Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta

Katedra botaniky
Studijní program: Biologie
Studijní obor: Botanika

Bc. Zuzana Herciková

Vliv faktorů prostředí na výskyt vzácných druhů zlativek s křemičitými šupinami

Influence of enviromental factors on the occurrence of rare silica scaled chrysophyte species

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:
Mgr. Pavel Škaloud, Ph.D.

Praha, 2026

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 5. 8. 2026 Podpis:

Poděkování:

Děkuji moc svému školiteli Mgr. Pavlu Škaloudovi, Ph.D. za skvělé nápady a pomoc při psaní této práce. Dále chci poděkovat panu Mgr. Marku Slovákovi za pomoc při určování vodních rostlin, Mgr. Kateřině Tučkové za dlouhé hodiny strávené na transmisním elektronovém mikroskopu, všem účastníkům Třeboňských odběrů, jmenovitě Mgr. Petru Knotkovi, Mgr. Ivě Jadrné PhD., Bc. Jonášovi Lisovi a opět Mgr. Kateřině Tučkové. Dále chci poděkovat Mgr. Andree Kučerové, PhD. a RNDr. Lubomírovi Adamcovi, CSc. za jejich konzultaci o tom, na které parametry prostředí by bylo vhodné se zaměřit. Také chci poděkovat všem z oddělení algologie a mojí rodině za jejich cenné rady a podporu.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá příčinou vzácnosti mikroskopických řas z třídy Chrysophyceae, konkrétně rody *Mallomonas* a *Synura*. Tyto taxony byly vybrány proto, že tvoří druhově specifické křemičité šupiny, díky nimž jsou snadno určitelné do druhů. I z toho důvodu, že existuje databáze záznamů výskytu těchto druhů v Evropě. Takto zmapovaná a podrobná data o distribuci druhů mikroskopických řas jsou výjimečná.

Cílem této práce bylo zjistit, jestli má na výskyt vzácných druhů zlativek s křemičitými šupinami vliv některý ze zkoumaných parametrů prostředí, popř. jestli mají některé faktory prostředí větší vliv, než jiné a zda mají vliv spíše chemické, biologické, nebo geologické parametry lokality. Dále mě zajímalo, zda je možné dopředu odhadnout, na které lokalitě se bude vyskytovat větší množství vzácných druhů rodů *Mallomonas* a *Synura* pomocí jednoduchého popisu, nebo pozorování lokality.

Pro zodpovězení těchto otázek byly analyzovány vztahy mezi biotickými a abiotickými parametry prostředí a indexy vzácnosti lokalit. Každé lokalitě byly přiřazeny tři indexy vzácnosti: index relativní vzácnosti, index maximální geografické disperze a index obsazené plochy („Area of occupancy“ - AOO index). Čím nižší index, tím vyšší pravděpodobnost nálezů vzácných druhů na lokalitě.

Korelace parametrů lokalit s indexy vzácnosti ukázala, že z 30 abiotických i biotických parametrů prostředí ovlivňují vyšší přítomnost vzácných druhů zjména koncentrace křemíku ve vodě, celoroční hnízdění ptáků na lokalitě, členitost lokality a celková koncentrace dusíku vodě.

Celoroční přítomnost ptáků na lokalitě má podle mých výsledků pozitivní vliv na výskyt vzácných druhů. Koncentrací křemíku ve vodě vysvětlovala 7% variability indexu vzácnosti – čím vyšší koncentrace křemíku, tím nižší index vzácnosti. Se zvyšující se celkovou koncentrací dusíku ve vodě klesala pravděpodobnost výskytu vzácných druhů námi zkoumaných zlativek ve společenstvu. Toto zjištění potvrzuje hypotézu, že vzácné druhy nesnáší eutrofizované lokality.

I přes to, že faktory, které mají vliv na indexy vzácnosti, vyšly statisticky významně, vysvětlují pouze malou část variability indexů vzácnosti. Na výskyt vzácných druhů má vliv mnoho faktorů a odhalení příčiny toho, proč jsou některé druhy vzácné, a jiné běžné vyžaduje další zkoumání.

Klíčová slova: *Synura*, *Mallomonas*, vzácné druhy, parametry prostředí, Třeboňsko, index relativní vzácnosti, AOO index, index průměrné geografické disperze, GLM PCA

Abstract

In my diploma thesis, I am to identify the factors underlying rarity of microscopic algae from the class Chrysophyceae, specifically the genera *Mallomonas* and *Synura*. These taxa were selected, because they form species-specific siliceous scales, which make them easily identifiable at the species level. Another reason for their selection is the existence of a database documenting their occurrence in Europe. Such detailed, spatially explicit distribution data for microscopic algal species are exceptional.

The aim of this study was to determine whether any of the examined environmental parameters influence the occurrence of rare species of golden algae with siliceous scales, whether certain environmental factors have a greater influence than others, and whether chemical, biological, or geological parameters of a site differ in their impal. I was also interested in determining whether it is possible to predict, based on a simple description or visual inspection of a locatily, which sites are likely to host a higher number of rare species belonging to the genera of interest.

To adress these questions, I analyzed the relationships between biotic and abiotic environmental parameters and site rarity indexes. Each site was assigned three rarity indices: the relative rarity index, the maximum geographic dispersion index, and the area of occupancy (AOO) index. The lower the index the higher the propability of the occurence of rare species of the genera *Mallomonas* and *Synura* at a given site.

Correlations between site parameters and rarity indices showed that, out of 30 abiotic and biotic environmental parameters, the factors most strongly associated with a higher presence of rare species were the concentration of silicon in water, year-round nesting of birds at the site, shoreline complexity and the total concentration of nitrogen in the water.

Year-round nesting of birds as well as high shoreline complexity, had a positive effect on the occurrence of rare species. Birds may act as vectors for the dispersal of rare species to habitats suitable for thein establishment. High concentration of silica also had a positive effect on the occurence of rare species. In contrast, increasing total nitrogen concentration in the water decreased the probability of rare species of the studied genera occurring in the community. This supports the hypothesis that rare species cannot tolerate eutrophicated sites.

Although the factors influencing the rarity indices were statistically significant, they explain only a small portion of the variability in these indices. Many factors influence the occurrence of rare species, and determining why some species are rare while others are common requires further investigation.

Keywords: *Synura*, *Mallomonas*, rare species, environmental parameters, Třeboň region, relative rarity index, AOO index, average geographic dispersion index, GLM PCA,

Obsah

1. ÚVOD 1
1.1 Vzácnost 1
1.2 Příčiny vzácnosti makroskopických organismů 2
1.3 Zkoumání vzácnosti a jejích příčin v mikrosvětě 3
1.4 Chrysophyceae 4
1.5 Otázky a cíle práce 6
2. MATERIÁL A METODY 7
2.1 Lokality, způsob odběru 7
2.2 Měřené faktory 8
2.2.1. Abiotické faktory 8
2.2.2 Biotické faktory 10
2.3 Elektronová mikroskopie 11
2.4 Zpracování dat 13
2.4.1 Tabulka environmentálních dat 13
2.4.2 Tabulka druhů nalezených pomocí TEM 13
2.4.3 Tabulky záznamů druhů *Mallomonas* a *Synura* v Evropě 13
2.4.4 Ukazatelé vzácnosti druhů 14
2.4.5 Hodnocení vzácnosti společenstev 15
2.4.6 Statistické vyhodnocení souvislosti faktorů prostředí s vzácností společenstev 15
2.4.7 Vizualizace výsledků 19
3. VÝSLEDKY 20
3.1 Faktory prostředí 20
3.1.1 Chemické parametry prostředí 20
3.1.2 Geologické parametry prostředí 22
3.1.3 Biologické parametry prostředí 24
3.2 GLM PCA 27
3.2.1 GLM PCA geologických parametrů lokalit 27
3.2.2 GLM PCA chemických parametrů lokalit 28
3.2.3 GLM PCA biologických parametrů lokalit 29
3.3 Indexy vzácnosti lokalit 30
3.4 Nalezené druhy 32
3.5 Deset lokalit s nejnižším indexem vzácnosti 36
3.6 Vícemodelová regresní analýza s AICc výběrem modelů 38

3.6.1 Analýza vztahů indexu relativní vzácnosti s třemi skupinami parametrů prostředí..... 38
3.6.2 Analýza vztahů indexu maximální geografické disperze s třemi skupinami parametrů prostředí 39
3.6.3 Analýza vztahů indexu obsazené plochy s třemi skupinami parametrů prostředí 39
3.6.4 Analýza vztahů tří indexů vzácnosti s vybranými parametry prostředí 40
3.7 Porovnání prvních deseti lokalit s nejnižším indexem vzácnosti a deseti lokalit s nejvyšším indexem relativní vzácnosti 42
3.7.1 Porovnání hodnot členitosti lokalit s nízkým a vysokým indexem relativní vzácnosti 42
3.7.2 Porovnání hodnot celkové koncentrace dusíku lokalit s nízkým a vysokým indexem relativní vzácnosti 43
3.7.3 Porovnání hodnot celkové koncentrace dusíku lokalit s nízkým a vysokým indexem vzácnosti 43
3.7.4 Porovnání celoročního hnízdění ptáků mezi lokalitami s nízkým a vysokým indexem relativní vzácnosti 44
4. DISKUZE 45
4.1 Faktory s vlivem na výskyt vzácných druhů rodů *Mallomonas* a *Synura* 45
4.1.1 Koncentrace křemíku ve vodě 45
4.1.2 Celoroční hnízdění ptáků na lokalitě 47
4.1.3 Celková koncentrace dusíku ve vodě 47
4.1.4 Členitost lokalit 48
4.1.5 Další faktory, které byly vybrány v AICc analýze 49
4.2 Je možné pomocí jednoduše získaných či pozorovaných faktorů vytipovat lokality obsahující větší množství vzácných druhů? 50
4.3 Jaké faktory hrají důležitější roli – chemické, biologické, nebo geologické? 50
4.4 Budou některé faktory podporovat vzácné druhy všeobecně, nebo bude vzácnost jednotlivých druhů záviset na rozdílných faktorech? 51
5. ZÁVĚR 52
6. ZDROJE 53
7. ELEKTRONICKÉ PŘÍLOHY 61

MOTTO

"Kdo dokáže vysvětlit, proč má jeden druh široký areál rozšíření a je velmi početný a proč jiný, příbuzný druh, má areál rozšíření úzký a je vzácný?"

