokaryota and algae of Arctic terrestrial ecosystems in the Hornsund area, Spitsbergen. *Pol Polar Res*, 2007, 28.4: 283-315.
- MCKNIGHT, D. M., et al. Dry valley streams in Antarctica: ecosystems waiting for water. *Bioscience*, 1999, 49.12: 985-995.
- MOCK, T.; KROON, B. MA. Photosynthetic energy conversion under extreme conditions—I: important role of lipids as structural modulators and energy sink under N-limited growth in Antarctic sea ice diatoms. *Phytochemistry*, 2002, 61.1: 41-51.
- MORGAN-KISS, R. M., et al. Adaptation and acclimation of photosynthetic microorganisms to permanently cold environments. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 2006, 70.1: 222-252.
- MORITA, R. Y. Psychrophilic bacteria. *Bacteriological reviews*, 1975, 39.2: 144.
- MUELLER, D. R., et al. Extremotrophs, extremophiles and broadband pigmentation strategies in a high arctic ice shelf ecosystem. *FEMS Microbiology Ecology*, 2005, 53.1: 73-87.
- MULLINS, T. D., et al. Genetic comparisons reveal the same unknown bacterial lineages in Atlantic and Pacific bacterioplankton communities. *Limnology and Oceanography*, 1995, 40.1: 148-158.
- NADEAU, T. L.; CASTENHOLZ, R. W. Characterization of psychrophilic oscillatorians (cyanobacteria) from Antarctic meltwater ponds. *Journal of Phycology*, 2000, 36.5: 914-923.
- NEILAN, B. A. Identification and phylogenetic analysis of toxigenic cyanobacteria by multiplex randomly amplified polymorphic DNA PCR. *Applied and environmental microbiology*, 1995, 61.6: 2286-2291.
- NEILAN, B. A., et al. rRNA sequences and evolutionary relationships among toxic and nontoxic cyanobacteria of the genus *Microcystis*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 1997, 47.3: 693-697.
- NELISSEN, B., et al. An early origin of plastids within the cyanobacterial divergence is suggested by evolutionary trees based on complete 16S rRNA sequences. *Molecular Biology and Evolution*, 1995, 12.6: 1166-1173.
- NELISSEN, B., et al. Phylogenetic relationships of nonaxenic filamentous cyanobacterial strains based on 16S rRNA sequence analysis. *Journal of molecular evolution*, 1996, 42.2: 194-200.
- NÜBEL, U., et al. PCR primers to amplify 16S rRNA genes from cyanobacteria. *Applied and environmental microbiology*, 1997, 63.8: 3327-3332.
- OHTANI, S.; KANDA, H. Epiphytic algae on the moss community of *Grimmia lawiana* around Syowa Station, Antarctica (Ninth Symposium on Polar Biology). In: *Proceedings of the NIPR symposium on polar biology*. National Institute of Polar Research, 1987. p. 255-264.
- OMMEN, T. D.; MORGAN, V. Peroxide concentrations in the Dome summit south ice core, Law Dome, Antarctica. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 1996, 101.D10: 15147-15152.
- OMMEN, T. D.; MORGAN, V. Calibrating the ice core paleothermometer using seasonality. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 1997, 102.D8: 9351-9357.

