

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

PEDAGOGICKÁ FAKULTA

Katedra biologie

Bakalářská práce

**Průzkum půdních vláknitých sinic jihozápadní části
okresu Vsetín**

Aneta Vaculíková

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracovala samostatně. Veškerou literaturu a další zdroje, z nichž jsem při zpracování čerpala, uvádím v seznamu použité literatury.

V Olomouci dne 17. 4. 2024

.....

Aneta Vaculíková

Poděkování

Ráda bych vyjádřila své upřímné poděkování všem, kteří mi pomohli při tvorbě této bakalářské práce. Velké poděkování patří Mgr. Evě Jahodářové, Ph.D. za umožnění pracovat na tomto tématu a za odborné vedení při vypracování této bakalářské práce. V neposlední řadě patří mé poděkování rodině a přátelům.

ANOTACE

Jméno a příjmení	Aneta Vaculíková
Katedra:	Katedra biologie
Vedoucí práce:	Mgr. Eva Jahodářová, Ph.D.
Rok obhajoby:	2024

Název práce:	Průzkum půdních vláknitých sinic jihozápadní části okresu Vsetín
Název v angličtině:	Research of soil filamentous cyanobacteria in the southwestern part of the Vsetín district
Anotace práce:	<p>Půdní sinice patří mezi skupinu mikroorganismů s málo prozkoumanou diverzitou. Tato práce je zaměřena na průzkum půdních vláknitých sinic v okrese Vsetín. Vzorky sinic byly sesbírány na dvou lokalitách z lesních kaluží v jihozápadní části okresu Vsetín. Sinice byly morfologicky charakterizovány, kultivovány v Z mediu a izolovány na čisté kmenové kultury. Některé kmeny byly kultivovány v odlišných podmínkách (v mediu bez dusíku, bez fosforu a ve tmě). Na základě morfologie byly určeny druhy <i>Geitlerinema splendidum</i>, <i>Phormidium tergestinum</i> a <i>Phormidium ambiguum</i>. U druhu <i>Geitlerinema splendidum</i> byly během kultivace pozorovány modré útvary, které se zde před kultivací nevyskytovaly. Byly pozorovány změny v morfologii při odlišných podmínkách kultivace, především ve změně velikosti buněk.</p>

Klíčová slova:	Sinice, diverzita, kultivace, izolace, morfologie, taxonomie
Anotace v angličtině:	<p>Our knowledge of the diversity of soil cyanobacteria is still limited. This bachelor thesis is focused on an exploration the diversity of soil filamentous cyanobacteria in the Vsetín district. Cyanobacterial samples were collected at two sites from forest puddles in the southwestern part of Vsetín district. Cyanobacteria were morphologically characterized, cultured in Z medium and isolated on pure stem cultures. Some strains were cultured in different conditions (in medium without nitrogen, without phosphorus and in the dark). Based on morphology, the species <i>Geitlerinema splendidum</i>, <i>Phormidium tergestinum</i> and <i>Phormidium ambiguum</i> were identified. Blue formations were observed in <i>Geitlerinema splendidum</i> during cultivation, which were not present before cultivation. Changes of morphology were observed under different culture conditions, especially in the change of cell size.</p>
Klíčová slova v angličtině:	Cyanobacteria, diversity, cultivation, isolation, taxonomy
Rozsah práce:	49 stran + 12 stran příloh
Jazyk práce:	Čeština

OBSAH

1	ÚVOD	8
2	CÍLE PRÁCE	10
3	CHARAKTERISTIKA SINIC	11
3.1	VLÁKNITÉ SINICE	12
4	PŮDNÍ SINICE	14
4.1	BIOLOGICKÉ PŮDNÍ KRUSTY	15
5	TAXONOMIE SINIC	17
5.1	HISTORIE TAXONOMIE SINIC	17
5.2	PROBLEMATIKA TAXONOMIE SINIC	17
5.3	CHARAKTERISTIKA VYBRANÝCH RODŮ SINIC	18
5.3.1	<i>Rod Microcoleus</i>	18
5.3.2	<i>Rod Phormidium</i>	19
5.3.3	<i>Rod Geitlerinema</i>	19
6	CHARAKTERISTIKA LOKALITY	21
6.1	PRVNÍ LOKALITA	22
6.2	DRUHÁ LOKALITA	23
7	MATERIÁLY A METODY	24
7.1	SBĚR VZORKŮ	24
7.2	KULTIVACE A IZOLACE	24
7.3	MORFOLOGICKÉ HODNOCENÍ IZOLOVANÝCH KMENŮ SINIC	25
7.4	KULTIVACE V ODLIŠNÝCH PODMÍNKÁCH	25
8	VÝSLEDKY	26
8.1	MORFOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA NALEZENÝCH DRUHŮ SINIC	26
8.1.1	<i>Geitlerinema splendidum</i> kmeny K1V1_R, K1V1_S a K1V1_T	26
8.1.2	<i>Phormidium tergestinum</i> kmeny K2V1_A, K2V1_B, K2V1_C, K2V1_D, K2V1_E, K2V1_F, K2V1_G, K2V1_H, K2V1_I, K2V1_J, K2V1_K, K2V1_L, K2V1_M, K2V1_N a K2V1_O	27
8.1.3	<i>Phormidium ambiguum</i> kmeny K4B1_P a K4B1_Q	28
8.2	SLEDOVÁNÍ MORFOLOGICKÝCH ZMĚN U KMENŮ KULTIVOVANÝCH V NESTANDARDNÍM Z MEDIU A VE TMĚ	28
8.2.1	<i>Geitlerinema splendidum</i> kmen K1V1_R bez dusíku	28
8.2.2	<i>Geitlerinema splendidum</i> kmen K1V1_R bez fosforu	29
8.2.3	<i>Geitlerinema splendidum</i> kmen K1V1_R ve tmě	29
8.2.4	<i>Phormidium tergestinum</i> kmen K2V1_L bez dusíku	29

8.2.5	<i>Phormidium tergestinum</i> kmen K2V1_L bez fosforu	29
8.2.6	<i>Phormidium tergestinum</i> kmen K2V1_L ve tmě	29
8.2.7	<i>Phormidium ambiguuum</i> kmen K4B1_Q bez dusíku	30
8.2.8	<i>Phormidium ambiguuum</i> kmen K4B1_Q bez fosforu	30
8.2.9	<i>Phormidium ambiguuum</i> kmen K4B1_Q ve tmě	30
9	DISKUZE	31
10	ZÁVĚR	36
11	LITERATURA	37
12	PŘÍLOHY	49

1 ÚVOD

Sinice jsou fotosyntetizující mikroorganismy vyskytující se ve vodních i suchozemských biotopech, včetně oceánů, sladkých vod a půdy (Whitton & Potts, 2012). Ve vodním prostředí mohou být vázané na makrofyty (epifytické), na substrát (bentické) nebo se vznášejí ve vodním sloupci (planktonní) (Catherine et al., 2013). Jsou považovány za první fotosyntetické organismy na Zemi produkující kyslík (Rasmussen et al., 2008). Fosilní záznamy o stáří sinic pocházejí z odebraných vzorků ze stromatolitů. Tyto důkazy naznačují, že jejich geologické stáří je více než 3,5 miliardy let. Nejlépe zdokumentované fosilní sinice spadají do čeledi Oscillatoriaceae, Nostocaceae a Chroococcaceae (Schopf, 2012).

Sinice mohou vytvářet vodní květy, které způsobují závažné problémy s kvalitou vody. Faktory způsobené masovým rozvojem sinic jsou například úhyny ryb, narušení rekreační funkce jezer a nádrží na pitnou vodu a produkce cyanotoxinů (shrnuto ve Huisman et al., 2018). Mohou sloužit jako zdroj potravy. Biomasa sinic obsahuje vysoké množství bílkovin. Například *Arthrospira* obsahuje různé vitamíny a podíl bílkovin je v rozmezí 50–70 % (Grosshagauer et al., 2020).

Dříve se diverzita sinic zkoumala podle ekologických a morfologických znaků. Avšak tyto charakteristiky mohou být proměnlivé a závislé na podmínkách prostředí. Jeden z hlavních problémů při morfologickém určování sinic je kryptická diverzita. Sinice patřící do odlišných rodů mohou vykazovat velice podobné nebo dokonce identické fenotypy, což může vést k nesprávnému určení druhů (Skoupý et al., 2022). K vymezení taxonů se proto využívá kombinace morfologických, ekologických a genetických dat (Komárek, 2016). Většina nově navržených druhů a rodů sinic bylo popsáno na základě fylogenetické analýzy genu 16S rRNA pro malou podjednotu ribozomu. Využití sekvenování genu 16S rRNA většinou není dostačující pro rozlišení mezi taxony na úrovni druhů (Johnson et al., 2019). Proto se i díky snižujícím nákladům na sekvenaci celého genomu (WGS) stala tato metoda dostupnější, což rozšířilo její použití pro fylogenetické studie (Berube et al., 2018). Do čeledi Oscillatoriaceae byly v minulosti zařazeny téměř všechny sinice s jednoduchou vláknitou stélkou. S příchodem moderních molekulárních metod bylo zjištěno, že mnoho rodů je polyfyletických, včetně některých nejběžnějších a druhově nejbohatších z nich jako je například *Phormidium* nebo *Lyngbya* (shrnuto ve Skoupý et al., 2022). Pro popis jak známých, tak nově objevených sinic je nezbytné získání jejich kmenů, což zahrnuje izolaci, purifikaci a kultivaci (Temraleeva et al., 2016).

Zatímco v mírném pásmu je diverzita sinic relativně dobře probádána, v některých zeměpisných oblastech (např. tropických a polárních) a specifických stanovištích (např. bentických a aerofytických) existují značné mezery ve znalostech o rozmanitosti sinic. Přestože je sladkovodním biotopům věnována větší pozornost než suchozemským, práce zabývající se společenstvem mikrořas nejsou rovnoměrně rozloženy (Dvořák et al., 2017). K lednu 2013 byl poměr studií o společenstvech planktonních, epifytických a epipelických mikrořas 62:32:4 (Pouličková et al., 2014). Z toho vyplývá, že i bentické a půdní sinice patří do skupiny nejméně prozkoumaných společenstev.

2 CÍLE PRÁCE

Cílem práce bylo získat informace o morfoloické diverzitě půdních vláknitých sinic v okolí jihozápadní části okresu Vsetín. Hlavním cílem bylo vytipovat vhodné lokality s výskytem půdních sinic a odebrat vzorky. Získané vzorky sinic byly v laboratoři morfoloicky charakterizovány a následně kultivovány v tekutém mediu. Rovněž byly ze vzorků izolovány čisté kmenové kultury, které byly charakterizovány na základě morfoloie a vyfotografovány.

U některých kmenů bylo přistoupeno ke kultivaci v upraveném kultivačním mediu nebo ve tmě, následně byly vyhodnoceny morfoloické změny jednotlivých vláken v kultuře.

3 CHARAKTERISTIKA SINIC

Sinice patří mezi nejrozšířenější skupinu prokaryotických organismů schopných fotosyntézy (Dvořák et al., 2023). Vyvinuly se přibližně před 3,5 miliardami let (Blank & Sanchez-Baracaldo, 2010). Jejich fotosyntetická aktivita v období raného proterozoika (2,4 mld let) náhle zvýšila koncentraci kyslíku v atmosféře. Tato událost, označována jako velká kyslíková katastrofa (Bekker et al., 2004), představovala velký zlom na planetě Zemi, protože způsobila vymírání anaerobních organismů. Zároveň pravděpodobně poskytla potřebnou metabolickou energii k diverzifikaci a vytvoření složitějších organismů (Dvořák et al., 2023). Sinice patří mezi významné primární producenty. Z jednoduchých anorganických látek vytvářejí za přítomnosti světla organickou hmotu (Whitton, 2012). Rovněž dokáží zpřístupnit atmosférický dusík a díky tomu jsou schopné vytvořit symbiotické vztahy s širokou škálou eukaryotických organismů (od hub, přes rostliny až po mořské korály) (Whitton & Potts, 2002).

Díky své dobré přizpůsobivosti osídlují téměř všechny typy prostředí. Během svého dlouholetého evolučního vývoje si vyvinuly schopnost přežít i v extrémních biotopech od horkých pramenů po mrazivé polární oblasti (Whitton & Potts, 2002). Někteří jedinci tolerují i vysoké koncentrace soli. Například *Microcoleus chthonoplastes* se vyskytuje v hypersalinním prostředí, kde salinita dosahuje hodnot vyšších než 200 g l^{-1} (Dubinin et al., 1992). Pro řadu sinic je teplotní optimum o několik stupňů vyšší než u většiny řas (Castenholz & Waterbury, 1989), a tím mají jistou konkurenční výhodu v teplejších oblastech (Kosten et al., 2012).

Jisté druhy sinic vytvářejí za příznivých podmínek ve sladkovodním prostředí vodní květy. Jedná se o jev, kdy dochází k masovému rozvoji sinic ve vodách se zvýšeným obsahem živin, zejména dusíku a fosforu. Květy sinic mohou mít škodlivé účinky na vodní ekosystémy, protože mění pH, vyčerpávají kyslík a produkují toxiny, které jsou škodlivé nejen pro člověka, ale většinou i pro další organismy (Oliver & Ganf, 2002). Rozvoj sinic mimo jiné podporuje také optimální teplota a hodnoty pH ve vodě (Whitton, 2012).

Ve srovnání s jinými prokaryotickými organismy vykazují sinice poměrně vysoký stupeň morfologické diferenciace, do které zahrnujeme rozměry buněk, tvar, barvu, typ větvení a vlastnosti slizových obalů (shrnuto ve Komárek & Anagnostidis, 1998, 2005; Komárek, 2013). Sinice tvoří stélku jednobuněčnou nebo vláknitou, oba typy stélek mohou tvořit kolonie. Kolonie jednobuněčných sinic mohou mít pravidelné (např. *Merismopedia*), nebo nepravidelné (např. *Microcystis*) uspořádání buněk (Dvořák et al., 2017). Buňky také často vytvářejí slizové pochvy z exopolysacharidů, které mohou vznikat vlivem prostředí a slouží jako ochrana před

vysycháním a UV zářením (Ehling-Schulz & Scherer, 1999). Některé sinice mají na povrchu buňky krystalickou bílkovinnou S-vrstvu pokrývající celý povrch stélky. Jedná se zřejmě o důležitou strukturu v pohyblivosti vláken (Hoiczuk & Hansel, 2000). Dříve používaný název blue-green algae již napovídá o typickém zbarvení sinic. Nejčastější zbarvení sinic je právě modrozelené, avšak jsou pozorovány i druhy s odstíny zelené, červené, červenofialové až černé barvy (Rippka, 1988). Několik rodů sinic dokáže změnit počet jednotlivých fykobilinových pigmentů za účelem zvýšit spektrální šířku absorpce světla (Komárek, 2014). Fykocyanin a allofykocyanin jsou modré pigmenty a patří do skupiny fotosyntetických barviv spolu s červeným fykoerytrinem (Whitton & Potts, 2012).

U sinic se vyskytuje pouze nepohlavní rozmnožování. Pohlavní rozmnožování nebylo doposud pozorováno. Sinice se rozmnožují prostým dělením buněk, kdy dochází k zaškrvení plazmatické membrány a buněčné stěny směrem od obvodu ke středu buňky. Výsledkem je vznik dceřiných buněk z buňky mateřské (Castenholz et al., 2001). Jednobuněčné sinice se mohou reprodukovat takéž skrze pohyblivé či nepohyblivé endospory zvané baeocyty a exocyty. Vlákňité sinice mohou produkovat krátká, často pohyblivá vlákna zvaná hormogonie, které se oddělují od mateřského vlákna (Komárek & Anagnostidis, 1998).

S postupným pokrokem ve výzkumu sinic dochází k pochopení důležitých procesů, které formují jejich evoluci. Mezi tyto procesy patří genetický tok, který u sinic probíhá zejména prostřednictvím horizontálního přenosu genů nebo homologními rekombinacemi (Dvořák et al., 2015b). Homologní rekombinace (HR) však mohou vytvářet podobné vzorce evoluce, jaké jsou pozorovány u meiotické rekombinace během pohlavního rozmnožování eukaryot (Dvořák et al., 2023). Aby byla HR účinná a podobala se pohlavní reprodukci eukaryot, musí být výrazně vyšší než míra mutací (Fraser et al., 2007). Na základě toho, že HR zanechává u sinic rozsáhlou genetickou rozmanitost i při absenci pohlavního rozmnožování, by se daly považovat obecně za kvazi-sexuální (Rosen et al., 2015).

3.1 Vlákňité sinice

Stélka vláknitých sinic může být jednoduchá nebo větvená. Větvení dělíme na pravé a nepravé. Nepravé větvení se vyskytuje ve všech řádech vláknitých sinic, zatímco pravé větvení bylo pozorováno pouze u řádu Nostocales (Dvořák et al., 2017). Podle polarit rozlišujeme vlákna na izopolární (oba konce mají stejné zakončení) a heteropolární (konce jsou morfologicky odlišné) (Komárek & Anagnostidis, 2005). Aerotopy, heterocyty a akinety jsou specializované struktury a buňky vyskytující se pouze u některých vláknitých sinic. Aerotopy představují

systemy plyných struktur uvnitř buněk, umožňují nadnášení sinic ve vodním sloupci. Heterocyty jsou specializované buňky nacházející se pouze u některých vláknitých sinic (řád Nostocales). Většinou vznikají z vegetativních buněk a vyznačují se tlustou buněčnou stěnou, čirým obsahem a odlišným tvarem. Slouží k fixaci vzdušného dusíku za pomoci enzymu nitrogenáza (Meeks et al., 2002). Akinety jsou specializované buňky, které slouží k přežití nepříznivých podmínek. U některých rodů čeledi Oscillatoriaceae se může vyskytovat modifikovaná apikální buňka zvaná kalyptra. Význam kalyptry je doposud neznámý, ale její výskyt je považován za důležitý znak pro rozlišování druhů (Whitton & Potts, 2012).

4 PŮDNÍ SINICE

Půdní sinice tvoří spolu s bakteriemi, houbami a velkým počtem různých druhů bezobratlých živočichů biologicky nejrozmanitější síť na planetě Zemi (Bonkowski et al., 2009). Sinice jsou nedílnou součástí půdní mikroflóry, ale na povrchu půdy se vyskytují jen určité druhy sinic. Schopnost růst na půdě je totiž charakteristická převážně pro vláknité sinice rodu *Nostoc*, *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Microcoleus* a další. Tyto sinice tvoří jen malé procento z celkové diverzity půdních sinic (Temraleeva et al., 2016).