Charles Darwin, O původu Druhů, 1859

1. ÚVOD

1.1 Vzácnost

Společenstva organismů na Zemi tvoří druhy běžné – s vysokou abundancí, často kosmopolitní - a druhy vzácné – často s omezeným výskytem a malou abundancí. Příčiny toho, proč jsou některé druhy vzácné, fascinují vědce již od dob Darwina (1859).

Abychom mohli zkoumat příčiny vzácnosti druhů, je nejprve nutné definovat, kdy se dá druh považovat za vzácný. Pro určení toho, jaké druhy jsou vzácné a jaké běžné existují různé indexy. Například Tsallisův index, který interpoluje mezi Shannon-Wienerovým indexem, pomocí kterého se dá zjistit zastoupení druhu ve zkoumaném souboru a Simpsonovým indexem, který říká, s jakou pravděpodobností budou dva náhodně vybraní jedinci ze souboru patřit ke stejnému druhu (Mendes et al., 2008). Nejčastěji se však ve studiích zkoumajících vzácnost používá Rabinowitzův index založený na třech parametrech: habitatové specifitě, velikosti populace a geografickém omezení výskytu druhu (Rabinowitz, 1981). S tímto indexem pracují spíše studie zabývající se makroorganismy. To může být i tím, že tři parametry, s nimiž počítá Rabinowitzův index, jsou pro mikroorganismy těžko definovatelné. Ekologické nároky mikroorganismů je těžké určit, protože jsou často nalézány v různých prostředích a na určení habitatové specifity je těchto nálezů příliš malý počet. Stejný problém nastává i při pokusu o určení geografického omezení. Současně je těžké určit velikost populace, protože mikroorganismy se na lokalitách často nalézají ve velkém počtu.

Práce zkoumající vzácné mikroorganismy většinou definují vzácnost jako 0,1%, nebo 0,01% podíl ve vzorku (Pascoal et al., 2021). Tato hranice je však často upravována a vzácnost může být definována i jinak. Například studie zkoumající vzácné řasy ve Velké Británii a Irsku definovala vzácnost jako „area of occupancy (AOO)" – plochu obývanou určitým druhem. Tu zjistili tak, že mapu britských ostrovů rozdělili na čtverce 10x10 km a pokud byl nějaký druh nalezen na15 a méně čtvercích z celkových 1111 použitých čtverců, byl považován za vzácný (Kelly et al., 2008).

Otázkou, proč jsou vlastně druhy vzácné, se nezabýval pouze Darwin. Studie zaměřující se na to, proč jsou některé druhy vzácné, se objevují už na začátku 20. století (Willis, 1922; Fernald, 1925). V dnešní době je toto téma ještě aktuálnější, protože vzácné druhy jsou citlivější na současné rapidně probíhající změny (Vincent et al., 2020; Duncan a Young 2000) a porozumění příčinám jejich vzácnosti je klíčové pro jejich ochranu. Vzácné druhy je důležité chránit nejen pro zachování diverzity, ale i kvůli tomu, že často poskytují nenahraditelné ekosystémové služby (Leitão et al., 2016; Pascoal et al., 2021; Jousset et al., 2017).

1.2 Příčiny vzácnosti makroskopických organismů

Pro pochopení příčin vzácnosti námi vybraných druhů Chrysophyceae a jejich zkoumání je důležité vědět, co ovlivňuje výskyt vzácných druhů makroskopických organismů.

Prozkoumaný je hlavně vliv abiotických faktorů prostředí na výskyt vzácných druhů rostlin. Zkoumán byl např. vliv pH půdy, hladiny spodní vody a koncentrace živin v půdě. Vzácné druhy mají obecně užší ekologickou valenci a preferují malou koncentraci dusíku (Wieger Wamelink et al., 2014). Nízkou koncentraci živin preferují i vzácné lišejníky. Na ty má mimo eutrofizace prostředí vliv i typ substrátu, na němž rostou, a dále vlhkost vzduchu. Vzácné druhy lišejníků tak často najdeme epifyticky rostoucí ve starých vlhkých lesích (Nimis et al., 2018). Koncentrace dusíku má vliv nejen na vzácné druhy suchozemských rostlin, ale i na ty vodní. Bylo zjištěno, že vodní rostlina *Aldrovanda vesiculosa* také preferuje oligotrofní stanoviště (Adamec, 1995). Tato kriticky ohrožená masožravá vodní rostlina byla introdukována do oligo-mezotrofních bahenních jezírek na Třeboňsku. Adamec a Lev (1999) sledovali vliv hloubky vody, fluktuace hladiny, dominantních vodních a emergentních rostlin, zastíněnost stanoviště, typ sedimentu na dně, průhlednost vody a koncentrace oxidu uhličitého ve vodě na prospěch rostlin. Zajímal je také chemismus vody: měřili také koncentraci kyslíku ve vodě, pH, teplotu a makronutrienty. V pětileté studii bylo potvrzeno, že *Aldrovanda vesiculosa* preferuje mělká oligotrofní jezírka s populacemi *Carex rostrata, Typha angustifolia,* nebo *Phragmites australis* (Adamec, 1995, podle Adamec a Lev, 1999). A také, že dokáže přežít a množit se i v blízkosti hypertrofních rybníků na Třeboňsku (Adamec a Lev, 1999).

Z abiotických podmínek, jež mají vliv na výskyt druhů, je třeba zvýraznit vliv teploty. Ta se v současné době rapidně mění a druhy, které byly dříve na určitém stanovišti běžné, ustupují a stávají se vzácnými. Jedním z takovýchto ustupujících druhů je např. *Laminaria digitata*, která již při 20 °C není schopná tvořit spory a mizí z pobřeží Britských ostrovů (I. Bartsch, cit. dle Brodie et al., 2009).

Dalším faktorem, který má velký vliv na vzácnost druhů je schopnost disperze, která přímo souvisí s velikostí a odolností disperzních stádií. Druhy s malými a odolnými disperzními stádii se lépe šíří a jsou běžnější než druhy s velkými, nebo neodolnými propagulemi. Příkladem druhu omezeného neschopností se šířit je např. *Lodoicea maldivica* – palma s největšími semeny na světě (v průměru 10 kg). Velikost semen omezuje šíření této palmy, která je endemitem Seychelských ostrovů (Fleisher-Dogley et al., 2011). Přesto, že některé druhy mají velmi malá disperzní stádia, mohou být vzácné, protože vyžadují velmi specifické podmínky – např. rostliny hadcových stepí.

Na vzácnost druhů mohou mít vliv i biotické faktory. Například pro již dříve zmíněnou vodní rostlinu *Aldrovanda vesiculosa* je nezbytná přítomnost huminových kyselin ve vodě, v níž roste. Tyto kyseliny vznikají rozkladem organické hmoty jiných odumřelých rostlin (hlavně *Carex* a *Phragmites*), na nichž je tedy *A. vesiculosa* závislá. Odumřelá hmota nejen, že poskytuje huminové kyseliny, ale také uvolňuje oxid uhličitý a snižuje pH. *Aldrovanda* je zároveň neschopná konkurence (vadí jí i velké množství fytoplanktonu, nebo přítomnost vláknitých řas) a nesnese ani zastínění lokality okolní vegetací. Na její výskyt má vliv i abundance zooplanktonu, jímž se živí (Adamec, 1995). Zatímco *Aldrovanda* preferuje vysokou abundanci zooplanktonu, pro mikrořasy představuje zooplankton významný predační tlak, který může fytoplankton výrazně limitovat.

Některé organismy mohou být vzácné, protože jsou závislé na jiném organismu s omezeným výskytem. Jako příklad lze uvést orchidej *Caladenia huegelii*, jejíž růst je závislý na jednom specifickém druhu mykorhizní houby z druhového komplexu *Sebacina vermifera*. Příbuzné druhy orchidejí z rodu *Caladenia*, které jsou schopné měnit mykorhizní partnery, popř. navázat symbiotický vztah s více houbami tak vzácné nejsou (Swarts et al., 2010). I řasy mohou být vzácné, kvůli

symbióze s vzácnými živočichy. Např. rozsivka *Navicula dermochelycola* roste pouze epizoicky na želvě *Dermochelys coriacea* (Riaux-Gobin et al., 2021).