- OTSUKA, S., et al. Phylogenetic relationships between toxic and non-toxic strains of the genus *Microcystis* based on 16S to 23S internal transcribed spacer sequence. *FEMS Microbiology Letters*, 1999, 172.1: 15-21.
- PALINSKA, K. A., et al. Phenotype variability of identical genotypes: the need for a combined approach in cyanobacterial taxonomy demonstrated on *Merismopedia*-like isolates. *Archives of Microbiology*, 1996, 166.4: 224-233.
- PALINSKA, K. A.; SUROSZ, W. Taxonomy of cyanobacteria: a contribution to consensus approach. *Hydrobiologia*, 2014, 740.1: 1-11.
- PANDEY, K. D., et al. Cyanobacteria in Antarctica: ecology, physiology and cold adaptation. *Cellular and Molecular Biology*, Paris, Wegmann, 2004, 50.5: 575-584.
- PARKER, B. C., et al. Fresh-Water Algae of the Antarctic Peninsula: 1. Systematics and Ecology in The US Palmer Station Area. American Geophysical Union, 1972.
- PARKER, B. C., et al. Changes in dissolved organic matter, photosynthetic production, and microbial community composition in Lake Bonney, Southern Victoria Land, Antarctica. Adaptations within Antarctic ecosystems, Smithsonian Institution, Washington, DC, 1977, 859-872.
- PARKER, B. C., et al. Modern stromatolites in Antarctic dry valley lakes. *BioScience*, 1981, 31.9: 656-661.
- PARKER, B. C., et al. Comparative ecology of plankton communities in seven Antarctic oasis lakes. *Journal of Plankton Research*, 1982, 4.2: 271-286.
- PECK, L. S., et al. Genomics: applications to Antarctic ecosystems. *Polar Biology*, 2005, 28.5: 351-365.
- POINTING, S. B., et al. Highly specialized microbial diversity in hyper-arid polar desert. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2009, 106.47: 19964-19969.
- POTTS, M., et al. Variation in phospholipid ester-linked fatty acids and carotenoids of desiccated *Nostoc commune* (cyanobacteria) from different geographic locations. *Applied and environmental microbiology*, 1987, 53.1: 4-9.
- POTTS, M. Mechanisms of desiccation tolerance in cyanobacteria. *European Journal of Phycology*, 1999, 34.4: 319-328.
- POTTS, M.; WHITTON, B. A. The ecology of cyanobacteria: their diversity in time and space. Kluwer Academic, 2000.
- POULÍČKOVÁ, A. Základy ekologie sinic a řas. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2011. ISBN 978-80-244-2751-5.
- POULÍČKOVÁ, A., et al. Průvodce mikrosvětlem sinic a řas. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2015. ISBN 978-80-244-4408-6.
- PRISCU, J. C., et al. Antarctic subglacial water: origin, evolution and ecology. *Polar lakes and rivers: limnology of Arctic and Antarctic aquatic ecosystems*. Oxford University Press, Oxford, 2008, 119-135.
- PROŠEK, P. Antarktida. Praha: Academia, 2013. ISBN 978-80-200-2140-3.
- QUESADA, A., et al. Community and pigment structure of Arctic cyanobacterial assemblages: the occurrence and distribution of UV-absorbing compounds. *FEMS Microbiology Ecology*, 1999, 28.4: 315-323.
- QUESADA, A.; VINCENT, W. F. Cyanobacteria in the cryosphere: snow, ice and extreme cold. In: *Ecology of cyanobacteria II*. Springer Netherlands, 2012. p. 387-399.
- REJMÁNKOVÁ, E., et al. Cyanobacteria—a neglected component of biodiversity: patterns of species diversity in inland marshes of northern Belize (Central America). *Diversity and Distributions*, 2004, 10.3: 189-199.

- RICHTER, D., et al. Relationship of cyanobacterial and algal assemblages with vegetation in the high Arctic tundra (West Spitsbergen, Svalbard Archipelago). *Polish Polar Research*, 2015, 36.3: 239-260.
- RIPPKA, R., et al. Generic assignments, strain histories and properties of pure cultures of cyanobacteria. *Microbiology*, 1979, 111.1: 1-61.
- ROUTABOUL, J. M., et al. Trienoic fatty acids are required to maintain chloroplast function at low temperatures. *Plant Physiology*, 2000, 124.4: 1697-1705.
- RUSSELL, N. J., et al. Cold adaptation of microorganisms [and discussion]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 1990, 326.1237: 595-611.
- SÄWSTRÖM, Ch., et al. The microbial communities and primary productivity of cryoconite holes in an Arctic glacier (Svalbard 79 N). *Polar Biology*, 2002, 25.8: 591-596.
- SCHOPF, J. The fossil record: tracing the roots of the cyanobacterial lineage. *The ecology of cyanobacteria*, 2002, 13-35.
- SIMMONS JR, G. M., et al. Physiological adaptations of biota in Antarctic oasis lakes. *Antarctic Journal of the United States*, 1981, 16.5: 173-174.
- SIVONEN, K.; JONES, G. Cyanobacterial toxins. *Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management*, 1999, 1: 43-112.
- SKÁCELOVÁ, K., et al. Biodiversity of freshwater algae and cyanobacteria on deglaciated northern part of James Ross Island, Antarctica. A preliminary study. *Czech Polar Reports*, 2013, 3.2.
- STANIER, R. Y., et al. Purification and properties of unicellular blue-green algae (order Chroococcales). *Bacteriological reviews*, 1971, 35.2: 171.
- STANIER, R. Y., et al. Proposal to place the nomenclature of the cyanobacteria (blue-green algae) under the rules of the International Code of Nomenclature of Bacteria. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 1978, 28.2: 335-336.
- STEBBINS, G. L. Polyploidy and the distribution of the arctic-alpine flora: new evidence and a new approach. *Bot. Helvetica*, 1984, 94.1: 1-13.
- STEBBINS, G. L. Polyploidy, hybridization, and the invasion of new habitats. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 1985, 824-832.
- STRUNECKÝ, O., et al. Phylogenetic relationships between geographically separate *Phormidium* cyanobacteria: is there a link between north and south polar regions? *Polar biology*, 2010, 33.10: 1419-1428.
- STRUNECKÝ, O., et al. Molecular clock evidence for survival of Antarctic cyanobacteria (*Oscillatoriales*, *Phormidium autumnale*) from Paleozoic times. *FEMS microbiology ecology*, 2012, 82.2: 482-490.
- ŠABACKÁ, M.; ELSTER, J. Response of cyanobacteria and algae from Antarctic wetland habitats to freezing and desiccation stress. *Polar Biology*, 2006, 30.1: 31.
- ŠEBESTA, D., et al. Regionální geografie anglosaské Ameriky, Austrálie a Antarktidy. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2013. ISBN 978-80-244-3898-6.
- TAMARU, Y., et al. Crucial role of extracellular polysaccharides in desiccation and freezing tolerance in the terrestrial cyanobacterium *Nostoc commune*. *Applied and Environmental Microbiology*, 2005, 71.11: 7327-7333.
- TANG, E. PY., et al. Cyanobacterial dominance of polar freshwater ecosystems: are high-latitude mat-formers adapted to low temperature? 1. *Journal of Phycology*, 1997, 33.2: 171-181.