Shtina et al. (1998) uvádí, že rozdílné půdní typy jsou charakterizovány různými komplexy sinicových taxonů. Tento fakt naznačuje skutečnost, že složení sinicových populací může sloužit jako jeden z půdních diagnostických ukazatelů. Půdy s vysokým obsahem soli jsou charakterizovány přítomností halofilních sinic rodu *Oscillatoria*, *Microcoleus*, *Schizothrix* a dalších. Naopak alkalické půdy se vyznačují výskytem sinicových rodů jako jsou *Nostoc*, *Anabaena*, *Tolypothrix* a dalších (Temraleeva et al., 2016).

Výskyt půdních sinic je ovlivněn především půdní vlhkostí, která je pro mnoho organismů důležitá pro přežití. Mezi další faktory ovlivňující výskyt půdních sinic řadíme hodnotu pH, množství minerálních živin a množství světla (Patzelt et al., 2014). Například indikátorem nižší půdní vlhkosti jsou xerofilní sinice řádu Oscillatoriales (Shtina et al., 1998). Na vlhkých půdách v Antarktidě byly rovněž široce rozšířeny vláknité sinice z řádu Oscillatoriales, především však druh *Phormidium autumnale* (Strunecký et al., 2012). Mezi typické druhy aerofytických oblastí v Arktidě patří například *Kamptomena animale*, *Leptolyngbya boryana*, *Microcoleus autumnalis*, *Phormidium ambiguum*, které byly nalezeny na povrchu půdy i uvnitř půdní vrstvy (Davydov & Patova, 2018).

Dočasný jev vznikající na povrchu půdy v důsledku dešťových srážek se označuje jako louže. Voda pochází nejen z deště, ale také z povrchového odtoku, kterým se na dno kaluže dostává především jíl a další suspendované částice. Tyto částice následně vytvářejí vodotěsný povrch nezbytný pro zachování louže. Na dně kaluže se vytváří dnový biofilm, ve kterém jsou obvykle zastoupeny sinice rodu *Oscillatoria* nebo *Phormidium* (Zavarzin & Alekseeva, 2009). Kaluže se řadí mezi aerofytické stanoviště (Dvořák et al., 2015b). Při vysychání jsou sinice a další půdní organismy z kaluže vystaveny suchu (Zavarzin & Alekseeva, 2009). Sinice rostoucí na souši označujeme jako aerofytické. Jsou to sinice velice odolné a přizpůsobivé zejména vůči vysychání. Některé druhy sinic produkují slizové pochvy, které oddalují jejich dehydrataci (Whitton & Potts, 2002). Aerofytické sinice jsou označovány za nadměrně přizpůsobivé

organismy a jsou schopné primárně osídlovat nové lokality (Whitton & Potts, 2002). Voda z kaluží patří mezi sladké vody a její konduktivita závisí na půdním podloží, obvykle se však pohybuje kolem 30 μS (Zavarzin & Alekseeva, 2009).

Kapalná kultivační media, která se pro kultivaci půdních vláknitých sinic používají, vychází z napodobeniny sladké nebo mořské vody. Tato media nemohou napodobit rozmanitost půdního prostředí. V ideálním případě by mělo být kultivační medium půdních vláknitých sinic podobné prvkovému složení půdy. Avšak specifická media pro kultivaci půdních sinic nebyla doposud vyvinuta, a nejen kvůli metodickým problémům (jako je kultivace a izolace) se zdá být druhová diverzita půdních sinic podhodnocena (Temraleeva et al., 2016). Přenos vzorků z terénu do laboratoře může být pro sinice stresující a měl by být proto šetrný (Hagemann, 2002). Předpokladem pro správnou identifikaci půdních sinic je získání čistých kmenů. Mezi nezbytné kroky k určení patří mikroskopické pozorování, měření délky a šířky vegetativních buněk, barva kolonií a přítomnost či absence slizové pochvy. Značné procento půdních mikroorganismů je podle převládajícího názoru nekultivovatelné, ale správně zvolená metoda izolace, purifikace a kultivace může zajistit úspěšné zkoumání daného objektu (Temraleeva et al., 2016).

4.1 Biologické půdní krusty

Biologické půdní krusty (biokrusty) vznikají spojením půdních částic s různými poměry fotoautotrofních (např. sinic, řas a lišejníků) a heterotrofních (např. bakterií a hub) organismů. Biokrusty se tvoří zejména díky přítomnosti vláknitých sinic obalených ve slizových pochvách, na které se postupně nabalují půdní částice, bakterie, řasy, mechy a lišejníky v různém poměru (Williams et al., 2016). Na povrchu půdy se následně vytvoří souvislá vrstva živé kůry, která vzniká především díky přítomnosti a činnosti daných organismů (Weber et al., 2022).

Biokrusty jsou klíčové pro fungování ekosystémů. Zajišťují totiž fixaci uhlíku a dusíku, hnojí živinami chudé a suché půdy a mají mnohostranný vliv na klíčení a růst rostlin (shrnuto ve Weber et al., 2022). Zároveň spočívá jejich ekologický význam v ochraně půdy před erozí (Williams et al., 2016). Například se významně podílí na stabilizaci písečných dun v Negevské poušti v Izraeli (Lange et al., 1992).

O biodiverzitě sinic v půdních krustách je doposud málo informací, a to zejména v polárních a tropických oblastech (Skoupý et al., 2022). Biologické půdní krusty nalezneme po celém světě, avšak významnou roli mají právě v aridních oblastech (Belnap et al., 2001),

kde vytváří vhodné podmínky například pro rozvoj cévnatých rostlin, hmyzu nebo hlístic (Skoupý et al., 2022). Mezi nejběžnější rody vyskytující se v horkých i studených pouštích po celém světě se řadí *Microcoleus* spp., *Phormidium* spp., *Plectonema* spp., *Schizothrix* spp., *Tolypothrix* spp. a *Scytonema* spp. (Johansen, 1993). Výskyt biokrust byl potvrzen jak v arktických, tak antarktických oblastech (Belnap, 2001). Na těchto stanovištích patří sinice údajně mezi hlavní primární producenty. V oblasti Arktidy a Antarktidy byl zaznamenán hojný výskyt rodu *Phormidium*, *Lyngbya* a *Leptolyngbya*. Na odebraných vzorcích biomasy sinic z oblasti Antarktidy byla provedena analýza všech sekvencí genu 16S rRNA, která odhalila, že 57 % sinic patří k potenciaálně novým druhům a rodům (Gaysina et al., 2019). V současnosti se odhaduje, že biokrusty pokrývají asi 12 % povrchu Země a asi 30 % všech suchozemských půd (Rodriguez-Caballero et al., 2018).

Biokrusty jsou ohroženy různými faktory globálních změn. Například klimatické změny a způsoby obhospodařování půdy mohou způsobit silný pokles pokryvnosti biokrust jak v lokálním, tak v globálním měřítku (Weber et al., 2022). Biologické půdní krusty se stále častěji využívají ke stabilizaci narušených půd. O způsobu, jak biokrusty stabilizují půdu, není v současnosti dostatek informací. Pouze víme, že pozdější stádia biokrust lépe stabilizují půdu než ty dřívější. Pro další studie bude potřeba zjistit například skutečnost, proč jsou některé druhy sinic nebo jejich kombinace ve stabilizaci půd lepší než jiné (Belnap & Büdel, 2016).

5 TAXONOMIE SINIC

5.1 Historie taxonomie sinic

V 19. století Geitler (1932) navrhl pro taxonomii sinic tři řády: sinice s kokální stélkou rozmnožující se binárním dělením (Chroococcales), heteropolární typ s binárním dělením (Chamaesiphonales) a vláknité sinice (Hormogonales). Toto dělení podle Geitlera následně další autoři 20. století doplňovali o nové třídy a řády (Dvořák et al., 2015b). Dříve probíhala kategorizace a identifikace sinic na základě morfologických znaků a ekologie (Komárek & Anagnostidis, 2005). V druhé polovině 70. let byl přijat bakteriologický přístup při klasifikaci sinic (Stanier et al., 1978). Díky metodám z molekulární analýzy a buněčné reprodukce, které s sebou přinesl tento bakteriologický přístup, došlo k výraznému pokroku v taxonomii sinic (Dvořák et al., 2015b). Později byla provedena obsáhlá studie, kde autoři Anagnostidis & Komárek (1988, 1990) a Komárek & Anagnostidis (1986, 1989) zahrnuli v taxonomii sinic botanický i bakteriologický přístup a vytvořili čtyři řády: sinice bez vláknitých stélek (Chroococcales), vláknité sinice bez specializovaných buněk (Oscillatoriales), sinice s možným výskytem specializovaných buněk (Nostocales) a řád sinic, které obsahují specializované struktury s pravým i nepravým větvením (Stigonematales). Současná klasifikace, založená na polyfázickém přístupu, rozděluje sinice do osmi řádů: Gloeobacterales, Synechococcales, Spirulinales, Pleurocapsales, Chroococciopsidales, Chroococcales, Oscillatoriales, a Nostocales (Komárek et al., 2014). Polyfázický přístup zahrnuje kombinaci morfologických, ekologických a genetických dat (Jahodářová et al., 2018).

5.2 Problematika taxonomie sinic

Molekulární přístup výrazně změnil a upravil předešlý fylogenetický systém a ukázal, že morfologická analýza se jeví jako nedostatečná (Komárek, 2014). Bylo zjištěno, že určité morfologické znaky, jako například přítomnost slizové pochvy nebo specializovaných buněk, se mohou měnit vlivem stáří kultury, složení media nebo podmínek kultivace (fenotypová plasticita) (Dvořák et al., 2023). Například u *Microcoleus vaginatus* byly pozorovány změny v utváření slizových pochev. Ve vzorku odebraného z půdní krusty se více vláken vyskytovalo ve společné slizové pochvě, zatímco při kultivaci v tekutém médiu s dusíkem byla vlákna většinou samostatně (Garcia-Pichel et al., 1996). K vymezení rodu pomocí genetických metod se v posledních 20 letech využívala hlavně metoda sekvenování genu 16S rRNA. Ukázalo se, že tento přístup není dostatečný, a pro lepší rozpoznání rozmanitosti prokaryot se začalo

využívat celogenomové sekvenování (WGS) (Dvořák et al., 2023). I přesto je ale morfologická charakteristika důležitá pro počáteční identifikaci a pro orientaci v obrovské diverzitě sinic (Komárek & Anagnostidis, 2005). V současné době se k taxonomické revizi nejčastěji využívá polyfázický přístup, který kombinuje genetická, morfologická a ekologická data (Jahodářová et al., 2018).

Sinice se přizpůsobují svému prostředí, ve kterém žijí. Při změně podmínek v biotopu se mohou měnit i některé z jejich morfologických znaků. Potom může nastat situace, kdy některé rody sinic budou na prostředí reagovat stejně, což může vést ke vzniku kryptických rodů. Za kryptické taxony se považují sinice, které vykazují stejné morfologické znaky, ale jsou taxonomicky odlišné (Komárek, 2016). Využití zejména molekulární analýzy sekvence genu 16S rRNA odhalil častý výskyt kryptických druhů. Kryptickou diverzitu vykazují například rody *Microcoleus*, *Phormidium* a *Oculatella* (shrnutí ve Dvořák et al., 2015b). U rodu *Oculatella* bylo popsáno 7 nových kryptických druhů, které byly identifikovány na základě sekvenování ITS regionu mezi 16S-23S rRNA (Osorio-Santos et al., 2014).

V porovnání s eukaryotickými organismy mají sinice poměrně malý počet morfologických znaků vzhledem k jejich genetické rozmanitosti. To vede k častým projevům konvergentní evoluce, kdy se podobné morfologické znaky pravděpodobně vyvinuly nezávisle u různých linií (Dvořák et al., 2015b).

I díky kryptické diverzitě a konvergentní evoluci se ukázala být většina rodů polyfyletických a je potřeba jejich revize (Dvořák et al., 2017).

5.3 Charakteristika vybraných rodů sinic

5.3.1 Rod *Microcoleus*

Rod *Microcoleus* patří do řádu Oscillatoriales (Anagnostidis & Komárek, 1988). Je považován za polyfyletický taxon (Dvořák et al., 2017). Sinice rodu *Microcoleus* tvoří poměrně dlouhé trichomy sdružené do svazečku se společnou slizovou pochvou. Slizová pochva je rozšířená a většinou bezbarvá. Trichomy jsou rovné, ke konci většinou zúžené a mohou být zakončené kalyptrou. Buňky jsou cylindrického tvaru, občas téměř isodiametrické. Uvnitř buněk se vyskytuje granulace (Komárek & Anagnostidis, 2005).

Morfologické znaky rodu *Microcoleus* mohou být podobné s rodem *Phormidium*. Odlišovaly se od sebe podle tvorby slizové pochvy, nicméně se nejedná o stabilní znak (Dvořák

et al., 2012; Hašler et al., 2012). Revizí druhu *Microcoleus chthonoplastes* byl vyčleněn samostatný rod s názvem *Coleofasciculus* (Dvořák et al., 2017).

Typovým druhem tohoto rodu je *Microcoleus vaginatus*. Vykazuje modrozelené, olivové nebo tmavě zelené zbarvení. Slizová pochva obsahuje většinou více trichomů. Konce vláken jsou různě zprohýbané, ke konci zúžené. Buňky jsou kratší než široké, často s výraznou granulací na přepážkách. Délka buněk je v rozmezí 2-5 μm . Apikální buňka má obvykle kuželovitý tvar s kalyptrou. Vyskytuje se nejčastěji na povrchu půd, na stěnách skal nebo ve vodním prostředí (Komárek & Anagnostidis, 2005). Vzorky sinic druhu *Microcoleus vaginatus*, které byly odebrány z aerofytických stanovišť, měly více vláken ve společné slizové pochvě. Naopak kmeny izolované z epipelonu žádné slizové pochvy nevytvářely (Dvořák et al., 2015b).

5.3.2 Rod *Phormidium*

Tento rod patří do řádu Oscillatoriales (Anagnostidis & Komárek, 1988). Vlákna nemusí být pouze přisedlá k podkladu, ale mohou se i volně vznášet ve vodním sloupci. Trichomy různě zprohýbané, často vzájemně propletené. Slizové pochvy jsou tenké nebo tlusté, většinou bezbarvé. Dlouhé trichomy dosahující šířky 2,5-11 μm . Buňky jsou válcovité, izodiametrické nebo kratší či delší než široké. Koncové buňky jsou zaoblené nebo kuželovité, mohou být zakončené kalyptrou. Rozmnožování probíhá rozpadem trichomu na pohyblivá hormogonia nebo skrze nekrotickou buňku (Komárek & Anagnostidis, 2005).

Do rodu *Phormidium* sensu lato patří přes 200 druhů a je definován jako polyfyletický taxon. Jedná se o rod s doposud neprozkoumanou druhovou rozmanitostí. Z rodu *Phormidium* byly vyčleněny samostatné rody *Geitlerinema*, *Wilmottia* a *Kamptonema* (Dvořák et al., 2017).

Typový druh *Phormidium inundatum* má modrozelené trichomy. Rovná, občas zprohýbaná vlákna. Tenká slizová pochva. Buňky jsou téměř isodiametrické. Šířka dosahuje v rozmezí 3-5 μm a délka 3,3-8 μm . Koncové buňky jsou zaoblené a kuželovité, bez přítomnosti kalyptry. Je poměrně rozšířená. Vyskytuje se jak v tekoucích, tak stojatých vodách (Komárek & Anagnostidis, 2005).

5.3.3 Rod *Geitlerinema*

Rod patří do řádu Oscillatoriales (Anagnostidis & Komárek, 1988). Jedná se o vláknité sinice s absencí slizové pochvy a nekrotických buněk. Trichomy jsou poměrně dlouhé, různě zprohýbané. Terminální buňky jsou prodloužené, občas hákovitě zahnuté. Šířka buněk je většinou v rozmezí 1-4 μm . Buňky často obsahují nápadné granule. Rozmnožují se rozpadem

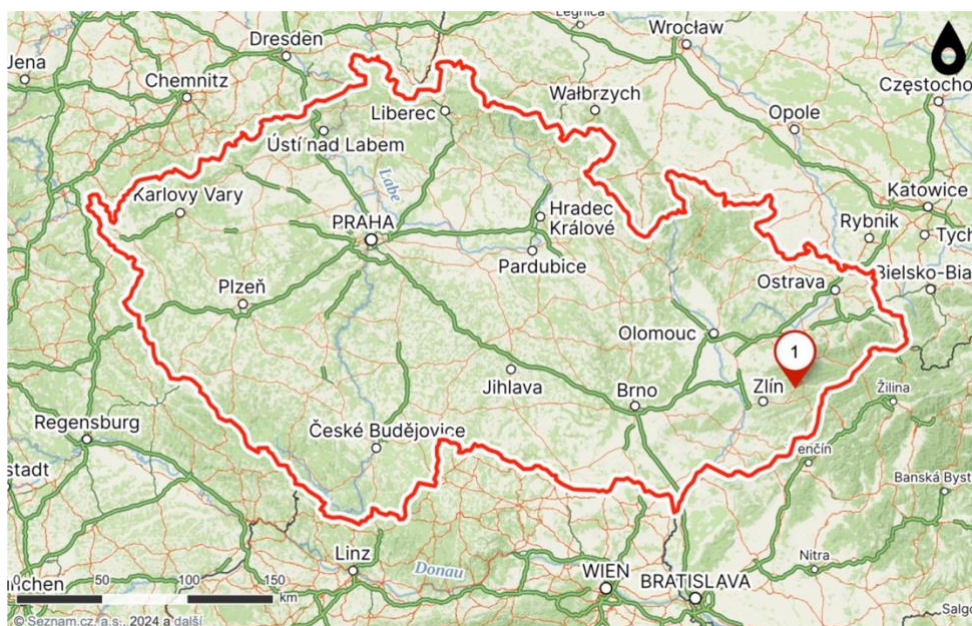
trichomu na pohyblivá hormogonia. Vyskytují se na ponořených substrátech, kde vytvářejí souvislé povlaky (Komárek & Anagnostidis, 2005).

Hašlet et al. (2012) navrhl rod jako polyfyletický a postupně se začalo pracovat na jeho taxonomické revizi. Do nově vytvořeného rodu *Anagnostidinema* byla převedena většina druhů sinic, dříve řazené do rodu *Geitlerinema*. V revidovaném rodu *Geitlerinema* zůstal pouze jeden druh, který morfologicky odpovídá původnímu popisu tohoto rodu (Strunecký et al., 2017).

Typový druh *Geitlerinema splendidum* má výrazně pohyblivé modrozelené nebo olivově zelené trichomy. Pohyb vláken je rotující. Vlákna jsou široká 1,8-3,1 μm , směrem ke koncům zašpičatělá a hákovitě zahnutá. Buňky jsou 2-4x delší než široké, délka buněk je 3-9 μm . Buňky obsahují nápadité granule. Vyskytují se na ponořených listech vodních rostlin a jiných předmětech ve stojatých vodách (Komárek & Anagnostidis, 2005).