1.3 Zkoumání vzácnosti a jejích příčin v mikrosvětě

Studií zkoumajících příčiny vzácnosti mikroskopických organismů není mnoho (Bolgovics et al., 2019; Görgényi et al., 2023; Riaux-Gobin et al., 2021). Zkoumání vzácnosti v mikrosvětě je výrazně odlišné od zkoumání vzácnosti makroorganismů. A to nejen proto, že některé faktory mohou mít opačný účinek na mikro a makroorganismy (viz např. zooplankton výše).

Tento nedostatek studií je zapříčiněn mikroskopickou velikostí organismů a tím pádem ztíženým určením výskytu druhů. Monitoring druhů je těžký i kvůli problémům se sezonalitou druhů (Nolte et al., 2010), s nedostatkem odborníků (Whitford, 1983) a s pojmenováním druhů - často má jeden druh více názvů, nebo mají druhy naopak kryptickou diverzitu odhalenou až sekvenováním, atd.

Ve vědecké komunitě se dokonce debatuje o tom, že mikroskopické organismy jsou díky své malé velikosti, a tudíž snadné disperzi všudypřítomné a vzácné, nebo dokonce endemické druhy mikroskopických organismů neexistují (Baas Becking, 1934; Fenchel a Finlay, 2004).

Toto tvrzení popírá Foissner (2008). Svůj názor zakládá hlavně na existenci vlajkových druhů (morfologicky dobře poznatelných druhů) a jejich nepřítomnosti v dobře prozkoumaných oblastech světa (Foissner, 2007). Dalším důkazem jsou například lidské introdukce druhů. Např. rozsivka *Discostella asterocostata*, která byla považována za endemita východní Asie, byla nalezena v severní Americe v jezerech se stejnou ekologií jako mají ta asijská. Paleolimnologické data a morfometrické analýzy potvrzují zavlečení rozsivky do Ameriky lidmi v polovině 80. let 20. století (Alverson et al., 2021). Podobných příkladů je více. Dalším důkazem předchozí nepřítomnosti druhů jsou invazní druhy mikroorganismů. Příkladem může být rozsivka *Lindavia intermedia*, která způsobuje vodní květ zvaný jako „jezerní sníh“. Jejím hlavním vektorem distribuce je člověk (Kilroy et al., 2021).

I kdyby Baas-Beckingova teorie, že všechno je všude, pouze prostředí vybírá, fungovala, některé druhy vyžadují tak specifické prostředí, že by stejně byly globálně vzácné (Riaux-Gobin et al., 2021). Spoustu biotopů je v současné době ohrožena např. znečištěním, invazními druhy, klimatickou změnou, urbanizací, modifikacemi hydrologického systému, zemědělstvím, hornictvím, nadměrným rekreačním užíváním lidmi atd. Řasy žijící v těchto biotopech se mohou stát vzácnými a vzácné řasy závislé na těchto habitatech mohou zmizet úplně (Juráň a Kaštovský, 2019).

Úzká ekologická valence a výskyt na velmi specifických lokalitách jsou jedním z hlavních faktorů, které ovlivňují vzácnost druhů. Byla testována i hypotéza, že různé typy vodních ploch by se mohly lišit v počtu vzácných druhů. Například Bolgovics a její tým (2019) zjistili, že malé vodní plochy obsahují větší diverzitu řas, než ty velké. To by mohlo být způsobeno přístupností větrům, okolní vegetací (Bolgovics et al., 2019), nepřítomností zooplanktonu (Dareiva, 1987 podle Bolgovics et al., 2019) nebo přítomností ptáků (Scheffer et al., 2006 podle Bolgovics et al., 2019). V souvislosti s habitatem byl zkoumán i vliv původu vodního tělesa (přírodní nebo vytvořené lidmi), vodního režimu (vysychání, přítoky, proudy), chemického složení a hloubky. Zkoumali 24 typů habitatů: bažiny, slepé meandry, potoky, jezera, jeskynní vody, solná jezírka, atd. Bažiny, meandrová jezera a prameny obsahovaly nejvíc vzácných druhů řas, zatímco jeskynní jezera, sníh, důlní jezera a thelmy měly druhů řas nejmíň (Görgényi et al., 2023). Překvapivé zjištění přinesla také studie diverzity řas v Maďarsku, kde bylo mnoho vzácných druhů (*Cylindrotheca gracilis, Stauridium parvum, Tetrastrum triacanthum, Nodularia spumigena* a další) nalezeno v mezotrofních až eutrofních vodách

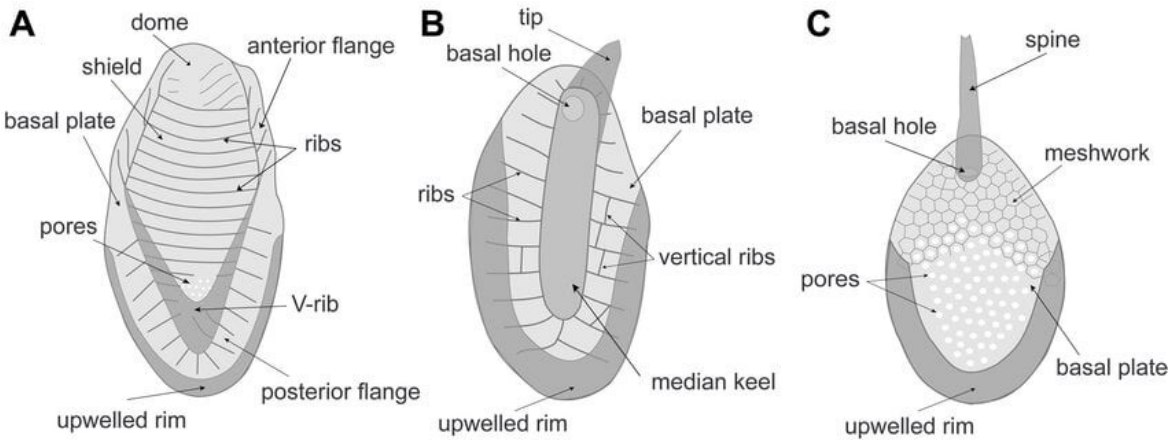
(Krasznai et al., 2008). To naznačuje, že samotný vliv trofické úrovně na vysvětlení výskytu vzácných druhů nestačí.

Na příčiny vzácnosti řas ze třídy Chrysophyceae zatím nebyl udělán žádný výzkum.

1.4 Chrysophyceae

Třída Chrysophyceae se česky jmenuje zlativky podle zlatohnědé barvy asimilačního pigmentu fukoxantinu. Jsou součástí skupiny Stramenopiles, která patří do superskupiny SAR. Tato třída obsahuje převážně sladkovodní bičíkaté zástupce. Většina zlativek má nahé buňky, ale některé rody tvoří ochranné obaly. Někteří, jako např. *Dinobryon, Lagynion* nebo *Chrysococcus*, tvoří loriky z organického materiálu, které mohou být vyztužené křemíkem, nebo železem. Jiní, jako např. *Mallomonas, Synura* nebo *Neotessella* tvoří na svém povrchu křemičité šupiny a ostny.

Tyto šupiny a ostny se zachovávají v sedimentu a mohou sloužit k rekonstrukci historického výskytu druhů a podle jejich ekologických nároků i k rekonstrukci změn a trofie prostředí, v němž byly nalezeny (Kristiansen, 1986). Slouží také k identifikaci druhů. Na povrchu šupin se totiž tvoří druhově specifické struktury (Obr. 1).



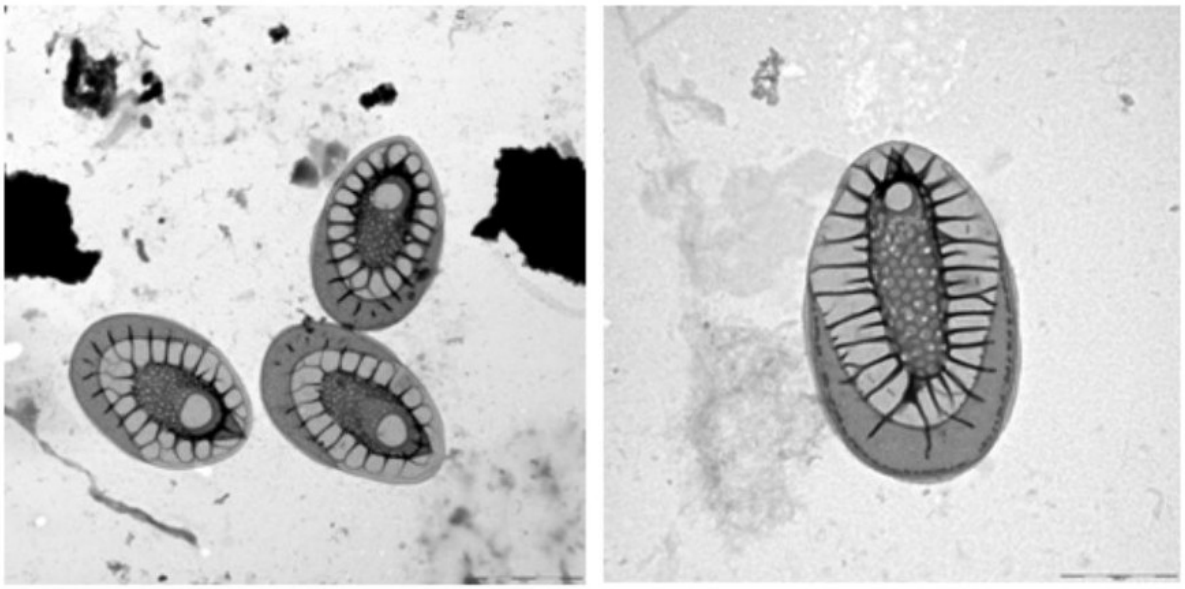
Obr. 1 Schématický obrázek hlavních morfologických rysů křemičitých šupin rodů *Mallomonas* (A) a *Synura*, v jednom případě se středovým kýlem (B) a v druhém s trnem (C) (Knotek a Škaloud, 2023).

