



# Aerofytické biofilmy sportovního areálu Sport Park Liberec

## Bakalářská práce

*Studijní program:*

B0114A300075 Přírodopis se zaměřením na vzdělávání

*Studijní obory:*

Přírodopis se zaměřením na vzdělávání

Tělesná výchova se zaměřením na vzdělávání

*Autor práce:*

**Anna Kopřivová**

*Vedoucí práce:*

Mgr. Martin Pusztai, Ph.D.

Katedra chemie





## Zadání bakalářské práce

# Aerofytické biofilmy sportovního areálu Sport Park Liberec

*Jméno a příjmení:* **Anna Kopřivová**  
*Osobní číslo:* P19000821  
*Studijní program:* B0114A300075 Přírodopis se zaměřením na vzdělávání  
*Specializace:* Přírodopis se zaměřením na vzdělávání  
Tělesná výchova se zaměřením na vzdělávání  
*Zadávající katedra:* Katedra chemie  
*Akademický rok:* **2020/2021**

### Zásady pro vypracování:

1. Provést rešerši literatury a shrnutou publikované poznatky o mikroorganismální biodiverzitě substrátů městské krajiny se zaměřením na umělé povrchy, zejména viditelně zbarvené nárosty sinic a řas.
2. Popsat postup a metody standardního odběru vzorků mikroorganismů umělého povrchu, návrh nejvhodnější metody.
3. Realizovat mikroskopickou analýzu přírodních vzorků, fotodokumentaci a determinaci dle možností.
4. Provést kultivaci sinic a řas z přírodních vzorků a opětovnou mikroskopii po určité době.
5. Provést porovnání a zhodnocení zjištěné diverzity –dominanta, druhová bohatost, zastoupení skupin.

Rozsah grafických prací:  
Rozsah pracovní zprávy:  
Forma zpracování práce:  
Jazyk práce:

dle potřeby dokumentace  
40-50 stran  
tištěná/elektronická  
Čeština



### Seznam odborné literatury:

1. HALLMANN, Christine, et al. *Molecular diversity of phototrophic biofilms on building stone*. *FEMS Microbiology Ecology*, 2013, 84.2: 355-372.
2. JOHRI, Bhavdish N., et al. *Microorganism diversity: Strategy and action plan*. *CURRENT SCIENCE*, 2005, 89.1: 151.
3. KALINA, Tomáš a Jiří VÁŇA. *Sinice, řasy, houby, mechorosty a podobné organismy v současné biologii*. Praha: Karolinum, 2005. ISBN 80-246-1036-1.
4. KLABAN, Vladimír. *Obecná a environmentální mikrobiologie: fascinující, neuvěřitelný a tajemný svět mikrobů v přírodním prostředí*. Hradec Králové: Gaudeamus, 2018, 488 s. ISBN 978-80-7435-673-5.
5. POULÍČKOVÁ, Aloisie. *Základy ekologie sinic a řas*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2011, 91 s. ISBN 978-80-244-2751-5.
6. RINDI, Fabio. Diversity, distribution and ecology of green algae and cyanobacteria in urban habitats. In: *Algae and cyanobacteria in extreme environments*. Springer, Dordrecht, 2007. p. 619-638.

Vedoucí práce:

Mgr. Martin Pusztai, Ph.D.  
Katedra chemie

Datum zadání práce:

9. října 2020

Předpokládaný termín odevzdání:

17. května 2021

prof. RNDr. Jan Pícek, CSc.  
děkan

L.S.

prof. Ing. Josef Šedlbauer, Ph.D.  
vedoucí katedry

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědoma toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědoma následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

19. dubna 2022

Anna Kopřivová

## **Poděkování**

V předtitulu bakalářské práce vyjadřuji poděkování svému vedoucímu práce panu Mgr. Martinovi Pusztaiovi, Ph.D. za čas, který mi věnoval. Děkuji i za jeho velmi cenné rady, názory, připomínky a odborné vedení při psaní mé bakalářské práce.

Další mé poděkování patří paní Mgr. Janě Steinové, Ph.D. za její odborné znalosti při determinaci.

Poděkování rovněž patří mé blízké rodině včetně přítele, kteří měli velkou trpělivost a pochopení během mého celého bakalářského studia.

**Anotace:**

Bakalářská práce se zabývá výskytem aerofytických mikroorganismů tvořících biofilmy na površích sportovního areálu v Liberci. Teoretická část obsahuje literární rešerši, která je zaměřená především na mikroorganismy sinice (Cyanobacteria) a řasy (Algae). Praktická část popisuje vybraný materiál, způsob odebrání a uchovávání vzorků, zpracování vzorků a následné mikroskopování, fotodokumentaci a determinaci nalezených taxonů. Dále se v praktické části nachází statistické zpracování dat do grafů a tabulek, včetně pořízených fotografií.

**Klíčová slova:**

Mikroorganismy, sinice, řasy, biofilm, sportovní areál, tartan, beton, plast, kov, determinace

**Annotation:**

Bachelor thesis is dealing with occurrence of aerophytic microorganisms which creates biofilms on the surfaces at sport areal in Liberec. Theoretical part contains literary research, which is focused mainly on microorganisms Cyanobacteria and Algae. Practical part describes selected material, removal method and sample preserving, sample processing and subsequent microscopy, photodocumentation and determination of found taxa. Further in the practical part is situated processing of information data to graphs and charts including taken pictures.

**Keywords:**

Microorganisms, cyanobacteria, cyanophyta, algae, biofilm, sport complex, tartan surface, concrete surface, plastic surface, metal surface, determination

# Obsah

ÚVOD A CÍLE.....	13
1. DIVERZITA.....	14
1.1. Měření biodiverzity a taxonomie druhů.....	15
1.2. Aerofytický biofilm.....	16
2. OBECNÁ CHARAKTERISTIKA MIKROORGANISMŮ .....	16
2.1. Sinice.....	17
2.2. Řasy.....	17
3. SYSTEMATIKA SINIC A ŘAS .....	18
3.1. Sinice.....	18
3.2. Řasy.....	20
4. STAVBA VYBRANÝCH MIKROORGANISMŮ.....	23
4.1. Sinice.....	23
4.2. Řasy.....	27
5. EVOLUČNÍ HISTORIE SINIC A ŘAS .....	30
6. ROZMNOŽOVÁNÍ SINIC A ŘAS.....	31
6.1. Sinice.....	31
6.2. Řasy.....	31
7. EKOLOGIE SINIC A ŘAS .....	33
7.1. Sinice.....	33
7.2. Řasy.....	34
8. VÝZNAM SINIC A ŘAS PRO ŽIVOT .....	35
9. SYMBIOTICKÉ SOUŽITÍ S JINÝMI ORGANISMY.....	35
9.1. Obecná charakteristika lišejníků.....	36
9.2. Historie lišejníků .....	37
9.3. Rozmnožování lišejníků .....	38
9.4. Ekologie lišejníků .....	38

9.5.	Diverzita lišejníků.....	39
10.	MATERIÁL A METODIKA .....	40
10.1.	Obecná charakteristika zkoumané oblasti .....	40
10.1.1.	Betonový povrch .....	40
10.1.2.	Kovový materiál.....	40
10.1.3.	Plastový povrch .....	41
10.1.4.	Tartanový povrch .....	41
10.2.	Vzorky .....	41
10.2.1.	Odběr vzorků.....	41
10.2.2.	Příprava přírodních a kultivačních preparátů .....	42
10.2.3.	Uchovávání přírodních a kultivačních vzorků .....	43
10.2.4.	Optická mikroskopie a fotografování vzorků .....	44
10.2.5.	Determinace vzorků .....	45
10.3.	Metody analýzy dat .....	46
10.3.1.	Krabicový diagram (BoxPlot).....	46
10.3.2.	NMDS metoda.....	47
11.	VÝSLEDKY .....	48
11.1.	Nejčastěji nalezené taxony.....	50
11.2.	Porovnání materiálů .....	58
11.3.	BoxPlot.....	59
11.4.	NMDS.....	60
11.5.	Lišejníky .....	61
12.	DISKUZE .....	63
13.	ZÁVĚR .....	65
14.	ZDROJE .....	67
14.1.	Literatura .....	67
14.2.	Elektronické zdroje .....	72
14.3.	Obrázky.....	73



15.	PŘÍLOHY.....	75
15.1.	Seznam příloh .....	75

## Seznam obrázků

Obr. 1: Stavba buňky sinice (KRAUTOVÁ, 2022).....	23
Obr. 2: Specializované buňky sinice (KRAUTOVÁ, 2022) .....	25
Obr. 3: Tvary stélek sinic (KRAUTOVÁ, 2022).....	27
Obr. 4: Stavba bičíkaté a vláknité buňky řasy (KRAUTOVÁ, 2022) .....	28
Obr. 5: Buňky a stélky řas (KUBÁT et al., 2003) .....	30
Obr. 6: Způsoby rozmnožování sinic (KRAUTOVÁ, 2022).....	31
Obr. 7: Pohlavní rozmnožování řas (KINCL et al., 2006).....	32
Obr. 8: Pomůcky použité pro odběr vzorků (AUTOR, 2021) .....	42
Obr. 9: Přírodní vzorky v mikroskopických (AUTOR, 2021).....	42
Obr. 10: Petriho misky připravené pro uchování v kultivační chladničce (AUTOR, 2021).....	43
Obr. 11: Uchování Petriho misek se vzorky v kultivační chladničce (AUTOR, 2021) .	44
Obr. 12: Stereoskopický mikroskop použit pro ucelený přehled (AUTOR, 2021) .....	44
Obr. 13: Přístroj IKA VORTEX (AUTOR, 2021).....	45
Obr. 14: Graf celkového porovnání nalezených mikroorganismů (AUTOR, 2022) .....	50
Obr. 15: Nalezené morfotypy sinic a řas na betonovém podkladu (AUTOR, 2021) .....	54
Obr. 16: Nalezené morfotypy sinic a řas na kovovém podkladu (AUTOR, 2021) .....	55
Obr. 17: Nalezené morfotypy sinic a řas na plastovém podkladu (AUTOR, 2021).....	56
Obr. 18: Nalezené morfotypy sinic a řas na tartanovém podkladu (AUTOR, 2021) .....	57
Obr. 19: Krabicový BoxPlot zobrazující počty druhů ve vzorcích jednotlivých substrátů (AUTOR, 2022).....	59
Obr. 20: Výsledný NMDS ordinační diagram, použit Jaccardův index podobnosti, hodnota stresu 0,31, B – betonový substrát, K – kovový substrát, P – plastový substrát, T – tartanový substrát (AUTOR, 2022) .....	60
Obr. 21: Lišejníky na odběrovém tartanovém substrátu (AUTOR, 2022) .....	61

## Seznam tabulek

Tab. 1: Přehled řasových oddělení a jejich současné zařazení (KALINA & VÁŇA, 2005) .....	21
Tab. 2: Excelová tabulka zobrazující přítomnost/absenci nalezených taxonů na jednotlivých substrátech (AUTOR, 2022) .....	48
Tab. 3: Zjednodušený přehled počtu nalezených morfotypů s rozdělením do skupin řas a sinic (AUTOR, 2022) .....	49
Tab. 4: Nejčastěji vyskytující se taxony (AUTOR, 2022).....	50
Tab. 5: Srovnávací tabulka s nalezenými taxony na plastovém povrchu Sport Park Liberec a plastové povrchy použité ve studii Hallmann et al., 2016, (AUTOR, 2022)..	64

## Seznam zkratek

### **cf.**

Z latinského slova *confer*, označuje nejednoznačné určení taxonu.

### **et al.**

Z latinského *et alii*, označuje český výraz „a kolektiv“.

### **sp.**

Z latinského slova *species*, označuje druh z určeného rodu či vyšší taxonomické jednotky.

### **syn.**

Zkratka slova synonymum, označuje slova se stejným nebo podobným významem.

## ÚVOD A CÍLE

Na Zemi se vyskytuje nepřeberné množství mikroorganismů, které jsou schopné obývat veškerá extrémní prostředí. Obývají také substráty městské krajiny, které jsou okolo nás. Lze je nalézt na stromech, lavičkách, fasádách rodinných domů i na okrasných mokrých sloupech. Ani sportovní areály se jim nevyhnou. Všechny tyto povrchy spojuje mnoho společných faktorů – od vysokého nedostatku vody, velké ozáření slunečními paprsky až po proudění větru. Všechny, a i jiné nezmíněné faktory, komplikují rozmnožování a znemožňují optimální růst a život těchto mikroorganismů.

Bakalářská práce se zabývá diverzitou mikroorganismů na sportovních površích, kde můžeme očekávat nejen houbovité organismy, ale také se zde nacházejí zelené řasy, např. různobrvky či rozsivky. Stejná místa obývají i sinice, které spolu s řasami a houbami tvoří symbiotický vztah, tzv. lišejník.

První část práce obsahuje základní teoretické informace a přehled sinic a řas, jejich historický vývoj, buněčnou stavbu a aktuálně používaný systém těchto organismů, který se neustále vyvíjí a přepracovává. Rovněž se věnuje ekologii a využití již zmíněných mikroorganismů a je zde popsána i symbióza sinic a řas s jinými organismy, většinou vyššími rostlinami.

Ve druhé – praktické části popisují vybrané území, které jsem zvolila a použila pro odběr vzorků, dále konkretizují přesný postup odběru, zpracování a mikroskopování mikroorganismů, které jsem odebírala ze symbiotického vztahu lišejníku. Jednou z částí je i determinace, tedy rozpoznání jednotlivých druhů, které se ve vzorcích nacházely. Výsledkem bakalářské práce je zmapování druhového složení sinic a řas, které se nacházejí na materiálech, které jsou použité ve sportovním areálu Sport parku Liberec a nejen tam.

Cílem mojí bakalářské práce je:

- Vypracování literární rešerše na téma aerofytické mikroorganismy;
- Provedení základního mikrobiologického průzkumu území, které jsem si pro tento účel zvolila;
- Osvojení si základních technik odběru a determinace sinic a řas;
- Zmapování druhového složení sinic, řas a následné porovnání druhových společenstev a porovnání druhového složení jednotlivých materiálů na různých místech areálu;

## 1. DIVERZITA

*„Biodiverzita pochází ze spojení biologická diverzita a označuje veškerou rozmanitost živé přírody od úrovně genetické až po celé ekosystémy“ (STORCH, 2019).*

Jak uvádí Matějček (2013): „Biologická rozmanitost bývá nejčastěji vyjadřována na úrovni jednotlivých rostlinných a živočišných druhů. Můžeme ji však zkoumat i na úrovni nižších taxonomických jednotek, než je druh, nebo naopak na úrovni celých ekosystémů. Počet druhů, které se v určitém území vyskytují, je závislý na nejrůznějších geografických a ekologických podmínkách“ (MATĚJČEK, 2013).

Matějček (2013) mezi faktory nejčastěji ovlivňující výskyt jednotlivých druhů řadí především zeměpisnou šířku a nadmořskou výšku. Uvádí, že platí pravidlo, kde s rostoucí (vyšší) zeměpisnou šířkou bude počet taxonů klesat, tzn. že v tropických oblastech je větší diverzita než na pólech. Druhým již zmíněným faktorem je nadmořská výška, u které lze říci, že s rostoucí nadmořskou výškou počet druhů taktéž ubývá. Zároveň počet druhů ovlivňuje i voda, její hloubka a salinita neboli slanost.

Biodiverzita je silně provázána s přírodní rovnováhou, která se snaží o to, aby nedocházelo k úbytku či naopak k přemnožení jednotlivých skupin živočichů nebo rostlin. Důvodem je propojení a závislost organismů na jiných druzích, a pokud by došlo k vyhynutí jednoho druhu, můžeme předpokládat, že tento krok způsobí vyhynutí ostatních druhů.

Zároveň vyvstává otázka, zda diverzita má být či nebýt stabilní. V tomto případě fungují dva mechanismy, které vyrovnávají počet druhů. V prvním případě jde o vyrovnání počtu druhů pomocí minimalizace rozdílů mezi druhy, ve druhém případě probíhá stabilizování počtu zvyšováním vnitrodruhové interakce (MATĚJČEK, 2013), (CHESSON, 2000). Proto musí existovat regulující faktory, které vysvětlují stabilitu přírodní populace (HALDANE, 1953).

Pravidelným zkoumáním a kontrolou jednotlivých druhů biodiverzity se stále objevují nové a nové druhy.

*„Číslo o počtu druhů na Zemi jsou zatím pouze odhady. Popsáno je zhruba 1,75 mil. biologických druhů, na území České republiky zhruba 60 000 druhů. Odhaduje se však, že ve skutečnosti na Zemi žije 5 až 50 milionů druhů, některé odhady hovoří dokonce o 100 miliónech“ (MATĚJČEK, 2013).*

## 1.1. Měření biodiverzity a taxonomie druhů

Storch (2019) uvádí, že biologická rozmanitost není rovnoměrně rozložená na zemském povrchu. Ať už ji měříme počtem druhů, počtem vyšších taxonů (rodů, čeledí) nebo nějakým odvozeným indexem. Biologickou rozmanitost lokality určenou počtem druhů ovlivňují životní i migrační podmínky, dokonce i izolovanost jednotlivých skupin organismů. Dále může zasahovat geografická izolovanost lokality (STORCH, 2019).

MacArthur a Wilson (1967) předpokládají, že izolovanost a velikost množství druhů, které jsou schopny osídlit danou lokalitu, jsou základními faktory ovlivňujícími druhové bohatství v podstatě jakéhokoliv území. V rámci této teorie je klíčovou vlastností plocha, to znamená, že větší rozloha území umožňuje dlouhodobou existenci větším populacím, které mají menší pravděpodobnost vymření (STORCH, 2019), (MACARTHUR & WILSON, 1967)

Měření biodiverzity lze uskutečnit mnoha způsoby, a to zapříčiňuje vytváření mnoha chyb. Mezi nejčastější způsoby měření biodiverzity je považováno sekvenování DNA a stanovování funkční rozmanitosti ekosystémů, ale biologové nejčastěji využívají výpočet taxonomické diverzity, tzn. počítání druhů nebo vyšších taxonů. Ačkoliv je tato metoda měření biodiverzity nejčastěji využívaná, není vhodné brát výsledek jako správné uspořádání živé přírody, protože se v této chvíli ignorují obrovské rozdíly v početnosti a tím i jejich ekologický význam (STORCH, 2019). Tato metoda se ale používá, protože neexistuje žádná univerzální definice druhu ani jiný taxon, který by byl pro všechny skupiny organismů stejný.

V dnešní době je pro správnou analýzu důležitá nejnovější systematická členění jednotlivých taxonů.

Taxonomie sinic byla dříve popisována dle mezinárodního kódu botanické nomenklatury. Později se postupně bralo v úvahu, že jde o bakterie (Cyanobacteria), proto pro ně nyní platí Mezinárodní bakteriologický kód. Mezi těmito dvěma kódy je obrovský rozdíl, protože botanický kód pracuje s druhem jako základní taxon, zatímco bakteriologický kód s druhy prakticky nepracuje (ŠEJNHOROVÁ & MARŠÁLEK, 2005). Proto bude v této práci hodnocení taxonomie bráno z hlediska morfologické struktury.

Jak uvádí v knize Kalina (KUBÁT et al., 2003), systém řas prodělal v posledním desetiletí výrazné změny. Při studiu ve starších učebnicích spadají řasy na začátek rostlinné

říše, kde jsou pospolu s prokaryotickými sinicemi. V učebnicích lze v dnešní době postřehnout upravený originál taxonomie systému Cavalier-Smitha z roku 2000. V moderních učebnicích se využívá klasifikace eukaryot na 6 superskupin. V tomto kladogramu (tzv. „strom života“) jsou zelené řasy pospolu s rostlinami, ruduchy a glaukofyty pod superskupinou Plantae (MACHÁČEK et al., 2016).

## 1.2. Aerofytický biofilm

*„Za biofilm lze označit přisedlé společenstvo mikroorganismů charakterizované tím, že buňky, které jsou nevratně přichyceny k podkladu nebo jedna k druhé, jsou zapuštěné v matrici extracelulárních polymerních látek produkovaných těmito buňkami“ (RULÍK & HOLÁ, 2012).*

Termín aerofytické označuje na vzduchu přisedle žijící organismy, které mají jiné nároky na život než organismy žijící ve vodě (tzv. hydrofytické organismy).

Asociace organismů ve struktuře povrchu je účinným prostředkem pro setrvání nepříznivého prostředí. Biofilm tvoří pouze bakterie a viry, ale také mohou být ve struktuře biofilmu přítomny sinice, řasy a jiné mikroskopické organismy. Biofilm je vysoce vyvinutý organismus fungující komplexně a vysoce diferenciovaně (WATNICK & KOLTER, 2000).

Jelikož makroskopické lišejníky jsou již poměrně dobře prozkoumanou skupinou, je má bakalářská práce zaměřena na výzkum mikrosvěta, kde se vyskytují bakterie, protistní organismy, plísňe, ale dominantu tvoří sinice a řasy, které jsou nejlépe vidět díky jejich pigmentu, které obsahují.