- TEUFEL, B. S. Impact of interactive vegetation phenology on the simulated pan-arctic land surface state. Dissertation. University of Quebec, Montreal, 2016.
- THAJUDDIN, N.; SUBRAMANIAN, G. Cyanobacterial biodiversity and potential applications in biotechnology. *Current Science*, 2005, 47-57.
- THOMASHOW, M. F. Role of cold-responsive genes in plant freezing tolerance. *Plant physiology*, 1998, 118.1: 1-8.
- THURET, G. A. Essai de classification des Nostochinées. 1875.
- TORSVIK, T. H., et al. Antarctica and global paleogeography: from Rodinia, through Gondwanaland and Pangea, to the birth of the Southern Ocean and the opening of gateways. In: *Antarctica: A Keystone in a Changing World. Proceedings of the 10th international symposium on Antarctic earth sciences*. The National Academies Press, Washington, DC. 2008. p. 125-140.
- TRNKOVÁ, K.; BARTÁK, M. Desiccation-induced changes in photochemical processes of photosynthesis and spectral reflectance in *Nostoc commune* (Cyanobacteria, Nostocales) colonies from polar regions. *Phycological Research*, 2017, 65.1: 44-50.
- TURNER, J.; OVERLAND, J. Contrasting climate change in the two polar regions. *Polar Research*, 2009, 28.2: 146-164.
- VACLAVIK, V. A.; CHRISTIAN, E. W. Fat and oil products. *Essentials of Food Science*, 2008, 273-309.
- VARIN, T., et al. Metagenomic profiling of Arctic microbial mat communities as nutrient scavenging and recycling systems. *Limnology and Oceanography*, 2010, 55.5: 1901-1911.
- VEEVERS, J. J. Gondwanaland from 650–500 Ma assembly through 320 Ma merger in Pangea to 185–100 Ma breakup: supercontinental tectonics via stratigraphy and radiometric dating. *Earth-Science Reviews*, 2004, 68.1: 1-132.
- VINCENT, W. F.; QUESADA, A. Cyanobacterial responses to UV radiation: implications for Antarctic microbial ecosystems. *Ultraviolet Radiation in Antarctica: Measurement and Biological Effects*. American Geophysical Union, Antarctic Research Series, 1994, 62: 111-124.
- VINCENT, W. F.; JAMES, M. R. Biodiversity in extreme aquatic environments: lakes, ponds and streams of the Ross Sea sector, Antarctica. *Biodiversity & Conservation*, 1996, 5.11: 1451-1471.
- VINCENT, W., et al. Arctic and Antarctic lakes as optical indicators of global change. *Annals of Glaciology*, 1998, 27.1: 691-696.
- VINCENT, W. F. Cyanobacterial dominance in the polar regions. In: *The ecology of cyanobacteria*. Springer Netherlands, 2000. p. 321-340.
- VINCENT, W. F.; HOBBIE, J. E. Ecology of Arctic lakes and rivers. *The Arctic: Environment, People, Policy*, 2000, 197-231.
- VINCENT, W. F. Cold tolerance in cyanobacteria and life in the cryosphere. *Algae and cyanobacteria in extreme environments*, 2007, 287-301.
- VODRÁŽKA, R.; CRAME, J. Alistair. First fossil sponge from Antarctica and its paleobiogeographical significance. *Journal of Paleontology*, 2011, 85.1: 48-57.
- WHARTON JR, R. A., et al. Algae in cryoconite holes on Canada Glacier in southern Victoria Land, Antarctica. *Phycologia*, 1981, 20.2: 208-211.
- WHARTON, R. A., et al. Biogenic calcite structures forming in Lake Fryxell, Antarctica. *Nature*, 1982, 295.5848: 403-405.