Tato práce se zabývá rody *Mallomonas* a *Synura*, které patří do řádu Synurales. Dříve byli Synurales vyčleňováni jako třída Synurophyceae, sesterská třídě Chrysophyceae. Tato třída ale nebyla podpořena molekulárními analýzami (Klaveness et al., 2011).

Zástupce této třídy najdeme převážně v oligotrofních sladkovodních habitatech s největší abundancí na jaře a na podzim.

Před vynálezem elektronové mikroskopie byla identifikace druhů Synurales velmi složitá. Druhy byly popisovány např. na základě tvaru buňky, morfologie a postavení ostnů (Conrad, 1920 podle Škaloud et al., 2013). Šupiny jsou často menší než 10 μm a ve světelném mikroskopu je nelze použít jako taxonomický znak. Převrat (nejen) v taxonomii nastal v 50. a 60. létech 20. století s příchodem transmisní elektronové mikroskopie (Kristiansen, 2000). Je potvrzené, že rozdíly ve strukturách na šupinách nejsou pouze vnitrodruhová variance. Například morfologické rozdíly struktur na šupinách *Synura petersenii* f. *bjoerkii* a *Synura petersenii* f. *asmundiae* (Obr. 2) byly

považovány za vnitrodruhovou varianci, ale bylo zjištěno, že tyto formy jsou geneticky tak odlišné, že byly vyčleněny jako dva odlišné druhy (Škaloud et al., 2013).



Obr. 2 Morfologické rozdíly struktur na šupinách dvou druhů rodu *Synura*, vlevo *Synura bjoerkii* a vpravo *Synura asmundiae*, měřítko 1 μm (Škaloud, 2021).

Rozšíření rodů *Synura* a *Mallomonas* je ovlivněno jejich schopností disperze. Synurales tvoří dva útvary, pomocí nichž by se mohli šířit: palmeloidní stádia (shluk buněk bez bičíků ve slizu) a stomatocysty (endogenně vznikající odpočívající stádia krytá křemičitou stěnou s vrcholovým pórem ucpaným pektinem, která jsou viabilní několik let). Šíření větrem je nepravděpodobné kvůli vyschnutí, ale je zdokumentovaný případ kultivace rodu *Synura* z peří vodních ptáků (Schlichting, 1960).

Jejich rozšíření ovlivňují i environmentální podmínky – např. pH. Je známo, že *S. sphagnicola* se vyskytuje v kyselém pH, *S. uvella* spíše v alkaličtějším pH a na výskyt *S. petersenii* nemá pH vliv (Kristiansen, 1975). Ostatní faktory, jako jsou průměrná sezónní teplota, chemismus a barva vody mají také vliv na geografický výskyt druhů (Siver, 1991; Kristiansen, 1986; Sandgren, 1988). Výskyt zlativek ovlivňuje také zooplankton, který má pravděpodobně vliv i na populační maxima této třídy (Sandgren, 1988).

Mnoho druhů *Mallomonas* a *Synura* je kosmopolitních, ale jsou i druhy s arktickým, jižně, nebo severně temperátním, tropickým a dokonce i endemickým rozšířením. Mnoho druhů původně popsaných jako endemické bylo později nalezeno i na jiných kontinentech (Kristiansen a Lind, 2005). Stále ale známe mnoho příkladů endemických, nebo alespoň velmi vzácných druhů i z velmi dobře prozkoumaných oblastí jako je Evropa. Příkladem hotspotu vzácných druhů Synurales v Evropě je Akvitánie ve Francii (Němcová et al., 2012; Faturová 2012).

1.5 Otázky a cíle práce

Tato práce se zabývá příčinou vzácnosti mikroskopických řas z třídy Chrysophyceae, konkrétně rody *Mallomonas* a *Synura*. Tyto rody byly vybrány proto, že tvoří druhově specifické křemičité šupiny, díky nimž jsou snadno určitelné do druhů. Analýzou parametrů prostředí a dat o výskytu vzácných druhů na Třeboňských lokalitách i v Evropě jsem se pokusila odpovědět na následující otázku:

Které faktory mohou mít vliv na výskyt vzácných druhů zlativek s křemičitými šupinami?

Zkoumané faktory s možným vlivem na výskyt vzácných druhů *Mallomonas* a *Synura* byly vybírány na základě hypotéz o jejich možném vlivu. Např. výskyt zooplanktonu na lokalitě by mohl negativně korelovat s výskytem vzácných druhů: některé skupiny zooplanktonu by mohly být potravně specifické a jejich nepřítomnost by mohla mít pozitivní vliv na výskyt vzácných druhů zlativek. Přítomnost dalších skupin řas by také mohla mít negativní vliv na výskyt vzácných druhů, kvůli kompetici o zdroje. Celoroční hnízdění ptáků na lokalitě by mohlo mít pozitivní vliv na výskyt vzácných druhů zlativek, protože ptáci jsou považováni za jeden z vektorů, jejichž pomocí se zlativky šíří. Potvrzení, či vyvrácení těchto hypotéz bylo hlavním cílem této práce.

Cílem bylo i nalézt odpověď na to:

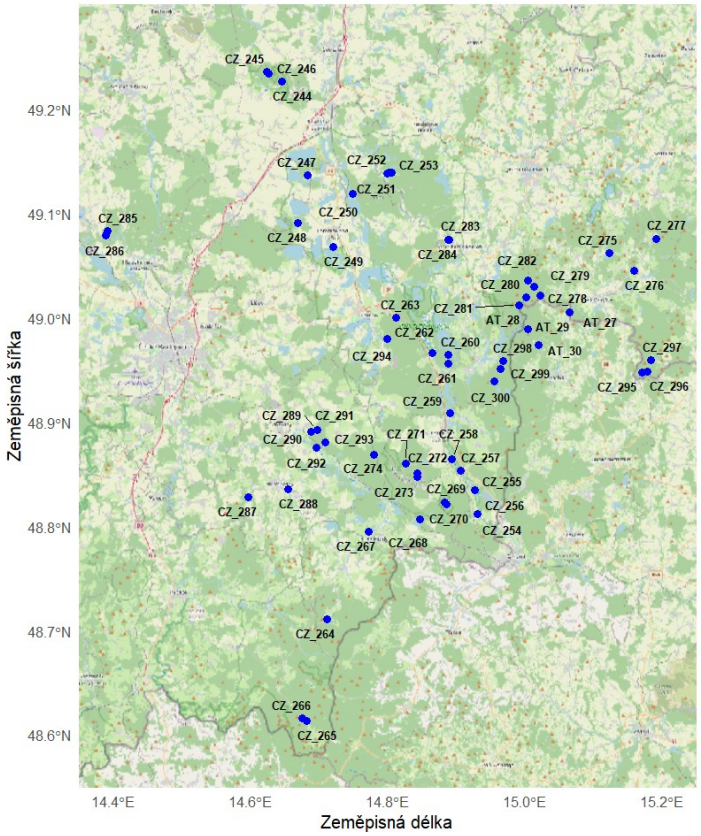
- zda je možné pomocí jednoduše získaných či pozorovaných faktorů vytipovat lokality obsahující větší množství námi zkoumaných vzácných druhů.
- zda mají některé faktory větší vliv, než jiné, a pokud ano, budou mít vliv spíš faktory spojené s chemismem lokality, s biologickými, nebo geologickými parametry lokality?

2. MATERIÁL A METODY

2.1 Lokality, způsob odběru

Vzorky použité v této diplomové práci byly odebrány z 61 lokalit na Třeboňsku a v Rakousku (Obr. 3) v průběhu šesti dnů. Odběr byl uskutečněn v co nejkratším časovém úseku, aby byly podmínky jednotlivých lokalit co nejmíň odlišné. Odebíralo se na podzim roku 2024 od 28. října do 2. listopadu. Toto období bylo vybráno proto, že je jedním ze dvou populačních maxim zlativek ve fytoplanktonu.