6 CHARAKTERISTIKA LOKALITY

Obě lokality, kde byly vzorky sinic odebrány, se nachází ve východní části České republiky (Obrázek 1). Místa odběrů spadají pod Hostýnské vrchy, které se řadí do Vsetínského bioregionu. Vsetínský bioregion patří do Západokarpatské podprovincie, která zahrnuje geomorfologický celek Javorníky, východní část Hostýnsko-vsetínské hornatiny a severní výběžek Vizovické vrchoviny (Culek et al., 2013).



Obrázek 1: Mapa umístění lokality, zdroj: mapy.cz, 23.3. 2024, upraveno autorkou)

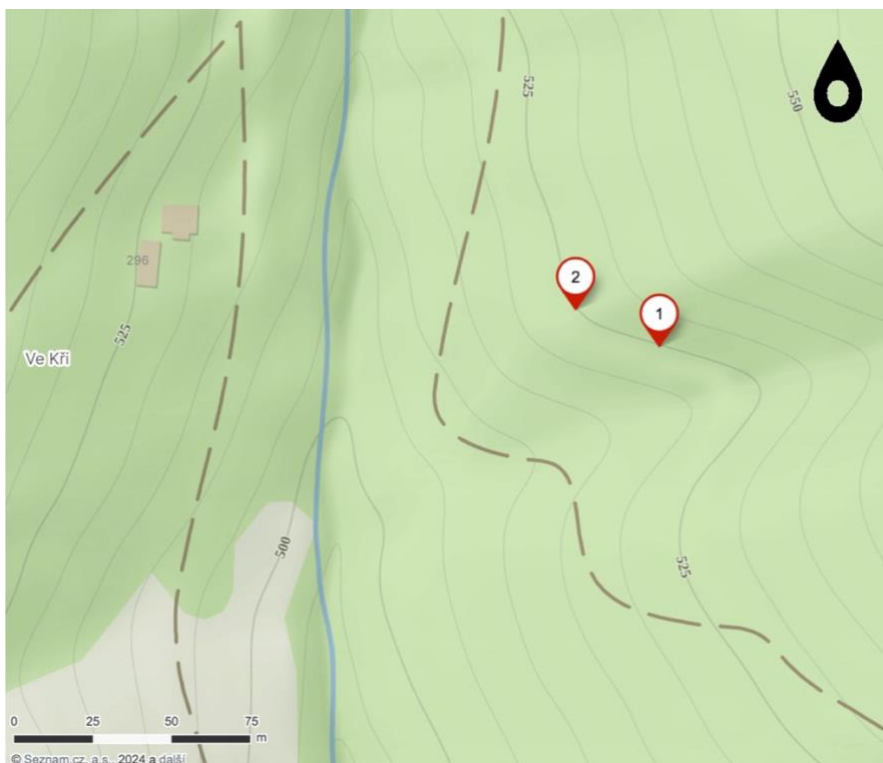
Bioregion je tvořen monotónním souvrstvím flyšových slepenců, pískovců a jílovců. Převládají nevápnité horniny a ve flyšové části je převážně odolnější pískovcová složka. Reliéf tvoří dlouhé, vysoké a zaoblené horské hřbety. Častým výskytem jsou kotliny podél říčních toků a široká údolí mezi hřbety. Zcela zde dominují silně kyselé kambizemě. V nejvyšších vrcholech se vyskytují i kambizemní podzoly. V nížinách, v okolí řeky Bečvy, se rozprostírají nivy. Na nivách jsou vyvinuty fluvizemě s vysokým obsahem pískovcového šterku (Culek et al., 2013). Podle Quittovy (1971) klasifikace se řadí kotliny do mírně teplé oblasti MT 2, větší část území do chladné klimatické oblasti CH 7 a vyšší hřbety do CH 6. V porovnání s Moravskoslezskými Beskydami je zde teplejší a sušší podnebí. Na hřbetech teploty klesají k 5 °C a srážky zde dosahují 1100 mm. Z jižní části z Pováží zde zasahují teplé větry (Culek et al., 2013).

6.1 První lokalita

Mapa zobrazuje odběrová místa první lokality (Obrázek 2). Nacházejí se v nadmořské výšce 524 m n. m. (Obrázek 2, bod 1) a 528 m n. m. (Obrázek 2, bod 2) a spadají do bukového vegetačního stupně (Zlatník, 1976). Jednoznačně zde převládá smrková monokultura.

Vegetace v okolí není nikterak pestrá. Z keřů se zde vyskytuje líska obecná (*Corylus avellana*), bez černý (*Sambucus nigra*), ostružiník maliník, maliník (*Rubus idaeus*) a další. Bylinné patro je zastoupeno například druhy devětsil bílý (*Petasites albus*), pomněnka lesní (*Myosotis sylvatica*), šťavel kyselý (*Oxalis acetosella*). Přimo u místa sběru se v podmáčené půdě vyskytovaly druhy jako řeřišnice hořká (*Cardamine amara*) a přeslička rolní (*Equisetum arvense*).

Svá hnízdiště zde má například datel černý (*Dryocopus martius*) a káně lesní (*Buteo buteo*). Ze zastoupení savců se zde vyskytuje zajíc polní (*Lepus europaeus*), prase divoké (*Sus scrofa*), srnec obecný (*Capreolus capreolus*) a další.



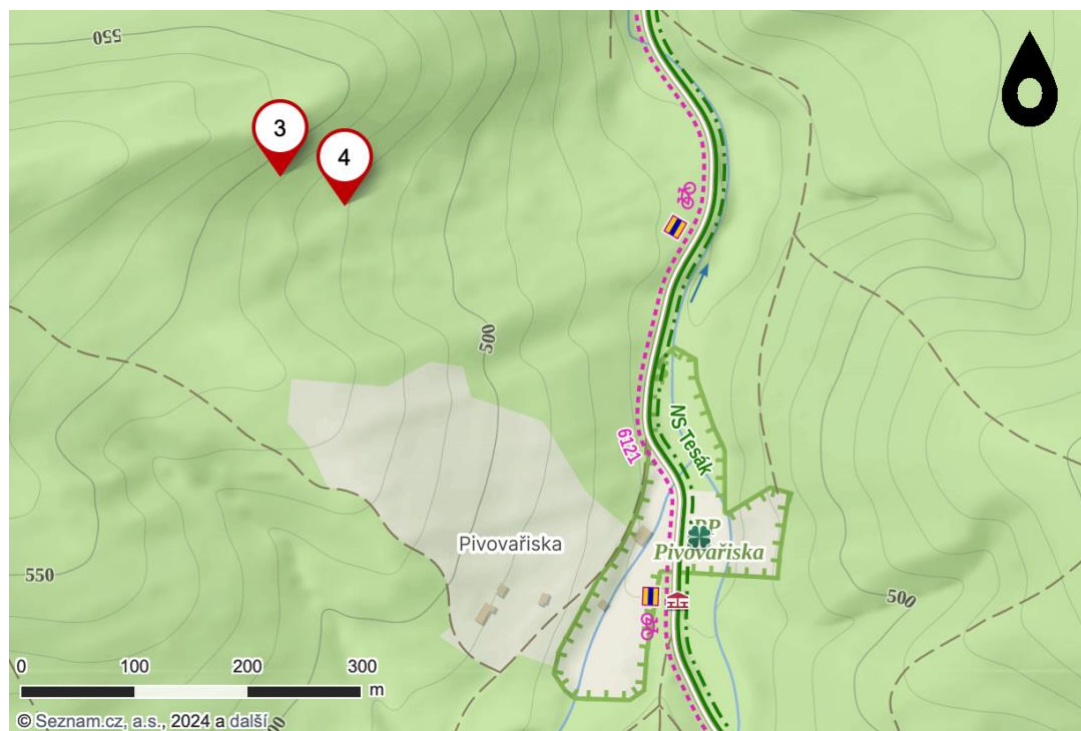
Obrázek 2: Jednotlivá odběrová místa z první lokality (bod 1 a 2), zdroj: mapy.cz, 19. 3. 2024, upraveno autorkou)

6.2 Druhá lokalita

Odběrová místa z druhé lokality již katastrálně spadají pod obec Hošťálková (Obrázek 3). Nachází se v nadmořské výšce 521 (Obrázek 3, bod 4) a 540 m n. m. (Obrázek 3, bod 3) a patří do bukového vegetačního stupně (Zlatník, 1976).

V porovnání s první lokalitou je zde vegetace pestřejší. V okolí se vyskytují botanicky významné druhy z čeledi vstavačovitých jako vstavač mužský (*Orchis mascula*), vstavač bledý (*Orchis pallens*), okrotice dlouholistá (*Cephalanthera longifolia*) a hlavinka horská (*Traunsteinera globosa*) (Machač, 2010).

V okolí potoka byl pozorován mlok svrnitý (*Salamandra salamandra*), skokan hnědý (*Rana temporaria*), ropucha obecná (*Bufo bufo*), kuňka žlutobřichá (*Bombina variegata*) a čolek horský (*Ichthyosaura alpestris*) (Machač, 2010).



Obrázek 3: Jednotlivá odběrová místa z druhé lokality (bod 3 a 4), zdroj: mapy.cz, 19. 3. 2024, upraveno autorkou)

7 MATERIÁLY A METODY

7.1 Sběr vzorků

Vzorky byly společně s trochou vody odebírány vydezinfikovanou lžičkou do uzavíratelných sáčků. Sběr proběhl v ranních hodinách a v každé kaluži bylo před odběrem provedeno měření chemicko-fyzikálních parametrů vody pomocí vodotěsného multimetru HI991001 značky Hanna Instruments. Byly měřeny hodnoty pH, konduktivity a teplota vody.

Odběr vzorků sinic byl proveden 28. 6. 2023 na dvou lokalitách, v obci Liptál a v obci Hošťálková. První lokalita se nacházela na stinném místě v jehličnatém smrkovém lese 1,2 km severně od autobusové zastávky Liptál, rozc. Sadová. Celkem zde byly provedeny tři odběry. A sice dva odběry z jedné kaluže označené K1V1, K1V2 a jeden vzorek z druhé kaluže značen K2V1. Přesné GPS souřadnice z první lokality: $49^{\circ}18'4.287''N$ $17^{\circ}55'3.370''E$ (Obrázek 2, bod 1), $49^{\circ}18'4.667''N$ $17^{\circ}55'2.057''E$ (Obrázek 2, bod 2) (zdroj: www.mapy.cz). Sběr z druhé lokality proběhl v blízkosti Přírodní památky Pivovařiska (nedaleko obce Hošťálková), 500 m severozápadně od informační tabule Pivovařiska, kde byly vzorky odebrány ve smíšeném lese na polostinném místě. Vzorky z druhé lokality byly označeny jako K3V1 a K4B1. Přesné GPS souřadnice místa odběrů z druhé lokality: $49^{\circ}19'40.160''N$ $17^{\circ}52'46.999''E$ (Obrázek 3, bod 3), $49^{\circ}19'39.314''N$ $17^{\circ}52'49.819''E$ (Obrázek 3, bod 4) (zdroj: www.mapy.cz).

Veškeré vzorky sinic byly v následujících dnech pozorovány pod světelným mikroskopem Olympus BX51, nafoceny kamerou značky Yizhan a morfologicky charakterizovány. Na základě morfologických znaků jako je délka a šířka buněk, koncový vzhled vláken, přítomnost či absence pochvy atd. proběhla pomocí určovacího klíče od Komárek a Anagnostidis (2005) základní identifikace nalezených zástupců sinic.

7.2 Kultivace a izolace

Vzorky z lokality byly kultivovány v Zehnder mediu (Z medium) podle Stauba (1961). Do Z media v Petriho miskách byl přenesen kousek biomasy sinic z odebraného vzorku. Víčka Petriho misek byla zafixována parafinem. Práce byla prováděna ve sterilním prostředí flow boxu Alpina. Kultivace probíhala po dobu 4 týdnů na severovýchodním okně při pokojové teplotě.

Stav kultur byl před izolací kmenů zkontrolován pod světelným mikroskopem Olympus CX22LED. Následně byla provedena izolace čistých kmenů pod mikroskopem pomocí skleněné kapiláry se silikonovým pipetovacím dudlíkem. Izolace probíhala ředící technikou, kdy bylo malé množství biomasy přeneseno do kapky sterilního Z media na podložní sklíčko. Pomocí skleněné kapiláry bylo chyceno jedno vlákno a následně přeneseno do další kapky sterilního media. V posledním kroku bylo vlákno přeneseno do jamky sérologické destičky obsahující kultivační medium.

Po nárůstu dostatečné biomasy v sérologické destičce byly jednotlivé kmeny přemístěny do sterilních zkumavek se Z mediem. Celkem bylo ze všech lokalit izolováno a kultivováno 64 kmenů, hodnoceno bylo následně vybraných 20 kmenů.

7.3 Morfologické hodnocení izolovaných kmenů sinic

Každý kmen byl pozorován pod mikroskopem CX22LED. V rámci morfologického hodnocení byla zkoumána barva, šířka a délka vegetativních buněk, granulace, přítomnost slizové pochvy a nekrotických buněk. V apikální části vlákna bylo pozorováno, zda dochází k zúžení vlákna nebo jestli je přítomná kalyptra. Morfologická analýza byla rovněž zaměřena na proplétání trichomů a na pohyb jednotlivých vláken nebo hormogonií.

Bylo prováděno měření šířky a délky vegetativních buněk. V každém z dvaceti kmenů bylo měřeno 30 buněk u 10 vláken. Měření probíhalo pod zvětšením 1000x s imerzním olejem. Jednotlivé kmeny byly nafoceny kamerou Yizhan.

7.4 Kultivace v odlišných podmínkách

Vybraný jeden kmen od každého nalezeného druhu (konkrétně kmen K1V1_R, K2V1_L a K4B1_Q) byl kultivován při odlišných podmínkách kultivace. Byly připraveny dva typy pozměněného Z media: Z medium bez dusíku ($N - NO_3^-$), Z medium bez fosforu ($P - HPO_4^{2-}$) a standardní Z medium. Každý kmen byl kultivován v upraveném kultivačním mediu bez dusíku, v mediu bez fosforu, ve tmě a v kontrolním neupraveném Z mediu. Vzorky byly kultivovány po dobu 14 dnů při pokojové teplotě.

Bylo provedeno měření délky a šířky vegetativních buněk a byly analyzovány změny v morfologii.

8 VÝSLEDKY

V první kaluži, kde byl vzorek označen K1V1, byla naměřena hodnota konduktivity 0,38 mS/cm, pH vody bylo 7,65 a teplota vody měla 12,7 °C. Chemicko-fyzikální parametry z druhé kaluže u vzorku K2V1 byly: konduktivita vody 0,36 mS/cm, pH vody 7,39 a teplota vody 12,2 °C. Sinice ze vzorku K1V2 během kultivace zanikly, nadále se s nimi již nepracovalo. Měření na první lokalitě se uskutečnilo dne 28. 6. 2023. v 6:30 hod.

Na druhé lokalitě byly měřeny chemicko-fyzikální parametry pouze u první kaluže u vzorku K3V1, protože vzorek K4B1 byl odebrán z vysychající kaluže bez vody. V kaluži u vzorku K3V1 byla naměřena konduktivita vody 0,24 mS/cm, pH vody 7,12 a teplota vody byla 13,5 °C. Z druhé lokality se vzorek K3V1 nevyužil, protože biomasa během kultivace zanikla. Měření na druhé lokalitě proběhlo dne 28.6. 2023 v 8:15 hod.

8.1 Morfologická charakteristika nalezených druhů sinic

K identifikaci všech kmenů sinic byl použit klíč od Komárek & Anagnostidis (2005)

8.1.1 *Geitlerinema splendidum* kmeny K1V1_R, K1V1_S a K1V1_T

Biomasa pokrývala souvislou vrstvou celý povrch zkumavky. Vlákna se vyskytovala také volně v mediu ve hvězdicovitých koloniích. Barva byla u všech kmenů světle modrozelená. Vlákna byla výrazně pohyblivá. Pohyb byl rotující a ovíjivý. Nekrotické buňky ani slizové pochvy se zde nevyskytovaly. Hormogonia byla občas přítomna. Zakončení vláken bylo buď rovné a konce zaoblené, nebo byla vlákna heteropolární – z jedné strany zašpičatělá a často hákovitě zahnutá. Některé koncové buňky byly zakončeny kalyptrou. Buňky byly přibližně dvakrát delší než širší, uvnitř buněk se vyskytovala výrazná granulace. Průměry velikosti buněk jsou uvedeny v Tabulce 1. Kmen K1V1_T dosahoval největší průměrné délky buněk (4,8 μm). U všech vzorků K1V1 byly pozorovány modré útvary uvnitř buněk, které se zde před kultivací nevyskytovaly. Příloha 1 zobrazuje morfologii kmenu *Geitlerinema splendidum* K1V1_T.

Tabulka 1: Průměrná hodnota velikosti šířky a délky buněk u jednotlivých kmenů sinice druhu *Geitlerinema splendidum*

Kmen	Šířka (μm)	Délka (μm)
K1V1_R	2,3	4,5
K1V1_S	2,1	4,5
K1V1_T	2,6	4,8

8.1.2 *Phormidium tergestinum* kmeny K2V1_A, K2V1_B, K2V1_C, K2V1_D, K2V1_E, K2V1_F, K2V1_G, K2V1_H, K2V1_I, K2V1_J, K2V1_K, K2V1_L, K2V1_M, K2V1_N a K2V1_O

Sinice vzorku K2V1 se vyskytovaly v jednom shluku na dně či na hladině zkumavky. Kmeny vykazovaly sytě či světle modrozelenou barvu. Kmen K2V1_B měl jako jediný barvu světle zelenou. Pohyb byl pozorován u hormogonií, byl pomalý. Některé trichomy byly v bezbarvé slizové pochvě. Slizové pochvy byly pozorovány u každého kmene. Před kultivací se slizové pochvy ve vzorcích nevyskytovaly. V každé slizové pochvě bylo pouze jedno vlákno. Trichomy byly izopolární, po celé délce rovné a konce zaoblené. Pouze u K2V1_A byly některé trichomy náhodně zúžené či rozšířené. Vzájemné propletení trichomů bylo pozorováno u kmenů K2V1_C, K2V1_E, K2V1_K a K2V1_O. Buňky byly širší než delší. Průměry šířek a délek buněk jsou uvedeny v Tabulce 2. Největší průměrná délka buněk byla naměřena u kmenu K2V1_K (2,0 μm), největší šířka u K2V1_O (5,9 μm) a nejmenší délka u K2V1_C (1,1 μm). Nekrotické buňky se vyskytovaly u K2V1_J, K2V1_K a K2V1_N. Uvnitř buněk se vyskytovala granulace. Příloha 2 zobrazuje diverzitu druhu *Phormidium tergestinum*.