- WHARTON, R. A. Ecology of algal mats and their role in the formation of stromatolites in Antarctic dry valley lakes. 1982. PhD Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University.
- WHARTON JR, R. A., et al. Distribution, species composition and morphology of algal mats in Antarctic dry valley lakes. *Phycologia*, 1983, 22.4: 355-365.
- WHITE, P. L., et al. Diversity of thermal responses of lipid composition in the membranes of the dominant culturable members of an Antarctic fellfield soil bacterial community. *Antarctic Science*, 2000, 12.03: 386-393.
- WHITTON, B. A. Diversity, ecology, and taxonomy of the cyanobacteria. In: *Photosynthetic prokaryotes*. Springer US, 1992. p. 1-51.
- WRIGHT, T. O., et al. Newly discovered youngest Cambrian or oldest Ordovician fossils from the Robertson Bay terrane (formerly Precambrian), northern Victoria Land, Antarctica. *Geology*, 1984, 12.5: 301-305.
- WYNN-WILLIAMS, D. D. Aerobiology and colonization in Antarctica—the BIOTAS Programme. *Grana*, 1991, 30.2: 380-393.
- ZAKHIA, F., et al. Cyanobacteria in cold ecosystems. In: *Psychrophiles: from biodiversity to biotechnology*. Springer Berlin Heidelberg, 2008. p. 121-135.

## Přílohy

**Tabulka 1** Přehled přítomnosti jednotlivých druhů na zkoumaných stanovištích a jejich celková abundance.

	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10
<i>Aphanocapsa</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Aphanothece</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Calothrix</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Cyanothece aeruginosa</i>	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dichothrix</i> sp.	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Geitlerinema</i> sp.	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gleocapsopsis aurata</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Hassalia</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Chroococcus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Jaaginema</i> sp.	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-
<i>Leptolyngbya</i> sp.	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+
<i>Leptolyngbya</i> sp.1	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Microcoleus</i> sp.	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Nodularia quadrata</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nostoc</i> sp.	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-
<i>Oscillatoria</i> cf. <i>limosa</i>	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oscillatoria</i> sp.	+	-	+	-	-	+	+	-	+	+
<i>Phormidium</i> cf. <i>ambigium</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-
<i>Phormidium</i> sp.	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+
<i>Phormidium</i> sp. 2	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
<i>Pleurocapsa</i> cf. <i>antarctica</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Pseudoanabaena</i> sp.	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pseudocapsa</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<b>Celkem druhů</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>4</b>