Během odběrů v terénu byla odebrána voda z mnoho typů lokalit (Obr. 4): z mokřadů, relativně nedávno vykopaných lesních tůní, starých rybníků, jezírka s aktivní těžbou rašeliny, zaplavovaných lesních tůní, slepých ramen řek, bývalých lomů a pískoven. Oblast odběrů byla vybrána, na základě dříve potvrzené vysoké diverzity řas z třídy Chrysophyceae. Geografické souřadnice lokalit a data odběrů byly zaznamenány do tabulky v programu MS Excel (Microsoft Corporation, Redmond, USA).



Obr. 3 Mapa lokalit Třeboňských odběrů (2024) s jejich číselnými kódy

Obr. 4 Příklady různých lokalit: První řádek zleva: CZ_244 – bývalá pískovna Jitra, CZ_246 – tůň Borkovická Blata, CZ_262 - slepé rameno Lužnice. Druhý řádek zleva: CZ_269 – NPR Žofinka, CZ_288 - lom u Trhových Svinů, AT_29 – rybník Richterteich.

Vzorky vody byly odebírány planktonní síťkou s velikostí ok 20 µm. Na každé lokalitě byla použita čistá síťka a na konci každého dne odběrů byly síťky vysterilizovány v roztoku Sava a vysušeny přes noc. Pokud byly na lokalitě přítomné vodní makrofyta, byla z nich vyždímána voda a smíchána s vodou v 60 ml odběrové nádobce (Spectainer ECO).

Na každé lokalitě byly odebrány vzorky vody pro chemické analýzy a pro transmisní elektronovou mikroskopii (TEM), kombinovanou se světelnou mikroskopií. Vzorky pro mikroskopii byly přelity do malých eppendorf zkumavek a byly fixovány kapkou formalínu.

2.2 Měřené faktory

Na každé lokalitě byly změřeny biotické a abiotické faktory prostředí, které by mohly mít vliv na výskyt vzácných druhů mnou zkoumaných rodů.

2.2.1. Abiotické faktory

2.2.1.1. Fyzikálně-chemické parametry prostředí

Pomocí kombinovaného konduktometru WTW 340i (WTW GmbH, Weilheim Germany) byla na každé lokalitě změřena **teplota**, **pH** a **konduktivita** vody. **Procento kyslíku** ve vodě bylo měřeno pomocí oxymetru (kufříkový set HI98198 od firmy HANNA).

Pomocí Secciho desky byla změřena **průhlednost** vody (cm) a **hloubka** (cm) vodního sloupce dva metry od břehu.

Koncentrace křemíku (Si; mg l^{-1}) byla zjištěna pomocí Checker®HC SILICA LR firmy HANNA.

Barevnost vody na lokalitě (CPU) byla změřena pomocí Checker®HC na stanovení barvy vody od stejné firmy. Rozsah tohoto přístroje (0-500 CPU) nestačil na barevnost dvou lokalit (CZ_269, CZ_270). Vzorky vody z těchto lokalit byly naředěny destilovanou vodou v poměru 1:10 a analýza byla provedena znovu. Nový výsledek byl poté vynásoben 10.

Vzorky vody z každé lokality byly odeslány do Analytické laboratoře v Třeboni, která je pod správou Botanického ústavu AV ČR, v. v. i. na **analýzu celkové koncentrace dusíku** (TN; mg l^{-1}), **fosforu** (TP; µg l^{-1}), **vápníku** (Ca; mg l^{-1}) a **organického uhlíku** (TOC; mg l^{-1}) na lokalitách. Koncentrace dusíku a fosforu byla zjištěná metodou persulfátové mineralizace: vzorky byly půl hodiny v uzavřených zkumavkách udržovány zahřáté na teplotu 150°C. Tímto způsobem byl dusík převeden na nitráty a fosfor na ortofosfáty, které byly spektrofometricky analyzované ve Flow Injection Analyzer (FIA). Koncentrace vápníku byla měřena pomocí iontové chromatografie technikou bez supresoru (Metrohm 881 COMPACT IC pro). Koncentrace uhlíku byla měřena pomocí automatického analyzátoru Skalar FormacsHT podle ISO 8245, EPA 415.1, a Standartních Metod 5310B.

2.2.1.2 Geologicko-morfometrické parametry prostředí

Přímo na lokalitě byl vizuálně určen **typ dna**. Lokalita byla poté zařazena do jedné z pěti kategorií: jemné bahno/jíl, bahno, písek, kameny nebo rašelina.

Část sedimentu byla odebrána do uzavíratelné plastové lahvičky pro pozdější určení **zápach**u **sedimentu**. Hodnocení tohoto parametru probíhalo na konci dne po návratu z odběrů. Všechny lahvičky se otevřely a nechaly se 3 minuty odvětrat. Poté se na 60 minut zavřely a nechaly odstát. Po šedesáti minutách každý ze šesti členů odběrů ohodnotil sílu zápachu sedimentu na lokalitě na stupnici od jedné do deseti (0 – bez zápachu, 10 – velmi silný zápach). Poté se hodnoty každé lokality zprůměrovaly z hodnot určených všemi členy. Z hodnocení lokalit CZ_254 až CZ_264 byl jeden člen vyloučen kvůli ztrátě čichu z důvodu nemoci (viz Tabulka1 v příloze). Mezi vzorky bylo čicháno k rozemletým kávovým zrnům, aby nedošlo k únavě čichového aparátu.

Z geologické mapy 1:500 000 na stránkách České geologické služby (ČGS, 2020) byl zjištěn **typ podloží lokality** a lokalita byla zařazena do jedné z kategorií: a) nivní sediment, b) pararula, c) vápence, slepence, jílovce, prachovce, d) křemen, e) slatina, rašelina, hnilokal, f) magmatit, granit, g) vytěžené prostory, h) písčito hlinitý sediment, c) písek, d) štěrk.

Plocha vodní hladiny a **obvod břehu** lokality byly změřeny pomocí nástroje pro měření vzdáleností v aplikaci Google Maps (Google LLC, Mountain View, USA). Z těchto hodnot byla spočítána **členitost** lokalit pomocí vzorečku:

$$\text{členitost} = \frac{x}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot y}},$$

x = délka břehu, y = plocha hladiny.

Jedním z dalších měřených parametrů bylo **stáří lokality**. To bylo zjišťováno na stránkách Třeboňských rybníků (rybniky.info). Pro odhad stáří přírodních tůní a stáří vody ve starých lomech a pískovnách byly použity satelitních snímky v programu Google Earth z minulých let (Google LLC, Mountain View, USA).

Na chemismus tůní mají zásadní vliv **záplavy**. Tento faktor byl také zanesen do tabulky. Lokality, které se vyskytovaly v dosahu stoleté vody, byly brány jako zaplavované. Dosah stoleté vody byl zjištěn z Informačního systému vodního hospodářství (ISVS voda, 2024).

Přítomnost, nebo nepřítomnost (0/1) vazby na původní přirozené mokřady (která by mohla mít vliv na transport diaspor) byla určena na základě dostupných literárních pramenů a validována pomocí velkého jazykového modelu Gemini (Google LLC, Mountain View, USA). Poloha lokality v krajinném kontextu byla na základě mapových podkladů a fotodokumentace kódována jako 0 (niva) nebo 1 (les).

2.2.2 Biotické faktory

Přímo na lokalitě byla vyfocena přítomná makrofyta (Obr. 5) a podle fotografií byla později určena do rodů. Byla určena celková druhová bohatost rostlin ve vodě a na břehu v bezprostřední blízkosti vody (**počet druhů rostlin**). Do analýzy nebyly použity přímo latinské názvy nalezených druhů, které se vyskytovaly na lokalitě, tento formát dat se nehodil do navazujících statistických analýz. Místo toho byl do modelů použit celkový počet zaznamenaných druhů.

Obr. 5 Vodní rostliny na lokalitách: První řádek zleva *Hottonia* z lokality CZ_251, *Typha* z lokality CZ_250, *Potamogeton* z lokality. Druhý řádek zleva: *Sphagnum* z lokality CZ_285, AT_30, *Hottonia* z lokality CZ_251, *Utricularia* z lokality 285, *Lemna* z lokality CZ_257.

Do modelů nebyl použit pouze počet druhů makrofyt na lokalitách, ale i informace o tom do jaké z pěti **ekologických kategorií** lokality spadají. Lokality byly do skupin řazeny podle indikačních druhů makrofyt nalezených na lokalitách.