Tabulka 2: Průměrná hodnota velikosti šířky a délky buněk u jednotlivých kmenů sinice druhu *Phormidium tergestinum*

Kmen	Šířka (μm)	Délka (μm)
K2V1_A	5,2	1,2
K2V1_B	5,8	1,3
K2V1_C	4,9	1,1
K2V1_D	5,6	1,5
K2V1_E	5,4	1,3
K2V1_F	5,2	1,2
K2V1_G	5,3	1,7
K2V1_H	5,0	1,3
K2V1_I	5,1	1,6
K2V1_J	5,1	1,6
K2V1_K	5,1	2,0
K2V1_L	4,5	1,7
K2V1_M	5,0	1,2
K2V1_N	5,2	1,3
K2V1_O	5,9	1,2

8.1.3 *Phormidium ambiguum* kmeny K4B1_P a K4B1_Q

Vlákna kmenů K4B1 tvořila po stranách zkumavky souvislou vrstvu. Trichomy vykazovaly modrozelenou barvu. Pohyblivost hormogonií byla výraznější než u kmenů determinovaných jako *Phormidium tergestinum*. Pohyb byl pomalý. U kmenů K4B1_P a K4B1_Q se občas vyskytovaly bezbarvé slizové pochvy, které před kultivací nebyly přítomny. Koncové buňky byly z jedné strany trichomu zakřivené a z druhé strany rovné. Buňky měly větší šířku než délku. Průměry šířek a délek buněk jsou uvedeny v Tabulce 3. U kmenu K4B1_Q byla naměřena nejmenší průměrná šířka (4,6 μm) i délka (2,2 μm) buněk. Nekrotické buňky a hormogonia přítomny. Na buněčných přepážkách byla pozorována granula. Příloha 3 zobrazuje diverzitu kmenu *Phormidium ambiguum* K4B1_Q.

Tabulka 3: Průměrná hodnota velikosti šířky a délky buněk u jednotlivých kmenů sinice druhu *Phormidium ambiguum*

Kmen	Šířka (μm)	Délka (μm)
K4B1_P	4,9	2,3
K4B1_Q	4,6	2,2

8.2 Sledování morfologických změn u kmenů kultivovaných v nestandardním Z mediu a ve tmě

Morfologie se u kmenů K1V1_R, K2V1_L a K4B1_Q kultivovaných ve standardním Z mediu nelišila od dřívějšího popisu těchto kmenů. Kmeny kultivované ve tmě (K1V1_R, K2V1_L a K4B1_Q) taktéž nevykazovaly změny v morfologii.

8.2.1 *Geitlerinema splendidum* kmen K1V1_R bez dusíku

Barva trichomů světlezelená. Byl pozorován výrazný ovíjivý pohyb. Slizová pochva nebyla přítomna. Apikální buňka zaoblená, z druhé strany zúžená a místy hákovitě zahnutá. Občas byla koncová buňka zakončená kalyptrou. Byla zde naměřena největší průměrná hodnota šířky buněk (2,9 μm) mezi kmeny *Geitlerinema splendidum*, průměrná délka byla 4,6 μm . Hormogonia ani nekrotické buňky se nevyskytovaly. Modré útvary uvnitř buněk přítomny. Granulace uvnitř buněk přítomna. Příloha 4 zobrazuje morfologii kmenu *Geitlerinema splendidum* K1V1_R bez dusíku.

8.2.2 *Geitlerinema splendidum* kmen K1V1_R bez fosforu

Trichomy modrozelené barvy. Medium bez fosforu kmenu neprosplávalo. Pohyb byl pomalý a méně výrazný. Absence slizové pochvy. Konce trichomů z jedné strany zaoblené, z druhé strany zašpičatělé. Kalyptra se vyskytovala zřídka. Průměrná naměřená šířka (2,1 μm) i délka (4,3 μm) buněk byla v porovnání s ostatními kmeny *Geitlerinema splendidum* nejmenší. Nevyskytují se hormogonia ani nekrotické buňky. Hojný výskyt modrých útvarů uvnitř buněk, i více v jedné buňce. Uvnitř buněk přítomna granula. Příloha 5 znázorňuje diverzitu kmenu *Geitlerinema splendidum* K1V1_R bez fosforu.

8.2.3 *Geitlerinema splendidum* kmen K1V1_R ve tmě

Modrozelená barva trichomů. Pohyb byl výrazný. Trichomy bez přítomnosti slizové pochvy a hormogonií. Terminální buňky prodloužené, občas z jedné strany vlákna hákovitě prohnutá. Některé koncové buňky zakončené kalyptrou. Šířka (2,4 μm) a délka (4,7 μm) buněk dosahovala podobných hodnot jako u kontrolního kmenu v Z mediu, kde byla stejná šířka buněk a délka buněk měřila 4,8 μm . Nekrotické buňky nebyly přítomny. Uvnitř buněk výskyt granulace. Příloha 6 znázorňuje morfologii kmenu *Geitlerinema splendidum* K1V1_R ve tmě.

8.2.4 *Phormidium tergestinum* kmen K2V1_L bez dusíku

Barva kolonií tmavě modrozelená. Pohyb pozorován u hormogonií byl pomalý a nevýrazný. Častý byl výskyt bezbarvé slizové pochvy. Průměr šířky buněk 4,7 μm a délky 1,3 μm . Značný výskyt hormogonií byl pozorován jak uvnitř slizové pochvy, tak i mimo slizovou pochvu. Nekrotické buňky nebyly pozorovány. Uvnitř buněk výskyt granulace. Příloha 7 zobrazuje morfologické znaky kmenu *Phormidium tergestinum* kmen K2V1_L bez dusíku.

8.2.5 *Phormidium tergestinum* kmen K2V1_L bez fosforu

Barva trichomů modrozelená. Pohyb u hormogonií pomalejší. Některé trichomy byly vzájemně propletené. Bezbarvá slizová pochva. Průměr buněk: šířka 4,3 μm a délka 1,3 μm . U tohoto kmenu byla naměřena nejmenší průměrná šířka buněk v rámci ostatních kmenů druhu *Phormidium tergestinum*. Občas se vyskytovala hormogonia. Nekrotické buňky se nevyskytovaly. Byla pozorována častější granulace. Morfologii kmenu *Phormidium tergestinum* K2V1_L bez fosforu znázorňuje Příloha 8.

8.2.6 *Phormidium tergestinum* kmen K2V1_L ve tmě

Modrozelená barva vláken. Pomalý pohyb u hormogonií. Občas se trichomy vyskytovaly ve slizové pochvě. Vlákna izopolární. Rozměry šířky (5,2 μm) a délky (1,6 μm) buněk nabývaly

podobných hodnot jako u kontrolního kmenu v Z mediu (šířka 5,4 μm a délka 1,7 μm). Hormogonia i nekrotické buňky přítomny. Uvnitř buněk se vyskytovala granulace. Příloha 9 zobrazuje morfologické znaky kmenu *Phormidium tergestinum* K2V1_L ve tmě.

8.2.7 *Phormidium ambiguum* kmen K4B1_Q bez dusíku

Barva vláken žlutozelená. Zpomalená pohyblivost vláken. Slizová pochva velice tenká, bezbarvá. Šířka buněk v průměru 5,4 μm , délka 3,1 μm . Průměr šířky i délky buněk byl v porovnání s jinými kmeny *Phormidium ambiguum* největší. Hojný výskyt nekrotických buněk. Hormogonia se vyskytovala velmi málo. Častým jevem byl úbytek plazmy uvnitř buněk. Na buněčných přepážkách výskyt granulí. Diverzitu kmenu *Phormidium ambiguum* K4B1_Q bez dusíku zobrazuje Příloha 10.

8.2.8 *Phormidium ambiguum* kmen K4B1_Q bez fosforu

Světle zelená barva kolonií. Vlákna nebyla v dobré kondici. Pohyb byl pomalý, nevýrazný. Četný výskyt slizové pochvy. Průměr šířky buněk 5,2 μm a délky 2,5 μm . Nízký výskyt hormogonií a nekrotických buněk. V koncových buňkách byl často pozorován úbytek plazmy. Granula přítomna. Příloha 11 znázorňuje morfologii kmenu *Phormidium ambiguum* K4B1_Q bez fosforu.

8.2.9 *Phormidium ambiguum* kmen K4B1_Q ve tmě

Barva kolonií modrozelená. Častější a výrazný pohyb vláken. Slizová pochva občas přítomna. Bylo pozorováno vzájemné proplétání trichomů. Rozměry šířky (4,8 μm) a délky (2,2 μm) buněk dosahovaly podobných hodnot jako u kontrolního kmenu v Z mediu, kde byla délka buněk stejná a šířka buněk byla 4,6 μm . Hormogonia i nekrotické buňky přítomny. Výskyt granulí na buněčných přepážkách. Příloha 12 zobrazuje diverzitu kmenu *Phormidium ambiguum* K4B1_Q ve tmě.

9 DISKUZE

Sinice zastávají v půdě důležitou roli a jejich činnost a interakce jsou nenahraditelné. Zpevňují a provzdušňují půdu, podílejí se na fixaci dusíku, jsou důležitým zdrojem potravy pro půdní bezobratlé živočichy a další (Kaštovský et al., 2024). Druhová diverzita sinic je podhodnocena hlavně kvůli metodickým problémům jejich izolace a kultivace, nicméně vhodná volba metod kultivace, purifikace a izolace může zajistit úspěšné zkoumání (Temraleeva et al., 2016).

Na dvou lokalitách v jihozápadní části okresu Vsetín byl prováděn výzkum zaměřený na determinaci a morfológickou charakteristiku půdních vláknitých sinic odebíraných z lesních kaluží. Byly vytipovány lokality, proveden sběr vzorků a následně byly sinice morfológicky charakterizovány, kultivovány v Z mediu a izolovány na čisté kmenové kultury.

V rámci mé bakalářské práce bylo sesbíráno 5 vzorků označených jako K1V1, K1V2, K2V1, K3V1 a K4B1. Ve vzorku K1V2 a K3V1 biomasa vláknitých sinic během kultivace zanikla, a proto nebyly tyto vzorky nadále využívány. Ze vzorků K1V1, K2V1 a K4B1 bylo izolováno celkem 64 kmenů. Z důvodu neúspěšného přenosu vlákna při izolaci kmenů, kontaminace nebo úhynu biomasy bylo pro následnou morfológickou charakteristiku a fotodokumentaci použito dohromady 20 kmenů. Vliv na úhyn biomasy mohl mít pravděpodobně fakt, že zvolené medium nemuselo kultuře prospívat. Rovněž byly vybrány tři kmeny od každého druhu, které byly po dobu 14 dní kultivovány v upraveném Z mediu a následně byly vyhodnoceny změny v morfológii.

Výskyt sinic je v půdě poměrně hojný a je ovlivněn různými faktory (typ půdy, půdní vlhkost, činnost člověka, světelné podmínky, teplota, pH, konduktivita a další.) Především svrchní část půdy je považována za extrémní prostředí, kde na sinice působí sluneční a UV záření. Mezi nejčastější ochranu před působením slunečního záření je u sinic využívání ochranných pigmentů (např. karotenoidy), ale některé sinice schopné pohybu využívají i možnost proniknout do svrchní vrstvy půdy. Půdní sinice se musely adaptovat na nedostatek vody. Mechanická ochrana sinic před vysycháním půdy spočívá především v tlusté buněčné stěně nebo případně v produkci slizové pochvy (Kaštovský et al., 2024). Během mé studie byly měřeny chemicko-fyzikální parametry vody z kaluží (konkrétně hodnoty pH, konduktivita a teplota vody). Hodnoty konduktivity byly na první lokalitě (0,38 mS/cm a 0,36 mS/cm) poměrně stejné, lišily se pouze o 0,02 mS/cm. Na druhé lokalitě (0,24 mS/cm) byla konduktivita vody nižší, a to o více jak 0,10 mS/cm. Podle Zavarzin & Alekseeva (2009) se běžná hodnota konduktivity u vody z kaluží pohybuje kolem 30 mS/cm. Vodivost ve smyslu salinity a

koncentrace hlavních iontů má silný vliv na rozšíření jednotlivých taxonů sinic (Sigeo, 2005). Přežití, růst nebo rozmnožování všech vodních organismů je do značné míry ovlivněno právě koncentrací rozpuštěných iontů ve vodě (Pal et al., 2015).

Půdní sinice se dokáží adaptovat na vysoké i nízké extrémní teploty a považují se za extremotolerantní organismy (Kaštovský et al., 2024). Jedním z faktorů, který ovlivňuje distribuci sinic, je množství dopadajícího světla. U vyšší dostupnosti světla jsou půdní společenstva bohatší, než je tomu ve stínu (Kaštovský et al., 2024). Odlišná teplota na první (12,7 °C a 12,2 °C) a druhé (13,5 °C) lokalitě byla způsobena zastíněním první lokality a taktéž časovým rozestupem, který činil více jak 90 minut. Odběr vzorků sinic proběhl na konci června a biomasa sinic v kalužích ještě nebyla tak výrazná.

Hodnota pH je velmi důležitý faktor pro růst a rozšíření sinic, které obecně preferují neutrální až mírně zásadité pH (Nayak & Prasanna, 2007). Hodnoty pH vody byly neutrální, hodnoty byly na první lokalitě (7,65 a 7,39) vyšší než na lokalitě druhé (7,12). Hodnota pH a množství minerálních živin může být jedním z faktorů ovlivňující rozšíření půdních sinic (Granhall, 1975).

Abychom správně identifikovali půdní sinice, je nezbytné získat čisté kmenové kultury. Mezi nezbytné kroky k determinaci patří mikroskopické pozorování, měření šířky a délky buněk, barva trichomů a přítomnost či absence slizové pochvy (Temraleeva et al., 2016).

Na povrchu půdy se ze zástupců vláknitých sinic vyskytují zejména rody *Nostoc*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Microcoleus* a další (Temraleeva et al., 2016). Konkrétně pak ze dna kaluží byl potvrzen výskyt zástupců z rodu *Oscillatoria* a *Phormidium* (Zavarzin & Alekseeva, 2009).

Vláknité sinice izolovaných kmenů K1V1_R, K1V1_S a K1V1_T byly určeny pomocí klíče (Komárek & Anagnostidis, 2005) jako druh *Geitlerinema splendidum*. Hlavním morfologickým znakem tohoto druhu je absence slizové pochvy a koncový tvar buněk (Strunecký et al., 2017). Buňky byly vždy delší než širší. Šířka buněk se pohybovala ve středních hodnotách literaturou udávaných rozměrů. Délka buněk nikdy nepřesahovala 5 μm . Koncová buňka byla občas zakončená kalyptrou, což je podle Struneckého et al. (2017) typickým znakem pro druh *Geitlerinema splendidum*. Zajímavým pozorovaným jevem byla přítomnost modrých útvarů uvnitř buněk, které se před kultivací nevyskytovaly. Tyto útvary se nacházely pouze u kmenů izolovaných ze vzorku K1V1. V žádné literatuře jsem nedohledala informace o výskytu modrých útvarů a jejich funkce či význam je mi neznámý. Taktéž jsem

pozorovala sdružování vláken do hvězdovitých kolonií. Vzorek K1V1 byl odebrán ze dna lesní kaluže, což z popisu klíče odpovídá výskytu sinic *Geitlerinema splendidum*.

Kmeny vzorku K2V1 byly určeny pomocí klíče (Komárek & Anagnostidis, 2005) jako druh *Phormidium tergestinum*. Barva trichomů je různá, podle klíče (Komárek & Anagnostidis, 2005) mohou mít trichomy jak modrozelenou, tak i zelenou barvu. Modrozelená barva trichomů byla pozorována u všech kmenů kromě K2V1_B, kde trichomy vykazovaly barvu světle zelenou. Pohyb byl zaznamenán pouze u hormogonií. V každém kmenu se vyskytovaly slizové pochvy, které nebyly před kultivací pozorovány. Buňky měly větší šířku než délku. Největší průměr šířky buněk (5,9 μm) byl naměřen u kmenu K2V1_O, zatímco nejmenší průměr šířky buněk (4,5 μm) byl u kmenu K2V1_L. Naměřené hodnoty šířky buněk odpovídaly rozmezí 4-10 μm , které je uváděno v popisu (Komárek & Anagnostidis, 2005). V klíči nebyl uveden výskyt náhodného zúžení či rozšíření, které bylo pozorováno u kmenu K2V1_A. Rovněž vzájemné proplétání trichomů u kmenů K2V1_C, K2V1_E, K2V1_K a K2V1_O a výskyt nekrotických buněk u kmenů K2V1_J, K2V1_K a K2V1_N, které se u mých kmenů vyskytovaly, v klíči nebyly popsány. Přítomnost granulí uvnitř buněk odpovídá popisu v klíči. Výskyt sinic tohoto druhu odpovídá popisu uváděnému v klíči (Komárek & Anagnostidis, 2005).

Kmeny K4B1_P a K4B1_Q byly určeny (Komárek & Anagnostidis, 2005) jako druh *Phormidium ambiguum*. Trichomy vykazovaly modrozelenou barvu, jak je uváděno v klíči. Pohyb se vyskytoval jen u hormogonií. V porovnání s kmeny determinovanými jako *Phormidium tergestinum* byl pohyb častější. Bezbarvé slizové pochvy se vyskytovaly v každém kmenu, ale před kultivací se ve vzorcích slizové pochvy nevyskytovaly. Buňky byly vždy kratší než širší. Průměry šířek i délek buněk spadaly do udávaných rozměrů z klíče. Nejmenší rozměry průměru šířky (4,6 μm) a délky (2,2 μm) buněk byly naměřeny u kmenu K4B1_Q. Klíč uvádí, že trichomy jsou rovné a ke koncům nejsou zeslabené, avšak mnou pozorované trichomy byly z jedné strany ke konci zakřivené a z druhé strany rovné. Nepřítomnost kalyptry i výskyt granulace na buněčných přepážkách odpovídalo popisu v klíči. Podle popisu v klíči se sinice druhu *Phormidium ambiguum* vyskytují na dně stojatých a tekoucích vod. Vzorek jsem odebírala ze dna lesní kaluže, což odpovídá popisu v klíči. Gaysina et al. (2018) uvedli, že typický výskyt pro *Phormidium ambiguum* jsou lesostepní a stepní zóny.

Komárek & Anagnostidis (2005) uvádí, že se při kultivaci mohou lišit morfologické znaky z různých kmenů stejného druhu vlivem stresu. U mé práce se morfologie sinic determinovaných jako *Geitlerinema splendidum* a *Phormidium ambiguum* pravděpodobně

nezměnila. Rozdíly v kultuře byly pozorovány pouze u druhu určeného jako *Phormidium tergestinum*. Například kmen K2V1_B měl jako jediný světle zelenou barvu a pouze u kmenu K2V1_A bylo pozorováno náhodné zúžení či rozšíření trichomů.