## 2. OBECNÁ CHARAKTERISTIKA MIKROORGANISMŮ

Mikroorganismy, starším označením mikroby, nazýváme drobné organismy, které nejsou vidět pouhým okem. Dle původní „tradiční“ systematiky je lze rozdělit do pěti hlavních skupin, které se mezi sebou liší. Jsou to:

- bakterie (Bacteria)
- houby (Fungi)
- prvoci (Protozoa)
- řasy (Algae)
- viry (Virae)



Vyskytují se téměř na všech stanovištích, některé mikroorganismy se dokonce přizpůsobily extrémním vlivům jako je vysoká teplota, pH i salinita. Některé druhy mikroorganismů, pro které užíváme pojem patogeny, mají velké využití v medicíně, především v mikrobiologickém odvětví, kde se využívají jako nástroj patogenity (SCHINDLER, 2014). Jiní jsou velmi dobrými pomocníky v oblasti potravinářství, např. *Bifidobacterium* či různé druhy kvasinek.

## 2.1. Sinice

Sinice neboli cyanobakterie jsou velmi drobné a zároveň velmi jednoduché prokaryotické gramnegativní organismy s fotoautotrofní schopností (KALINA & VÁŇA, 2005). Patří mezi nejstarší organismy na Zemi. Dle Kaštovského a Juráňa (2016) se stáří sinic pohybuje v rozmezí 2,7 až 3,5 miliardy let. V historii byly velmi důležité při tvorbě kyslíkaté atmosféry.

Mezi jejich důležité funkce patří produkce kyslíku. Jako zdroj energie využívají světelné záření, zdrojem dýchání je pak odpadní produkt dýchání ostatních organismů – oxid uhličitý, který se vyskytuje ve vzduchu. Proto lze mluvit o sinicích jako o organismech, které jsou schopné fotosyntézy. Další zajímavostí je jejich častý vstup do symbiotického vztahu s jinými – odlišnými organismy. Mezi velmi známé mutualistické vztahy můžeme řadit symbiózu sinic s houbovitým organismem, tato asociace vytváří strukturu lišejníku. Díky svým jednoduchým buněčným stavbám dokáží sinice přežít velmi nepříznivé podmínky, což vede k tomu, že jsou schopné vyskytovat se na téměř všech biotopech na Zemi, nevyjímaje extrémní stanoviště jako jsou prameny horké vody, pouště či ledové polární oblasti (KAŠTOVSKÝ & JURÁŇ, 2016).

## 2.2. Řasy

Řasy (Algae) jsou jednoduché fototrofní eukaryotické mikroorganismy řazené mezi nižší rostliny (ŠIMEK et al., 2020). Mohou mít jednobuněčnou i mnohobuněčnou strukturu, tělo řasy je tvořeno stélkou. Buňky řas obsahují plastidy, které zajišťují plnění funkce fotosyntézy. Spolu se sinicemi se vyskytují na Zemi již několik miliard let, ale vývojově jsou o polovinu mladší než sinice, tj. cca 1,5 miliardy let (JURÁŇ & KAŠTOVSKÝ, 2016). Jejich základním prostředím pro život a pro prodělání svého vývoje je voda s různorodým obsahem rozpuštěných látek. Vyskytují se jak ve slané vodě moří, tak ve sladké vodě jezer a rybníků. Postupem času dokázaly některé skupiny řas vodní prostředí opustit, a proto je lze nalézt i na aerofytickém prostředí, kde získávají

vodu z vodních srážek. Šimek a kol. (2020) uvádí, že existuje mezi 200 tisíci až 1 milionem druhů řas.

### 3. SYSTEMATIKA SINIC A ŘAS

Taxonomie neboli systematika je velmi náročná disciplína, která je doposud stále měněna objevováním nových druhů organismů. Kritéria pro klasifikaci se od dob Linného postupně měnila. Dříve se používalo zařazování do systému dle morfologické podobnosti taxonů, nyní se uplatňuje systém dle hierarchie, která perfektně reflektuje evoluční vztahy mezi jednotlivými skupinami (KOMÁREK et al., 2014).

Studiem a klasifikací sinic a řas se zabývá obor algologie, někdy též nazýváno fykologie.

#### 3.1. Sinice

Sinice (Cyanobacteria, Cyanoprokaryoty) jsou pro klasifikaci obzvláště měnící se skupinou. Důvodem pro nelehké klasifikování všech rodů přispěla i historie a délka života těchto organismů, jelikož sinice jsou jedním z prvních organismů na světě a jejich morfologie se velmi podobala té dnešní (KOMÁREK et al., 2014).

Šejnhorová a Maršálek (2005) uvádí, že sinice patří mezi prokaryotní organismy, které lze označovat jak podle botanického, tak i mikrobiologického kódu. Tato skupina organismů je mezi odborníky neustále přehazována, proto se název Cyanophyta shoduje s pojmem Cyanobacteria. Český název sinice se používá již od roku 1930, kdy nahradil dřívější název sinné řasy (ŠEJNHOROVÁ & MARŠÁLEK, 2005), (HENTSCHKE & GAMA JUNIOR, 2022).

Nejvýznamnějším znakem pro určování sinic se používá typ stélky. V evoluci se nejstaršími staly jednobuněčné sinice se stélkou kokální neboli kulovitou, která se vyskytuje jednotlivě nebo v koloniích. U jednotlivých buněk se dále musí zaznamenávat jejich velikost a tvar. U kolonie se dále rozpoznává morfologie, kde se sleduje způsob uložení buněk v koloniích, mocnost slizu aj. U vláknitých stélek sinic se sleduje přítomnost či absence slizové pochvičky, která obklopuje vlákno. Dále se zaznamenává tvar buněk uložených uvnitř vlákna a způsob jejich propojení. Tak jako u kokálních stélek se u vláknitých sinic zaznamenává šířka a délka buněk, dále se u vláknitých stélek sleduje tvar

vlákna a případné větvení vláken, které je často ojedinělé, ale taxonomicky velmi významné. Důležitými znaky se mohou stát specializované buňky heterocyty a akinety, u kterých se dá zaznamenat tvar, velikost a způsob uložení ve vlákně. Druhy stélek patří mezi důležité rozpoznávací znaky nejen u sinic, ale i u řas. (KAŠTOVSKÝ et al., 2018).

Cyanophyceae je jedinou třídou sinic, která má popis totožný s charakteristikou oddělení. Tato třída obsahuje čtyři základní řády. Jedno z mnoha řešení pro tvorbu systému sinic je charakteristika typu stélky a přítomnost či absence specializovaných buněk, například heterocytů. Mezi tento systém patří rozdělení sinic na řády Chroococcales, Nostocales, Oscillatoriales a Stigonematales (KALINA & VÁŇA, 2005).

Do řádu Chroococcales řadíme jednobuněčné sinice, které mají kulovitý, elipsoidní či vejčitý tvar buňky. Buňky řádu Chroococcales tvoří většinou slizovité kolonie. Mezi hlavní rody patří *Chroococcus*, *Microcystis*, *Chamaesiphon* (KALINA & VÁŇA, 2005).

Řád Nostocales má nejčastěji řetízkovité nebo nepravě větvené buňky, ozopolární nebo heteropolární. Zde je výrazná tvorba heterocytů, kde dochází k fixaci plynného dusíku. Přezimování zajišťují sinicím útvary arthrocyty (někdy též akinety). Do řádu Nostocales řadíme rody *Nostoc*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Nodularia* (KALINA & VÁŇA, 2005).

Řád Oscillatoriales obsahuje vláknité nevětvené sinice, které nemají specializované útvary heterocyty a akinety. Na buňkách řádu Oscillatoriales rozlišujeme trichomy (chlupy) jako řadu buněk s vláknem, což chápeme jako trichom uložený ve slizové pochvě. Typické je rozmnožování fragmentací trichomů. Pro některé druhy je charakteristický drkavý či plíživý pohyb. Zahrnuje rody *Oscillatoria* (drkalka), *Phormidium*, *Limnothrix*, *Trichodesmium*, *Arthrospira* a *Spirulina* (KALINA & VÁŇA, 2005).

V řádu Stigonematales objevíme sinice, které mají vlákna s jednou nebo několika řadami buněk. Často se zde objevuje pravé větvení. Heterocyty nemají pravidelné uspořádání a jsou nahodile rozmístěné. Hnědavé zbarvení je z důvodu tvorby slizovité vrstvy pochvy na vláknech (KALINA & VÁŇA, 2005).

Kalina a Váňa (2005) uvádí, že nelze zjistit, kolik taxonů obsahuje systém sinic. V roce 1995 popsal Van Den Hoek s kolektivem zhruba 150 rodů a 2000 druhů. Bohužel se ale neví, zda do tohoto počtu zahrnuli jak půdní a mořské, tak i exotické taxony. Pro srovnání, že jimi uvedený počet je velmi nízký, publikuje Komárek a Anagnostidis 95 rodů a

465 druhů jen evropských sladkovodních sinic řádu Chroococcales (KALINA & VÁŇA, 2005).

### 3.2. Řasy

U řas se používají podobné znaky pro určování jako u sinic. Řasy mohou být jednobuněčné, mnohobuněčné nebo žít v koloniích. U jednotlivých buněk lze sledovat jejich tvar a velikost. Důležitým zřetelným znakem se stala organela chloroplast, jeho umístění v buňce, tvar a zda obsahuje pyrenoid či nikoliv. Pyrenoid je částí plastidu některých rostlin. Jeho hlavní funkcí je ukládání zásobních látek (KUBÁT et al., 2003).

Počet chloroplastů v buňce může být různý. Dále lze u buněk monitorovat buněčnou stěnu a její výběžky. Taktéž mohou řasy tvořit slizové obaly. Pokud je buňka řasy vláknitá, pak lze dále systematicky určovat, zda se větví či nikoliv (KAŠTOVSKÝ et al., 2018).

Kubát a kol. (2003) píše, že zařazení řas v systému organismů prodělalo v posledních desetiletích výrazné změny. Ve starších učebnicích lze nalézt oddělení řas na začátku rostlinné říše. Spolu s řasami nalézáme i prokaryotické sinice, které podobně jako eukaryotické řasy, mají fotosyntézu rostlinného typu s chlorofylem jako hlavním fotosyntetickým pigmentem (KUBÁT et al., 2003).

Řasy lze systematicky dělit několika možnostmi – dle morfologie, struktury, dále podle fylogeneze nebo ekologie. V botanické nomenklatuře se využívá systematika řas dle vzniku primární či sekundární endosymbiózou. Proto se nejčastěji uvádí dělení řas na dvě hlavní skupiny – řasy s primárním plastidem (Archaeplastida) a řasy vyvinuté sekundárně, tj. při sekundární endosymbióze, proto je označujeme jako řasy se sekundárním plastidem.

Vznik řas s primárním plastidem proběhl v dávné minulosti Země, tzv. primární endosymbiózou. Fagocytární pozření sinicové buňky eukaryotickou buňkou dalo za vznik buněčné organele plastidu. Později se z eukaryot takto získaným endosymbiontem vyvinuly tři skupiny řas s primárním plastidem – zelené řasy (Chlorophyta a Streptophyta), ruduchy (Rhodophyta) a Glaukophyta. Při sekundární endosymbióze, u které se uvádí, že musela v evoluci proběhnout minimálně třikrát, vznikly ostatní řasové skupiny, mezi které patří např. hnědé řasy (Ochromyxa), skrytěnky (Cryptophyta), obrněnky (Dinophyta), Haptophyta. Pohlcení zelené řasy proběhlo v minulosti dvakrát, a to nezávisle na sobě

(JURÁŇ & KAŠTOVSKÝ, 2016). V prvním případě zelenou řasu pozřel prvok podobný dnešním trypanozomám a dal tak vzniknout krásnoočku (kmen Euglenozoa). Ve druhém případě pozřela zelenou řasu améba ze skupiny Cercozoa (podobnost měňavce), čímž vznikla mořská skupina Chlorarchniophyta (JURÁŇ & KAŠTOVSKÝ, 2016).

Impérium	Říše	Oddělení
Prokarya	Bakterie (Bacteria)	Sinice (Cyanobacteria)
Eukarya	Prvoci (Protozoa)	Eugleny (Euglenophyta) Obrněnky (Dinophyta) Chlorarachniophyta
	Chromista	Skrytěnky (Cryptophyta) Heterokontophyta
	Rostliny (Plantae)	Glaucophyta Ruduchy (Rhodophyta) Zelené řasy (Chlorophyta) Parožnatky (Charophyta)

Tab. 1: Přehled řasových oddělení a jejich současné zařazení (KALINA & VÁŇA, 2005)

## ZELENÉ ŘASY (Chlorophyta a Streptophyta)

Autoři stránky včetně vedoucího laboratoře prof. Kaštovského, kteří jsou odborníky v oboru algologie (sinicearasy.cz, 2022) uvádějí rozdělení zelených řas pomocí kombinace znaků, konkrétně dle sekvence SSU rDNA, morfologie stélek, povrchu buněk, způsobu rozmnožování, postavení bází bičíků (sinicearasy.cz, 2022), (LEWIS & MCCOURT, 2004). V chloroplastech oddělení zelených řas se netvoří grana, což je odlišuje od vyšších rostlin. Většina zástupců zelených řas je sladkovodních, jen pouhých 10 % zástupců žije v mořích. (KINCL et al., 2006), (WEST, 2010).

Vlastní linie zelených řas (Chlorophyta) se dle autorů (sinicearasy.cz, 2022) dělí na třídy:

Třída Prasinophyceae (někdy též Micromonadophyceae) je primitivní skupinou, která zahrnuje především bičíkovce se šupinami organického původu.

Třída Ulvophyceae (česky porostovky či kadeřnatky) obsahuje řasy s vláknitým až sifonálním (trubicovitým) tvarem stélky. Řasy této třídy mají bičíky umístěné symetricky na předním konci buňky. Při pohledu do transmisivního elektronového mikroskopu se značně liší umístěním bazálních tělísek, která jsou posunuta proti směru hodinových ručiček (KALINA & VÁŇA, 2005).

Do třídy Trebouxiophyceae (dříve nazýváno Pleurostrophyceae) řadíme většinou jednobuněčné řasy se stejným uložením bičíků a bazálních tělísek jako u třídy Ulvophyceae. Třída Trebouxiophyceae obsahuje většinu aerofytických řas.

Poslední třída Chlorophyceae (česky zelenivky) obsahuje řasy s rozdílnými typy stélek. Stěny těchto mikroorganismů jsou z polysacharidu či glykoproteinu. Během vývoje vznikají bičíkatá stádia, která mají bičíky umístěné symetricky na předním konci buňky a bazální tělíska jsou přesně naproti sobě nebo jsou vůči sobě posunuta ve směru hodinových ručiček (sinicearasy.cz, 2022). Do této třídy patří známé rody jako jsou *Chlamydomonas*, *Haematococcus*, *Volvox*, *Chlorococcum*, *Trebouxia*, *Pleurococcus* (ROSYPAL, 1994).

Dle autorů (sinicearasy.cz, 2022) obsahuje druhá linie zelených řas (Streptophyta) dvě třídy:

Třída Zygnematophyceae (starší název Conjugatophyceae, česky spájkivky) obsahuje řasy ve většině jednobuněčné a vláknitého tvaru. Tyto buňky jsou bez bičíků a mají speciální způsob rozmnožování.

Třída Charophyceae (česky parožnatky) zařazuje drobnější třídy streptofytí linie. Buňky jsou jednoduché – vláknité až pletivné. Pohyblivé bičíky jsou postaveny asymetricky (sinicearasy.cz, 2022). Jejich pletivná stélka může dosahovat až do výšky 90 cm, tvarem připomínající přesličky (ROSYPAL, 1994).

Kalina & Váňa (2005) v knize uvádí, že dále do oddělení Chlorophyt patří třída Cladophorophyceae (žabovlasovité), Bryopsidophyceae (trubicovky), Dasycladophyceae a Trentepohliophyceae.

### **ČERVENÉ ŘASY – ruduchy (Rhodophyta)**

Ruduchy patří mezi nejstarší rostliny na Zemi. Kvůli absenci bičíkatých stádií mají izolované prostředí a tím tvoří samostatnou vývojovou větev (ROSYPAL, 1994). Tato skupina řas, která obsahuje asi 5 000 druhů, jsou nejen červeně zbarvené organismy, ale také se mohou zbarvovat do zelené, šedé či namodralé. Jsou většinou mnohobuněčné, méně často i jednobuněčné. Barvu určuje jejich pigmentové složení, nejčastěji fykobiliny. Mezi fykobiliny řadíme nejznámější červené barvivo fykoerytrin, podle kterého se nazývají (KAŠTOVSKÝ & JURÁŇ, 2016), (KINCL et al., 2006), (LEE, 2018).

Hlavní diverzitu tvoří ruduchy v tropických mořích, ale dokáží přežít i v polárních oblastech. Mezi poměrně ohroženou skupinu patří sladkovodní druhy (sinicearasy.cz, 2022).

Ruduchy zahrnují pouze jednu třídu Rhodophyceae, která obsahuje dvě podtřídy: Bangiophycideae a Florideophycideae (ROSYPAL, 1994).

Do podtřídy Bangiophycideae řadíme ruduchy jednodušší, často jednobuněčného nebo vláknitého tvaru stélky. Chloroplasty jsou zredukovány na jeden, který je laločnatý, obsahuje velký pyrenoid a vyplňuje poměrně velkou část buňky.

Podtřída Florideophycideae obsahuje vždy mnohobuněčné zástupce. Stélka může být jednoosá či mnohoosá, vlákna os jsou pokryta korovou vrstvou. Oproti třídě *Bangiophycideae* mají větší počet chloroplastů, které jsou tvarem terče nebo pásku a neobsahují pyrenoid.

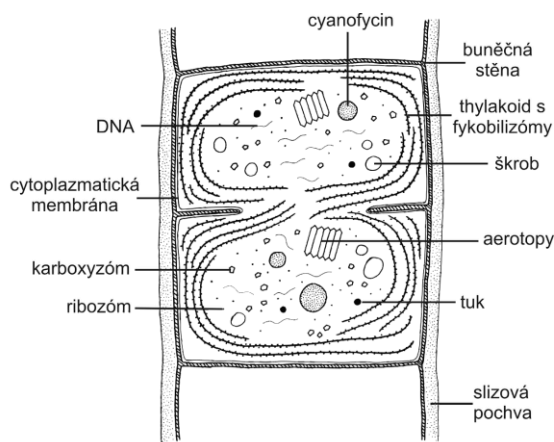
### **GLAUKOFYTY** (Glaucophyta, Glaucocystophyta)

Oddělení glaukofyt je v algologii velmi diskutovaným tématem. Kvůli nejednoznačné vnitřní struktuře buněk se často považuje za pouhou nesourodou skupinu druhů příslušících do jiné skupiny. Společným znakem zástupců tohoto oddělení je velmi symbiotický vztah sinic jako cyanel s hostitelským organismem. Jak uvádí autoři (sinicearasy.cz, 2022), je oddělení glaukofyt považováno za prostou primární endosymbiózu sinice s amoebou, skrytčkou nebo možná s kokální zelenou řasou (sinicearasy.cz, 2022).

Systematicky se řadí do čtyř rodů (*Glaucocystis*, *Cyanophora*, *Gloeochaete*, *Cyanoptyche*) s celkově patnácti druhy (PRICE et al., 2017), (LEE, 2018).

## 4. STAVBA VYBRANÝCH MIKROORGANISMŮ

### 4.1. Sinice



Cyanobacteria - stavba buňky. © Markéta Krautová

Obr. 1: Stavba buňky sinice (KRAUTOVÁ, 2022)

Stavba buněk sinic se za celé miliardy let podstatně nezměnila, proto se dnešní sinice podobají těm nejstarším. Na povrchu každé buňky je stěna, která je výrazně složitější než stěna rostlinné eukaryontní buňky. Tato stěna je několikvrstevnatá a skládá se především z molekul cukrů a lipoproteinů (ŠMARDA, 2009). Z bakteriologického hlediska lze stěnu každé buňky označit za gramnegativní.

Rozměry buněk sinic jsou vždy mikroskopických rozměrů. Jejich velikost se liší prostředím, ve kterém žijí. Ty nejmenší buňky, které jsou okrouhlé, mírně protáhlé a o průměru v desetinách mikrometru, tvoří tzv. pikoplankton. Průměrná velikost sinic se však pohybuje pod 1 mikrometr. Největší sinice dosahují velikosti až 45 mikrometrů (ŠMARDA, 2009).

Buňka neboli stélka sinic může být jednobuněčná, vláknitá nebo více buněk ve shlucích (tzv. kolonie). Buněčná stěna sinic je složena ze čtyř vrstev, které jsou složeny z lipopolysacharidů a peptidoglykanů (syn. murein.) (ŠEJNHOROVÁ & MARŠÁLEK, 2005). V buňce nelze nalézt klasické plnohodnotné jádro ani jeho ohraničení, chloroplasty, mitochondrie, Golgiho aparát, endoplazmatické retikulum ani vakuoly. Taktéž jim chybí pohyblivé organely (bičíky). Jelikož buňka sinice neobsahuje jádro, je DNA (deoxyribonukleová kyselina) uložena v nukleoplazmatické oblasti, tzv. centroplazmě, kde tvoří zcela uzavřený kruh (sinicearasy.cz, 2022).