Lokality, na nichž se vyskytovaly druhy *Sphagnum*, *Molinia*, *Juncus*, *Carex* anebo *Calytriche* se řadily do kategorie ‘Rašelinné‘. Lokality, na nichž se vyskytovaly druhy *Phragmites*, *Typha*, *Glyceria*, *Phalaris* a vysoké *Carex* byly řazeny do kategorie ‘Rákosiny a vysoké ostřiciny‘. Lokality, na nichž nebylo *Sphagnum* a byla na nich vysoká diverzita cévnatých rostlin jako *Gallium*, *Ranunculus*, *Myosotis*, *Lycopus*, *Veronica*, *Lysimachia*, *Oenanthe*, *Stellaria*, *Agrostis,* byly řazeny do

kategorie ‘Litorální bylinné mokřady‘. Do kategorie ‘Otevřená voda s ponořenými makrofyty‘ byly zařazeny lokality, kde se vykytoval *Potamogeton*, *Ceratophylum*, *Calytriche*, *Hottonia*, *Myriophyllum*, *Elodea*, *Najas*, *Chara* a *Utricularia*. Do kategorie ‘Plovoucí listy a volná hladina‘ se řadili lokality, na nichž se vyskytovaly druhy *Lemna*, *Nuphar*, *Sagittaria*, *Typha*, *Nymphoides*, *Alisma* nebo *Pontederia*. Lokality zcela bez makrofyt nebyly v tabulce vyznačeny jako samostatná kategorie. Bez makrofyt by byly pouze dvě lokality: CZ_253 Malý závistivý rybník, CZ_274 Xerr.

Na základě fotografií lokalit a hustoty vegetace v okolí lokalit bylo vizuálně odhadnuto celkové množství **spadu listí do vody** na semikvantitativní stupnici 0-3 (0 – žádný spad, 1 - ojedinělé keře nebo stromy v okolí, 2 – smíšený les, 3 – lokalita kompletně obklopená listnatými stromy, jejichž listy v době odběru pokrývaly vodní hladinu). Opad listí ze stromů má vliv na chemismus vody. Většina odebíraných rybníků a tůní měla kolem sebe stromy, jejichž listí může vodní plochy obohatit o živiny a ochudit o kyslík a obohatit o huminové kyseliny v důsledku jejich rozkladu.

Obloha nad lokalitou byla vyfocena speciálním objektivem typu „rybí oko“ s diagonálním úhlem záběru 180° (Obr. 6). Tento systém využívá specifické projekční geometrie k zachycení celého prostoru na plochý senzor. Fotograf byl vždy orientován čelem k východu. Pořízené fotografie byly z barevných převedeny na černobílé. Procento **zastínění** bylo vypočteno v prostředí R (R Core Team, 2024) - pomocí balíčku hemispheR (Chianucci & Mattioli, 2024).

Obr. 6 Hemisférické fotografie oblohy nad lokalitou objektivem typu „rybí oko“. Zleva do prava lokality CZ_285 PP Blana, CZ_271 lesní tůň u Borské stoky, CZ_269 NPR Žofinka.

Pomocí světelné mikroskopie (mikroskop Olympus CH-G, Olympus Corporation, Tokio, Japonsko) byla sledována **přítomnost tří skupin zooplanktonu** – Copepoda, Cladocera a Rotifera. Abundance tří výše zmíněných skupin zooplanktonu na lokalitě byla hodnocena na stupnici 0-3. 0 – nepřítomný, 1 – vzácný, 2 – běžný, 3 – dominanta.

Pomocí světelné mikroskopie byla monitorována i **přítomnost ostatních skupin řas** – zelených řas, rozsivek, skrytěnek, spájivek, krásnooček, obrněnek, chloromonád, Eustigmatophyt, různobrvek, ruduch a přítomnost sinic a bezbarvých bakterií. Zároveň byla předem potvrzena přítomnost Chrysophyceae na lokalitě.

Informace o celoročním **hnízdění ptáků** na lokalitách byly brány z mezinárodní ornitologické databáze ebird.org (Sullivan et al., 2009).

2.3 Elektronová mikroskopie

Z odebraného vzorku vody z každé lokality byla část vody a sedimentu na dně lahvičky odebrána do eppendorf mikrozkumavky a zafixována kapkou formalínu. Ze zafixovaného vzorku bylo

odpipetováno 50 µl do 2 ml eppendorf zkumavky. K nim bylo přidáno 1,5 ml 30% peroxidu vodíku. Tato směs byla 10 minut zahřívána v topném hnízdě vyhřátém na 90 °C. Tímto způsobem byl vzorek očištěn od organických nečistot.

Po vychladnutí na pokojovou teplotu byl vzorek centrifugován 5 minut na 10 000 ot/min. Po vyndání z centrifugy byl peroxid vodíku odsát a vyměněn za destilovanou vodu. Šupiny v peletu byly promíchány s destilovanou vodou pomocí vortexu. Poté byl vzorek znovu stočen na centrifuze (5 minut, 10 000 ot/min), supernatant byl odsát a vyměněn za destilovanou vodu. Po zvortexování byl celý postup ještě jednou zopakován. Po promytí destilovanou vodou byl vzorek připraven na nakapání na měděné síťky o průměru 3,5 mm s hustotou ok 200 na palec potažených formvarovou blankou.

Formvarové blanky na síťkách byly také připravovány v laboratoři. Formvar je chemická látka polyvinylformal, který vzniká reakcí polyvinylalkoholu s formvarem. Do válce s formvarem bylo na pět minut ponořeno podložní sklíčko, na němž se vytvořila formvarová blanka. Po pěti minutách bylo sklíčko pinzetou vyjmuto a po osušení hrany sklíčka, kam stekl přebytečný formvar filtračním papírem bylo podložní sklíčko s blankou pět minut ponecháno tvrdnout ve stojánku. Po pěti minutách bylo sklíčko ořízntuto skalpelem z každé strany. Po oříznutí bylo na pět sekund ponořeno do plastové nádoby s kyselinou fluorovodíkovou (HF). Přebytečná kyselina fluorovodíková byla osušena filtračním papírem. Sklíčko bylo potom ponořeno do průhledné plastové mísy s destilovanou vodou, kde se blanka díky naleptání skla HF pustila sklíčka a plavala na hladině. Na blanku byly malou pinzetou pokládány měděné blanky lesklou stranou dolů. Blanka se síťkami byla překryta pauzákem a po nasáknutí pauzáku vodou byl pauzák s blankou pinzetou pře nesen na podložní sklíčko, k němuž byl hned přilepen izolepou (předtím, než se zkroutí). Podložní sklíčka s hotovými blankami byla skladována v petriho miskách.

Po zaschnutí blanek byly měděné síťky pinzetou přilepeny na oboustrannou lepicí pásku, která byla nalepena na delší stranu podložního sklíčka. Na jednu stranu podložního sklíčka se vlezlo deset sítěk. Vzorky byly nakapány pipetou na síťky tak, aby vytvořily co největší kapku a zároveň se nerozlily mimo síťku. Po nejméně šesti hodinách schnutí byla každá síťka postupně promyta ve třech kapkách destilované vody nakapané na parafinu. Na kapku vody byla každá síťka umístěna pinzetou stranou s vzorkem dolů. V každé kapce byly síťky ponechány 4 minuty. Po promytí byly síťky osušeny na filtračním papíře a dány do pořadače.

Některé síťky byly nakapány víckrát, protože síťka se občas potrhala, nebo se kapka se vzorkem při schnutí rozlila, nebo byl po centrifugaci odsát nejen supernatant, ale i šupiny.

Síťky byly prohlíženy v transmisním elektronovém mikroskopu JEOL JEM-1011 s CCD kamerou Veleta a s akvizičním softwarem Olympus Soft Imaging Solution GmbH v laboratoři elektronové mikroskopie v budově na Viničné 7. Ze sítěk se určovala celková druhová diverzita rodů *Mallomonas* a *Synura* na lokalitě a jejich relativní abundance na lokalitě. Každému druhu bylo přiřazeno číslo od 1 do 3. 1 – vzácné, 2 – běžné, 3 – dominantní. Každá síťka byla prohlížena zhruba hodinu, aby nedošlo k tomu, že síťka s velkým počtem šupin bude prohlížena několik hodin a bude na ní nalezeno více druhů jen proto, že jí bylo věnováno více času. Všechny lokality byly pozorovány dvěma lidmi, aby nedošlo k podcenění druhové diverzity kvůli lidskému faktoru (únava, přehlédnutí diagnostických znaků).

2.4 Zpracování dat

2.4.1 Tabulka environmentálních dat

Hodnoty všech měřených parametrů (viz. kapitola 2.2) ze všech 61 lokalit byly zaneseny do tabulky v programu MS Excel. Z ní byly vypočteny průměrné, maximální a minimální hodnoty parametrů prostředí. Tabulka byla dále použita pro statistické modelování v programovém prostředí R (R Core Team, 2024) a vizualizaci v Excelu.

Pro parametr zápach sedimentu byla vytvořena separátní tabulka, v níž měl každý účastník odběrů (6 lidí) sloupec s individuálním odhadem zápachu lokality. Aritmetický průměr všech individuálních hodnot byl zanesen do tabulky se všemi environmentálními daty.

2.4.2 Tabulka druhů nalezených pomocí TEM

Výsledná tabulka vznikla fúzí tabulek druhů nalezených mnou a druhů nalezených Mgr. Kateřinou Tučkovou (Tučková et al., 2026). V tabulce byly zapsané semikvantity druhů nalezených na síťkách (1 - vzácný, 2 – běžný, 3 - dominantní). Šupiny druhů nalezených na síťkách poprvé, popř. druhů s nejasným zařazením byly fotograficky zdokumentovány a konzultovány se školitelem.