Koncentrace živin může výrazně ovlivnit diverzitu sinic (Scott & Marcarelli, 2012). Schnidler et al. (2008) předpokládá, že omezený přístup fosforu snižuje primární produkci a biomasu řas. Elser et al. (2007) zkoumali vliv omezeného přístupu dusíku a fosforu na biomasu sinic v suchozemských a vodních biotopech po celém světě, kde zjistili, že fosfor omezoval v bentickém prostředí jezer primární produkci častěji než dusík. V ostatních bentických biotopech omezoval dusík a fosfor primární produkci rovnocenně (Elser et al., 2007). Složení media může u sinic ovlivnit morfologické parametry buněk. Vlákniatá sinice *Spirirestis rafaensis* vykazovala značné morfologické změny v bezdusíkatém mediu Z8 (větší šířka trichomů, změna barvy z olivově zelené na modrozelenou a méně časté zprohýbání vláken) v porovnání s kultivací na standardním mediu BBM, určené pro zelené řasy (Temraleeva et al., 2016).

Naměřená délka a šířka buněk se v odlišných podmínkách kultivace u mých kmenů lišila. U kmenu *Geitlerinema splendidum* K1V1_R byla naměřena nejmenší šířka (2,1 μm) i délka (4,3 μm) buněk v mediu bez fosforu. Největší šířka (2,9 μm) byla v mediu bez dusíku. V kontrolním Z mediu byla šířka buněk 2,4 μm a délka 4,8 μm . Medium bez fosforu kmenu neprosplávalo, byl pozorován výrazný pokles pohyblivosti trichomů.

U kmenu *Phormidium tergestinum* K2V1_L byla pozorována nejmenší šířka (4,3 μm) v mediu bez fosforu a nejmenší délka buněk 1,3 μm byla naměřena jak v mediu bez fosforu, tak bez dusíku. Největší hodnoty délky (1,7 μm) a šířky (5,4 μm) buněk byly naměřeny v kontrolním Z mediu. Až na častější granulaci u kmenu *Phormidium tergestinum* K2V1_L bez fosforu nebyly pozorovány další změny v morfologii.

Kmen *Phormidium ambiguum* K4B1_Q měl jako jediný obě největší hodnoty (šířka 5,4 μm a délka 3,1 μm) u media bez dusíku a nejmenší hodnoty šířky a délky buněk nebyly v mediu bez fosforu, jak tomu bylo u kmenů *Geitlerinema splendidum* K1V1_R a *Phormidium tergestinum* K2V1_L, ale byly v kontrolním Z mediu (šířka 4,6 μm a délka 2,2 μm). Změny v morfologii nastaly jak u kmenu bez dusíku, tak bez fosforu, kdy byl pozorován úbytek plazmy uvnitř buněk.

Morfologické znaky sinic kultivované ve tmě se pravděpodobně nezměnily. Podle Scott & Marcarelli (2012) dostupnost světla ovlivňuje činnost fotosyntézy a fixaci N_2 , ale o změnách v morfologii se nezmiňuje.

Studie Dvořák et al., (2015a) porovnávala morfologickou variabilitu u tropické sinice *Pinocchia polymorpha* v kultivačním mediu bez dusíku, bez fosforu a bez dusíku a fosforu při teplotách 16 °C a 26 °C. Zjistili, že poměr dusíku a fosforu významně ovlivňuje délku buněk. Vliv na délku buněk má pravděpodobně intenzita buněčného dělení (Dvořák et al., 2015a).

Rozmanitost sinic je obrovská a některé skupiny sinic jsou více prozkoumány než jiné. Znalostní mezery o diverzitě sinic pochází například právě z bentických a aerofytických stanovišť (Dvořák et al., 2015b). Nabout et al. (2013) uvádí, že odhadovaný počet nepopsaných druhů sinic se pohybuje okolo 8 000.

10 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce poskytla nové informace o diverzitě půdních vláknitých sinic v jihozápadní části okresu Vsetín.

Byly vytipovány lokality s výskytem půdních sinic a odebrány vzorky jejich biomasy. Odběr vzorků proběhl dne 28. 6. 2023. Před odběrem proběhlo měření chemicko-fyzikálních parametrů vody, kdy byly měřeny hodnoty pH, konduktivity a teplota vody. Na druhé lokalitě byla konduktivita vody podstatně nižší, a to o více jak 0,10 mS/cm v porovnání s první lokalitou (0,38 mS/cm a 0,36 mS/cm). Vyšší teplota na druhé lokalitě (13,5 °C) byla pravděpodobně způsobena zastíněním dané lokality a časovým rozestupem, který činil více jak 90 minut. Hodnoty pH vody v obou kalužích byly neutrální.

Náplní práce byla rovněž izolace, kultivace a morfologická charakteristika sinic. Celkem bylo izolováno a kultivováno 64 kmenů, hodnoceno bylo následně vybraných 20 kmenů. Pozorování morfologických znaků bylo zaměřeno především na barvu, délku a šířku vegetativních buněk, koncový vzhled vláken, přítomnost slizové pochvy, nekrotických buněk nebo hormogonií. Měření šířky a délky vegetativních buněk bylo prováděno u 30 buněk na 10 vlákních. Z fotografické dokumentace byly vytvořeny obrazové tabule. Na základě morfologie byly pomocí určovacího klíče determinovány druhy *Geitlerinema splendidum*, *Phormidium tergestinum* a *Phormidium ambiguum*.

V neposlední řadě proběhlo morfologické hodnocení změn v odlišných podmínkách kultivace (bylo připraveno Z medium bez dusíku, fosforu a rovněž proběhla kultivace ve tmě), kdy byla měřena délka a šířka vegetativních buněk a byly analyzovány změny v morfologii. Změny v morfologii při odlišných podmínkách kultivace byly zaznamenány ve změně velikosti buněk, úbytku plazmy uvnitř buněk a poklesu pohyblivosti trichomů.

11 LITERATURA

Anagnostidis, K., & Komárek, J. (1988). Modern approach to the classification system of cyanophytes 3 – Oscillatoriales. *Algological studies*, 80(1-4), 327-472.

Anagnostidis, K., & Komárek, J. (1990). Modern approach to the classification system of cyanophytes 5 – Stigonematales. *Algological studies*, 86, 1-73.

Bekker, A., Holland, H. D., Wang, P. L., Rumble Iii, D., Stein, H. J., Hannah, J. L., Coetzee, L. L., & Beukes, N. J. (2004). Dating the rise of atmospheric oxygen. *Nature*, 427(6970), 117-120.
Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/nature02260>

Belnap, J. (2001). Biological soil crusts: structure, function, and management. In J. Belnap, & O. L. Lange (Eds.), *Biological soil crusts: structure, function, and management* (s. 241-261). Ecological studies. Springer.

Belnap, J., & Büdel, B. (2016). Biological soil crusts as soil stabilizers. In B. Weber, B. Büdel, & J. Belnap (Eds.), *Biological soil crusts: an organizing principle in drylands. Ecological studies* (s. 305-320). Springer. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-3-319-30214-0_16

Belnap, J., Büdel, B., & Lange, O.L. (2001). Biological soil crusts: characteristics and distribution. In J. Belnap, & O. L. Lange (Eds.), *Biological soil crusts: structure, function, and management* (s. 3-30). Ecological studies. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-56475-8_1

Berube, P. M., Biller, S. J., Hackl, T., Hogle, S. L., Satinsky, B. M., Becker, J. W., Braakman, R., Collins, S. B., Kelly, L., Berta-Thompson, J., Coe, A., Bergauer, K., Bouman, H. A., Browning, T. J., Corte, D. D., Hassler, Ch., Hulata, Y., Jacquot, J. E., Maas, E. W., Reinthaler, T., Sintes, E., Yokokawa, T., Lindell, D., Stepanauskas, R., & Chisholm, S. W. (2018). Single

cell genomes of *Prochlorococcus*, *Synechococcus*, and sympatric microbes from diverse marine environments. *Scientific data*, 5(1), 1-11. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.154>

Blank, C. E., & Sanchez-Baracaldo, P. (2010). Timing of morphological and ecological innovations in the cyanobacteria—a key to understanding the rise in atmospheric oxygen. *Geobiology*, 8(1), 1-23. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1472-4669.2009.00220.x>

Bonkowski, M., Villenave, C., & Griffiths, B. (2009). Rhizosphere fauna: the functional and structural diversity of intimate interactions of soil fauna with plant roots. *Plant soil*, 321, 213–233. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0013-2>

Castenholz, R. W., & Waterbury, J. B., (1989). Cyanobacteria. In J. T. Staley, M. P. Bryant, N. Pfennig, & J. G. Holt (Eds.), *Bergey's manual of systematic bacteriology* (s. 1710-1727). Williams & Wilkins.

Castenholz, R. W., Wilmotte, A., Herdman, M., Rippka, R., Waterbury, J. B., Iteman, I., & Hoffmann, L. (2001). Phylum BX. Cyanobacteria. In D. R. Boone, R. W. Castenholz, & G. M. Garrity (Eds.), *Bergey's manual® of systematic bacteriology* (s. 473-599). Springer New York.

Catherine, Q., Susanna, W., Isidora, E. S., Mark, H., Aurelie, V., & Jean-François, H. (2013). A review of current knowledge on toxic benthic freshwater cyanobacteria—ecology, toxin production and risk management. *Water research*, 47(15), 5464-5479. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.06.042>

Culek, M., Grulich, V., Laštůvka, Z., & Divíšek, J. (2013). *Biogeografické regiony České republiky*. Masarykova univerzita. 447 s.

Davydov, D., & Patova, E. (2018). The diversity of cyanoprokaryota from freshwater and terrestrial habitats in the Eurasian Arctic and Hypoarctic. *Hydrobiologia* 811, 119–137. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3400-3>

Dubinín, A. V., Gerasimenko, L. M., & Zavarín, G. A. (1992). Nitrogen fixation by cyanobacterium *Microcoleus chthonoplastes* from hypersaline lagoons of Lake Sivash. *Microbiology (New York)*, 61(5), 593-597.

Dvořák, P., Casamatta, D. A., Hašler, P., Jahodářová, E., Norwich, A.R., Poulíčková, A. (2017). Diversity of the cyanobacteria. In P. Hallenbeck (Ed.), *Modern topics in the phototrophic prokaryotes* (s. 3-46). Springer. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-3-319-46261-5_1

Dvořák, P., Hašler, P., & Poulíčková, A. (2012). Phylogeography of the *Microcoleus vaginatus* (cyanobacteria) from three continents – a spatial and temporal characterization. *PLoS One*, 7(6), 1-10. Dostupné z: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040153>

Dvořák, P., Jahodářová, E., Hašler, P., Gusev, E., & Poulíčková, A. (2015a). A new tropical cyanobacterium *Pinocchia polymorpha* gen. et sp. nov. derived from the genus *Pseudanabaena*. *Fottea*, 15(1), 113-120. Dostupné z: <https://doi.org/10.5507/fot.2015.010>

Dvořák, P., Jahodářová, E., Stanojković, A., Skoupý, S., & Casamatta, D. A. (2023). Population genomics meets the taxonomy of cyanobacteria. *Algal research*, 72. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2023.103128>

Dvořák, P., Poulíčková, A., Hašler, P., Belli, M., Casamatta, D. A., & Papini, A. (2015b). Species concepts and speciation factors in cyanobacteria, with connection to the problems of diversity and classification. *Biodiversity and conservation*, 24, 739-757. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10531-015-0888-6>

Ehling-Schulz, M., & Scherer, S. (1999). UV protection in cyanobacteria. *European journal of phycology*, 34(4), 329-338

Elser, J. J., Bracken, M. E. S., Cleland, E. E., Gruner, D. S., Harpole, W. S., Hillebrand, H., Ngai, J. T., Seabloom, E. W., Shurin, J. B., & Smith, J. E. (2007). Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. *Ecology letters*, 10(12), 1135-1142. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01113.x>

Fraser, C., Hanage, W. P., & Spratt, B. G. (2007). Recombination and the nature of bacterial speciation. *Science*, 315(5811), 476-480. Dostupné z: <https://doi.org/10.1126/science.1127573>

Garcia-Pichel, F., Prufert-Bebout, L., & Muyzer, G. (1996). Phenotypic and phylogenetic analyses show *Microcoleus chthonoplastes* to be a cosmopolitan cyanobacterium. *Applied and environmental microbiology*, 62(9), 3284-3291.

Gaysina, L. A., Bohunická, M., Hazuková, V., & Johansen, J. R. (2018). Biodiversity of terrestrial cyanobacteria of the South Ural region. *Cryptogamie, algologie*, 39(2), 167-198. Dostupné z: <https://doi.org/10.7872/crya/v39.iss2.2018.167>

Gaysina, L. A., Saraf, A., & Singh, P. (2019). Chapter 1 - cyanobacteria in diverse habitats. In A. K. Mishra, D. N. Tiwari, & A. N. Rai (Eds.), *Cyanobacteria: from basic science to applications* (s. 1-28). Academic press. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814667-5.00001-5>

Geitler, L. (1932). Cyanophyceae. In L. Rabenhorst (Ed.), *Kryptogamenflora* (s. 1-1179). Akademische verlagsgesellschaft.

Granhall, U. (1975). Nitrogen fixation by blue-green algae in temperate soils. In W. D. P. Stewart (Ed.), *International biological programme* (s. 189-197). Department of microbiology, Agricultural college.

Grosshagauer, S., Kraemer, K., & Somoza, V. (2020). The true value of *spirulina*. *Journal of agricultural and food chemistry*, 68(14), 4109-4115. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/as.jafc.9b08251>

Hagemann, M. (2002). Environmental stress, signalling and basic acclimation reactions. In R. Solheim, R. Ventura, & A. Wilmotte (Eds.), *Cyanobacteria and nitrogen fixation in extreme environments* (s. 1-24). European science foundation CYANOFIX.

Hašler, P., Dvořák, P., Johansen, J. R., Kitner, M., Ondřej, V., & Pouličková, A. (2012). Morphological and molecular study of epipelagic filamentous genera *Phormidium*, *Microcoleus* and *Geitlerinema* (Oscillatoriales, cyanophyta/cyanobacteria). *Fottea*, 12(2), 341-356.

Hoiczyk, E., & Hansel, A. (2000). Cyanobacterial cell walls: news from an unusual prokaryotic envelope. *Journal of bacteriology*, 182(5), 1191-1199. Dostupné z: <https://doi.org/10.1128/jb.182.5.1191-1199.2000>

Huisman, J., Codd, G. A., Paerl, H. W., Ibelings, B. W., Verspagen, J. M., & Visser, P. M. (2018). Cyanobacterial blooms. *Nature reviews microbiology*, 16(8), 471-483. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41579-018-0040-1>

Jahodářová, E., Dvořák, P., Hašler, P., Holušová, K., & Pouličková, A. (2018). *Elainella* gen. nov.: a new tropical cyanobacterium characterized using a complex genomic approach. *European journal of phycology*, 53(1), 39-51. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/09670262.2017.1362591>

Johansen, J. R. (1993). Cryptogamic crusts of semiarid and arid lands of North America. *Journal of phycology*, 29(2), 140-147. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.0022-3646.1993.00140.x>

Johnson, J. S., Spakowicz, D. J., Hong, B. Y., Petersen, L. M., Demkowicz, P., Chen, L., Leopold, S. R., Hanson, B. M., Agresta, H. O., Gerstein, M., Sodergren, E., & Weinstock, G. M. (2019). Evaluation of 16S rRNA gene sequencing for species and strain-level microbiome analysis. *Nature communications*, 10(1), 5029. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13036-1>

Kaštovský, J., Hauer, T., & Juráň, J. (2024). *Sinice a řasy.cz* [online]. [cit. 2024-4-12]. Dostupné z: <https://www.sinicearasy.cz/skripta/ekologie-sinic-a-řas/půdní-řasy-a-sinice>

Komárek, J. (2013). Cyanoprokaryota: 3. teil heterocytous genera. In B. Büdel, G. Gärtner, L. Krienitz, & M. Schagerl (Eds.), *Süßwasserflora von mitteleuropa/freshwater flora of central Europe* (s. 1-1130). Springer spektrum.

Komárek, J. (2014). Modern classification of cyanobacteria. In N. K. Sharma, A. K. Rai, & L. J. Stal (Eds.), *Cyanobacteria: an economic perspective* (s. 21-41). John Wiley & sons.

Komárek, J. (2016). A polyphasic approach for the taxonomy of cyanobacteria: principles and applications. *European journal of phycology*, 51(3), 346-353. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/09670262.2016.1163738>

Komárek, J., & Anagnostidis, K. (1986). Modern approach to the classification system of cyanophytes 2 – Chroococcales. *Algological studies*, 73(2), 157-226.

Komárek, J., & Anagnostidis, K. (1989). Modern approach to the classification system of cyanophytes 4 – Nostocales. *Algological studies*, 82(3), 247-345.

Komárek, J., & Anagnostidis, K. (1998). Cyanoprokaryota: 1. teil Chroococcales. In H. H. Ettl, G. Gärtner, H. Heynig, & D. Mollenhauer (Eds.), *Süßwasserflora von mitteleuropa* (s. 1-548). Gustav Fischer.

Komárek, J., & Anagnostidis, K. (2005) Cyanoprokaryota: 2. teil Oscillatoriales. In B. Büdel, L. Krienitz, G. Gärtner, & M. Schagerl (Eds.), *Süßwasserflora von mitteleuropa* (s. 1-759). Elsevier.

Komárek, J., Kaštovský, J., Mareš, J., & Johansen, J. R. (2014). Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera) 2014, using a polyphasic approach. *Preslia*, 86(4), 295-335.

Kosten, S., Huszar, V. L., Bécares, E., Costa, L. S., van Donk, E., Hansson, L. A., Jeppesen, E., Kruk, C., Lacerot, G., Mazzeo, N., Meester, L. D., Moss, B., Lürling, M., Nöges, T., Romo, S., & Scheffer, M. (2012). Warmer climates boost cyanobacterial dominance in shallow lakes. *Global change biology*, 18(1), 118-126. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02488.x>

Lange, O. L., Kidron, G. J., Budel, B., Meyer, A., Kilian, E., & Abeliovich, A. (1992). Taxonomic composition and photosynthetic characteristics of the biological soil crusts covering sand dunes in the western Negev Desert. *Functional ecology*, 6(5), (s. 519-527). Dostupné z: <https://doi.org/10.2307/2390048>

Machač, O. (2010). *Natura Bohemica: příroda České republiky* [online]. [cit. 2024-3-23]. Dostupné z: <http://www.naturabohemica.cz/pivovariska/>

Meeks, J. C., Campbell, E. L., Summers, M. L., & Wong, F. C. (2002). Cellular differentiation in the cyanobacterium *Nostoc punctiforme*. *Archives of microbiology*, 178, 395-403. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00203-002-0476-5>

Nabout, J. C., da Silva Rocha, B., Carneiro, F. M., & Sant'Anna, C. L. (2013). How many species of cyanobacteria are there? Using a discovery curve to predict the species number. *Biodiversity and conservation*, 22, 2907-2918. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10531-013-0561-x>

Nayak, S., & Prasanna, R. (2007). Soil pH and its role in cyanobacterial abundance and diversity in rice field soils. *Applied ecology and environmental research*, 5(2), 103-113.