CHLOROPLASTY lze nazývat endosymbiotickými potomky pradávnejší sinice. Jsou to aktivní plastidy, které se vyskytují v zelených částech rostlin, kde každá rostlinná buňka obsahuje obvykle několik desítek chloroplastů (KINCL et al., 2006). Jelikož buňka sinice chloroplasty neobsahuje, přesto produkuje sinice kyslík stejně jako chloroplast rostlinné buňky.

TYLAKOIDY jsou ploché váčky uvnitř chloroplastu obsahující fotosyntetický aparát, kde probíhá nejdůležitější metabolický pochod, fotosyntéza rostlinného typu „a“ (někdy nazývaná jako oxygenní fotosyntéza). Skupiny tylakoidů tvoří sloupec, tzv. grana. Vnitřek chloroplastu je vyplněn základní hmotou zvanou stroma (KINCL et al., 2006).

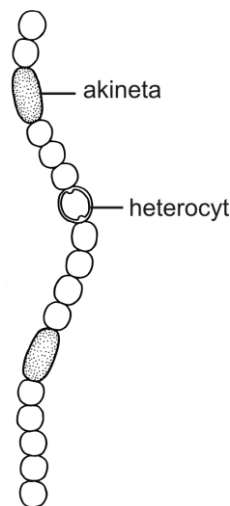
Mezi FOTOSYNTETICKÁ BARVIVA (pigmenty), nacházející se ve fykobilizomech nebo tylakoidech, patří například chlorofyl a,  $\beta$ -karoten, xantofyly a fykobiliny, které slouží pro přenos světelné energie ke chlorofylu „a“ (ROSYPAL, 1994).



FYKOBILINY jsou fotosyntetická barviva, která zajišťují, že sinice dokáží vyrábět kyslík i v naprosté tmě. Udává se, že je to umožněno až do hloubky 200 m pod hladinou oceánů. Tyto důležité organely se nejčastěji nacházejí u zástupců sinic, rozsivek, skrytěnek i hnědých řas a ruduchů. Fykobiliny jsou uspořádány do komplexů, tzv. fykobilinomů, které se vyskytují na povrchu tylakoidů (ŠMARDA, 2009).

HETEROCYTY jsou specializované útvary některých vláknitých sinic, vznikajících z vegetativních buněk při nedostatku dusíku, tzv. „dusíkové hladovění“. Jsou to tlustostěnné buňky se silným slizovým obalem, kde probíhá první fáze fotosyntézy, která nevyrábí kyslík. Za účasti enzymu nitrogenázy se v těchto organelách fixuje vzdušný dusík, tím vzniká amoniak. Schopnost fixovat atmosférický dusík je pro sinice výhodou, naopak rostliny musí získávat dusík z půdy (ŠMARDA, 2009). Životnost těchto útvarů není dlouhá, při porušení vlákna vláknitých sinic dojde k vakuolizaci a rozpadu buňky. Dále buňka může obsahovat tzv. akinety.

AKINETY (arthrospory) jsou tlustostěnné trvalé organely, které se vyskytují v klidovém stádiu uvnitř buňky (sinicearasy.cz, 2022). Vznikají z jedné nebo více vegetativních buněk a jsou určeny pro přežití nepříznivých podmínek, mezi které patří: nedostatek živin, nízká teplota, nedostatek osvětlení aj. Přežívají, protože v cytoplazmě akinet je vysoké množství zásobních látek, které mohou v případě nouze využít (sinicearasy.cz, 2022).



Cyanobacteria - specializované buňky.  
© Markéta Krautová

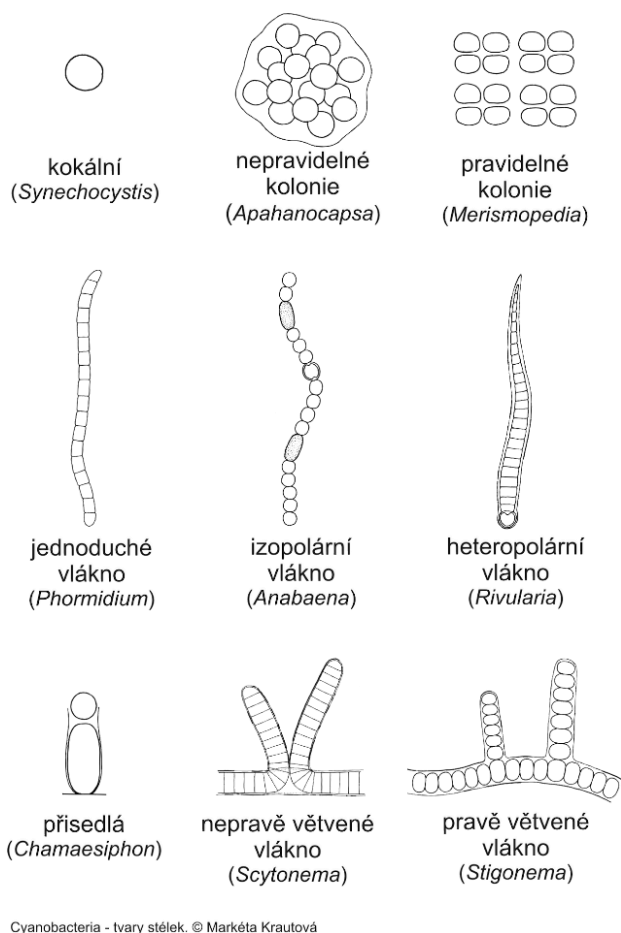
Obr. 2: Specializované buňky sinice (KRAUTOVÁ, 2022)

KARBOXYZOMY, vyskytující se u všech sinic, jsou šestiúhelníkové struktury uvnitř buňky, které zajišťují fixaci oxidu uhličitého v Calvinově cyklu pomocí enzymu RuBisCo (ribulózobifosfátkarboxyláza/oxidáza) (YEATES et al., 2008), (KALINA & VÁŇA, 2005).

AEROTOPY jsou tubulární plynové měchýřky vyskytující se především u zástupců planktonních sinic. Tyto orgány dodávají sinicím lehkost a tím umožňují snazší pohyb ve vodním prostředí, především vznášení se na hladině (ŠMARDA, 2009).

INKLUZE lze označit za zbytky metabolické aktivity. Jedná se o rozmanité mikrokrystalky, hrudky nebo kapénky neživých produktů metabolismu. Obsahují převážně proteinový cyanofycin a škrob. Mohou také plnit zásobní funkci (ŠMARDA, 2009).

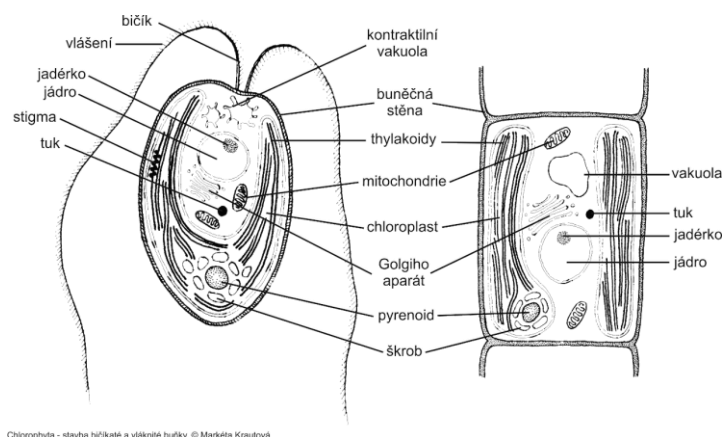
Sinice lze nazvat producenty toxických látek, které nazýváme cyanotoxiny. K dnešnímu dni je známo šest hlavních typů těchto nebezpečných látek, které se liší mechanismem jejich účinku. Názvy těchto cyanotoxinů jsou odvozeny od rodových jmen sinic, které je produkují. Mezi ně patří: aphanotoxin (rod *Aphanizomenon*), anatoxin (rod *Anabaena*), microcystin (rod *Microcystis*), nodularin (rod *Nodularia*). Výzkumy uvádí, že ve sladké a brakické vodě je nejčastější výskyt toxinů microcystin a nodularin. Ve většině případů se jedná o hepatotoxické účinky, tzn. mající afinitu k jaterním buňkám (hepatocytům), ale působí také imunotoxicky a neurotoxicky (VAN APELDOORN, 2007), (ŠMARDA, 2009).



Obr. 3: Tvary stélek sinic (KRAUTOVÁ, 2022)

## 4.2. Řasy

Ačkoliv jsou řasy blíže cévnatým rostlinám než sinice, jejich stavba neobsahuje kořen, stonek ani listy. Přesto se u jednotlivých oddělení řas projevují některé znaky, které jsou charakteristické pro rostliny. K těmto projevům patří především fotosyntéza, ale také vlastnosti a složení buněčné stěny. Některé řasy mají dokonce vakuoly, které obsahují buněčnou šťávu (KUBÁT et al., 2003). U aerofytických řas se nepředpokládá stélka s bičíkem, protože tato forma stélky je převážně u skupin žijících ve vodním prostředí. Ve vzorcích ze sportovního areálu Sport Park Liberec lze předpokládat nález řas s vláknitou nebo kokální stélkou. Důvodem pro tuto domněnku je fakt, že prostředí odebíraných ploch je velmi suché a struktura povrchu není dokonale hladká.



Chlorophyta - stavba bičíkaté a vláknité buňky. © Markéta Krautová

Obr. 4: Stavba bičíkaté a vláknité buňky řasy (KRAUTOVÁ, 2022)

Dle Kubáta a kol. (2003) má tělo řas (stélka, thallus) několik základních tvarů, mezi které patří především:

**BIČÍKATÁ (MONADOIDNÍ) STÉLKA** – je vegetativní buňka s kapkovitým tvarem, povrch kryje buněčná stěna. Tento typ stélky obsahuje dva bičíky, které jsou stejně dlouhé a jejich hlavní funkcí je pohyb ve vodě. Dále tato stélka obsahuje chloroplast a pyrenoid (bílkovinné tělísko), který slouží k fixaci oxidu uhličitého v chloroplastu. Další organelou je stigma, která má za úkol zachycovat sluneční záření. Mezi zástupce s monadoidní stélkou patří třídy Cryptophyta, Dinophyta, Chromophyta a Chlorophyta.

**MĚŇAVKOVITÁ STÉLKA** – je buňka, která nemá buněčnou stěnu, takže povrch lemují jemné výběžky, tzv. panožky, které slouží k pohybu a lovu.

**KAPSÁLNÍ (GLOEOMORFNÍ) STÉLKA** – jsou buňky žijící v kolonii, která je obklopena slizem. Každá z buněk kolonie může vytvářet bičíky. Mezi zástupce s kapsální stélkou patří třídy Chlamydomphyceae a Xanthophyceae.

**KOKÁLNÍ STÉLKA** – jsou buňky pravidelně kulovitého či oválného tvaru. Ohraničení buňky je tvořeno pevnou buněčnou stěnou, která se velmi podobá buněčné stěně rostlin. Zástupci s kokální stélkou jsou z oddělení Chlorophyta a Chromophyta.

**VLÁKNITÁ STÉLKA** – je buňka se složitější stavbou a často se vyskytuje jako mnohobuněčná. Vlákna se mohou, ale nemusí dělit. Vlákňitou stélku mají Chlorophyta a Xanthophyceae.

**TRUBICOVITÁ (SIFONÁLNÍ) STÉLKA** – je buňka podobná tvarem vláknité stélce, ale nelze na ní nalézt příčné přehrádky, které ji rozdělují. Sifonální stélku mají zástupci z třídy Ulvophyceae.

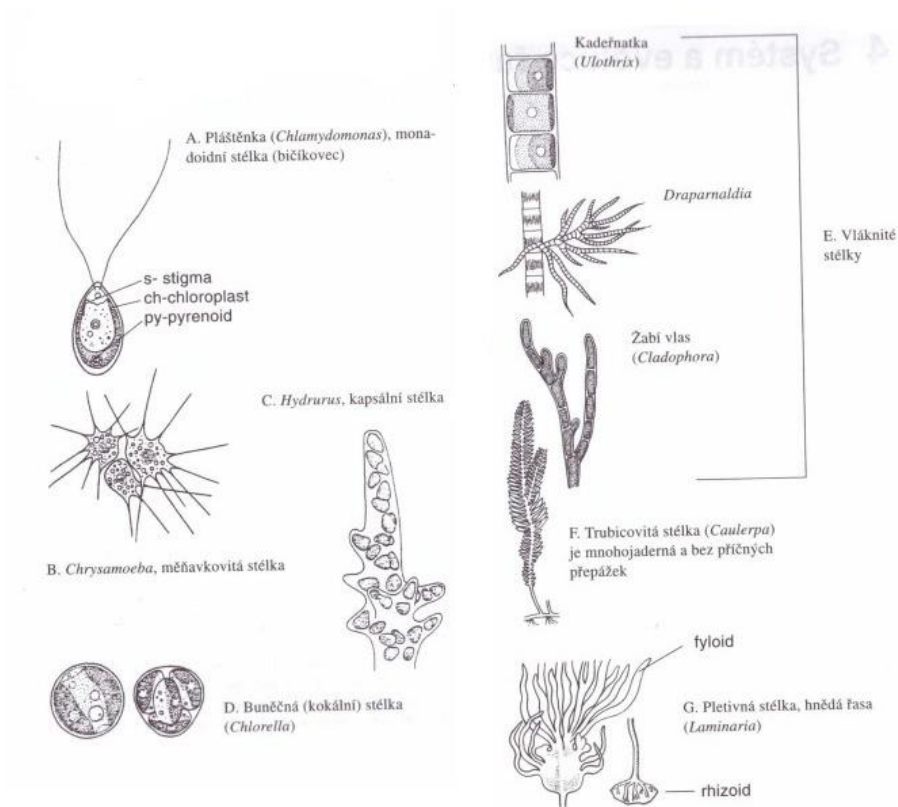
PLETIVNÁ (PSEUDOPARENCHYMATICKÁ) STÉLKA – je buňka, jejíž vývoj probíhá z rozvětveného vlákna a dále se rozrůstá ve dvě či tři linie. Její délka je několikacentimetrová až metrová. Lze na ní snadno nalézt rhizoidy, z nichž vyrůstá kaloid (podobu rostlinného stonku). Tzv. fyloidy jsou napodobeninou rostlinných listů. Mezi zástupce s pletivnou stélkou řadíme třídy Rhodophyta, Phaeophyceae a Ulvophyceae.

Kubát et al. (2003) uvádí, že u většiny oddělení řas je výchozím typem monadoidní stélka, tedy buňka s bičíky. Výjimku tvoří ruduchy (Rhodophyta), kde žádní bičíkovci ani bičíkatá stádia neexistují.

Buněčnou membránu má většina řas, ale existují i řasy, které ji nemají a jsou tak ohraničeny pouze plazmatickou membránou. Buňky řas obsahují jádro, takže je lze řadit mezi eukaryotické organismy. Barva řas je dána velkým množstvím pigmentů. Dle barev lze tedy řasy taxonomicky dělit na hnědé řasy, které obsahují chlorofyl „a“ a „c1“ a „c2“, většinou i xantofyl fukoxantin (ROSYPAL, 1994).

Další širokou skupinou jsou zelené řasy, které obsahují barviva chlorofyl „a“ + „b“, karoteny a xantofyly. Buněčná stěna zelených řas je zpravidla celulózni, ale buňka může být i nahá, občas se šupinami, případně s glykoproteinovou vrstvou (sinicea-rasy.cz, 2022).

Poslední skupina ruduchy (červené řasy) má největší diverzitu v tropických mořích, proto je předpoklad, že se ve výsledcích této práce nebudou nacházet.



Obr. 5: Buňky a stélky řas (KUBÁT et al., 2003)

## 5. EVOLUČNÍ HISTORIE SINIC A ŘAS

Evoluce sinic sahá až do období před 3,5 mld. let, ale zhruba miliardu let pak nejspíš tvořily nadřazené organismy na Zemi. Mezi důležité funkce sinic byla a dodnes i je produkce kyslíku. Tehdy i dnes je kyslík pro sinice odpadním produktem, proto se předpokládá, že od té doby zůstala atmosféra takovou, jaká je nyní. Život se na této planetě musel atmosféře přizpůsobit (KALINA & VÁŇA, 2005). Díky stromatolitům (vysrážená vápnicková usazenina sinic nebo bakterií), které považujeme za fosilní nálezy, lze sledovat jejich vývoj už v období prekambria, tj. zhruba před třemi miliardami let (ŠEJNHOROVÁ & MARŠÁLEK, 2005), (DEMOULIN et al., 2019).

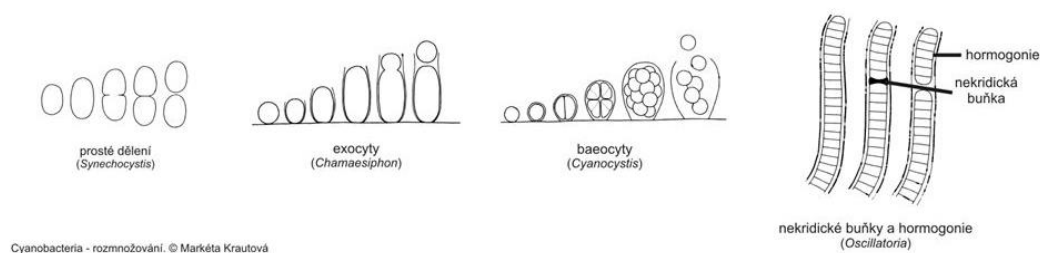
V prvních fázích života na Zemi vznikla díky sinicím fotosyntéza, kvůli které si sinice vytvořily vlastní fotosyntetický aparát. Sinicím nevznikly chloroplasty, ale již zmíněné buněčné struktury tylakoidy. V pozdějších fázích se začalo zvyšovat procentuální zastoupení kyslíku, které vedlo k velkému vymírání. Tato událost, někdy nazývána též jako *Oxygen Holocaust*, *Oxygen Crisis* nebo *Great Oxygen Event*, je brána jako první globální

katastrofa (KAŠTOVSKÝ & JURÁŇ, 2016). Velká koncentrace kyslíku se zasloužila o vznik řas, které by bez kyslíku nepřežily. Proto jsou řasy velmi staré, ale vývojově jsou o polovinu mladší než sinice.

## 6. ROZMNOŽOVÁNÍ SINIC A ŘAS

### 6.1. Sinice

Sinice si nevytvořily mnoho postupů, jakými by se mohly množit. Způsob, kterým se bude sinicová buňka dělit, záleží na stélce. Kokální (kulovité) sinice se rozmnožují prostým dělením tak, že se jednotlivé buňky zaškrtní. Toto prosté dělení, které patří mezi nepohlavní, má 3 fáze. V první fázi probíhá dělení tvorbou příčné přehrádky, která vzrůstá po celém obvodu sinicové buňky směrem do vnitra buňky. Ve druhé fázi se buňky od sebe vzdalují, ale stále jsou spojeny. Třetí fází je oddělení jednotlivých dceřiných buněk od sebe (ŠEJNHOROVÁ & MARŠÁLEK, 2005).



Obr. 6: Způsoby rozmnožování sinic (KRAUTOVÁ, 2022)

U kolonie probíhá fragmentace, tj. oddělování některých částí.

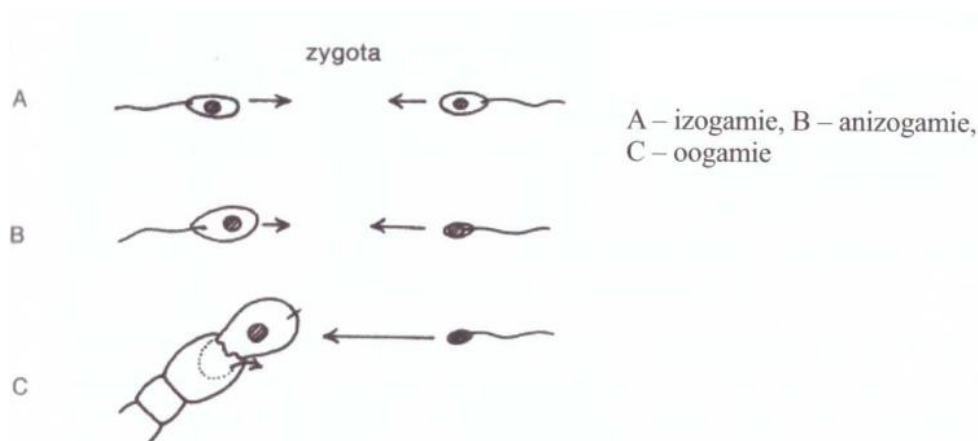
Vláknité stélky buněk se množí pomocí hormogonií, což jsou několikabuněčné části vlákna, které jsou uvolňovány ven z pochvy vlákna mateřského. U sinic, tak jako u všech prokaryotických organismů, není znám pohlavní způsob rozmnožování, proto si nikdy nevytvoří obrvené rozmnožovací buňky, gamety nebo jiné pohlavní orgány (ŠEJNHOROVÁ & MARŠÁLEK, 2005).

### 6.2. Řasy

Rozmnožování se u jednotlivých skupin řas liší, ale přesto mají podobné znaky. Řasy se mohou dělit pohlavním i nepohlavním způsobem.