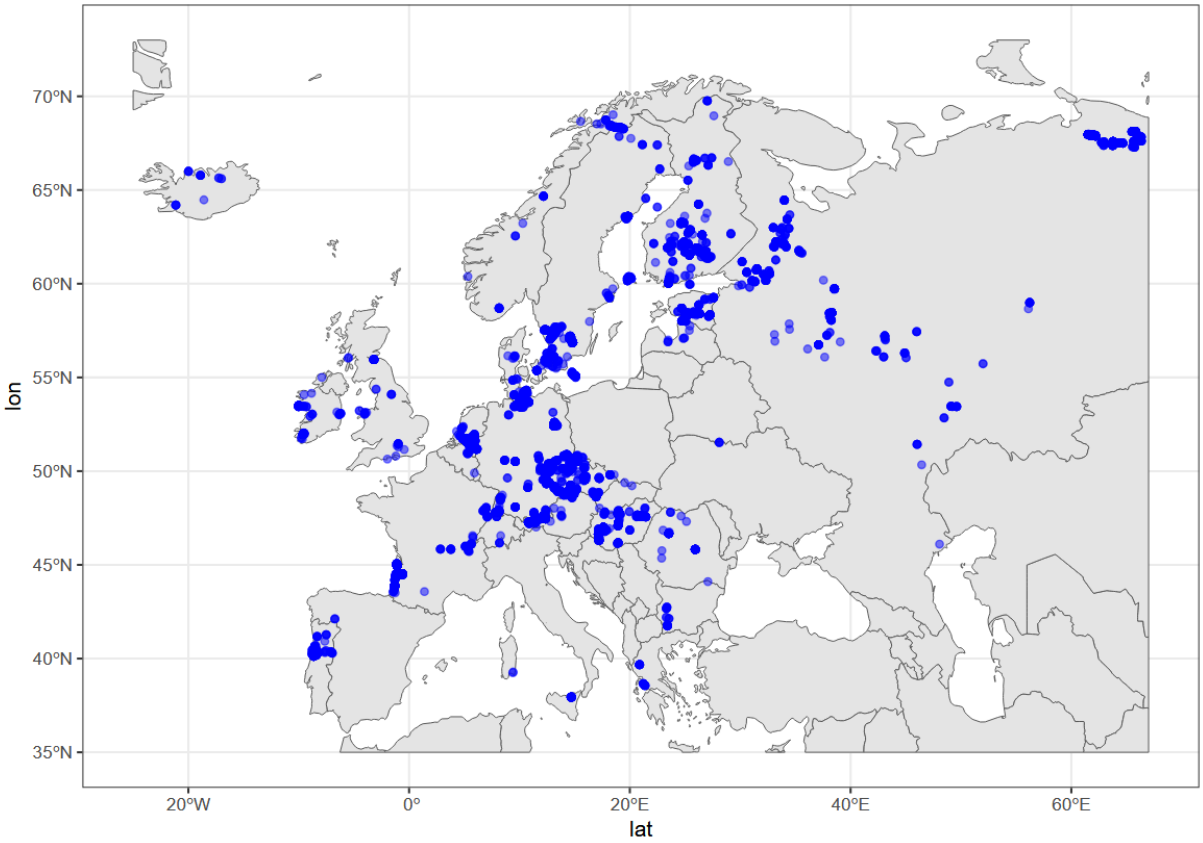
2.4.3 Tabulky záznamů druhů *Mallomonas* a *Synura* v Evropě

Pro analýzu distribuce druhů *Mallomonas* a *Synura* v Evropě byla nejprve exportována tabulka všech záznamů zlativek v Evropě z databáze *chrysophytes.eu* (Škaloud et al., 2013). V této databázi jsou fotky druhů, souřadnice lokalit jejich odběru a data o teplotě, pH a konduktivitě těchto lokalit. Tyto data bohužel nejsou dostupná pro všechny záznamy v databázi (u některých záznamů parametry prostředí chybí). Momentálně jsou v ní informace o distribuci a ekologii 204 druhů zlativek (Škaloud et al., 2013). Formát exportované tabulky bylo nutné upravit tak, aby mezery mezi názvy druhů ve sloupci Species byly nahrazeny čárkami pro další analýzy v R. Dále byl sloupec Species obsahující více druhů v jedné buňce rozdělen, aby každý druh měl samostatný řádek. Z tabulky byly odstraněny záznamy jiných rodů než *Mallomonas* a *Synura*. Potom byly odstraněny duplicitní záznamy.

Tato data byla sloučena s datasetem záznamů zlativek mého školitele (Škaloud, nepubl. data). Nejprve byla načtena tabulka nálezů a odstraněny duplicitní záznamy na základě shody ve všech sloupcích. Dále byla načtena samostatná tabulka lokalit obsahující geografické souřadnice.

Ke každému záznamu nálezu byly následně přiřazeny zeměpisné souřadnice (zeměpisná délka a šířka) spojením tabulky nálezů s tabulkou lokalit mého školitele na základě shodného identifikátoru lokality (*kod*). Byla zachována všechna data o nálezech, i v případě, že k některým záznamům nebyly souřadnice dostupné. Po spojení byly ponechány pouze relevantní sloupce obsahující údaje o druhu a lokalizaci.

Počet unikátních záznamů, které byly použity pro další analýzu z databáze chrysophytes.eu dosáhl čísla 5 287 (Škaloud et al., 2013), dataset mého školitele obsahoval 1 957 unikátních nálezů (Škaloud, nepubl. data). Výsledný dataset obsahoval 7 244 unikátních záznamů (viz Obr. 7).



Obr. 7 Vizualizace všech lokalit s potvrzeným výskytem rodů *Mallomonas* a *Synura* v Evropě. Modré tečky na mapě znázorňují jednotlivé lokality.

2.4.4 Ukazatelé vzácnosti druhů

Ke stanovení míry vzácnosti jednotlivých druhů byla použita kombinace několika přístupů založených na četnosti výskytu a prostorové distribuci druhů. Byly použity tři ukazatele vzácnosti vypočtené v prostředí R (R Core Team, 2024):

Relativní vzácnost druhů byla spočtena tak, že počet záznamů konkrétního druhu v databázi byl vydělen celkovým počtem záznamů druhů *Mallomonas* a *Synura* v databázi. Pro každý druh byl zjištěn počet nálezů v Evropě a následně jeho relativní zastoupení v datasetu.

Geografická vzácnost odráží prostorové rozšíření druhů. Z analýzy byly vyloučeny záznamy bez geografických souřadnic. Souřadnice byly převedeny do prostorového objektu a transformovány z geografického souřadnicového systému (WGS84; EPSG:4326) do metrického souřadnicového systému Web Mercator (EPSG:3857), aby bylo možné počítat vzdálenosti v kilometrech. Pro každý druh byla následně vypočtena maximální vzdálenost mezi výskyty (*maximum distance*), která reprezentuje maximální známý rozsah rozšíření druhu. V R byla vytvořena mapa Evropy, do níž byly zaneseny lokalit s nálezy všech zkoumaných druhů (viz Obr. 7).

Obsazená plocha „AOO – Area of occupancy“. Tento ukazatel vzácnosti nám říká, v kolika čtvercích 1° x 1° zeměpisné šířky a délky z celkového počtu čtverců v Evropě byl druh zaznamenán. Vyjadřuje tedy rozsah skutečně obsazeného území. Výpočet AOO byl proveden v

R pomocí funkce floor v balíčku Ilyr (Wickham et al., 2023). Každému záznamu byly na základě zeměpisné délky a šířky přiřazeny souřadnice pravidelné mřížky o velikosti 1 × 1° zeměpisných souřadnic, přičemž index buňky byl určen zaokrouhlením souřadnic dolů na celé stupně (`floor`). Následně byly pro každý druh odstraněny duplicitní záznamy pocházející ze stejné buňky mřížky a byl spočítán počet unikátních buněk, ve kterých se druh vyskytoval. Tento počet představoval hodnotu AOO. Nižší počet obsazených buněk indikuje vyšší míru vzácnosti.

Všechny tři ukazatele (relativní vzácnost, geografická vzácnost a obsazená plocha) byly určeny pro všechny druhy nalezené v Evropě a následně spojeny do jedné výsledné tabulky druhové vzácnosti pro další analýzy.

U tří druhů nebyl určen ani jeden ukazatel vzácnosti kvůli chybějícím, nebo nejednoznačným datům. Chybějící hodnoty byly nahrazeny nulou.

2.4.5 Hodnocení vzácnosti společenstev

Pomocí indexů vzácnosti jednotlivých druhů, které se vyskytovaly na jednotlivých Třeboňských lokalitách, byla udělána tabulka indexů vzácnosti lokalit. Z analýzy byly vyloučeny lokality s méně než pěti zaznamenanými druhy, aby byla zajištěna dostatečná robustnost výpočtů. Byly vyloučeny lokality CZ_270, CZ_273, CZ_285, CZ_286 a CZ_288.

Vzhledem k často odlišným abundancím zaznamenaným dvěma pozorovateli byly původní hodnoty abundance druhů na lokalitách (1-3) byly převedeny na binární data přítomnost/nepřítomnost (1/0), takže všechny nenulové hodnoty byly převedeny na hodnotu 1. Pro každou lokalitu byl následně vypočten průměrný index vzácnosti společenstva jako vážený průměr hodnot vzácnosti všech přítomných druhů. Vážený průměr proto, aby nebyly znevýhodněné lokality s výskytem jednoho vzácného druhu oproti lokalitě, kde se vyskytovalo více vzácných druhů.