Oliver, R. L., & Ganf, G. G. (2002). Freshwater blooms. In B. A. Whitton, & M. Potts (Eds.), *The ecology of cyanobacteria: their diversity in time and space* (s. 149-194). Kluwer academic publishers.

Osorio-Santos, K., Pietrasiak, N., Bohunická, M., Miscoe, L. H., Kováčik, L., Martin, M. P., & Johansen, J. R. (2014). Seven new species of *Oculatella* (Pseudanabaenales, cyanobacteria): taxonomically recognizing cryptic diversification. *European journal of phycology*, 49(4), 450-470. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/09670262.2014.976843>

Pal, M., Samal, N. R., Roy, P. K., & Roy, M. B. (2015). Electrical conductivity of lake water as environmental monitoring – a case study of Rudrasagar Lake. *Journal of environmental science, toxicology and food technology*, 9(3), 66-71.

Patzelt, D. J., Hodač, L., Friedl, T., Pietrasiak, N., & Johansen, J. R. (2014). Biodiversity of soil cyanobacteria in the hyper-arid Atacama Desert, Chile. *Journal of phycology*, 50(4), 698-710. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/jpy.12196>

Pouličková, A. (2011). *Základy ekologie sinic a řas*. Univerzita Palackého v Olomouci. 91 s.

Pouličková, A., Dvořák, P., Mazalová, P., & Hašler, P. (2014). Epipellic microphototrophs: an overlooked assemblage in lake ecosystems. *Freshwater science*, 33(2), 513-523. Dostupné z: <https://doi.org/10.1086/676313>

Quitt, E. (1971). *Klimatické oblasti Československa: Climatic regions of Czechoslovakia*. Geografický ústav ČSAV. 73 s. + tab., 5 map + 1 příloha.

Rasmussen, B., Fletcher, I. R., Brocks, J. J., & Kilburn, M. R. (2008). Reassessing the first appearance of eukaryotes and cyanobacteria. *Nature*, 455(7216), 1101-1104. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/nature07381>

Rippka, R. (1988). Recognition and identification of cyanobacteria. In L. Packer, & A. N. Glazer (Eds.), *Methods in enzymology* (s. 28-67). Elsevier.

Rodriguez-Caballero, E., Belnap, J., Büdel, B., Crutzen, P. J., Andreae, M. O., Pöschl, U., & Weber, B. (2018). Dryland photoautotrophic soil surface communities endangered by global change. *Nature geoscience*, 11(3), 185-189.

Rosen, M. J., Davison, M., Bhaya, D., & Fisher, D. S. (2015). Fine-scale diversity and extensive recombination in a quasisexual bacterial population occupying a broad niche. *Science*, 348(6238), 1019-1023. Dostupné z: [10.1126/science.aaa4456](https://doi.org/10.1126/science.aaa4456)

Scott, J. T., & Marcarelli, A. M. (2012). Cyanobacteria in freshwater benthic environments. In B. A. Whitton (Ed.), *Ecology of cyanobacteria II: their diversity in space and time* (s. 271-289). Springer Netherlands.

Shtina, E. A., Zenova, G. M., & Manyucharova, N. A. (1998). Algological soil monitoring. *Pochvovedenie*, (12), 1449-1461.

Schopf, J. W. (2012). The fossil record of cyanobacteria. In B. A. Whitton (Ed.), *Ecology of cyanobacteria II: their diversity in space and time* (s. 15-36). Springer Netherlands. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-94-007-3855-3_2

Sigeo, D. C. (2005). *Freshwater microbiology: biodiversity and dynamic interactions of microorganisms in the aquatic environment*. John Wiley & sons. 534 s.

Skoupý, S., Stanojković, A., Pavlíková, M., Poulíčková, A., & Dvořák, P. (2022). New cyanobacterial genus *Argonema* is hiding in soil crusts around the world. *Scientific reports*, 12(1), 7203. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11288-4>

Stanier, R. Y., Sistrom, W. R., Hansen, T. A., Whitton, B. A., Castenholz, R. W., Pfennig, N., Gorlenko, V. N., Kondratieva, E. N., Eimhjellen, K. E., Whittenbury, R., Gherna, R. L., & Trüper, H. G. (1978). Proposal to place the nomenclature of the cyanobacteria (blue-green algae) under the rules of the international code of nomenclature of bacteria. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 28(2), 335-336. Dostupné z: <https://doi.org/10.1099/00207713-28-2-335>

Staub, R. (1961). Research on physiology of nutrients the planktonic cyanobacterium *Oscillatoria rubescens*. *Schweizerische zeitschrift für hydrologie*. 23, 82-198.

Strunecký, O., Bohunická, M., Johansen, J. R., Čapková, K., Raabová, L., Dvořák, P., & Komárek, J. (2017). A revision of the genus *Geitlerinema* and a description of the genus *Anagnostidinema* gen. nov. (Oscillatoriophycidae, cyanobacteria). *Fottea*, 17(1), 114-126. Dostupné z: <https://doi.org/10.5507/fot.2016.025>

Strunecký, O., Elster, J., & Komárek, J. (2012). Molecular clock evidence for survival of Antarctic cyanobacteria (Oscillatoriales, *Phormidium autumnale*) from Paleozoic times. *Federation of european microbiological societies microbiology ecology*, 82(2), 482-490. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2012.01426.x>

Temraleeva, A. D., Dronova, S. A., Moskalenko, S. V., & Didovich, S. V. (2016). Modern methods for isolation, purification, and cultivation of soil cyanobacteria. *Microbiology*, 85, 389-399. Dostupné z: <https://doi.org/10.1134/S0026261716040159>

Weber, B., Belnap, J., Büdel, B., Antoninka, A. J., BArger, N. N., Chaudhary, V. B., Darrouzet-Nardi, A., Eldridge, D. J., Faist, A. M., Ferrenberg, S., Havrilla, C. A., Huber-Sannwald, E., Issa, O. M., Maestre, F. T., Reed, S. C., Rodriguez-Caballero, E., Tucker, C., Young, K. E., Zhang, Y., Zhao, Y., Zhou, X., & Bowker, M. A. (2022). What is a biocrust? A refined, contemporary definition for a broadening research community. *Biological reviews*, 97(5), 1768-1785.

Whitton, B. A. (2012). *Ecology of cyanobacteria II: their diversity in space and time*. Springer Netherlands. 760 s.

Whitton, B. A., & Potts, M. (2002). Introduction to the cyanobacteria. In B. A. Whitton, & M. Potts (Eds.), *The ecology of cyanobacteria: their diversity in space and time* (s. 1-11). Kluwer academic publishers.

Whitton, B. A., & Potts, M. (2012). Introduction to the cyanobacteria. In B. A. Whitton (Ed.), *Ecology of cyanobacteria II: their diversity in space and time* (s.1-13). Springer Netherlands. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-94-007-3855-3_1

Williams, L., Loewen-Schneider, K., Maier, S., & Büdel, B. (2016). Cyanobacterial diversity of western european biological soil crusts along a latitudinal gradient. *Federation of european*

microbiological societies microbiology ecology, 92(10), 1-9. Dostupné z:
<https://doi.org/10.1093/femsec/fiw157>

Zavarzin, G. A., & Alekseeva, T. V. (2009). A puddle: an ombrophilic cyano-bacterial community. *Microbiology*, 78(4), 468-473. Dostupné z:
<https://doi.org/10.1134/S0026261709040109>

Zlatník, A. (1976). Přehled skupin typů geobiocénů původně lesních a křovinných ČSSR. *Zprávy geografického ústavu ČSAV*. 13, 55-64.

12 PŘÍLOHY

Příloha 1: Obrazová tabule *Geitlerinema splendidum* kmen K1V1_T

Příloha 2: Obrazová tabule *Phormidium tergestinum* (A, C, D, E, G – kmen K2V1_D, B – kmen K2V1_C, F – kmen K2V1_N, H – kmen K2V1_E)

Příloha 3: Obrazová tabule *Phormidium ambiguum* kmen K4B1_Q

Příloha 4: Obrazová tabule *Geitlerinema splendidum* kmen K1V1_R bez dusíku

Příloha 5: Obrazová tabule *Geitlerinema splendidum* kmen K1V1_R bez fosforu

Příloha 6: Obrazová tabule *Geitlerinema splendidum* kmen K1V1_R ve tmě

Příloha 7: Obrazová tabule *Phormidium tergestinum* kmen K2V1_L bez dusíku

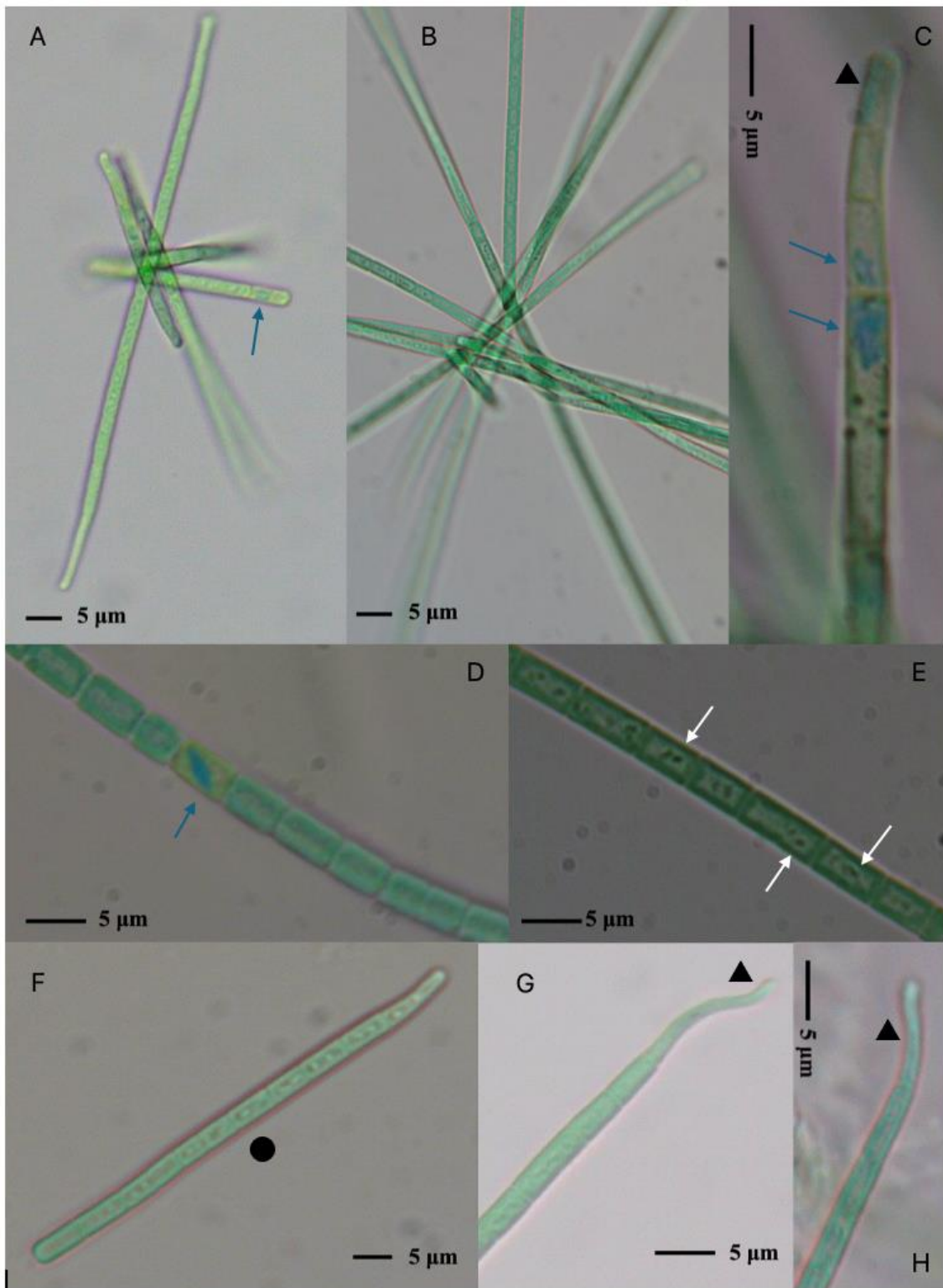
Příloha 8: Obrazová tabule *Phormidium tergestinum* kmen K2V1_L bez fosforu

Příloha 9: Obrazová tabule *Phormidium tergestinum* kmen K2V1_L ve tmě

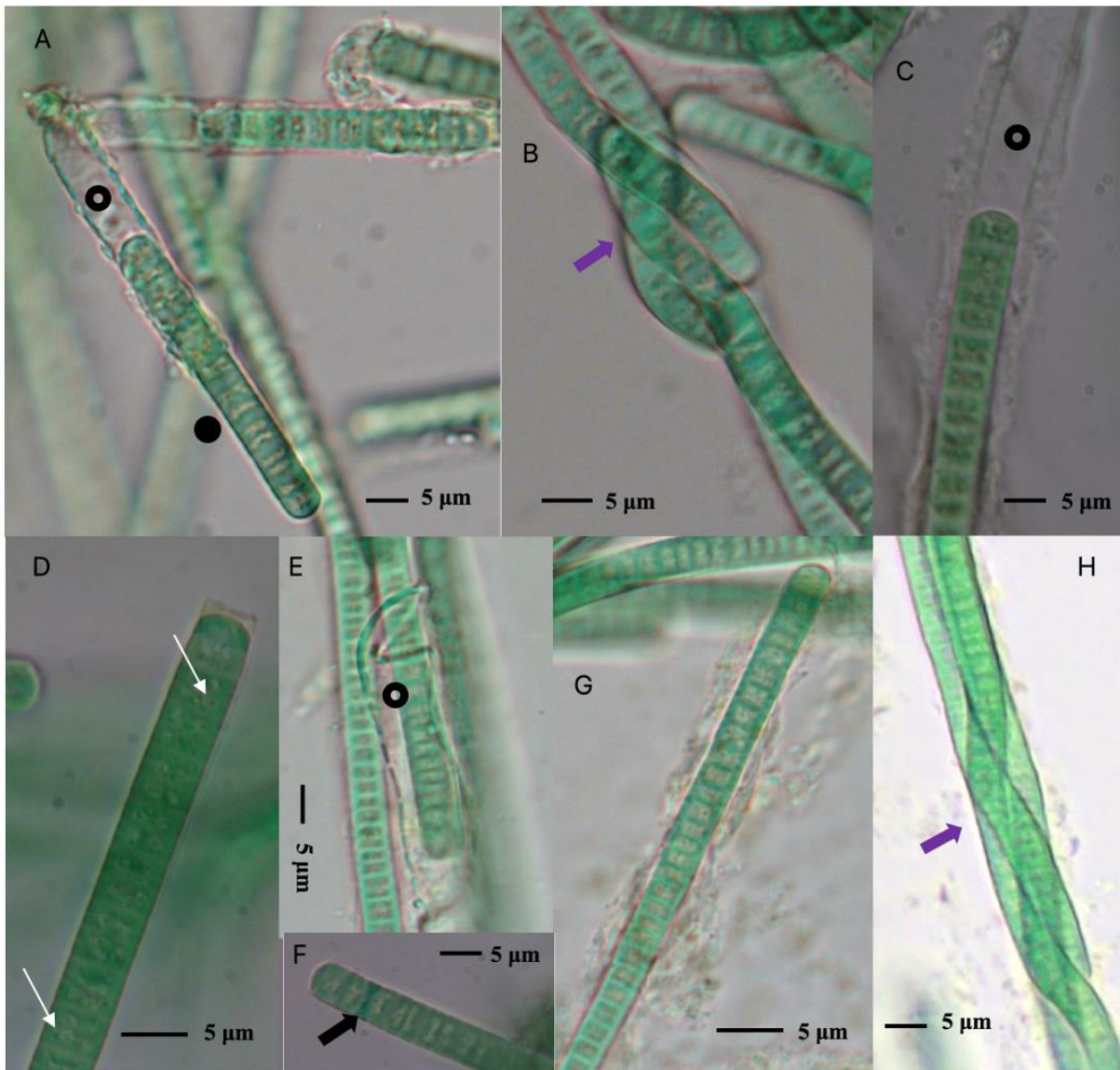
Příloha 10: Obrazová tabule *Phormidium ambiguum* kmen K4B1_Q bez dusíku

Příloha 11: Obrazová tabule *Phormidium ambiguum* kmen K4B1_Q bez fosforu

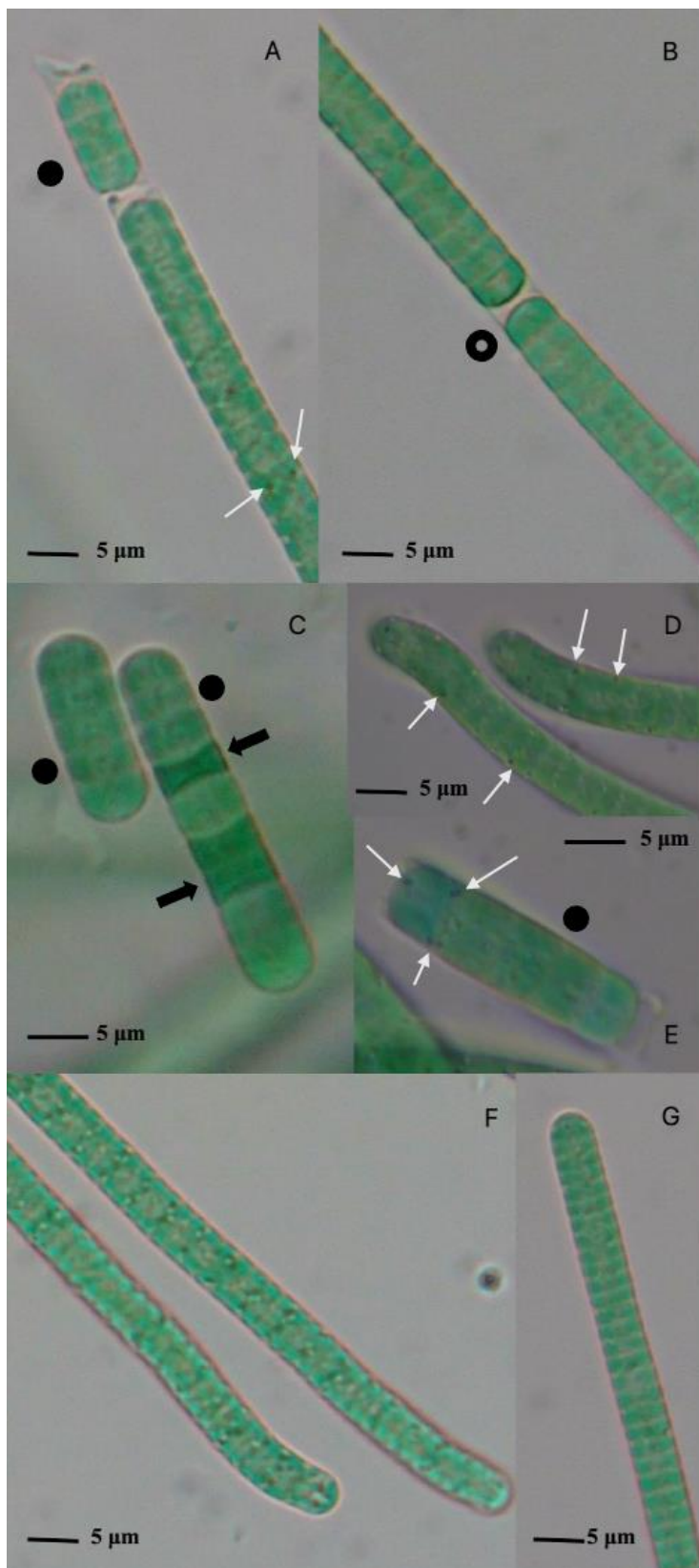
Příloha 12: Obrazová tabule *Phormidium ambiguum* kmen K4B1_Q ve tmě