Při pohlavním způsobu rozmnožování se vytváří samičí a samčí haploidní gamety. Samičí gamety (tzv. vaječné buňky) jsou ve většině případů nepohyblivé, protože nemají bičík. Samčí gamety (tzv. spermatozoidy) jsou naopak pohyblivé pomocí bičíků. Po oplodnění spermatozoidem se z vaječné buňky vyvíjí diploidní zygota, která obsahuje ve svém jádru dvojnásobnou ( $2n$ ) sadu chromozomů (KUBÁT et al., 2003).

Pohlavní rozmnožování je možné různými formami, záleží na typu gamet. IZOGAMIE jsou gamety tvarem i velikostí stejné, odlišují se pouze fyziologicky. ANIZOGAMIE je proces, při níž se obě gamety odlišují, především velikostně. Samčí gameta je menší než samičí. OOGAMIE představuje rozmnožování, kdy je samičí gameta (oosféra, vaječná buňka) výrazně větší velikosti, je nepohyblivá a obsahuje zásobní látky. Oproti tomu samčí gameta (spermatozoid) je menší velikosti s funkcí pohybu pomocí bičíků (KINCL et al., 2006).



Obr. 7: Pohlavní rozmnožování řas (KINCL et al., 2006)

Nepohlavní způsob rozmnožování zahrnuje tvorbu jednobuněčných pohyblivých výtrusů (zoospory) uvnitř mateřské buňky. Nepohyblivé a bezbičíkaté výtrusy vznikají téměř stejným způsobem. Oba typy výtrusů se po roztržení buněčné stěny uvolní a postupně vyrůstají v nového jedince (KUBÁT et al., 2003). Řasy se taktéž dokáží dělit vegetativně, tj. oddělováním buňky nebo úlomky stélky.



## 7. EKOLOGIE SINIC A ŘAS

### 7.1. Sinice

Sinice dokáží obývat nejrůznější biotopy na povrchu Země. Zároveň dokáží přežít v extrémních podmínkách, díky tomu je můžeme považovat za jedinečné mikroorganismy na naší planetě. Mezi extrémní podmínky se řadí schopnost obývat jeskynní tmou, kde mají nedostatek slunečních paprsků, také dokáží osídlit hluboké vody. Zároveň odolávají i intenzivnímu ultrafialovému záření. Dokonce je můžeme nalézt v pouštích horlého subtropického pásu, současně se mohou vyskytovat v ledových oblastech polárních. Daří se jim dokonce i v různých stojatých vodách rybníků, přehrad a jezer, kde tvoří spolu s jinými mikroorganismy tzv. fytoplankton. Sinice se dokázaly přizpůsobit i salinitě moří a oceánů (ROSYPAL, 1994).

Kvůli místům s velkou ozářeností slunečními paprsky si dokázaly sinice vytvořit pomůcky, tzv. sunscreen pigments, které jim napomáhají zeslabit sluneční záření a zvládat ultrafialové paprsky. Jedná se o pigmenty neboli barviva, která jsou tvořena sekundárně jako metabolity. Tyto pigmenty jim současně napomáhají proti vysychání. Mezi hlavní sunscreen pigments patří především scytonemin a aminokyseliny podobné mykosporinu (MMA) (WADA et al., 2013).

Díky dlouhému evolučnímu vývoji se za tuto dobu sinice dokázaly přizpůsobit nejen slunečnímu záření, ale všem extrémním podmínkám, které na ně působí. Vzhledem k tomu si vytvořily zajímavé mechanismy, které jim umožňují přežít. Mezi důležité orgány považujeme heterocyty, akinety nebo fykobiliny. Dalším způsobem jak přežít je vstup do symbiotického vztahu (KAŠTOVSKÝ & JURÁŇ, 2016).

Jak uvádějí o sinicích a řasách odborní autoři, aerické sinice a řasy na površích, kde se vyskytují spolu s heterotrofními bakteriemi a houbami, tvoří biofilm, který představuje pro tyto celé ekosystémy důležitý zdroj primární produkce. Zároveň jsou důležitými fixátory vzdušného dusíku a jsou potravou pro heterotrofy, například pro želvušky (sini-cearasy.cz, 2022).

Každopádně pod pojmem ekologie sinic si mnoho lidí představí svítivě zelené povlaky, tzv. vodní květy, na hladinách stojatých vod a ve vodách rekreačních středisek, kde tyto přírodní útvary vznikají přemnožením určité skupiny sinic. Na hladině se drží pomocí aerotopů, jež obsahují všechny druhy vytvářející vodní květ (PUMANN &

DURAS, 2014). Podmínky pro růst těchto organismů jsou nadbytečné živiny ve formě dusíkatých a fosforečnanových látek.

Vodní květy je schopno na našem území vytvářet ze 400 druhů řas pouhých 20 (KAŠTOVSKÝ & JURÁŇ, 2016). Nejčastějšími druhy jsou rody *Microcystis*, *Aphanizomenon*, *Anabena* a *Planktothrix*. Často jsou k vidění již na začátku jara, ale hlavní aktivitu mají v letních měsících, kde tvoří problematické období pro majitele vodních ploch (KALINA & VÁŇA, 2005).

## 7.2. Řasy

Jak již bylo zmíněno u sinic, řasy taktéž dokáží osídlit území, která mají extrémní podmínky pro život. Řasy musí čelit nejen již zmíněnému extrémnímu slunečnímu záření a nedostatku vody, ale potýkají se i se znečištěným ovzduším. Většina městských biotopů zápasí s velkým množstvím znečišťujících látek, mezi které patří hlavně plynové zplodiny, SO, CO, NO, uhlovodíky a ozón. Dále se v městském prostředí objevuje velké procento prachu a těžkých kovů (RINDI, 2007).

O tom, jaké druhy řas a sinic se budou na území vyskytovat, rozhoduje především dostupnost vody. Pokud je přítomna, tak v jakém stavu a v jakém množství (sinicearasy.cz, 2022). Nachází-li se v lokalitě voda kapající, dostříkovaná či z vodopádů, bude zde větší zastoupení sinic rodu *Gloeocapsa*, *Gloeocapsopsis*, *Hassallia*, *Scytonema* a *Stigonema*. Je-li voda dostupná pouze jako vzdušná vlhkost, bude převažovat výskyt zelených řas především rodu *Trebouxiophyceae: Trentepohlia* (sinicearasy.cz, 2022).

O druhovém složení zároveň rozhoduje materiál a jeho pórovitost. S vyšší pórovitostí bude nárůst biofilmu větší. Dalším důležitým faktorem ovlivňující druhové složení je pH prostředí, zejména u sinic je tato hodnota důležitá. Na zásaditých materiálech (tzn. pH > 7) je výskyt sinic i řas vyšší než na materiálech s kyselým pH (sinicearasy.cz, 2022).

Diverzita je zároveň ovlivňována světovými stranami. Hallmann a kol. (2012) uvádí, že na jihozápadní straně, která je vystavena slunci, je vesměs místo kolonizováno taxony *Apatococcus* a *Phyllosiphon*. Čistě západní strany obývají rody *Prasiococcus* a *Trebouxia*. Naproti tomu je malé množství taxonů, kterému nezáleží na umístění vůči světové straně (HALLMANN et al., 2012).

## 8. VÝZNAM SINIC A ŘAS PRO ŽIVOT

Velký význam u sinic má schopnost vázání vzdušného (organického) dusíku, který je využíván především v zemědělství, kde zvyšuje úrodnost. Ve východních zemích (např. v asijských) je sinic využíváno jako složky potravy, jelikož obsahují vitamíny a vysoký obsah nukleových kyselin. Dále se v potravinářství používají barviva sinic, která jsou oproti synteticky vyráběným netoxická a nekarcinogenní. Nejčastěji používané pigmenty jsou chlorofyly, fykobiliproteiny a karotenoidy, například  $\beta$ -karoten, lutein nebo fukoxantin (MANDAL et al., 2020). Velkým objevem byla fluorescence sinic, která přinesla do biomedicíny určitý pokrok v náhradě radionuklidů při rentgenech (ŠEJNHOROVÁ & MARŠÁLEK, 2005).

Řasy jsou významnou složkou potravy nejen lidí, ale i zvířat. Nejběžněji jsou řasy využívány jako doplňky stravy (*spirulina*) a v pokrmech celkově. Nejčastěji, opět v asijské gastronomii, se zpracovává nori, wakame a kombu řasa. Dále se řasy využívají jako hnojivo, biopalivo a surovina. Ze stélek červených řas (ruduchů) se extrakcí v horké vodě získává agar, který má po zchlazení konzistenci gelu, dále využívaného v potravinářství nebo biologii pro kultivaci mikroorganismů. U řasy třídy Cryptophyceae bylo zjištěno, že v tělech prvoků pomocí symbiotického růstu dodává prvokům asimilační produkty. Řasy třídy Bacillariophyceae (rozšivky) tvoří schránky, které po úmrtí vytváří tzv. křemelínu, využívanou jako filtrační a absorpční materiál ve farmaceutickém průmyslu (KALINA, 1994).

## 9. SYMBIOTICKÉ SOUŽITÍ S JINÝMI ORGANISMY

Výraz symbióza pochází z řeckého symbiōsis a v překladu znamená „společný život“. Termín symbióza byl poprvé použit roku 1877 jako učebnicový příklad spojení dvou zcela nepříbuzných organismů, které dalo vzniknout jinému odlišnému organismu (PETRUSEK, 2018).

*„Symbiotické soužití autotrofní a heterotrofní složky je dosti složité, jeho základem jsou vzájemně prospěšné potravní (trofické) vztahy“* (KINCL et al., 2006).

Sinice a řasy rády vstupují do symbiotických vztahů s jinými organismy, nejčastěji s vyššími rostlinami (Embryophyty). Konkrétně dokáží existovat ve vztahu s jätrovkami,

hlevíky, kapradinami, ale vyskytují se i v kořenech cykasů. Nejvýznamnějším symbiotickým vztahem je lišejník. Touto symbiózou si řasy a sinice vytvořily způsob, jak přežít vysychání. Taktéž se sinice mohou vyskytovat v dutinách listového pletiva či v hlízkovitých útvarech na kořenech. Dále je možná symbióza s mechorosty, kaprad'orosty nebo nahosemennými rostlinami, kde dodávají za pomoci heterocytů rostlinám dusík v organické formě. Zároveň se sinice mohou nacházet v intracelulární (nitrobuněčné) symbióze s prvky. Dokonce mohou žít v symbiotickém vztahu s jednoduchými živočichy, například s korály (ROSYPAL, 1994).

### 9.1. Obecná charakteristika lišejníků

Lišejníky jsou přesněji řečeno lichenizované houby a vážou se ke skupině ekologické, nikoliv taxonomické, ač dříve tvořily taxonomicky oddělenou jednotku. Dnes již nepředstavují systematicky samostatnou skupinu (LIŠKA, 2012). V učebnicích se nacházejí poblíž kapitoly hub, většinou na konci rostlinné říše.

Lichenizované houby představují komplexní celistvé organismy, skládající se ze dvou jednotek: houby, které se někdy říká mykobiont (myko – houba) a řasy, respektive sinice (fotobiont – fykobiont nebo cyanobiont). Kincl a kol. (2006) zmiňují autotrofní a heterotrofní složku lišejníku, u které autotrofní sinice nebo řasa vytváří asimiláty a heterotrofní houba dodává řase nebo sinici vodu a potřebné minerální živiny.

Skalka (2004) uvádí, že v dnešní době nelze vztah jednotlivých složek lišejníku označit jako symbiotický, ale příhodněji jako specifický lichenismus.

V 8 % případech jsou fotobionty lišejníků zástupci sinic (15 rodů), ale v převážné většině jsou zástupci zelených řas (23 rodů) Mezi nejčastějšími fotobionty lišejníků jsou rody *Trebouxia*, *Asterochloris*, *Coccomyxa* a *Elliptochloris*, které patří do druhově nejbohatší skupiny řas řádu Trebouxiophyceae (ŠIMEK et al., 2020). Dále se uvádí, že často patří do fotobiontů řasy rodu *Trentepohlia* a do skupiny sinic rod *Nostoc* (NASH, 1996), (SANDERS & MASUMOTO, 2021), (ŠIMEK et al., 2020).

Sanders a Masumoto (2021) uvádí, že přesto je většina taxonů nedostatečně pochopena, dokonce nejintenzivněji studovaný rod *Trebouxia* je stále nevyřešeným oříškem s ohledem na vymezení druhů a velikost diverzity.

Houby, které jsou ve většině případů vřecokovýtrusné (Ascomycetes), jsou převládající složkou, ale může se i stát, že jsou obě složky (houba a sinice/řasa) v rovnováze (LIŠKA,

2000). Naopak Skalka (2004) uvádí: „*Obě složky jsou v lišejníků ve velmi křehké rovnováze a jakákoliv změna by mohla celý organismus narušit, což může vést až k destrukci celého organismu*“.

Symbiotické soužití těchto dvou organismů je tak těsné, že lišejníková stélka (thallus) má zvláštní znaky, které nelze nalézt u jednotlivců, pěstovaných izolovaně. Vzhled lišejníku určuje především houbová složka. Řasa či sinice jsou ve vztahu pouze primárními dodavateli cukrů (sacharidů), které vznikají při fotosyntéze.

Vzhled vnější schránky lišejníku můžeme rozdělit na tři typy růstových forem: korovité, lupenité a keříčkovité. Vnitřní stavba je výrazně vrstevnatá. Hlavní složkou lišejníku jsou houbová vlákna (rhizoidy), kterými bývá lišejník přirostlý k podkladu. Keříčkovité a lupenité stélky mají větší zastoupení vegetativních diaspor než formy korovité (BOWLER & RUNDEL, 1975).

Lišejníky můžeme označit jako „pionýrské organismy“ (KUBÁT et al., 2003), jejich schopnost je kolonizovat nové substráty jako první organismy. Schopnost obývat nejrůznější prostředí vede k půdotvorné činnosti. K tomu vede fakt, že lišejníky rostou velmi pomalu, tím pádem i jejich regenerace trvá delší dobu (SKALKKA, 2004). Zároveň Skalka (2004) uvádí fakt, při kterém metabolismus lišejníků probíhá nepřetržitě a bez výraznějších přestávek, a tak lze lišejníky využít jako bioindikátory.

Mezi konkurenční výhodu lišejníků patří jejich poikilohydrická vlastnost, tzn. že v jejich stélce se značně mění obsah vody, čímž mohou snášet velké výkyvy teplot.

Často se lišejníky nacházejí na území, kde jiné organismy nedokáží dlouho přežít. V těchto podmínkách přežijí také díky tomu, že nejsou ohrožovány konkurencí ze strany větších a rychleji rostoucích rostlin (LIŠKA, 2000). Schopnost odolávat jak vysokým, tak i příliš nízkým teplotám jim umožňuje jejich nízký obsah vody v těle (voda tvoří pouhých 2–10 % hmotnosti sušiny lišejníků). Poněvadž fotosyntéza probíhá jen za relativně příznivých a zejména vlhkostních podmínek, rostou velmi pomalu (KUBÁT et al., 2003).

„*Každý lišejník je sám o sobě skutečným miniekosystémem*“ (ČERNOHORSKÝ, 2000).

## 9.2. Historie lišejníků

Symbióza dvou organismů v lišejník je natolik složitý vztah, že nelze očekávat jeho vznik krátkou, přímou ani rychlou cestou. Nejspíše se vyvinul z parazitismu koevolucí,

tn. dlouhým, ale vzájemným vývojem obou partnerů, jehož počátky jsou velmi staré. Předpokládá se, že většina lichenizovaných čeledí a rodů se vyvinula na rozhraní prvohor a druhohor (před asi 190–280 miliony let). Možné počátky lichenizace se na základě ne zcela jasného paleontologického nálezu dokonce kladou až do prekambria (před více než 2 miliardami let) (LIŠKA, 2000).

K bližší historii se udává, že v roce 1869 S. Schwendener provedl první průzkum lišejníku *gonidia*, přičemž tento druh byl uznán jako dva odlišné organismy. Byla tím tak poprvé odhalena skutečnost podvojně povahy lišejníků (SANDERS & MASUMOTO, 2021).

Teorie navržená Reinkem (1894–1896) naznačuje fakt, že se lišejníky různých taxonomických skupin vyvinuly nezávisle, nejprve od korovitě, k lupenitě stélce, nakonec vznikla stélka keříčkovitá (AHMADJIAN, 2012).

### 9.3. Rozmnožování lišejníků

U lišejníků se rozlišuje pohlavní a nepohlavní způsob rozmnožování.

Během nepohlavního rozmnožování se lišejník dělí jednoduchou fragmentací, tedy ulamováním stélek, které jsou za suchého období velmi křehké a lámavé. Dále se mohou nepohlavně rozmnožovat pomocí sorédií, které jsou podobné klubičkům a vznikají jako prášek na místech, kde není stélka lišejníků pokryta kůrou (tzv. sorály). Třetím nepohlavním způsobem jsou izidie, tyčinkovité či válcovité výrůstky, odlupující se z povrchu mateřské stélky a vyrůstající v nového jedince. Posledním a čtvrtým typem je prosté dělení, kde se dělí řasa nebo sinice (KUBÁT et al., 2003), (BOWLER & RUNDEL, 1975).

Pohlavní rozmnožování je charakteristické pouze pro houbovitou část lišejníku, kde se houba rozmnožuje pomocí výtrusů (askosporami), vznikající v drobných plodnicích v plodnicích. Ačkoliv někdy plodnice obsahují fotobionta (sinici nebo řasu), ten se většinou s výtrusy nešíří (KUBÁT et al., 2003), (SANDERS & MASUMOTO, 2021).

### 9.4. Ekologie lišejníků

Kvůli své poikilohydrické vlastnosti se musely lišejníky výrazně přizpůsobit střídání ročních období. Lišejníky jsou organismy, které dokáží odolávat extrémnímu počasí, proto se označují jako strestolerantní organismy (GILBERT, 1990). Dokonce se uvádí,

že trvale vlhké počasí lišejníky značně poškozuje. Citlivě reagují taktéž na změny životních podmínek ohledně znečištěného ovzduší či vody. Ke všem těmto vlastnostem přispívají svými menšími, drobnějšími rozměry a velmi pomalým růstem (LIŠKA, 2012).

*„Lichenizované houby jako celek jsou ubikvisty – najdeme je na nejrůznějších substrátech, nejen na těch přirozených, jako skály, půda, borka, dřevo a listy stromů, zbytky rostlin apod., ale i na podkladech umělých jako beton, asfalt, sklo, kov, plasty aj. – ve všech podmínkách na Zemi od vysokohoří a polárních oblastí přes tropy (kde je největší diverzita) až po pouště“ (LIŠKA, 2012).*

Díky tomu, že lišejníky dokáží osídlit veškerá území s výjimkou volného oceánu, mají významnou roli v rostlinné ekologii, zejména v koloběhu dusíku, fosforu a uhlíku (ČERNOHORSKÝ, 2000).

Lišejníky jsou taktéž zdrojem surovin pro výrobu potravin. Dále se využívají pro výrobu léčiv i kosmetických přípravků (SKALKA, 2004). Pro kosmetický a zdravotnický průmysl mají největší využití rody *Usnea*, *Parmelia*, *Lobaria* (KALINA & VÁŇA, 2005). Ale jejich nejdůležitější význam je založen na sledování změn životního prostředí, tedy bioindikátorství (SKALKA, 2004).

## 9.5. Diverzita lišejníků

V dnešní době je známo přibližně 1 500 druhů lišejníků, což celkově představuje přibližně 12 % celkového světového bohatství. Z uvedeného celkového počtu je 9 % ne-zvěstných či vyhynulých (LIŠKA, 2012). Kalina a Váňa (2005) uvádějí, že více než jedna pětina všech hub a více než dvě pětiny vřeckovýtrusných hub patří do lichenizovaných hub.

## 10. MATERIÁL A METODIKA

### 10.1. Obecná charakteristika zkoumané oblasti

Sportovní areál Sport Park Liberec je veřejně dostupný sportovní areál, nacházející se vedle hokejové arény, který slouží pro sportovce a širokou veřejnost. Součástí tohoto rozsáhlého sportovního areálu je fotbalové hřiště o rozměru 100×68 m s přírodní trávou. Vedle něj se nachází 400m tartanový ovál s osmi dráhami, vodním příkopem a jednotlivými sektory pro lehkootletické disciplíny.

Pro odběr vhodných vzorků byly zvoleny celkem čtyři druhy materiálů, které se na ploše sportovního areálu hojně nacházejí.

#### 10.1.1. Betonový povrch

Beton je složená (kompozitní) látka sestávající ze tří složek. Hlavní je pevná směs kameniva (KOLÁŘ & REITERMAN, 2012), druhou důležitou částí je cement, třetí částí je voda jako pojivo. Betonovou směs lze obohatit o výhodné příměsi (ztekucovače, zpevňovače aj.), které zlepšují výsledný efekt. Beton jako hotový materiál není dokonale celistvým a hladkým povrchem, proto se na něm mohou tvořit biofilmy mikroorganismů.

Pro odběr mikroorganismů z betonové plochy byl použit podkladový blok tvořící tribunu. Druhým vzorkem se stala betonová plocha pro disciplínu hod koulí, která se nachází severněji než ostatní. Třetím odběrem vzorku z betonu bylo místo pro odhod disku a oštěpu. Posledním a zároveň jediným svislým povrchem se stala část zídky, která ohraničuje celý areál.