**Tabulka 2** Fyzikálně-chemické parametry odběrových lokalit, GPS souřadnice a taxonomické složení.

	Lokalita	Typ	GPS	pH	teplota (°C)	konduktivita (μS)	Taxonomické složení
L1	Wetland lachman	Mokřad	63° 47,862'J 57° 48,567'Z	7,58	13,4	221	Nostoc sp. 60 %, Oscillatoria sp. 37 %, Phormidium sp. 2 %, Leptolyngbya sp. 1 %
L2	OTC Station	Mokřad	63° 48,001'J 57° 52,697'Z	8,25	5,5	49	Nostoc sp. 93 %, Oscillatoria cf.limosa 3 %, Phormidium sp. 1 %, Leptolyngbya sp. 2 %, Geitlerinema sp. 0,5 %, Cyanothece aeruginosa 0,5 %
L3	Phormidium stream	Potok	63° 51,597'J 57° 59,691'Z	7,5	8,8	297	Phormidium sp. 6,3 %, Oscillatoria sp. 5 %, Jaaginema sp. 6,3 %, Nodularia quadrata 0,6 %, Pseudanabaena sp. 0,6 %, Phormidium sp.2 81,2 %
L4	Pukao seepage	Mokřad	63° 48,108'J 57° 51,163'Z	6,93	8,9	58	Microcoleus sp. 22 %, Nostoc sp. 78 %
L5	Crazy lake	Jezero	63° 53,637'J 57° 49,556'Z	7,89	10,3	18	Dichothrix sp. 81 %, Phormidium sp. 15 %, Leptolyngbya sp. 4 %
L6	Green lake (přítok)	Potok	63° 54,145'J 57° 46,713'Z	8,34	4,9	13	Phormidium sp. 50 %, Oscillatoria sp. 33 %, Leptolyngbya sp. – 17 %
L7	Gerža lake	Jezero	63° 50,634'J 57°48,794'Z	9,68	8,6	98	Phormidium sp. 72 %, Leptolyngbya sp. 2 %, Gloeocapsopsis aurata 1 %, Phormidium cf.ambiguum 10 %, Oscillatoria sp. 12 %, Leptolyngbya sp.1 1 %, Phormidium sp.2 2 %
L8	Omega lake oasis	Rybník	63° 51,606'J 57°48,629'Z	7,8	0,5	55	Aphanothece sp. 23 %, Leptolyngbya sp. 31 %, Pleurocapsa cf.antarctica 38 %, Nostoc sp. 6 %, Aphanocapsa sp. 2 %
L9	Smáčenka	vlhké skály	63° 50,852'J 57°49,535'Z	nelze měřit			Nostoc sp. 60 %, Phormidium cf.ambiguum 20 %, Calothrix sp. 2 %, Hassalia sp. 5 %, Pseudocapsa sp. 1 %, Phormidium sp. 10 %, Jaaginema sp. 1 %, Oscillatoria sp. 1 %
L10	Halozet pond	Rybník	63° 48,845'J 57°48,855'Z	9,34	11,5	1915	Oscillatoria sp. 59 %, Phormidium sp. 26 %, Leptolyngbya sp. 13 %, Chroococcus sp. 2 %

## Anotace

<b>Jméno a příjmení:</b>	Nikola Gregorová
<b>Katedra:</b>	Katedra biologie
<b>Vedoucí práce:</b>	Mgr. Jana Štěpánková, Ph.D.
<b>Rok obhajoby:</b>	2017

<b>Název práce:</b>	Diversita, taxonomie a ekologie sinic z polárních oblastí
<b>Název v angličtině:</b>	Diversity, taxonomy and ecology of cyanobacteria from polar regions
<b>Anotace práce:</b>	<p>Tato bakalářská práce se zabývá taxonomií, diversitou a ekologií sinic z polárních oblastí. V teoretické části se zabývá historií, geografii, klimatem a organismy polárních oblastí. Další část se podrobně věnuje popisu současného stavu znalostí o taxonomii, ekologii a diversitě sinic v polárních oblastech a současně popisuje extrémnost polárních oblastí spolu s adaptačními mechanismy, které se vyvinuly u sinic. Praktická část hodnotí taxonomické složení 10 různých společenstev na ostrově Jamese Rosse v Antarktidě, přičemž bylo provedeno hodnocení biodiversity na 2 úrovních, a to <math>\alpha</math> a <math>\beta</math> diverzity. Pomocí Simpsonova indexu (<math>\alpha</math> diverzita) bylo hodnoceno druhové složení v rámci jednotlivých společenstev. Hodnocení podobnosti biodiversity mezi sledovanými lokalitami bylo provedeno za pomoci Bray-Curtisova indexu (<math>\beta</math> diverzita).</p>



<b>Klíčová slova:</b>	Sinice, polární oblasti, ostrov Jamese Rosse, diverzita, vodní ekosystémy, adaptace, extrémní prostředí
<b>Anotace v angličtině:</b>	This Bachelor thesis is focused on taxonomy, diversity and ecology of cyanobacteria in polar regions. In the theoretical part, the thesis is concerned with history, geography, climate and organisms of polar regions. The next part describes in detail current state of knowledge about taxonomy, ecology and diversity of cyanobacteria from polar regions and simultaneously describes extremity of polar regions in association with adaptation mechanisms which cyanobacteria has developed. In the practical part, the thesis evaluates taxonomic composition of 10 different communities at the James Ross Island, where evaluation of biodiversity was assessed on two levels, $\alpha$ and $\beta$ diversity. Using the Simpson index, for evaluation of $\alpha$ diversity, the species composition within individual communities was assessed. Assessment of similarity between individual investigated communities was done using the Bray-Curtis index ( $\beta$ diversity).
<b>Klíčová slova v angličtině:</b>	Cyanobacteria, polar regions, James Ross Island, diversity, aquatic ecosystems, adaptation, extreme environment
<b>Přílohy vázané v práci:</b>	Tabulky
<b>Rozsah práce:</b>	57 stran
<b>Jazyk práce:</b>	Český jazyk