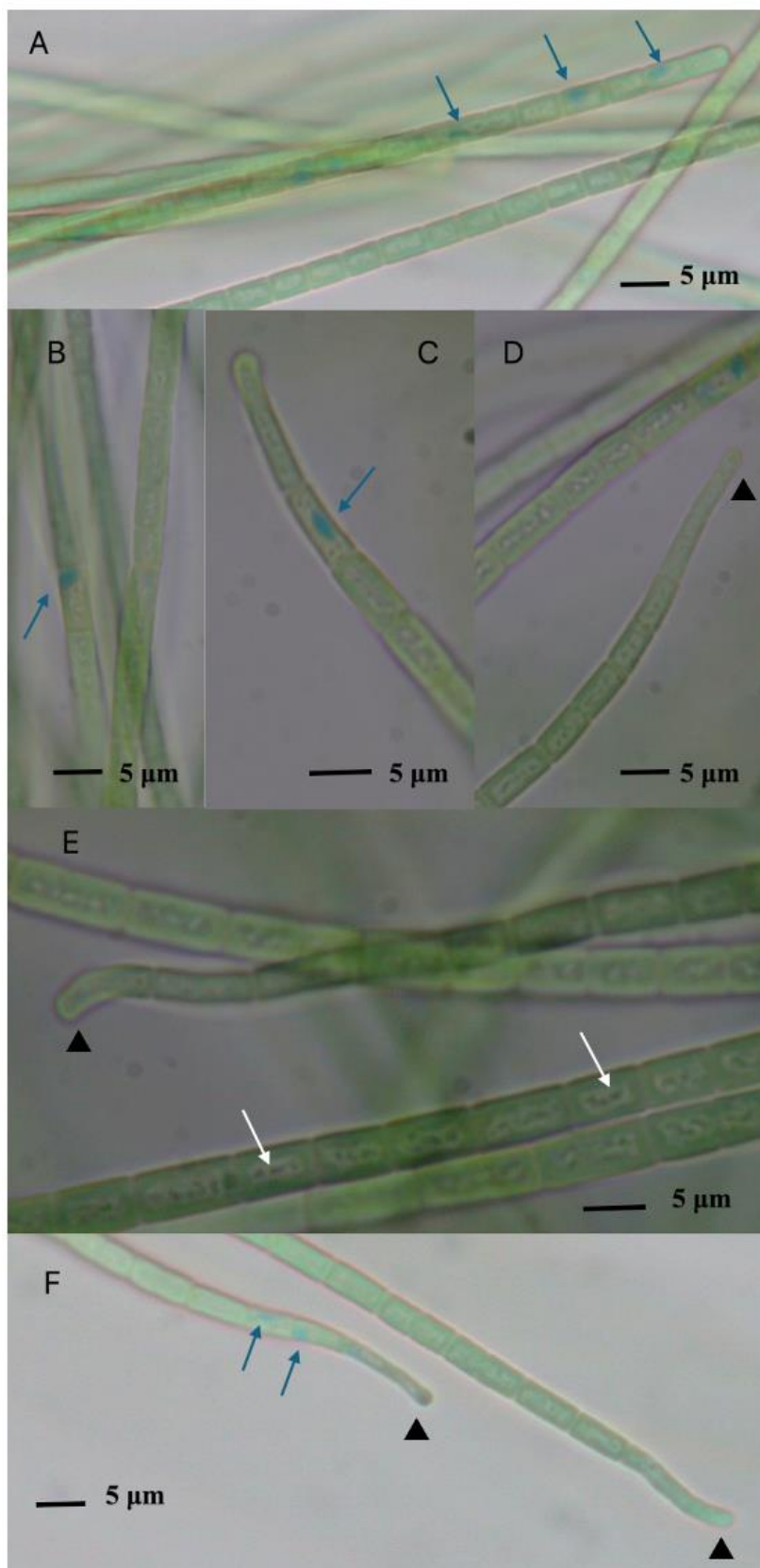
Příloha 1: Obrazová tabule *Geitlerinema splendidum* kmen K1V1_T (modrá tenká šipka – modré útvary, bílá tenká šipka – granulace, trojúhelník – apikální buňka, kolečko – hormogonie) (foto: Aneta Vaculíková)



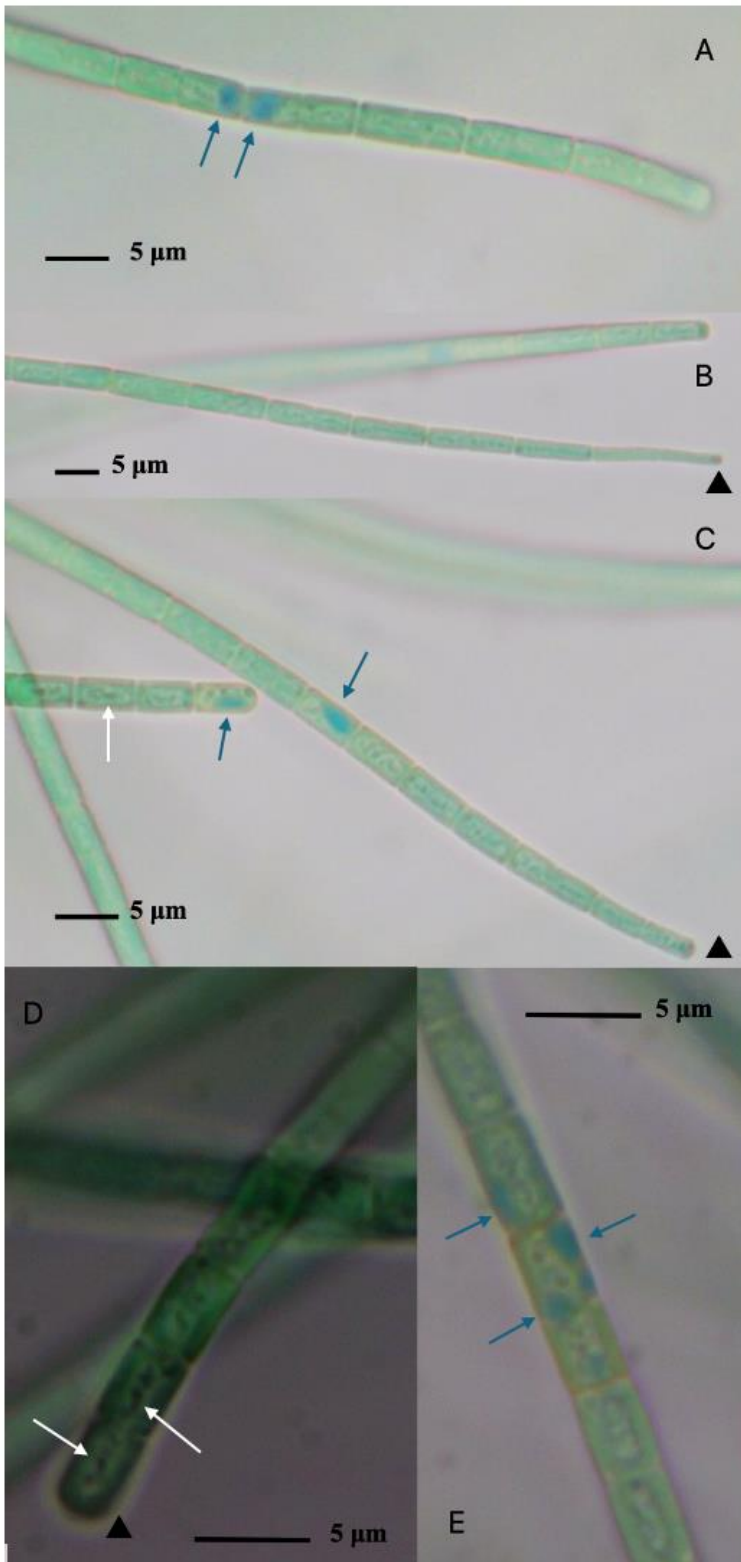
Příloha 2: Obrazová tabule *Phormidium tergestinum* (A, C, D, E, G – kmen K2V1_D, B – kmen K2V1_C, F – kmen K2V1_N, H – kmen K2V1_E; bílá tenká šipka – granulace, tlustá černá šipka – nekrotická buňka, tlustá fialová šipka – propletení trichomů, kolečko – hormogonie, kroužek – slizová pochva) (foto: Aneta Vaculíková)



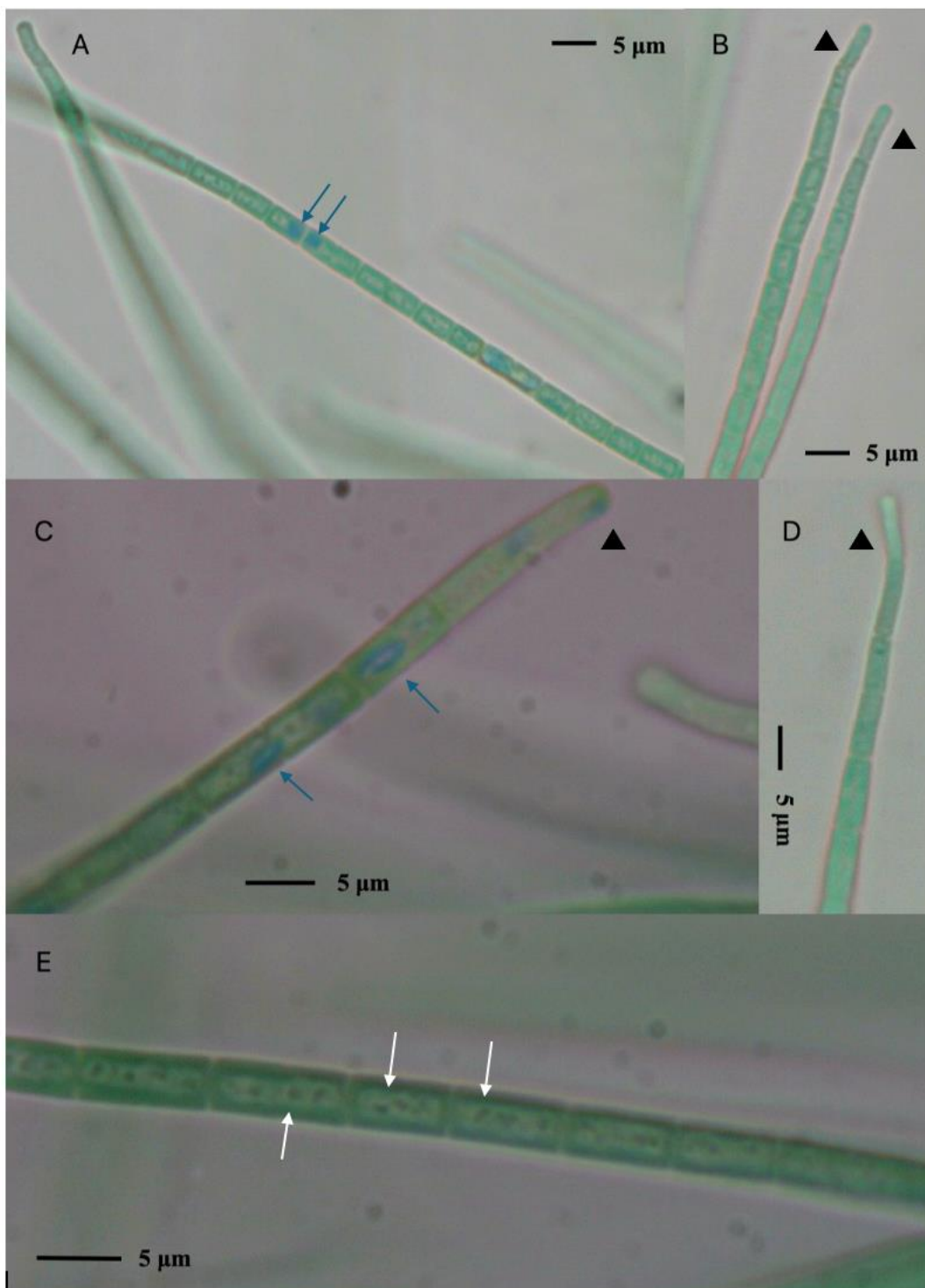
Příloha 3: Obrazová tabule *Phormidium ambiguum* kmen K4B1_Q (černá tlustá šipka – nekrotická buňka, bílá tenká šipka – granulace, kolečko – hormogonie, kroužek – slizová pochva) (foto: Aneta Vaculíková)



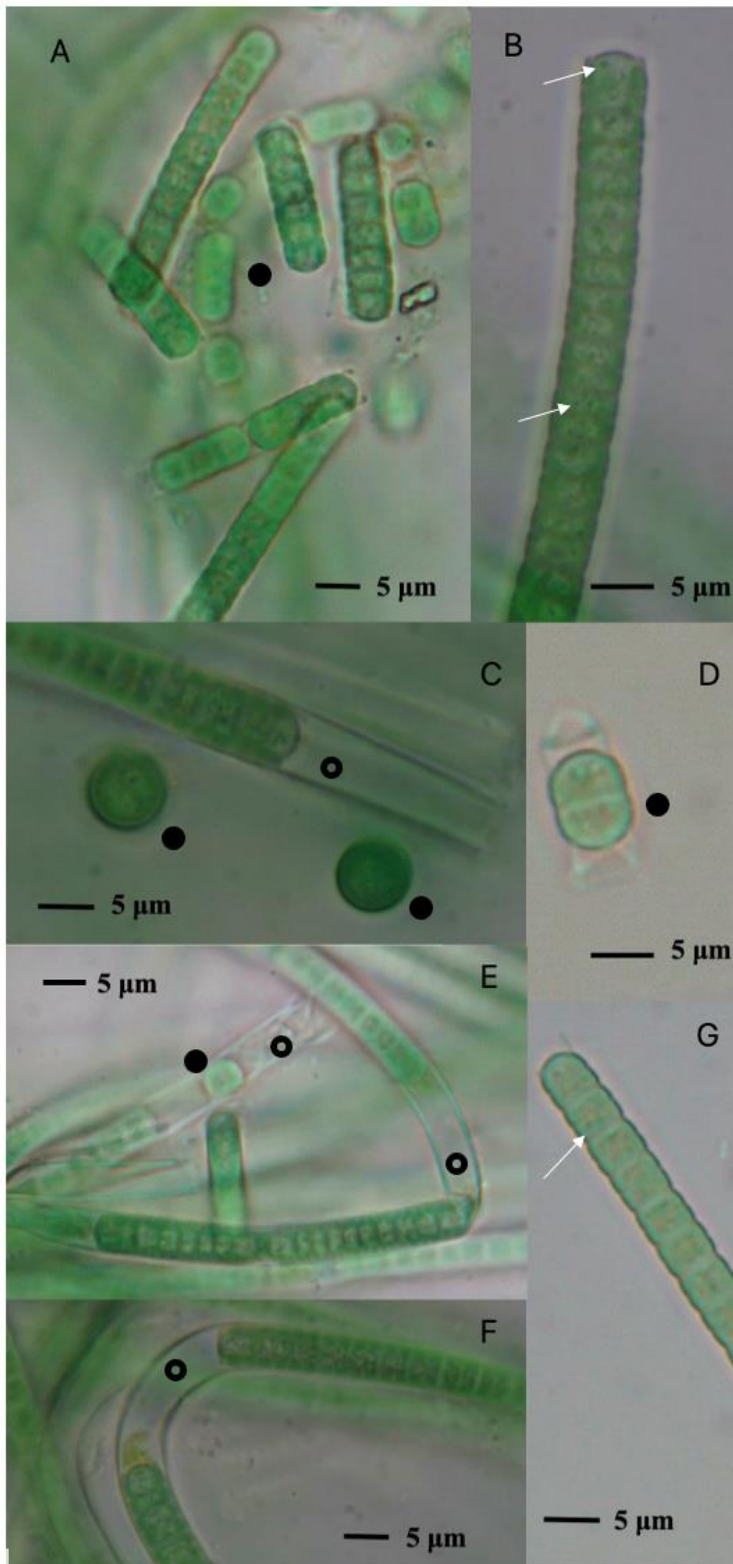
Příloha 4: Obrazová tabule *Geitlerinema splendidum* kmen K1V1_R bez dusíku (modrá tenká šipka – modré útvary, bílá tenká šipka – granulace, trojúhelník – apikální buňka) (foto: Aneta Vaculíková)