#### 10.1.2. Kovový materiál

Kov se stal doplňkovým materiálem, který je zahrnut v této bakalářské práci pouze pro zajímavé srovnání s ostatními materiály. Pro odběr byl použit kovový poklop nacházející se na ploše fotbalového hřiště za pomezí čarou. Okolí této kovové plochy je travnaté. Povrch poklopu je s protiskluzovou úpravou, proto není dokonale hladký.



### 10.1.3. Plastový povrch

Plast je umělý povrch, který je hojně využíván nejen pro doplňkové části sportovních areálů. V libereckém areálu je hojně využit na lavičky, ale také pro obrubníky a nepromokavé krycí plachty žíněnek.

Na celé sportoviště lze nahlížet z hlavní tribuny, kde se nacházejí plastové lavičky. Právě plast byl dalším vhodným materiálem pro odběr vzorků. Na jedné straně v rohu je postavena nářadovna pro sportovní náčiní. Tato místnost, vypadající jako garáž, má pochůzí střechu, která zároveň slouží jako plocha pro sledování sportovních událostí. Z této oblasti jsem odebrala vzorky z plastové fólie (nepropustná PVC folie ve skladbě střešní krytiny). Třetím plastovým povrchem odběrného místa byl jeden z obrubníků. Těmito obrubníky, které kryjí kanálek, je z vnitřní strany ohraničena plocha běžeckých drah.

### 10.1.4. Tartanový povrch

Tartan je umělý pružný povrch na bázi směsi barevného pryžového granulátu a polyuretanového pojiva, využívaný pro atletické disciplíny ve sportovních areálech. Nejběžněji se pokládá v tloušťce od 10 mm a musí vyhovovat požadavkům sportovních norem. Životnost tohoto materiálu určuje kvalita provedení se zárukou desítek let. Mezi hlavní výhody patří trvalá propustná elasticita, která zajišťuje vhodnou absorpci nárazových vln. Nejčastěji se provádí v cihlově červené barvě, ale lze objevit sportoviště, kde jsou využity jiné barevné kombinace, například zelené či modré.

Tartan byl posledním materiálem, který jsem použila pro odběr vzorků, konkrétně běžecká atletická dráha, místo pro rozběh na skok o tyči a krycí stříška vstupu pro hráče fotbalu, která byla ve složeném stavu.

## 10.2. Vzorky

### 10.2.1. Odběr vzorků

Vzorky jsem odebírala na konci jara dne 11. 6. roku 2021. Celkem jsem odebrala jedenáct vzorků ze čtyř různých druhů materiálů (substrátů). Nárůsty lišejníků, které obsahují symbiózu sinic nebo řas s houbou, jsem stírala pomocí spirálového mezizubního kartáčku o průměru 2,5–4,5 mm. Po jeho navlhčení v plastové mikrozkuhavce s destilovanou vodou o objemu 1,5 ml, jsem stírala předem připravenou standardizovanou plochu

o velikosti 25 cm<sup>2</sup>. Během odběru vzorku jsem několikrát ponořila kartáček zpět do zkumavky pro zvýšení koncentrace mikroorganismů. Každá zkumavka byla popsána zkratkou dle materiálu a pořadí.



Obr. 8: Pomůcky použité pro odběr vzorků (AUTOR, 2021)



Obr. 9: Přírodní vzorky v mikrozskumavkách (AUTOR, 2021)

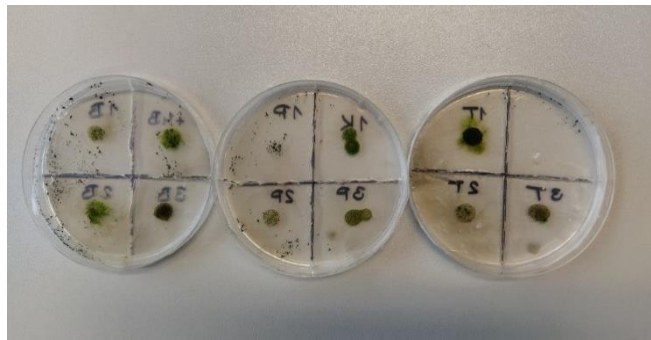
Primárně se odebíraly zbarvené mikrobiální nárosty, které byly na některých místech doplněny o makroskopické lišejníky. Některá místa byla doprovázena mechovými částkami a prachem.

### 10.2.2. Příprava přírodních a kultivačních preparátů

Vzorky, které byly odebrány, bylo potřeba připravit pro mikroskopování. Jelikož ne všechny mikroorganismy byly ihned po odebrání ve stavu pro jasnou taxonomickou identifikaci, bylo potřeba doplnit o kultivaci metodou *in vitro*, která zajistila rozmnožování

taxonů a díky tomu pozdější rozpoznání. Předem připravené Petriho misky s kultivačním médiem byly rozděleny na čtyři shodná pole pomocí rytí, aby byl agar přerušen a umožnil tak každému vzorku růst ve svém poli. Zároveň byla potřeba pole popsat zkratkami vzorků, které budou obsahovat.

Každý materiál (beton, kov, plast, tartan), který jsem odebírala, měl svou vlastní kul-tivační misku. Celkem byla potřeba tří misek, pro ušetření místa byl vzorek z jediného kovového materiálu přidán na Petriho misku ke vzorkům odebíraných z plastových po-vrchů. Automatickou pipetou byl vždy vzorek o objemu 20  $\mu$ l přesunut z plastové mi-krozkumavky na svou čtvrtinu agarové misky. Po vložení všech vzorků byly misky utěsněny těsnicí páskou, tzv. parafilmem. Takto připravené misky bylo možné uchovávat v chladničce po dlouhou dobu. Zároveň takto připravený materiál umožňoval růst mikro-organismů, který byl potřebný pro jasnou identifikaci pod mikroskopem.



Obr. 10: Petriho misky připravené pro uchování v kultivační chladničce (AUTOR, 2021)

### 10.2.3. Uchování přírodních a kultivačních vzorků

Přírodní i kultivační vzorky byly udržovány na chladném místě. Přírodní vzorky ve zkumavkách byly pospolu v plastovém sáčku v neosvětlené chladničce. Kultivační pre-paráty na Petriho miskách byly uchovány ve speciální kultivační chladničce s interním osvětlením 1000 lux a o teplotě 15° C. Kontrola růstu a množení mikroorganismů na kul-tivačních miskách probíhala každých 14 dní. Celková životnost těchto preparátů byla od-hadnuta na více než jeden rok.



Obr. 11: Uchování Petriho misek se vzorky v kultivační chladničce (AUTOR, 2021)

#### 10.2.4. Optická mikroskopie a fotografování vzorků

Připravené kultivované i přírodní vzorky vyžadovaly mikroskopování, aby byla umožněna jasná identifikace jednotlivých rodů mikroorganismů. Pro digitální záznamy z pozorování a mikroskopování byl použit mikroskop firmy Olympus typu BX43F. Mikroskopování proběhlo dne 2. 7. 2021, tj. přesně tři týdny od odebrání a kultivace vzorků.

Nejprve byly mikroskopovány kultivované vzorky. Celé agarové misky byly jednotlivě vloženy pod stereoskopický mikroskop, který umožnil pozorování vzorků s malým zvětšením, konkrétně jsem použila zvětšení  $4\times 10$ . Pro přímý pohled na konkrétní druh mikroorganismu byly vzorky jeden po druhém stírány na podložní sklo. Za použití imerzního oleje a imerzního objektivu byly vzorky fotografovány při celkovém zvětšení  $100\times 10$ .



Obr. 12: Stereoskopický mikroskop použit pro ucelený přehled (AUTOR, 2021)

Přírodní vzorky umožnily rychlejší mikroskopování, protože jejich příprava obsahovala pouze vortexování mikrozkuřavky s přírodním vzorkem v přístroji IKA VORTEX, následný odběr 5  $\mu$ l preparátu automatickou pipetou na podložní sklo, přikrytí krycím sklem a použití imerzního oleje na krycí sklo.



Obr. 13: Přístroj IKA VORTEX (AUTOR, 2021)

Fotografování vzorků bylo prováděno více dní, jelikož mikroskopování a hledání odlišných druhů zabralo velké množství času. Pro získání kvalitních fotografií mi pomohl fotoaparát značky Cannon EOS 70D.

### 10.2.5. Determinace vzorků

Při počáteční determinaci rodu a druhu jednotlivých zástupců sinic a řas z fotografií nemohla být použita literatura SVRČEK (1976), jelikož tento klíč obsahuje pouze rody a druhy vyskytující se ve vodním prostředí, zahrnuje tak převážně hydrofilní sinice. Proto bylo pro zjišťování nalezených druhů a rodů nutno uplatnit literaturu německou. Konkrétně byl použit klíč autorů Ettl & Gärtner z roku 2014, dále byla použita 3dílná literatura *Cyanoprokaryota* od autorů J. Komárek a K. Anagnostidis. Ačkoliv byla práce s těmito zdroji složitější, umožnila správné určení všech nalezených taxonů. Při nerozhodnosti byla determinace ještě podpořena dvoudílnou českou literaturou dostupnou v online podobě (Kaštofský et al., Atlas sinic a řas, 2018). Určování rodů a druhů probíhalo na základě morfologických vlastností.

### 10.3. Metody analýzy dat

V první fázi jsem vytvořila jednoduché tabulky v programu EXCEL, kde jsem vypsalala všechny nalezené taxony. Při zadávání absence či přítomnosti jednotlivých taxonů ve vzorcích jsem použila hodnoty 0/1 (absence/přítomnost) a po dokončení základní tabulky dopsala součet, který shrnul počet nalezených taxonů v jednotlivých substrátech. Dále jsem k tabulce přidala zjednodušený seznam, který zařazoval nalezené taxony do skupiny sinic nebo řas.

Pro vyhodnocení nalezených společenstev byl použit program PAST, kam byla zadána data z předešlé excelové tabulky.

Pro vytvoření pochopitelných grafů bylo použito dvou metod, které v plné míře porovnály rodovou bohatost mezi jednotlivými substráty a počet nalezených taxonomických jednotek.

Pro zajímavost jsem přidala determinaci nejčastěji nacházejících se lišejníků, které pokrývaly ve větším množství substráty. Pro determinaci rodů byla využita literatura Kremer et al. (1998) a odborné znalosti Mgr. Jany Steinové, Ph.D.

#### 10.3.1. Krabicový diagram (BoxPlot)

BoxPlot metoda, někdy též nazývaná „krabicový graf“ či „krabicový diagram“, se nejčastěji používá pro grafické znázornění při statistikách. Tato metoda byla použita pro vyhodnocení počtu nalezených taxonomických jednotek.

Hlavní výhodou této metody je možnost posouzení a rozložení dat dle velikostí pomocí kvartilů, které přímo vykazují případnou asymetrii ve výsledcích. Kvartily jsou nejpoužívanějšími hodnotami (tzv. kvantily), které znázorňují soubor hodnot o stejně velkém obsazení (BUDÍKOVÁ et al., 2010). Pomocí kvartilů je celý soubor rozdělen na čtyři části, z nichž každá obsahuje přesně 25 % jednotek. Prostřední hodnota ( $x_{50}$ ) je někdy nazývána mediánem a určuje druhý kvartil. Další výhodou použití této metody je možnost vyjádřit odlehlou hodnotu, která se vyznačí vzdáleně od hlavní části výsledku. Při použití čtyř a více hodnot bude diagram obsahovat tzv. „fousy“ a znázorní tak minimální a maximální hodnoty. Pokud jsou do diagramu zadány pouze tři hodnoty, tzv. „fousy“ se nevytvoří a výsledný diagram je jednodušší.

### 10.3.2. NMDS metoda

NMDS metoda byla použita pro vyhodnocení společných druhů vyskytujících se na všech substrátech, výsledkem je zjednodušený 2D graf.

Postup analýzy nemetrického mnohorozměrného škálování patří mezi metody pro tvorbu statistických grafů. Tato neparametrická ordinační metoda byla zavedena Shepardem a dále rozvinutá Kruskalem. Cílem této metody je geometrické uspořádání objektů, lokalit či taxonů pomocí  $p$  bodů tak, aby mezi body byla vzdálenost, která odpovídá nepodobnostem těchto lokalit, případně taxonů (JEŽKOVÁ, 2021). Jedná se o redukci dimenzí původního prostoru, aby vztahy mezi objekty zůstaly zachovány co nejlépe. (DRAČKOVÁ, 2017). Z důvodu nesnadného seřazení objektů tak, aby mezi sebou měly stejnou vzdálenost v redukovaném prostředí, zavádí se tzv. funkce stresu.

Funkce stresu je hodnota, která vyjadřuje vztah vzdáleností v nově vytvořeném prostoru s hodnotami vzdáleností či nepodobností. Její velikost se pohybuje od nuly do jedné, přičemž platí, že nižší hodnoty jsou výhodnější (DRAČKOVÁ, 2017).

*„Nižších hodnot stresu lze dosáhnout také využitím většího množství dimenzí k reprodukci matice vzdáleností.“* (DRAČKOVÁ, 2017)

Záměrem NMDS grafů je převedení jakékoliv libovolné matice (hodnot) podobnosti do Euklidovského prostoru. NMDS metoda se snaží najít uspořádání objektů tak, aby nejlépe odpovídalo rozdílům v druhovém složení. Pokud jsou dva vzorky samy sobě podobnější, tím blíže se budou u sebe nacházet. Protože NMDS technika nepředpokládá lineární funkce v datech, není tak ovlivněna skupinami proměnných hodnot (LITTNEROVÁ, 2008), (DRAČKOVÁ, 2017).

## 11. VÝSLEDKY

Celkem bylo ovzorkováno 11 substrátů (4 druhy materiálů) hojně vyskytujících se ve sportovním areálu Sport Park Liberec. Většinu substrátů pokrývaly lišejníkové útvary, které jsou typické pro suchá neosvětlená místa.

Ve výsledku bylo celkem nalezeno 35 taxonů, z toho 9 taxonů se řadilo mezi sinice (Cyanobacteria) a 26 taxonů mezi řasy (Algae). Z rozdělení taxonů do skupin vyplývá, že z odebraných ploch mají 4× větší zastoupení řasy. Nalezené taxony se na jednotlivých materiálech liší. Jednotlivé odchylky jsou zobrazeny pomocí druhové bohatosti v krabicovém diagramu a dále pomocí struktury společenstva v NMDS diagramu.

	B1	B2	B3	B4	K	P1	P2	P3	T1	T2	T3
<i>Apatococcus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Asterochloris-Trebouxia</i> sp.	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Botrydiopsis</i> sp.	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Bracteacoccus</i> sp.	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
<i>Coccomyxa</i> sp.	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
cf. <i>Coelastrella</i>	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0
cf. <i>Coenochloris</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
<i>Cyanobacteria</i> sp. vláknitá	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
<i>Cyanobacteria</i> sp. kokální	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Chlorophyceae</i> sp.	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cylindrocystis brebissonii</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Diplosphaera chodatii</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Heterococcus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Eustigmatophyceae</i> sp.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cf. <i>Chlorella</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0
<i>Chlorococcum</i> sp.	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Chloroidium</i> sp.	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
cf. <i>Chlorosarcina</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Interfilum massjukiae</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Jaagichlorella</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>klebsormidium</i> sp.	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
<i>Mychonastes</i> sp.	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Myrmecia</i> sp.	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1
<i>Pinnularia borealis</i>	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Stichococcus</i> sp.	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
<i>Xantonema</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Gloeocapsa biformis</i>	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1
<i>Gloeocapsa novacekii</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Gloeocapsa</i> cf. <i>nigrescens</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gloeocapsopsis</i> cf. <i>chroococoides</i>	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gloeocapsopsis</i> cf. <i>pleurocapsoides</i>	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Hassallia byssoidea</i>	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1
<i>Pseudocapsa</i> sp. velká	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Pseudocapsa</i> sp. malá	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Gloeocapsa</i> cf. <i>compacta</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Gloeocapsa</i> sp. průhledná	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Gloeocapsopsis</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

Tab. 2: Excelová tabulka zobrazující přítomnost/absenci nalezených taxonů na jednotlivých substrátech (AUTOR, 2022)

Všechny nalezené taxony mají kosmopolitní výskyt, lze je tak nalézt v nejrůznějších habitatech.

Z tabulky č. 2 je zřejmé, že veškeré taxony patřící do skupiny Cyanobacteria se nacházely především na betonovém a tartanovém povrchu. Jedinými výjimkami jsou taxony



*Gloeocapsa biformis* a *Gloeocapsopsis cf. pleurocapsoides*, které se našly ve vzorcích odebraných na plastovém povrchu.

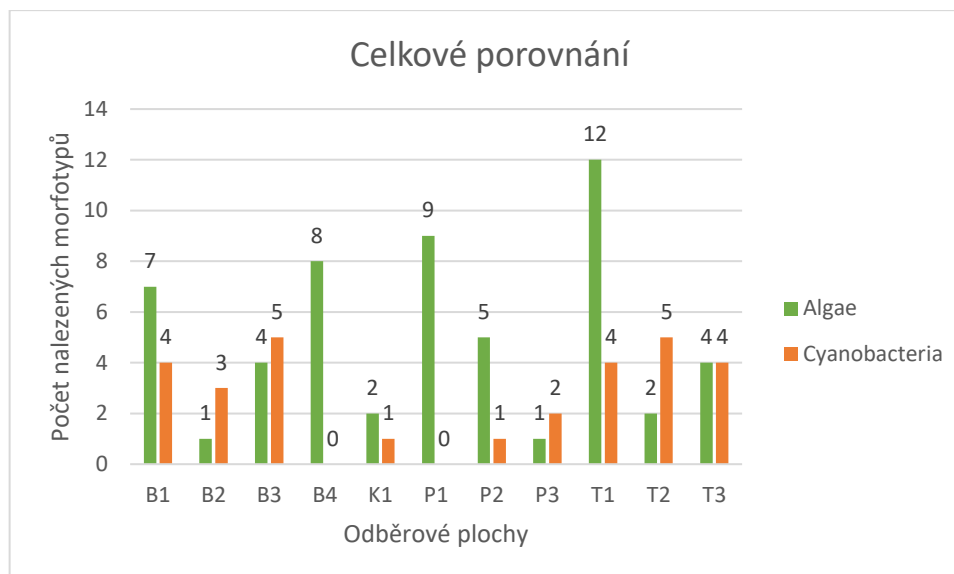
Šimek a kol. (2020) uvádí, že kokální řasy *Bracteacoccus*, *Spongiochloris*, *Chlorococcum* a *Coelastrella* patří mezi typické půdní rody. Z výsledků vyplývá, že vzorky neobsahovaly tyto typické zástupce ve velkém množství.

Mezi zajímavý nález patří *Pinnularia borealis*, nalezen ve vzorcích z betonu a plastu. Tato rozsivka je velmi běžným druhem v půdě, ale většinou se vyskytuje ve vodním prostředí.

Ze zjednodušené tabulky č. 3 je na první pohled vidět diverzita jednotlivých míst. Největší diverzitu mikroorganismů vykazuje materiál T1 spolu s B1. Na většině substrátů vyjma míst B4 a P1, se nacházel alespoň 1 taxon ze skupiny sinic (Cyanobacteria).

označení umístění	počet nalezených morfortypů	<i>Algae</i>	<i>Cyanobacteria</i>
B1	11	7	4
B2	4	1	3
B3	9	4	5
B4	8	8	0
K1	3	2	1
P1	9	9	0
P2	6	5	1
P3	3	1	2
T1	16	12	4
T2	7	2	5
T3	8	4	4

Tab. 3: Zjednodušený přehled počtu nalezených morfortypů s rozdělením do skupin řas a sinic (AUTOR, 2022)



Obr. 14: Graf celkového porovnání nalezených mikroorganismů (AUTOR, 2022)

### 11.1. Nejčastěji nalezené taxony

Nejčastěji se opakovalo 10 taxonů, přičemž 6 z nich se řadí do skupiny řas, v tomto ohledu je diverzita řas vyšší.

nejčastěji vyskytující se taxony	Algae/Cyanobacteria	počet výskytu	materiál výskytu
<i>Asterochloris-Trebouxia sp.</i>	Algae	10	beton, kov, plast, tartan
<i>Gloeocapsa biformis</i>	Cyanobacteria	6	beton, plast, tartan
<i>Hassallia byssoidea</i>	Cyanobacteria	6	beton, tartan
<i>cf. Coelastrella</i>	Algae	4	beton, plast
<i>Klebsormidium sp.</i>	Algae	4	beton
<i>cf. Chlorella</i>	Algae	3	tartan
<i>Diplosphaera chodatii</i>	Algae	3	tartan
<i>Gloeocapsa novacekii</i>	Cyanobacteria	3	tartan
<i>Gloeocapsopsis cf. pleurocapsoides</i>	Cyanobacteria	3	beton
<i>Myrmecia sp.</i>	Algae	3	beton, kov, tartan

Tab. 4: Nejčastěji vyskytující se taxony (AUTOR, 2022)

Z taxonů sinic se nejčastěji nacházela *Gloeocapsa biformis*. V celkovém výsledku se mezi dominantní taxony zelených řas dostaly:

- *Asterochloris-Trebouxia sp.*
- *cf. Coelastrella*
- *Klebsormidium sp.*

### ***Asterochloris – Trebouxia sp.***

*Asterochloris* a *Trebouxia* jsou dva velice podobné rody, které často nelze od sebe odlišit. V dnešním systematickém uspořádání se rod *Asterochloris* řadí do skupiny zelených řas do řádu *Trebouxiales*.