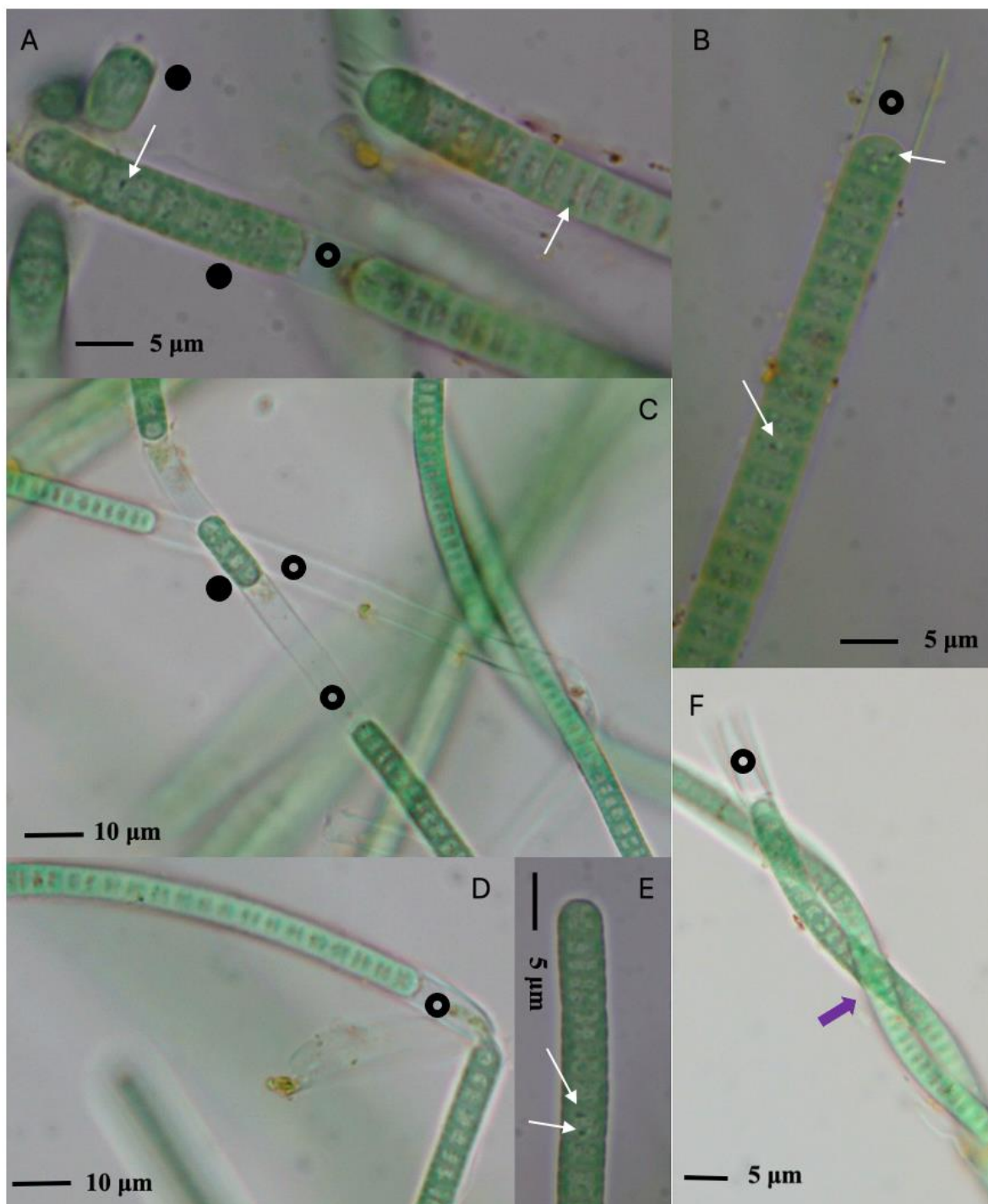
Příloha 5: Obrazová tabule *Geitlerinema splendidum* kmen K1V1_R bez fosforu (modrá tenká šipka – modré útvary, bílá tenká šipka – granulace, trojúhelník – apikální buňka) (foto: Aneta Vaculíková)



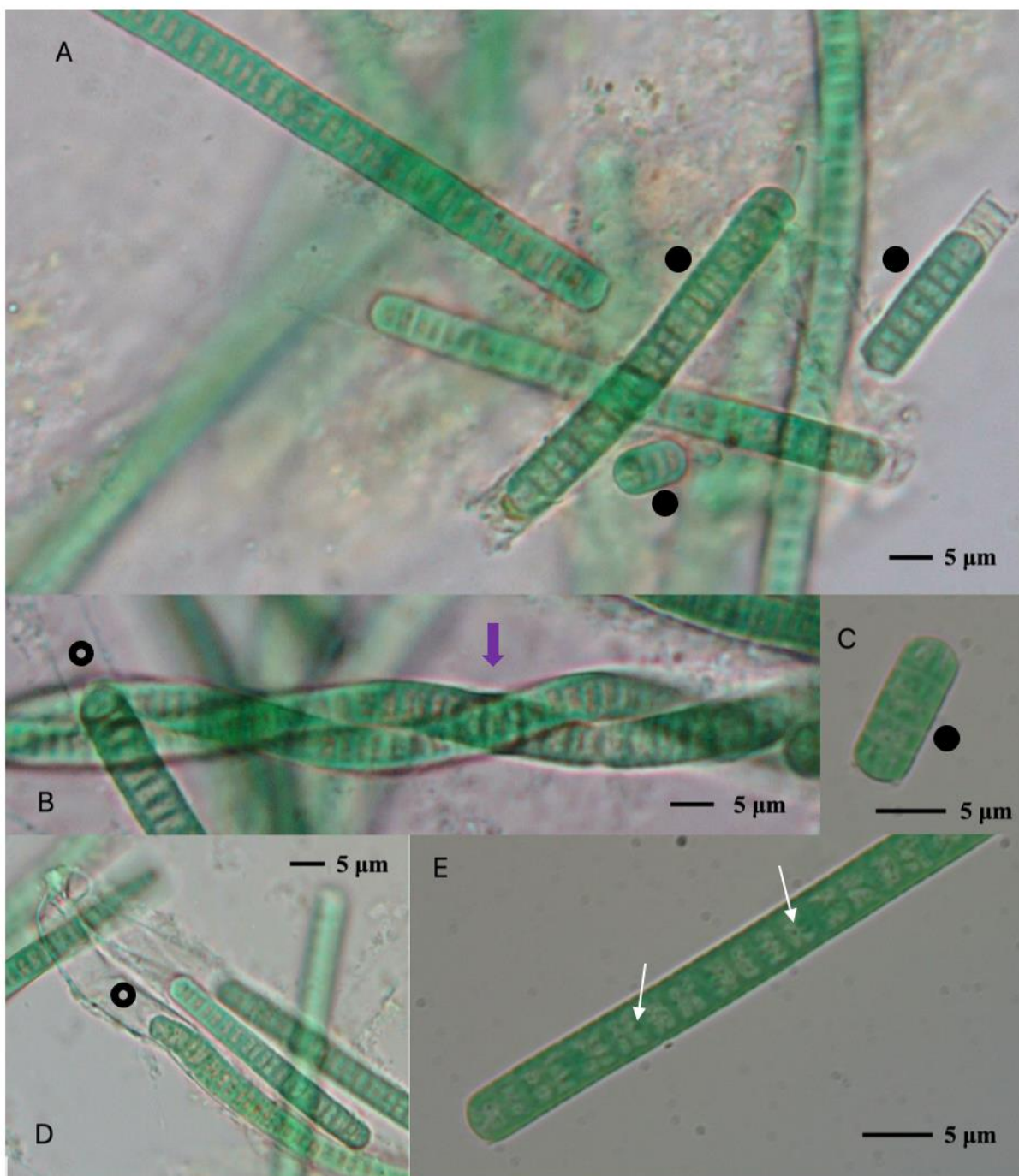
Příloha 6: Obrazová tabule *Geitlerinema splendidum* kmen K1V1_R ve tmě (modrá tenká šipka – modré útvary, bílá tenká šipka – granulace, trojúhelník – apikální buňka) (foto: Aneta Vaculíková)



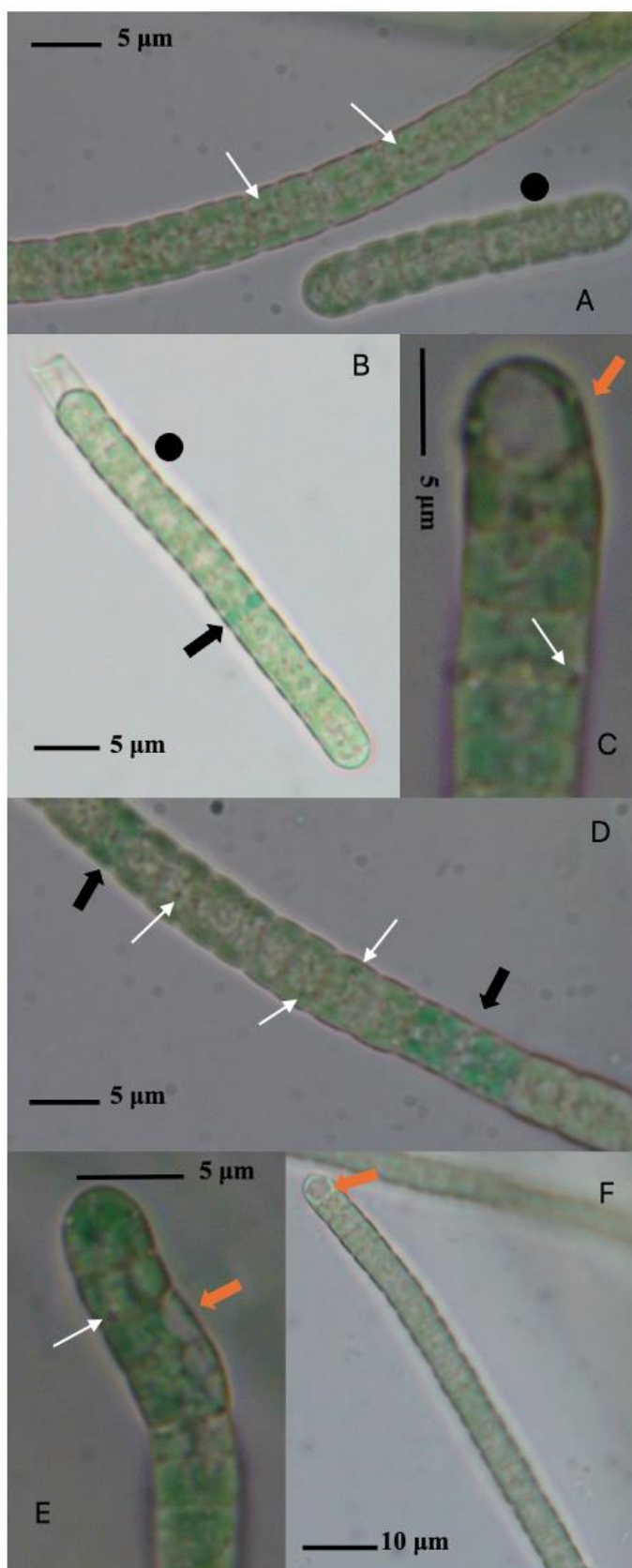
Příloha 7: Obrazová tabule *Phormidium tergestinum* kmen K2V1_L bez dusíku (bílá tenká šipka – granula, černé kolečko – hormogonie, černý kroužek – slizová pochva) (foto: Aneta Vaculíková)



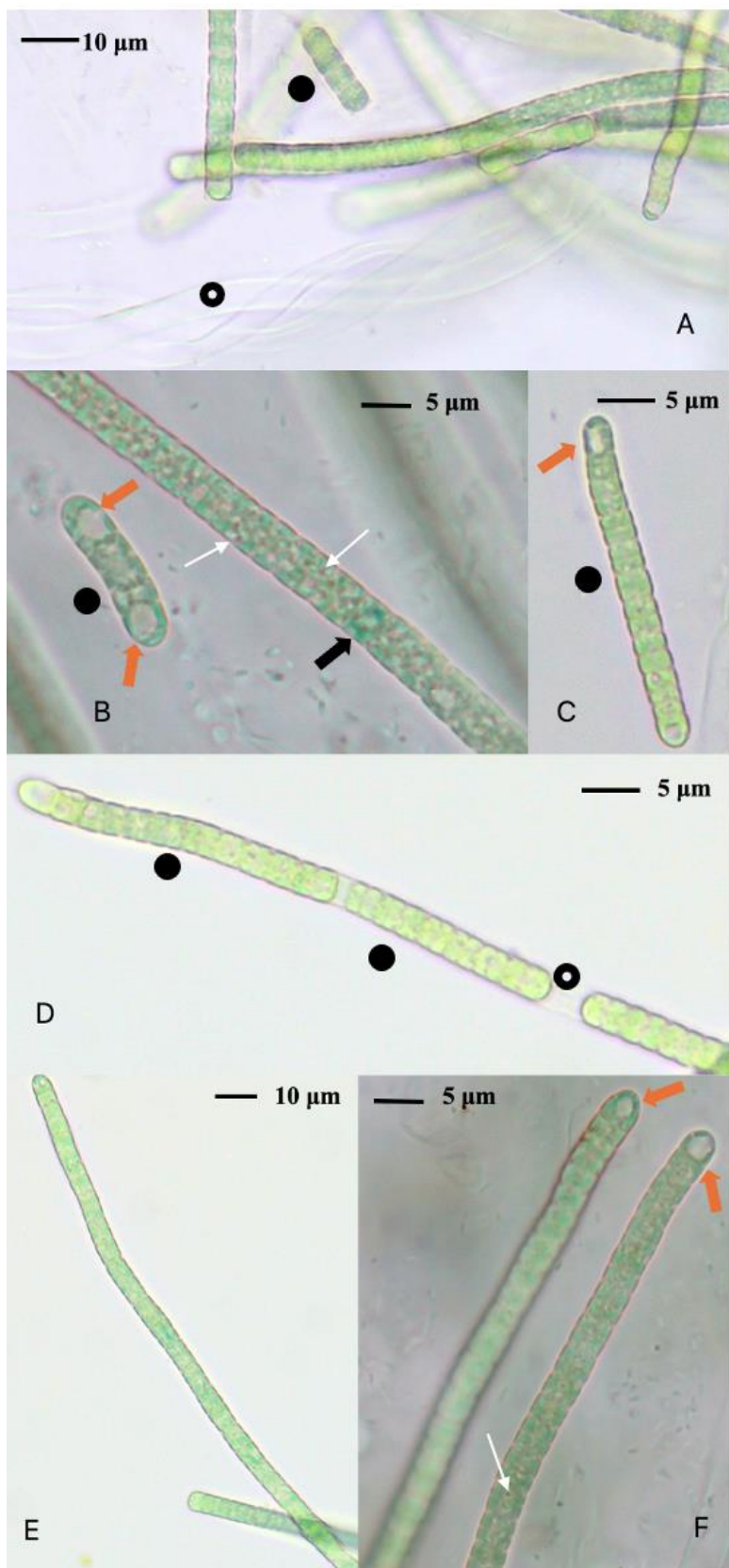
Příloha 8: Obrazová tabule *Phormidium tergestinum* kmen K2V1_L bez fosforu (bílá tenká šipka – granulace, tlustá fialová šipka – propletení trichomů, kolečko – hormogonie, kroužek – slizová pochva) (foto: Aneta Vaculíková)



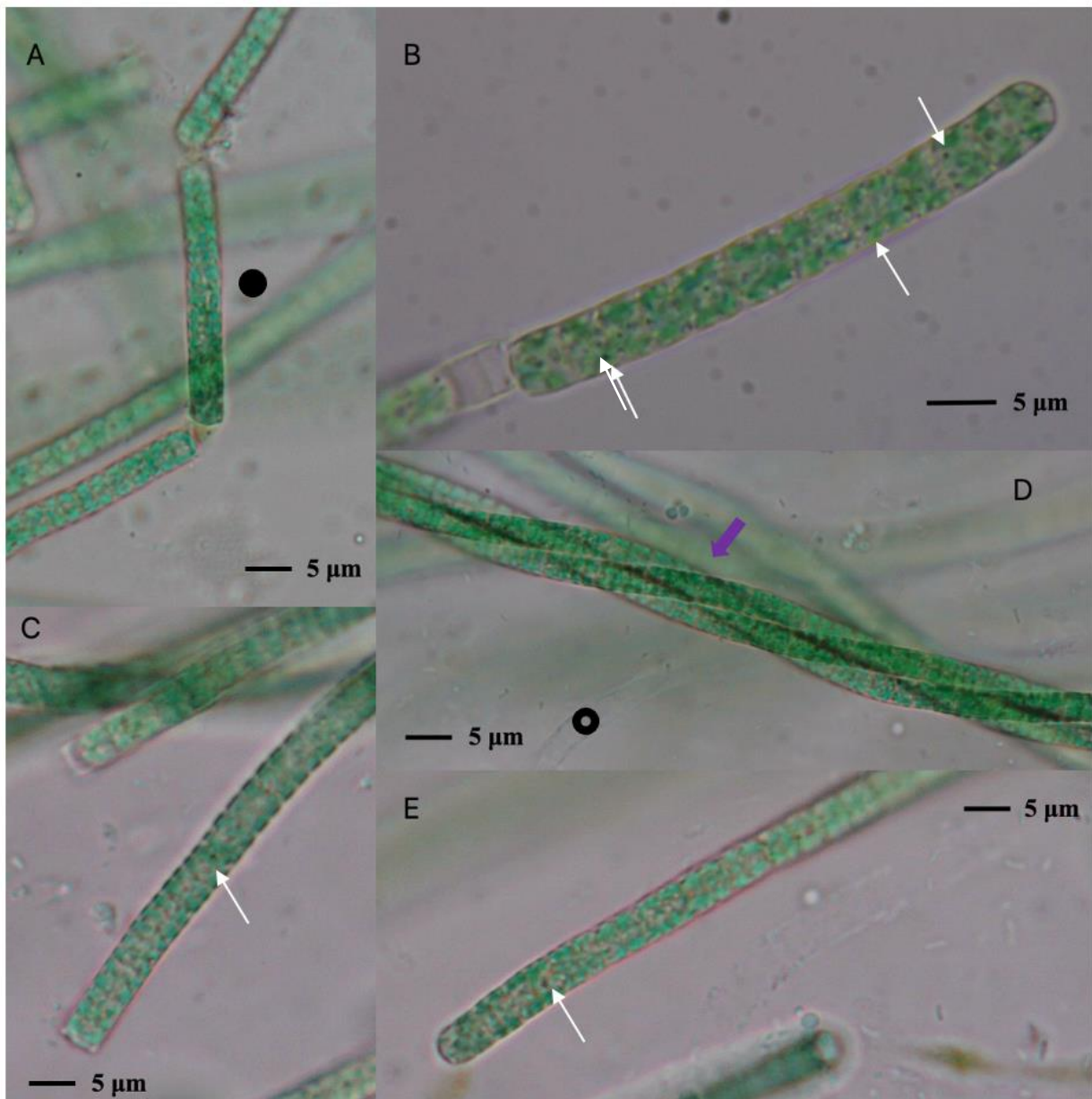
Příloha 9: Obrazová tabule *Phormidium tergestinum* kmen K2V1_L ve tmě (bílá tenká šipka – granulace, tlustá fialová šipka – propletení trichomů, kolečko – hormogonie, kroužek – slizová pochva) (foto: Aneta Vaculíková)



Příloha 10: Obrazová tabule *Phormidium ambiguum* kmen K4B1_Q bez dusíku (černá tlustá šipka – nekrotická buňka, oranžová tlustá šipka – úbytek plazmy, bílá tenká šipka – granulace, kolečko – hormogonie) (foto: Aneta Vaculíková)



Příloha 11: Obrazová tabule *Phormidium ambiguum* kmen K4B1_Q bez fosforu (černá tlustá šipka – nekrotická buňka, oranžová tlustá šipka – úbytek plazmy, bílá tenká šipka – granulace, kolečko – hormogonie, kroužek – slizová pochva) (foto: Aneta Vaculíková)



Příloha 12: Obrazová tabule *Phormidium ambiguum* kmen K4B1_Q ve tmě (fialová tlustá šipka – propletení trichomů, bílá tenká šipka – granulace, kolečko – hormogonie, kroužek – slizová pochva) (foto: Aneta Vaculíková)