Buňky jsou kulovitého až hruškovitého tvaru. Uvnitř buňky se nachází centrálně uložený hvězdovitý chloroplast, který má radiálně vybíhající laloky. Ve středu chloroplastu se nachází většinou pouze jeden pyrenoid. Nejčastější výskyt je formou fotobionta v lišejnících spousta rodů, např. *Cladonia*, *Diploschistes*, *Lepraria* atd. Občas lze *Asterochloris* nalézt i samostatně žijící (KAŠTOVSKÝ et al., 2018), (SANDERS & MASUMOTO, 2021).

### ***Gloeocapsa biformis***

*G. biformis* tvoří mikroskopické kolonie, zřídka makroskopické. Barva kolonie je žlutavá až nahnědlá. Jednotlivé buňky jsou pod mikroskopem modrozelené barvy, velikost 0,8–3  $\mu\text{m}$  v průměru. Výskytem je aerofytické prostředí, často vápenec (KAŠTOVSKÝ et al., 2018), (SANDERS & MASUMOTO, 2021).

### ***Hassallia byssoidea***

Tvoří makroskopické povlaky se sametovým vzhledem. Povlaky mají nepravidelné okraje a jsou vidět roztroušená jednotlivá vlákna, vmezeřelá mezi další sinice a mechy. Velikost se pohybuje od 10 do 15  $\mu\text{m}$ . Krátká heteropolární vlákna uspořádaná do jedné řady se bohatě větví jedním směrem. Buňky mají žlutě až žlutohnědě zbarvené slizové pochvy. Výrazné trichomy, které jsou krátké a zahnuté, jsou zřetelně zaškrcovány na buněčných přepážkách. Buňky obsahují jednotlivé heterocyty oválného tvaru. V buňkách se nevyskytují akinety. Hojnost výskytu je u těchto řas plošně na celém území, nejčastěji se nachází na skalách a stavebních konstrukcích (KAŠTOVSKÝ et al., 2018).

### ***cf. Coelastrella***

Zástupci taxonu *Coelastrella* mají kulovité, elipsoidní či vřetenovité buňky. Chloroplast, který je na povrchu rozdělený na několik laloků, je v buňce nástěnný a vyplňuje celou periferní část buňky. Pyrenoid, který je pokryt škrobovými zrny, je velmi výrazný (KAŠTOVSKÝ et al., 2018).

### ***Klebsormidium sp.***

Taxon *Klebsormidium sp.* se dle Šimka a kol. (2020) nejčastěji nachází na aerofytických stanovištích a významné zastoupení má zejména v krustách kyselých půd, které vytvářením těchto agregátů stabilizuje (ŠIMEK et al., 2020).

Je taxonem obsahujícím nepřeberné množství druhů, které nelze jednoduše určit, proto je pro přesnější druhové určení potřeba získat molekulární data. Základem jsou nevětvené vláknité buňky, neuchycené či upevněné k podkladu pomocí slizových terčíků. Uvnitř buňky je jedno jádro, které má tvar soudku či válce. Buněčná stěna je hladká a poměrně tenká. Opět se zde nachází nástěnný chloroplast, který má maximálně dva nevýrazné pyrenoidy pokryté škobovými zrny. Výskytem je vodní prostředí, nejčastěji stojaté vody a rašeliniště. Často se ale vyskytují i na terestrických a aerofytických površích jako jsou kůry stromů, kameny, zdi domů a chodníky (KAŠTOVSKÝ et al., 2018).

### ***cf. Chlorella***

Kvůli nedostatku morfologických znaků v jednoduché stavbě buněk *Chlorelly* nelze jednoznačně rozlišit jednotlivé druhy, náročné je i odlišení dvou rodů od sebe.

Obecně je rod *Chlorella* popisován jako kokální zelená řasa. Žije samostatně, tvoří tak kolonie. Buněčná stěna je hladká a buňka není obalena slizovým obalem (VAIGLOVÁ, 2015).

### ***Diplosphaera chodatii***

Je skupinou zelených řas s kulovitými až elipsoidními buňkami. Velikost buněk se pohybuje od 4 do 7  $\mu\text{m}$ . Nejčastěji se nalézají v koloniích po čtyřech či osmi buněčných krychličkách. Nástěnný chloroplast má nevýrazný pyrenoid. Tato řasa je velmi hojně rozšířená, vyskytuje se na kůrách stromů nebo tvoří biofilmy na kamenech. Je zároveň fotobiontem lišejníku čeledi *Verrucariaceae*. Je často zaměňován s rodem *Stichococcus*, proto by měl být s tímto rodem synonymizován (KAŠTOVSKÝ et al., 2018).

### ***Gloeocapsa novacekii***

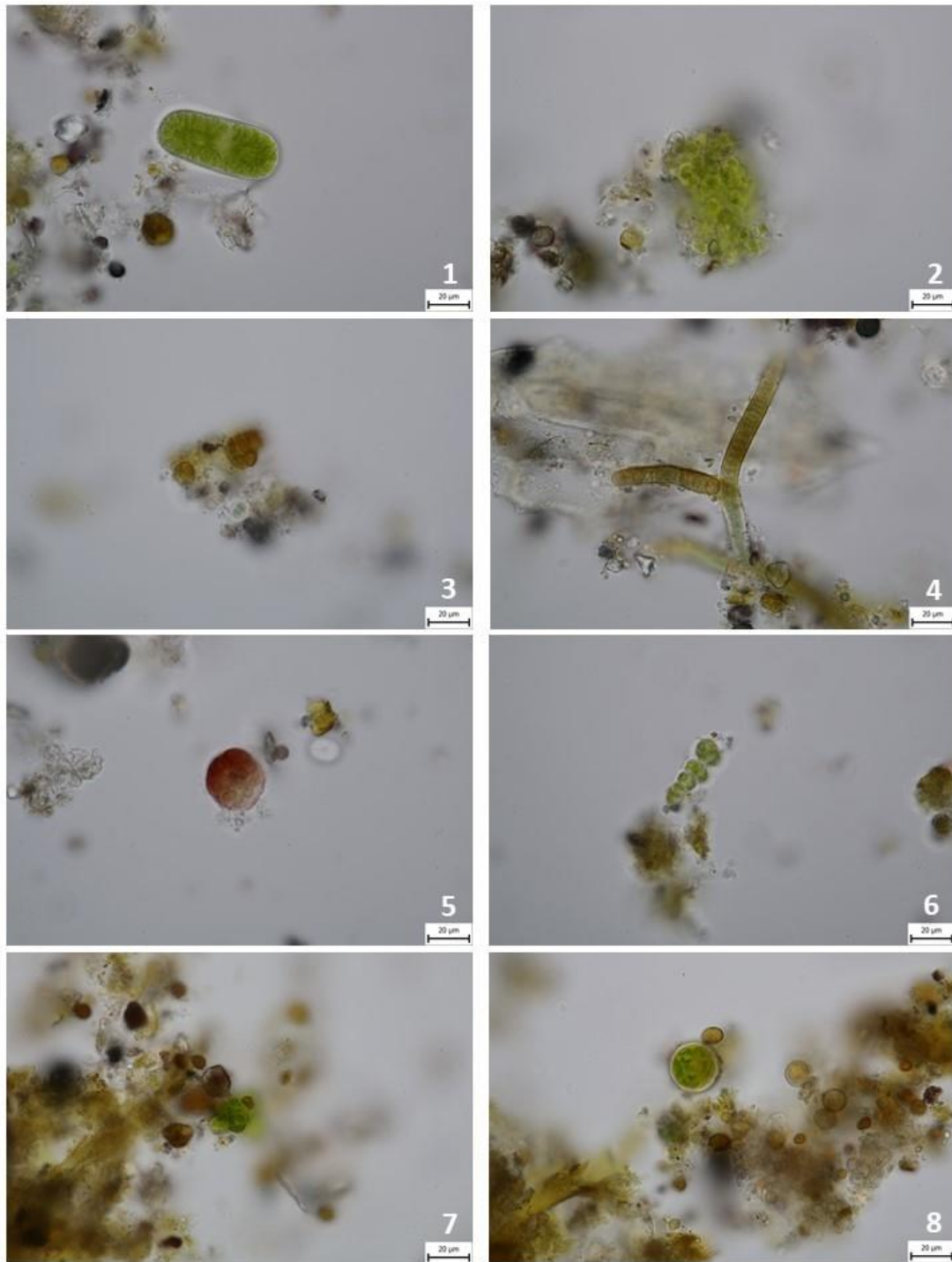
Buňky jsou olivově zelené či modrozelené, ojediněle nažloutlé. Velikost 3–10  $\mu\text{m}$  v průměru. Pochvy buněk jsou v mokřém stavu červené, v suchém stavu černé. Povrch je nelamelován nebo jen slabě. Výskytem je aerofyt, který je pravidelně zamokřován. Nachází se od nížin až po hory, nejčastěji na bazických horninách, především na hadcích (syn. serpentinit) (KAŠTOVSKÝ et al., 2018).

### ***Gloeocapsopsis cf. plerocapsoides***

Buňky jsou v nepravidelných mikroskopických i makroskopických koloniích, které tvoří mnoho subkolonií. Jsou nepravidelného tvaru a mají zaoblené polygony. Mají tenké a jasné ohraničení a žluté až žlutohnědé zbarvení slizového obalu s lamelováním. Výskytem je sušší terestrické prostředí, především skály (KAŠTOVSKÝ et al., 2018).

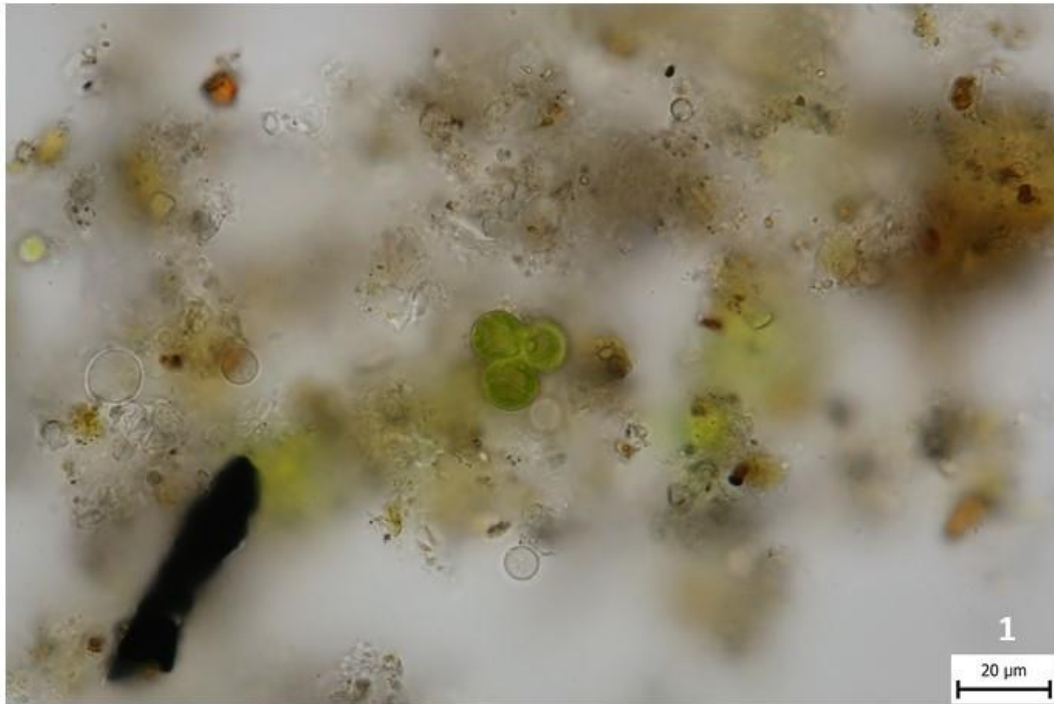
### ***Myrmecia sp.***

Do tohoto taxonu patří buňky kulovitého, vejčitého či ledvinitého tvaru s jedním jádrem uvnitř. Lze pozorovat zesílenou buněčnou stěnu na jedné straně buňky. Chloroplast uvnitř buňky je nástěnný, jeho okraj zvlňný a celý je rozdělen do 2–4 širokých laloků. Chloroplast je bez pyrenoidu. Nejčastějším místem pro výskyt je kůra stromů. *Myrmecia sp.* je fotobiontem epilitických lišejníků rodu *Psora* a nevylučuje se ani symbióza s jinými rody jako jsou *Pannaria*, *Verucaria*, *Lobaria* či *Placidium* (KAŠTOVSKÝ et al., 2018), (SANDERS & MASUMOTO, 2021).



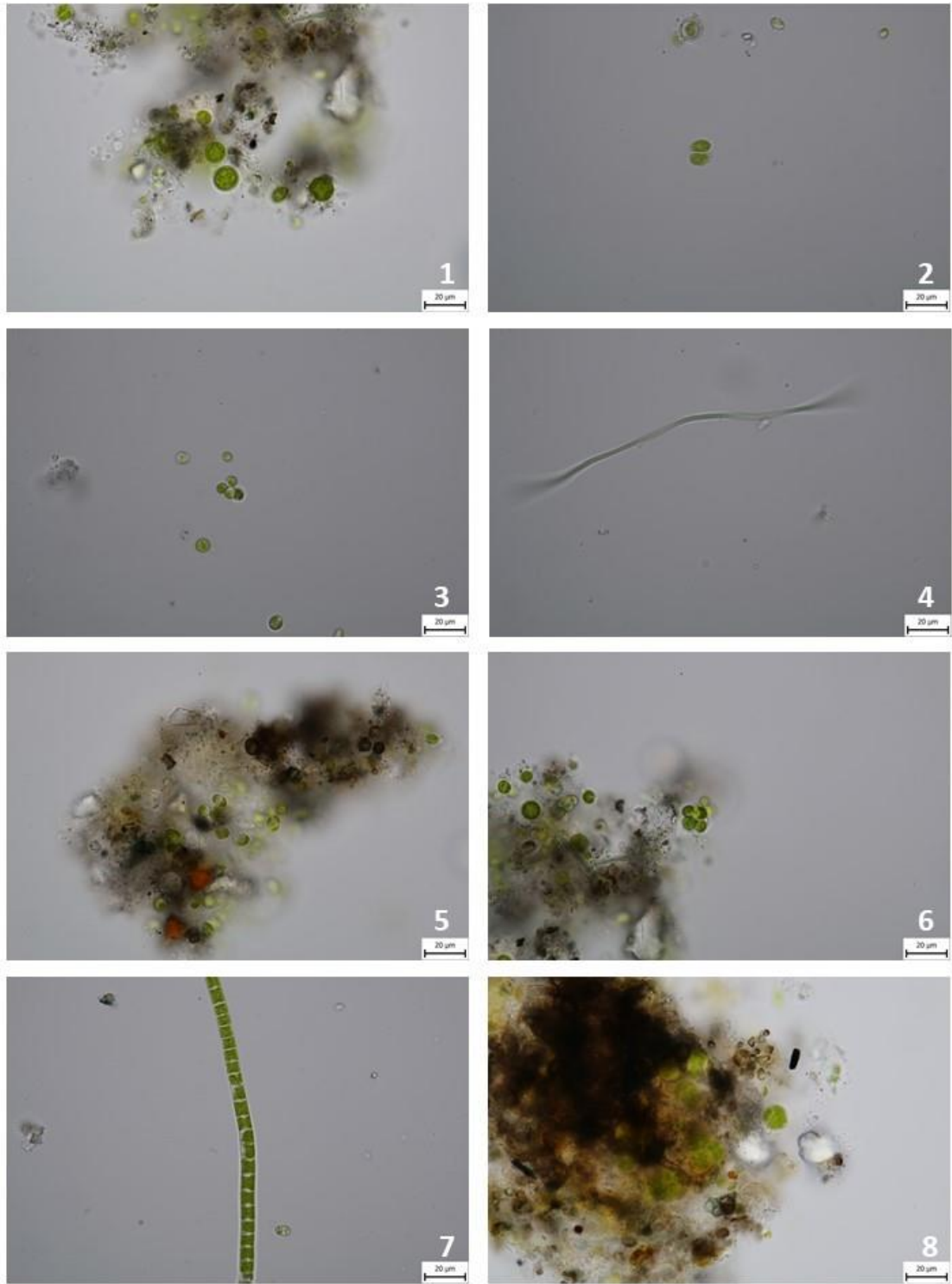
Obr. 15: Nalezené morfotypy sinic a řas na betonovém podkladu (AUTOR, 2021)

1 – *Cylindrocystis brebissonii*; 2 – *Asterochloris-Trebouxia* sp.; 3 – *Gloeocapsa biformis*; 4 – *Hassallia byssoidea*; 5 – *Gloeocapsa novacekii*; 6 – *Interfilum massjukiae*; 7 – *Diplosphaera chodatii*; 8 – *Botrydiopsis* sp



Obr. 16: Nalezené morfotypy sinic a řas na kovovém podkladu (AUTOR, 2021)

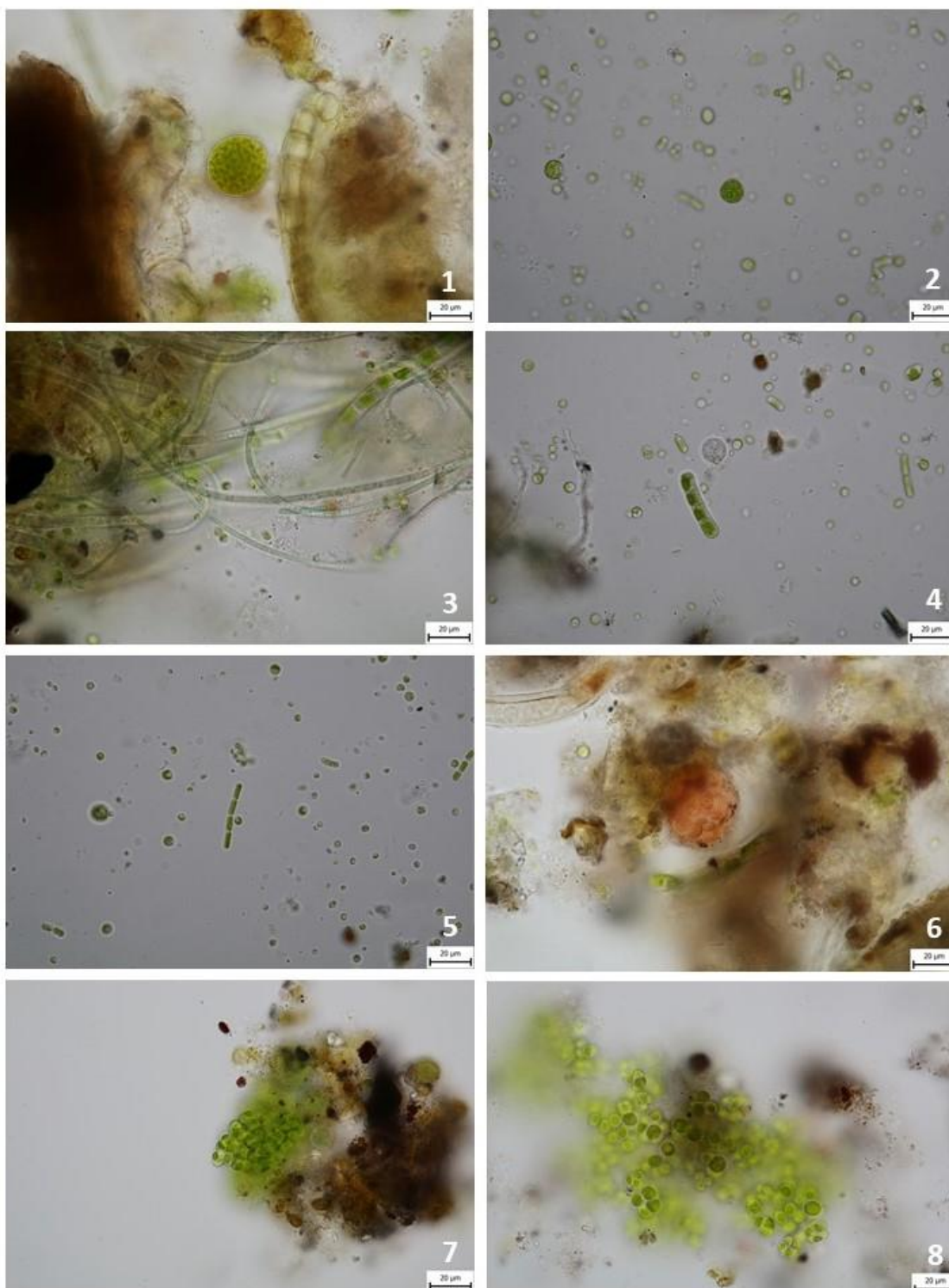
1 – *Myrmecia* sp.; 2 – *Asterochloris-Trebouxia*



Obr. 17: Nalezené morfortypy sinic a řas na plastovém podkladu (AUTOR, 2021)

1 – *Bracteacoccus* sp.; 2 – *Coelastrella oocystis* sp.; 3 – cf. *Chlorella*; 4 – *Cyanobacteria* sp. (vláknitá stélka); 5 – *Chloroidium* sp.; 6 – *Coenochloris* sp.; 7 – *Klebsormidium* sp.; 8 – *Asterochloris-Trebouxia*





Obr. 18: Nalezené morfotypy sinic a řas na tartanovém podkladu (AUTOR, 2021)

1 – *Botrydiopsis* sp.; 2 – cf. *Coelastrella*; 3 – *Cyanobacteria* sp. (vláknitá buňka); 4 – *Klebsormidium* sp.; 5 – *Stichococcus* sp.; 6 – *Gloeocapsa novacekii*; 7 – *Diplosphaera chodatii*; 8 – *Jaagichlorella*

## 11.2. Porovnání materiálů

Jak již bylo zmíněno, největší počet nalezených taxonů vykazuje betonový a tartanový povrch.

### **Betonový substrát**

Ze čtyř vzorků odebraných z betonu mělo největší diverzitu odběrové místo B1, které se nacházelo na tribuně a tvořilo podklad pro plastovou lavičku. Domněnkou pro hojný výskyt vyššího počtu taxonů je odlehlost tohoto místa, které není často obýváno a mikroorganismy mohou nerušeně růst. Zároveň se můžeme domnívat, že diverzita může souviset s porozitou materiálu, protože největší diverzitu měly tartan a beton, což jsou značně pórovitější materiály než ostatní (kov, plast).

Tři ze čtyř betonových substrátů obsahovaly taxon *Hassallia byssoidea* a *Asterochloris-Trebouxia sp.*

Zajímavostí je odběrová plocha B4, která jako jediná byla svislou plochou, ale ve výsledku nevykazuje rozdíly v diverzitě oproti jinému betonovému substrátu.

### **Plastový substrát**

Z plastových povrchů měla největší diverzitu tribunová lavička (1P), která se nacházela hned vedle místa B1. Místo P3 (obrubník atletické dráhy) mělo spolu s kovovým substrátem nejmenší počet nalezených taxonů. Již zmíněnou domněnkou, proč tomu tak je, může být pórovitost jednotlivých povrchů, kde odběrová plocha P3 má hladší strukturu než ostatní plastové povrchy.

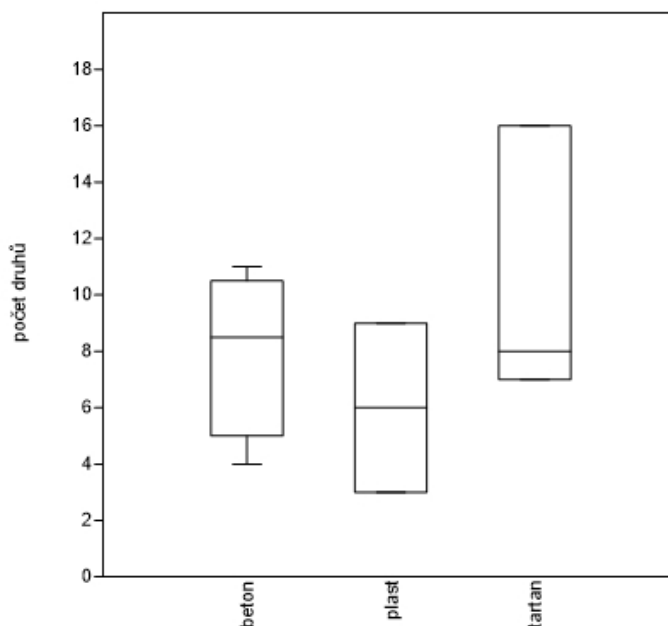
### **Kovový substrát**

Kov jako materiál nejevil tak velkou diverzitu jako ostatní materiály. Vzorek obsahoval pouze tři taxony, mezi kterými byla z taxonů zelených řas *Asterochloris-Trebouxia sp.* a *Myrmecia sp.* Z nalezených taxonů sinic osídlovala kov *Pseudocapsa sp.*, která byla výrazně menší velikosti.

### **Tartanový substrát**

U tartanové plochy mělo největší diverzitu mikroorganismů místo T1, které je součástí běžecké plochy, dle mého názoru je nejvíce mechanicky destruováno a znečišťováno. Tato plocha obsahovala 3× větší diverzitu řas než sinic.

### 11.3. BoxPlot



Obr. 19: Krabicový BoxPlot zobrazující počty druhů ve vzorcích jednotlivých substrátů (AUTOR, 2022)

Z krabicového diagramu je jednoznačně vidět, že nejbohatším materiálem na taxony se stal tartan, druhé místo obsadil beton. Důležité je zmínit, že substráty vykazují rozdílný počet nalezených taxonů.

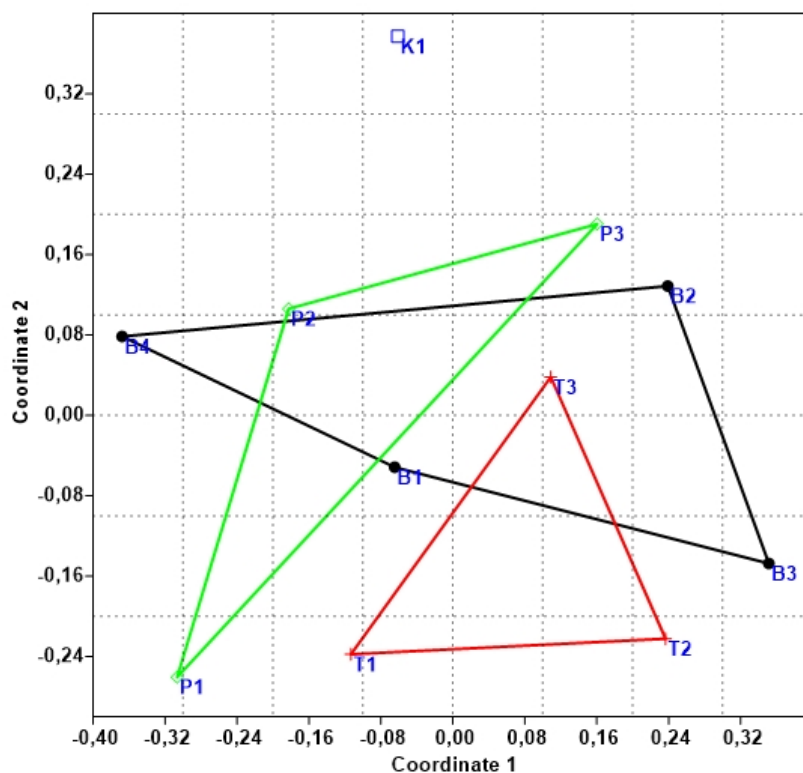
V betonovém materiálu je nejnižší hodnota 4 taxony, tato hodnota je zobrazena jako tzv. „fousy“

Tartanový materiál vykazuje největší diverzitu co do počtu taxonů, počet dosáhl na maximální hranici 16 druhů.

Pro odlehlost není v diagramu uveden počet druhů zaznamenaný ve vzorku z kovového materiálu, protože hodnota by nenaznačovala žádný rozptyl minimální ani maximální hodnoty. Přesto se na kovovém substrátu nachází celkem 3 taxony, z nichž se 2 taxony řadí mezi řasy.

U plastových povrchů je průměrem 6 druhů, které se ve vzorcích vyskytovaly.

## 11.4. NMDS



Obr. 20: Výsledný NMDS ordinační diagram, použit Jaccardův index podobnosti, hodnota stresu 0,31, B – betonový substrát, K – kovový substrát, P – plastový substrát, T – tartanový substrát (AUTOR, 2022)

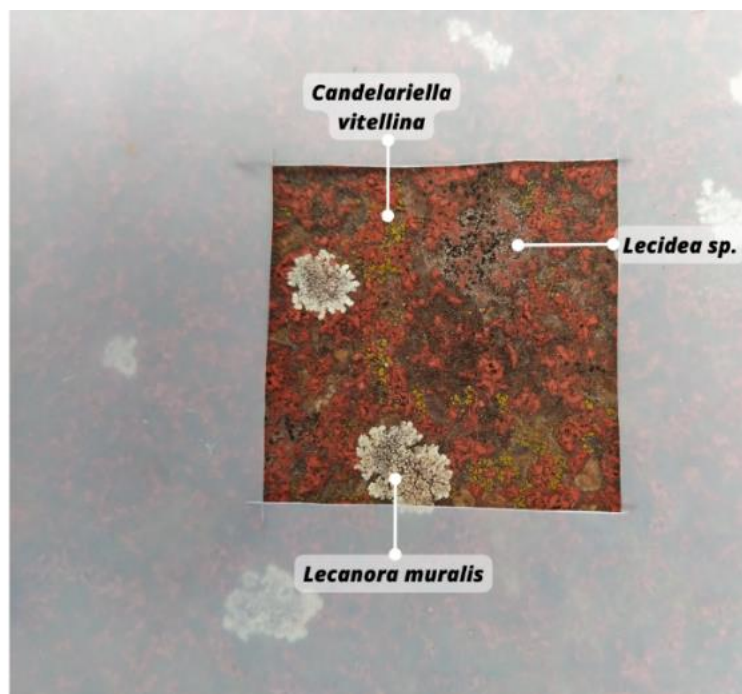
Jaccardův index je podobnostní koeficient mezi zadanými hodnotami tvořící diverzitu. Výsledný NMDS graf je zjednodušen do 2D roviny. Obě osy znázorňují určitou rovinu variability, kde osa 1 bývá ve většině případů větší, což platí i zde. Horizontální osa č. 1 má hodnotu 30,5 %, zatímco vertikální osa č. 2 má pouze 13,6 %.

Funkce stresu vyjadřující vztah vzdáleností v nově vytvořeném prostoru je 0,31.

Odlehlým bodem je zadaná hodnota kovového materiálu, který měl pouze jeden odběrový povrch a jediná hodnota nemůže určovat podobnost s ostatními. Zároveň hodnota vycházející z kovu slouží pouze pro informativní porovnání, zda neobsahuje odlišné či zajímavější taxony. Největší rozsah má betonový materiál, důvodem může být větší počet odebíraných ploch. Mezi plastovým a tartanovým povrchem není ani jeden stejný nalezený taxon. Vzdálenost mezi body B2 a P3 znázorňuje malé rozdíly v počtu nalezených taxonů, výsledkem je velká podobnost v diverzitě těchto dvou míst.

## 11.5. Lišejníky

Mezi nejčastěji nacházející se lišejníkové útvary patřily taxony misnička (*Lecanora*), šálečka (*Lecidea*) a svicníček (*Candelariella*).



Obr. 21: Lišejníky na odběrovém tartanovém substrátu (AUTOR, 2022)

### MISNIČKA ZEDNÍ (*Lecanora muralis*)

Tento lišejník má korovitou stélku, okraj je laločnatě vykrajovaný a přilehlý k podkladu. Barva žlutozelená, může se zbarvit až do bělavě zelené. Velikostně až 10 cm v průměru. Roste na všech typech hornin v prostředí s velkým množstvím živin, lze ho nalézt i na městském betonu. Rozšíření je od nížin po subalpínský stupeň. Nelze ho nalézt na severu a ve vysokohorských podmínkách (KREMER et al., 1998). Řadí se mezi tolerantní lišejníky, které osídlují nejen přírodní prostředí, ale také betonové podklady a jiné stavební materiály (SKALKA, 2004).

### ŠÁLEČKA SP. (*Lecidea* sp.)

Rod *Lecidea* má výraznou strukturu apotecií, která je viditelná pouhým okem. Má korovitý typ stélky a nejčastěji se nachází na skalách a kamenech (HAWKSWORTH & JAMES, 1974).

## SVICNÍČEK ŽLOUTKOVÝ (*Candelariella vitellina*)

Je lišejník se stejnoměrně korovitou stélkou, která je poměrně silná, barvou žlutavě zelenou až žloutkově žlutou, po které přijmul své druhové jméno. Viditelná zrnka mají velikost až 0,3 mm a většinou tvoří políčkovanou kůru. Četné množství apotécií zakrývá stélku. Častý výskyt na sterém dřevě, na mírně obohacených silikátových kamelech, ale také je často k vidění na borce stromů poblíž lidského obydlí (KREMER et al., 1998).

## 12. DISKUZE

Celkový počet identifikovaných taxonů sinic a řas nalezených na biofilmech sportovního areálu Sport Park Liberec (9 taxonů sinic, 26 taxonů řas) naznačuje poměrně vysokou diverzitu mikroskopických mikroorganismů. V jednotlivých vzorcích byly průměrně identifikovány alespoň tři morfotypy. Z výsledků je zřejmé, že nalezená společenstva se nijak zvláště neliší od společenstev, která se nacházejí na přírodních materiálech.

Svou průzkumnou práci jsem porovнала s výsledky ze dvou odborných článků zabývajících se diverzitou mikroorganismů na materiálech městského prostředí.

V prvním článku (TOMASELLI et al., 2000) se zabývají diverzitou mikroorganismů na kamenných monumentech nacházejících se v městském prostředí. Ve výsledku se většina nalezených taxonů, objevených na betonových monumentech, shoduje s výsledky ze sportovního areálu Sport Park Liberec.

Tomaselli a kol. (2000) uvádí, že na těchto prostředích můžeme očekávat diverzitu chemoheterotrofních, chemolitotrofních a fototrofních bakterií, dále řasy a houby. Snadno se totiž rozvíjejí na kamenných površích, často tak zbarvují podklady a inkrustují. Jejich výzkum ukázal, že kamenné povrchy osídlují nejčastěji sinice, hlavně rod *Nostoc* (TOMASELLI et al., 2000).

Mezi společné nálezy taxonů, které se vyskytovaly v jejich i mé práci, jsou *Klebsormidium* a *Chlorella*, přičemž autoři píší, že *Chlorella* vykazovala nejširší biodiverzitu s celkově šesti druhy.

Shodnými taxony se staly: *Gloeocapsa biformis*, *Pleurocapsa* sp. a *Apatococcus*. Autoři dále uvádí, že rody a druhy *Gloeocapsa biformis* a *Pleurocapsa* jsou často spojovány s vápenatými substráty. Vápenaté substráty vykazují také diverzitu rodů *Apatococcus* a *Stichococcus*, které se v mé práci taktéž našly.

V druhé práci se Hallmann s kolektivem (2016) zabývají biodiverzitou zelených řas, které pokrývají povrchy z tvrdého umělého materiálu, které jsou součástí městského prostředí.

Ze studie Hallmann et al. (2016) vyplývá, že na plastových površích, které použili pro odběr, tvořily biofilmy taxony *Apatococcus*, *Trebouxia*, *Chloroidium*, *Coccomyxa*, *Chlorella* a *Klebsormidium*.

V tabulce č. 5 uvádím shodné taxony na plastových površích. Pokud by se práce zabývala výskytem houbových organismů, je velká pravděpodobnost, že by je mé vzorky taktéž obsahovaly.

<b>Plastové povrchy Sport park Liberec</b>	<b>Plastový povrch (PE-HD odpadkový koš, el. přípojovací krabice )</b>
<b>Asterochloris-Trebouxia sp.</b>	<b>Apatococcus</b>
Bracteacoccus sp.	<b>Trebouxia</b>
<b>Apatococcus</b>	<b>Chloroidium</b>
<b>Coccomyxa sp.</b>	<b>Coccomyxa</b>
cf. Coelastrella	<b>Chlorella</b>
cf. Coenochloris	<b>Klebsormidium</b>
<b>cf. Chlorella</b>	(Fungi)
Chlorococcum sp.	
<b>Chloroidium sp.</b>	
<b>Klebsormidium sp.</b>	
Pinnularia borealis	
Gloeocapsa biformis	
Gloeocapsopsis cf. pleurocapsoides	
Cyanobacteria sp. vláknitá	

Tab. 5: Srovnávací tabulka s nalezenými taxony na plastovém povrchu Sport Park Liberec a plastové povrchy použité ve studii Hallmann et al., 2016, (AUTOR, 2022)



## 13. ZÁVĚR

Bakalářská práce byla zaměřena na průzkum mikroorganismů nacházejících se ve sportovním areálu Sport Park Liberec.

Mikroorganismy, které často vytvářejí biofilmy na nejrůznějších površích, jsou součástí ekosystémů na celém světě. Vybrané sinice a řasy jsou velmi starou skupinou, která se na Zemi vyskytuje přes několik milionů let. Dříve se nacházely pouze ve vodním prostředí, ale postupem času a během procesu endosymbiózy se dokázaly některé druhy dostat z vody na souš, tím došlo k adaptaci těchto mikroorganismů. K přežití na suchém povrchu jim pomohly nejen speciální organely a možnost žít v mutualistickém vztahu s jiným organismem, ale také se jednalo o nejrůznější ekofyziologické adaptace na změnu prostředí.

Obě skupiny se nejčastěji nacházejí na místech, která mají extrémní podmínky pro život. Dokáží díky tomu přežít dlouhá suchá období, mrazivé zimní dny, ale také období s nedostatkem vody či období plné velkého množství UV paprsků. Mezi důležité funkce těchto dvou skupin organismů je proces fotosyntézy, díky níž obohacují svět o velkou část potřebného kyslíku. Některé druhy těchto mikroorganismů si vytvořily organely zvané heterocyty, které dokáží fixovat dusík nacházející se v atmosféře. Další možností přežití nepříznivého období je přechod do mutualistického vztahu, nejčastěji se sinice a řasy spojují s houbovitou složkou a tvoří tak ucelený útvar lišejníku.

V praktické části byly pro odběr zvoleny čtyři různorodé materiály, které se v areálu Sport Park nacházejí. Často byly odběrové plochy pokryty makroskopickými lišejníky, obvykle tvořeny rody misnička, šálečka a svicníček.

Během mikroskopování jsem prozkoumala celkem 35 taxonů sinic a řas, z celkového počtu bylo 26 taxonů ze skupiny řas a 9 taxonů ze skupiny sinic. Z hlediska rozmanitosti druhů ve většině substrátů dominovaly řasy.

Nejhrubšími materiály byly beton a tartan, které ve výsledku vykazovaly největší počet nalezených druhů. Byl tedy splněn cíl práce, kde bylo zjištěno, že materiál má vliv na diverzitu mikroorganismů. Taxony *Apatococcus sp.*, *Chlorococcum sp.*, *Chloroidium sp.* a *Coccomyxa sp.* se našly pouze na plastových površích.

Dále taxony *Chlorophyceae sp.*, *Cylindrocystis brebissoni*, *Eustigmatophyceae sp.*, *Interfilum massjukiae* a *Gloeocapsa cf. nigrescens* měly nález pouze na betonovém substrátu.

Taxony *Heterococcus sp.*, *Xantonema sp.*, *Gloeocapsa cf. compacta* a *Gloeocapsopsis sp.* byly jediným výskytem, konkrétně na tartanovém povrchu.

Při odebírání vzorků již bylo předpokládáno, že se ve vzorcích nebudou nacházet jen sinice a řasy, ale také mikroskopické části mechů. Překvapením byl nález rozsivky *Pinnularia borealis*, která je často součástí vodních ploch.

## 14. ZDROJE

### 14.1. Literatura

1. AHMADJIAN, V. ed., 2012. *The lichens*. Elsevier.
2. P. A. BOWLER, P. W. RUNDEL, Reproductive strategies in lichens, *Botanical Journal of the Linnean Society*, Volume 70, Issue 4, June 1975, Pages 325–340, <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.1975.tb01653.x>
3. BUDÍKOVÁ, Marie, Maria KRÁLOVÁ a Bohumil MAROŠ. *Průvodce základními statistickými metodami*. Praha: Grada, 2010, 272 s. Expert. ISBN 978-80-247-3243-5.
4. DEMOULIN, Catherine F., Yannick J. LARA, Luc CORNET, Camille FRANÇOIS, Denis BURAIN, Annick WILMOTTE a Emmanuelle J. JAVAUX, 2019. Cyanobacteria evolution: Insight from the fossil record. *Free Radical Biology and Medicine* [online]. 140, 206-223. ISSN 0891-5849. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2019.05.007](https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2019.05.007)
5. CHESSON, Peter. Mechanisms of maintenance of species diversity. *Annual review of Ecology and Systematics*, 2000, 31.1: 343-366.
6. ČERNOHORSKÝ, Zdeněk. Lišejníky rostou všude. *Vesmír*. Listopad 2000, roč. 79 (130), čís. 11, s. 629–630. ISSN 1214-4029.
7. DRAČKOVÁ, Tereza. *Mnohorozměrné statistické metody používány při výzkumu ptačích společenstvech*. Brno, 2017. Bakalářská práce. Masarykova univerzita Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Danka Haruštiaková.
8. Ettl, Hanuš a Georg GÄRTNER, 2014. *Syllabus der Boden-, Luft- und Flechtentalgen*. 2., erg. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer Spektrum. ISBN 978364239461
9. GILBERT, O. L., 1990. The Lichen Flora of Urban Wasteland. *The Lichenologist* [online]. B.m.: Cambridge University Press, vol. 22, no. 1, pp. 87–101. Retrieved z: [doi:10.1017/S0024282990000056](https://doi.org/10.1017/S0024282990000056)
10. HALDANE, J.B.S. (1953) Animal populations and their regulation. *New Biology*, 15, 9-24.

11. HALLMANN, Christine., STANNEK Lorena., FRITZLAR Diana., HAUSE-REITNER Dorothea., FRIEDL Thomas., HOPPERT Michael. "Molecular diversity of phototrophic biofilms on building stone." *FEMS microbiology ecology* 84 2 (2013): 355-72.
12. HALLMANN, Christine., HOPPERT, Michael., MUDIMU, Opayi., FFRIEDL, Thomas. (2016). Biodiversity of green algae covering artificial hard substrate surfaces in a suburban environment: A case study using molecular approaches. *Journal of Phycology*. 52. 10.1111/jpy.12437.
13. HAWKSWORTH, D. L. and P. W. JAMES, 1974. The Lichens. Edited by Vernon Ahmadjian and Mason E. Hale. Academic Press Inc., New York and London Pp. xiv 697, figures 296, tables 62. 25 March 1974 [Dated '1973']. Price £16·20, US \$35·00. *The Lichenologist* [online]. B.m.: Cambridge University Press, vol. 6, no. 2, pp. 200–202. Retrieved z: doi:10.1017/S0024282974000302
14. HENTSCHKE, Guilherme Scotta a Watson A. GAMA JUNIOR, 2022. Chapter 1 - Trends in Cyanobacteria: a contribution to systematics and biodiversity studies. In: Graciliana LOPES, Marisa SILVA a Vitor VASCONCELOS, ed. *The Pharmacological Potential of Cyanobacteria* [online]. B.m.: Academic Press, s. 1–20. ISBN 978-0-12-821491-6. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-821491-6.00001-6
15. JEŽKOVÁ, Martina. *Nemetrické vícerozměrné škálování (NMDS): robustní metoda pro zpracování dat biologických společenstev* [online]. Brno, 2021 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/sd6ve/>. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Danka Haruštiaková.
16. JURÁŇ, Josef a Jan KAŠTOVSKÝ. Nový pohled na systém řas a jak ho učit?: New Perspective on the Taxonomic System of Algae and How to Teach about It?. *Živa*. SSČ AV ČR Praha: Nakladatelství Academia, 2016, **2016**(6), 299-301. ISSN 0044-4812.
17. KALINA, Tomáš. *Systém a vývoj sinic a řas*. Praha: Karolinum, 1994. ISBN 80-706-6854-7.
18. KALINA, Tomáš a Jiří VÁŇA. *Sinice, řasy, houby, mechrosty a podobné organismy v současné biologii*. Praha: Karolinum, 2005, 606 s., 32 s. obr. příl. ISBN 80-246-1036-1.
19. KAŠTOVSKÝ, J., HAUER, T., GERIŠ, R., CHATTOVÁ, B., JURÁŇ, J., LEPŠOVÁ-SKÁCELOVÁ, O., PITELKOVÁ, P., PUSZTAI, M., ŠKALOUD,

- P., ŠTASTNÝ, J., ČAPKOVÁ, K., BOHUNICKÁ, M. & MÜHLSTEINOVÁ, R. (2018): Atlas sinic a řas ČR 1. powerprint, Praha, 384 s.
20. KAŠTOVSKÝ, J., HAUER, T., GERIŠ, R., CHATTOVÁ, B., JURÁŇ, J., LEPŠOVÁ-SKÁCELOVÁ, O., PITELKOVÁ, P., PUSZTAI, M., ŠKALOUD, P., ŠTASTNÝ, J., ČAPKOVÁ, K., BOHUNICKÁ, M. & MÜHLSTEINOVÁ, R. (2018): Atlas sinic a řas ČR 2. powerprint, Praha, 480 s.
21. KAŠTOVSKÝ, Jan a Josef JURÁŇ. Evoluce sinic a řas v moderním pojetí. *Živa*. SSČ AV ČR Praha: Nakladatelství Academia, 2016, **2016**(6), CXXXIII - CXXXVI. ISSN 0044-4812.
22. KINCL, Lubomír., Miloslav KINCL a Jana JAKRLOVÁ. *Biologie rostlin: pro 1. ročník gymnázií*. 4., přeprac. vyd. Praha: Fortuna, 2006, 302 s. ISBN 80-7168-947-5.
23. KOLÁŘ, Karel a Pavel REITERMAN. *Stavební materiály: pro SPŠ stavební*. Praha: Grada, 2012, 208 s. Studium. ISBN 978-80-247-4070-6.
24. KOMÁREK J., KAŠTOVSKÝ J., MAREŠ J. & JOHANSEN J. R. (2014): Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera) 2014, using a polyphasic approach. – *Preslia* 86: 295–335.
25. KOMÁREK, Jiří a Konstantínos ANAGNOSTÍDIS. *Cyanoprokaryota*. 1. Teil = 1st part., Chroococcales. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 1998. Süßwasserflora von Mitteleuropa, 19/1. ISBN 3-8274-0890-3.
26. KOMÁREK, Jiří a Konstantínos ANAGNOSTÍDIS. *Cyanoprokaryota*. 2. Teil = 2nd part, Oscillatoriales. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 2005. Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band = Volume 19/2. ISBN 3-8274-0919-5.
27. KOMÁREK, Jiří. *Cyanoprokaryota*. 3rd part, Heterocytous Genera. Berlin: Springer Spektrum, [2013]. Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band = Volume 19/3. ISBN 978-3-8274-0932-4.
28. KREMER, Bruno P., Hermann MUHLE a Herbert GRAMBIHLER. *Lišejníky, mechorosty, kaprad'orosty: evropské druhy*. Praha: Ikar, 1998, 286 s. Průvodce přírodou. ISBN 80-7202-356-X.
29. KUBÁT, Karel., KALINA, Tomáš., KOVÁČ, Jaroslav., KUBÁTOVÁ, Dagmar a Zdeněk URBAN. *Botanika*. 2. Praha: Scientia, Praha, 2003, 231 s., [12] s. barev. obr. příl. ISBN 80-7183-266-9.
30. LEE, Robert Edward, 2018. *Phycology* [online]. 5th ed. Cambridge: Cambridge University Press. Retrieved z: doi:10.1017/9781316407219

31. LEWIS LA, MCCOURT RM. "Green algae and the origin of land plants." *American journal of botany* vol. 91,10 (2004): 1535-56. doi:10.3732/ajb.91.10.1535
32. LIŠKA, Jiří. Pohled na lichenflóru České republiky. *Živa*. SSČ AV ČR Praha: Nakladatelství Academia, 2012, **2012**(4), 162-165. ISSN 0044-4812.
33. LIŠKA, Jiří. Vázaný a nevázaný život lišejníků. *Vesmír*. Listopad 2000, roč. 79 (130), čís. 11, s. 623–629. ISSN 1214-4029.
34. LITTNEROVÁ, Simona. *Mnohorozměrné statistické metody v hodnocení interakcí biologických společenstevch a prostředí*. Brno, 2008. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Jiří Jarkovský.
35. MACARTHUR, Robert H., WILSON, Edward O. *The theory of island biogeography*. Princeton university press, 1967.
36. MACHÁČEK, Tomáš., MIKEŠOVÁ, Kateřina., TURJANICOVÁ, Libuše a Vladimír HAMPL, 2016. Proměny vyšší systematiky eukaryot a její odraz ve středoškolské biologii. *Živa*, č. 1, s. 27–30
37. MANDAL, Madan Kumar; CHANU, Ng Kunjarani; CHAURASIA, Neha. Cyanobacterial pigments and their fluorescence characteristics: applications in research and industry. In: *Advances in cyanobacterial biology*. Academic Press, 2020. p. 55-72.
38. MATĚJČEK, Tomáš. Aplikace tématu Biodiverzita a její ohrožení ve vzdělávání. Metodický portál: Články [online]. 22. 05. 2013, [cit. 2022-04-09]. Dostupný z WWW: <https://clanky.rvp.cz/clanek/17397/APLIKACE-TEMATU-BIODIVERZITA-A-JEJI-OHROZENI-VE-VZDELAVANI.html>. ISSN 1802-4785.
39. NASH, Thomas H. Lichen Biology. [s.l.]: *Cambridge University Press*, 1996. Dostupné online. ISBN 0521459745. S. 315.
40. PETRUSEK, Adam. Symbióza aneb Žijeme pospolu. *Živa*. SSČ AV ČR Praha: Nakladatelství Academia, 2018, **2018**(1), XVII-XVIII. ISSN 0044-4812.
41. PRICE, D., STEINER, J., YOON, H. S., BHATTACHARYA, D., LÖFFELHARDT, W. (2017). *Glaucophyta*. 10.1007/978-3-319-32669-6\_42-1.
42. PUMANN, P. & DURAS, J. (2014). *Atlas makroskopických jevů spojených s výskytem vodních květů sinic a dalších organismů v přírodních koupacích vodách*. Státní zdravotní ústav, Praha. Dostupné z: [http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/tacr/Atlas\\_vodnich\\_kvetu.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/tacr/Atlas_vodnich_kvetu.pdf)

43. RINDI, Fabio. Diversity, distribution and ecology of green algae and cyanobacteria in urban habitats. In: *Algae and cyanobacteria in extreme environments*. Springer, Dordrecht, 2007. p. 619-638.
44. ROSYPAL, Stanislav. *Přehled biologie*. 2. upr. vyd., V nakl. Scientia 1. vyd. Praha: Scientia, 1994, 635 s. ISBN 80-85827-32-8.
45. RULÍK, Martin a Veronika HOLÁ. Mikrobiální biofilmy: 1. Všudypřítomný a přitom málo známý fenomén. *Živa*. SSČ AV ČR Praha: Nakladatelství Academia, 2012, **2012**(3), 104-106. ISSN 0044-4812.
46. SANDERS, William B. and Hiroshi MASUMOTO, 2021. Lichen algae: the photosynthetic partners in lichen symbioses. *The Lichenologist* [online]. B.m.: Cambridge University Press, vol. 53, no. 5, pp. 347–393. Retrieved z: doi:10.1017/S0024282921000335
47. SCHINDLER, Jiří. *Mikrobiologie: pro studenty zdravotnických oborů*. 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Grada, 2014, 215 s., [xxiv] s. obr. příl. Sestra. ISBN 978-80-247-4771-2.
48. SKALKA, Michal. Lišejníky jako bioindikátory. *Živa*. SSČ AV ČR Praha: Nakladatelství Academia, 2004, **2004**(3), 107-108.
49. STORCH, David. Biodiverzita: co to je, jak ji měřit, co ji podmiňuje a k čemu je to všechno dobré. *Živa*. SSČ AV ČR Praha: Nakladatelství Academia, 2019, **2019**(5), 194-197. ISSN 0044-4812.
50. STORCH, David. Geografické trendy biologické rozmanitosti: Proč je v tropech a v horách tolik druhů?. *Živa*. SSČ AV ČR Praha: Nakladatelství Academia, 2019, **2019**(5), 206-209. ISSN 0044-4812.
51. SVRČEK, Mirko. *Klíč k určování bezcévných rostlin: Sinice, řasy, hlenky, houby, lišejníky a mechorosty*. Praha: SPN, 1976, 579 s. Pomocné knihy pro žáky škol 1. a 2. cyklu.
52. ŠEJNOHROVÁ, Lenka a Blahoslav MARŠÁLEK. Pohled do mikroskopického světa sinic. *Živa*. SSČ AV ČR Praha: Nakladatelství Academia, 2005, **2005**(3), 105-108. ISSN 0044-4812.
53. ŠIMEK, Miloslav., BALDRIAN Petr., ELHOTTOVÁ Dana a Alena LUKEŠOVÁ. Živá půda 3.: Fototrofní mikroorganismy a houby. *Živa*. SSČ AV ČR Praha: Nakladatelství Academia, 2020, **2020**(3), 137-142. ISSN 0044-4812.
54. ŠMARDA, Jan. O sinicích. *Universitas: revue Masarykovy univerzity*. Masarykova univerzita Brno: Munipress, 2009, **2009**(1), 3-10.

55. TOMASELLI, Luisa., LAMENTI, Gioia., BOSCO, Marco., TIANO, Piero. (2000). Biodiversity of photosynthetic micro-organisms dwelling on stone monuments. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 46. 251-258. 10.1016/S0964-8305(00)00078-0.
56. VAIGLOVÁ, Zuzana. *Diverzita zelených řas tvořících lišejníkové symbiotické interakce*. 2015. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra botaniky. Vedoucí práce Pavel Škaloud.
57. VAN APELDOORN, Marian E., et al. Toxins of cyanobacteria. *Molecular nutrition & food research*, 2007, 51.1: 7-60.
58. WADA N, SAKAMOTO T, MATSUGO S. *Multiple roles of photosynthetic and sunscreen pigments in cyanobacteria focusing on the oxidative stress*. *Metabolites*. 2013 May 30;3(2):463-83. doi: 10.3390/metabo3020463. PMID: 24958001; PMCID: PMC3901267.
59. WATNICK, P. and KOLTER, R., 2000. Biofilm, city of microbes. *Journal of bacteriology*, 182(10), pp.2675-2679.
60. WEST, G. S., 2010. CHLOROPHYCEÆ page 126 to 278. In: *Algae* [online]. Cambridge: Cambridge University Press, Cambridge Library Collection - Botany and Horticulture, p. 126–278. Retrieved z: doi:10.1017/CBO9780511708640.007
61. YEATES TO, KERFELD CA, HEINHORST S, CANNON GC, SHIVELY JM. Protein-based organelles in bacteria: carboxysomes and related microcompartments. *Nat Rev Microbiol*. 2008 Sep;6(9):681-91. doi: 10.1038/nrmicro1913. PMID: 18679172.

## 14.2. Elektronické zdroje

1. KAŠTOVSKÝ, J., HAUER, T. /eds/ (2003-2022): *Sinice a řasy.cz*, Elektronický zdroj. Dostupné na: <http://sinicearasy.cz/>



### 14.3. Obrázky

**Obr. 1:** Autorka obrázku: KRAUTOVÁ Markéta [online]. [cit. 10. 4. 2022]. Dostupné na <https://www.sinicearasy.cz/skripta/fykologie/cyanobacteria>

**Obr. 2:** Autorka obrázku: KRAUTOVÁ Markéta [online]. [cit. 10. 4. 2022]. Dostupné na <https://www.sinicearasy.cz/skripta/fykologie/cyanobacteria>

**Obr. 3:** Autorka obrázku: KRAUTOVÁ Markéta [online]. [cit. 10. 4. 2022]. Dostupné na <https://www.sinicearasy.cz/skripta/fykologie/cyanobacteria>

**Obr. 4:** Autorka obrázku: KRAUTOVÁ Markéta [online]. [cit. 10. 4. 2022]. Dostupné na <https://www.sinicearasy.cz/skripta/fykologie/chlorophyta>

**Obr. 5:** KUBÁT, Karel, Tomáš KALINA, Jaroslav KOVÁČ, Dagmar KUBÁTOVÁ a Zdeněk URBAN. *Botanika*. 2. Praha: Scientia, Praha, 2003, 231 s., [12] s. barev. obr. příl. ISBN 80-7183-266-9

**Obr. 6:** Autorka obrázku: KRAUTOVÁ Markéta [online]. [cit. 10. 4. 2022]. Dostupné na <https://www.sinicearasy.cz/skripta/fykologie/cyanobacteria>

**Obr. 7:** KINCL, Lubomír, Miloslav KINCL a Jana JAKRLOVÁ. *Biologie rostlin: pro 1. ročník gymnázií*. 4., přeprac. vyd. Praha: Fortuna, 2006, 302 s. ISBN 80-7168-947-5.

**Obr. 8:** AUTOR, 2021

**Obr. 9:** AUTOR, 2021

**Obr. 10:** AUTOR, 2021

**Obr. 11:** AUTOR, 2021

**Obr. 12:** AUTOR, 2021

**Obr. 13:** AUTOR, 2021

**Obr. 14:** AUTOR, 2022

**Obr. 15:** AUTOR, 2021

**Obr. 16:** AUTOR, 2021

**Obr. 17:** AUTOR, 2021

**Obr. 18:** AUTOR, 2021

**Obr. 19:** AUTOR, 2022

**Obr. 20:** AUTOR, 2022

**Obr. 21:** AUTOR, 2022

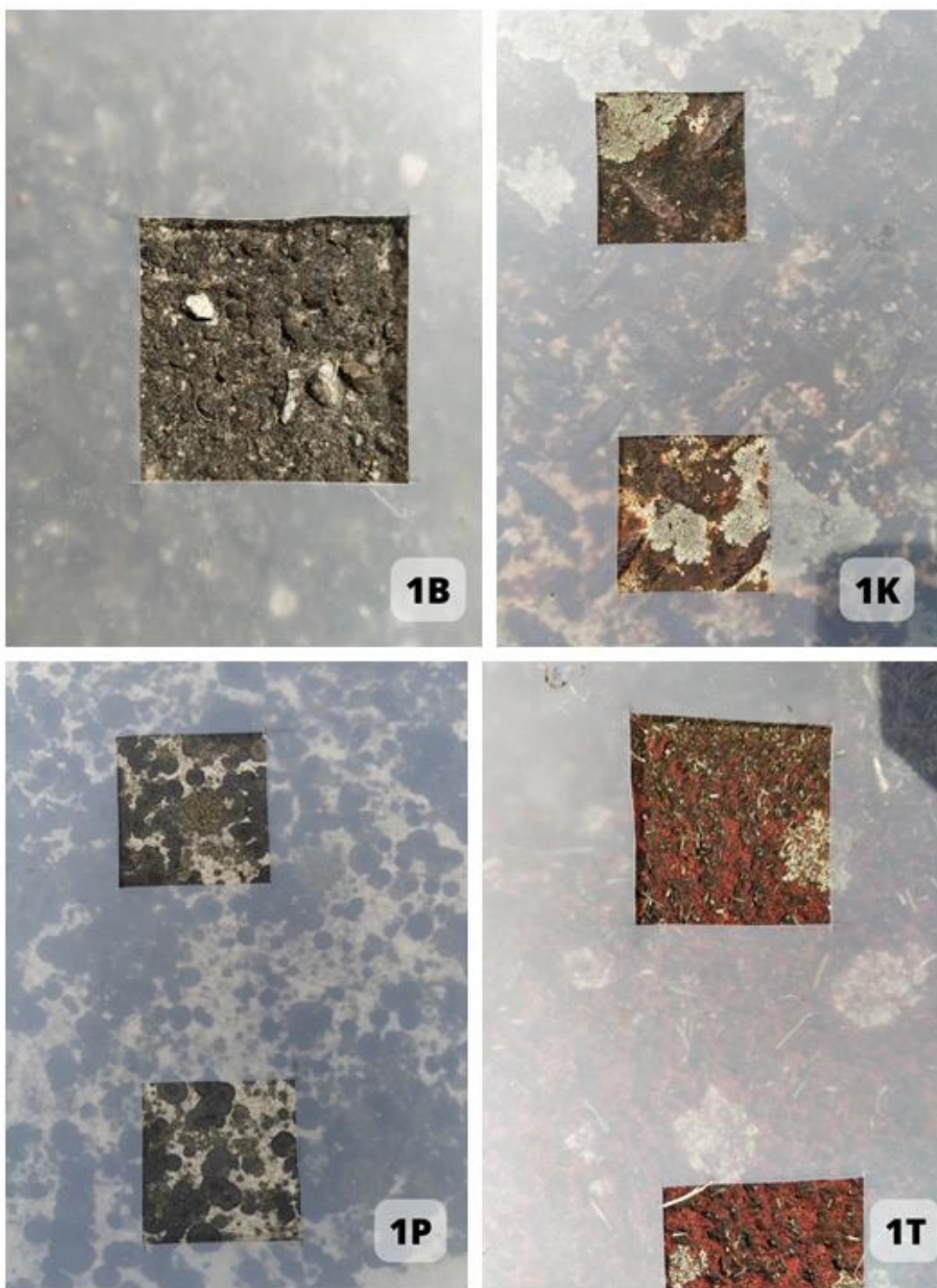
## 15. PŘÍLOHY

### 15.1. Seznam příloh

Příloha 1: Detailní záběry základních odběrových ploch (AUTOR, 2022)

Příloha 2: Odběrová místa (AUTOR, 2022)

Příloha 3: Přehled odběrových ploch včetně zkratk a popisu umístění (AUTOR, 2022)



*Příloha 1: Detailní záběry základních odběrových ploch (AUTOR, 2022)*



Příloha 2: Odběrová místa (AUTOR, 2022)

BETONOVÝ POVRCH		KOVOVÝ POVRCH	
Označení	Popis umístění	Označení	Popis umístění
1B	podklad tribunové lavičky	1K	kanálová deska na ploše fotbalového hřiště
2B	betonová ploška u odhodiště koule, severní strana		
3B	odhodiště disku a oštěpu		
4B	svislá plocha zídky ohraničující areál, jižní strana		
PLASTOVÝ POVRCH		TARTANOVÝ POVRCH	
Označení	Popis umístění	Označení	Popis umístění
1P	lavička na levém okraji tribuny, jihozápadní strana	1T	běžecká druha poblíž nářad'ovny, jihozápadní strana
2P	střešní PVC folie nářad'ovny, jihozápadní strana	2T	plocha pro skok o tyči, poblíž 2B, severní strana
3P	obrubníková krytka kanálu, jihozápadní strana	3T	stříška pokrytá tartanovou vrstvou

Příloha 3: Přehled odběrových ploch včetně zkratk a popisu umístění (AUTOR, 2022)