Pro každé společenstvo byly vypočteny tři indexy: **index relativní vzácnosti**, založený na relativní četnosti druhů, **index maximální geografické disperze** a **index obsazené plochy** (AOO).

Tyto indexy charakterizují míru zastoupení vzácných druhů v jednotlivých společenstvech.

Prostorové rozložení lokalit s podobným indexem vzácnosti bylo vizualizováno v mapě pomocí barevné škály odrážející hodnotu indexu vzácnosti.

2.4.6 Statistické vyhodnocení souvislosti faktorů prostředí s vzácností společenstev

Na zhodnocení závislosti míry vzácnosti Třeboňských společenstev na měřených faktorech prostředí byly použity regresní a ordinační metody. Při zpracování dat byly zohledněny tři indexy vzácnosti společenstev a sada environmentálních proměnných popisujících chemické, fyzikální a geologicko-morfologické vlastnosti lokalit. Propojení bylo provedeno na základě identifikátoru lokality.

2.4.6.1 Převod dat na jeden formát

Data v tabulce environmentálních faktorů (Tabulka 1 v příloze) nebyla všechna ve stejném tvaru. Některé parametry prostředí byly původně zapsány jako pomocné textové či binární kódy

(jednalo se o charakter dna, geologické podloží a typ vegetace). Ty byly převedeny na kategoriální (faktorové) proměnné.

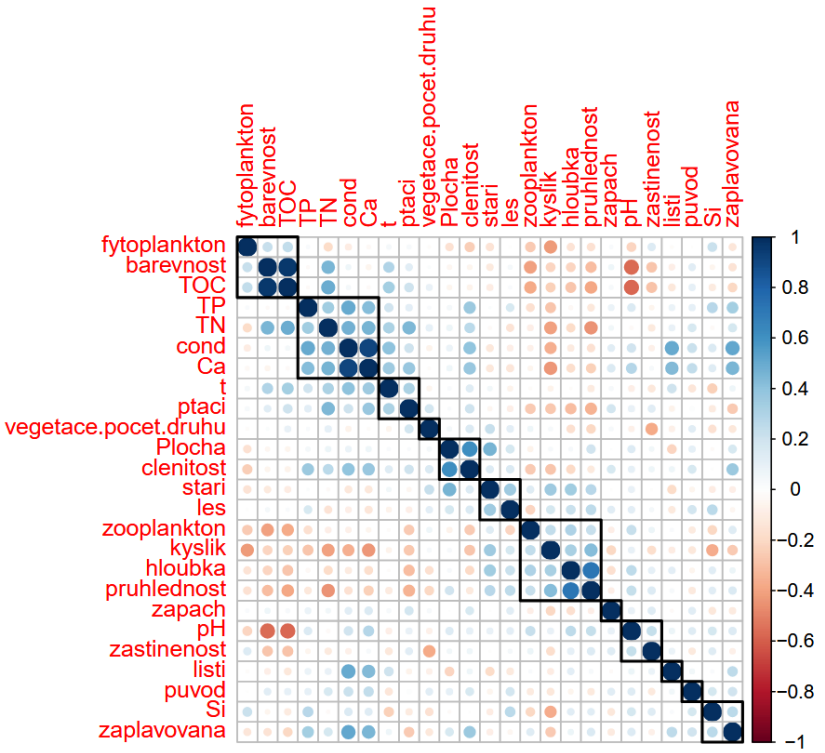
U logicky provázaných proměnných byla provedena redukce dimenzionality pomocí analýzy hlavních komponent (PCA osy). Pro zooplankton a fytoplankton byla samostatně vypočtena PCA pomocí balíčku vegan (Oksanen et al., 2024) a do dalších analýz byla použita první hlavní komponenta (PC1), která reprezentovala skupinu s největším vlivem v rámci dané skupiny proměnných.

Byly vyhozeny korelované proměnné (viz kapitola 2.4.6.2)

2.4.6.2 Korelační matice

Před tvorbou regresních modelů byla testována korelovanost prediktorů pomocí korelační matice (Obr. 8) a grafické vizualizace korelací. Silně korelované proměnné byly z analýz vyloučeny, aby se snížil vliv multikolinearity. Z dalšího zpracování byly vyřazeny: barevnost vody (silně korelující s TOC) a koncentrace vápníku ve vodě (silně korelující s konduktivitou). Parametry jako hloubka, průhlednost, plocha a členitost vykazovaly mírné korelace, ale nebyly vyřazeny.

Nakonec se tedy hodnotil vliv přítomnosti fytoplanktonu a zooplanktonu, celkové koncentrace organického uhlíku, fosforu, dusíku, křemíku a kyslíku. Dále konduktivita, průhlednost, pH, hloubka a teplota vody, celoroční hnízdění ptáků na lokalitě, počet druhů rostlin v okolní vegetaci, plocha, členitost, zápach, zastíněnost a stáří lokality, vliv toho, zda byla lokalita v lese, kolik do ní padalo listí, jestli byla zaplavovaná stoletou vodou a jestli navazovala na původní mokřady.



Obr. 8 Korelační matice faktorů prostředí – červeným písmem jsou napsané názvy měřených parametrů lokalit. Napravo je stupnice, která ukazuje, jak silná je korelace a jakým směrem jde. Modrá je kladná korelace, červená je záporná korelace. Velikost koleček značí sílu korelace.

2.4.6.3 Multimodelová inference (MuMIn) – dvě strategie

Nejprve byly testovány všechny proměnné naráz, pro všechny tři indexy vzácnosti na základě stepwise selekce proměnných byl pro hodnocení vlivu environmentálních proměnných. V této analýze byly zahrnuty chemické proměnné (např. TOC, TN, TP, Si, koncentrace kyslíku, pH, konduktivita), biologické charakteristiky (zooplankton, fytoplankton, vegetace, počet druhů vegetace, přítomnost ptáků, lesní pokryv), a geologické charakteristiky lokalit (plocha, členitost, stáří, hloubka, charakter dna, podloží, průhlednost, zastíněnost, původ a zaplavovanost). Tento výpočet by zabral příliš mnoho času, proto byly vytvořeny dvě strategie výběru relevantních modelů pomocí balíčku MuMIn (Bartoń, 2023).

Strategie 1 byla rozdělit proměnné do tří kategorií: chemické, biologické a geografické. Pro každou skupinu byl vytvořen samostatný globální model a v každém byly vygenerovány všechny možné kombinace prediktorů. Počet modelů odpovídal počtu možných kombinací proměnných v jednotlivých kategoriích (například 512 modelů pro chemické proměnné, 64 pro biologické a 1024 pro geografické). Namísto výběru jediného nejlepšího modelu byly dále analyzovány všechny modely, jejichž hodnota delta AICc byla menší nebo rovna 5. Tyto modely byly považovány za statisticky srovnatelně podporované daty. Pro každou proměnnou byla následně vypočítána její relativní importace napříč celým souborem podpořených modelů.

Importance byla odhadnuta na základě četnosti a podpory modelů, ve kterých se daná proměnná vyskytovala. Současně byly pro každou proměnnou vypočítány Akaike-weighted průměry standardizovaných regresních koeficientů. Výsledný efekt proměnné představoval vážený průměr efektů napříč všemi relevantními modely. Váhy jednotlivých modelů byly určeny podle jejich delta AICc, přičemž modely bližší nejlepšímu modelu měly vyšší vliv na výsledný odhad. Na rozdíl od první strategie zde však nebyl proveden žádný předvýběr proměnných. Každý prediktor měl možnost vstoupit do všech relevantních kombinací modelů v rámci své skupiny

Strategie 1 je vhodná v případě, kdy existuje jeden jasně dominantní model a cílem je identifikovat konkrétní kombinaci proměnných, která nejlépe vysvětluje variabilitu sledovaného indexu. Strategie 2 bere v úvahu skutečnost, že více modelů může vysvětlovat data podobně dobře, a proto interpretuje výsledky napříč celým souborem dobře podporovaných modelů.

Strategie 2 byla vytvořit výběr parametrů ze všech parametrů prostředí pro všechny tři indexy vzácnosti zvlášť (rel_index, max_dist_index, AOO_index) pomocí Akaikeho informačního kritéria korigovaného pro malé výběry (AICc), který je implementovaný v balíčku MuMIn (Bartoń, 2023).

AIC nám řekne, kolik informace by bylo ztraceno zjednodušením modelu. Pokud testujeme dva modely pomocí Akaikeho informačního kritéria vybereme ten, který má nižší hodnotu AIC. Sleduje se také, jestli AIC stoupá nebo klesá po přidání dalších proměnných. Pro každý finální regresní model získaný předchozí selekcí proměnných byly pomocí funkce dredge vygenerovány všechny možné kombinace prediktorů (submodely). Takto byly vytvořeny všechny možné kombinace proměnných - pro osm proměnných existuje 256 modelů. Balíček MuMIn vybere model s nejnižším AIC a podívá se na signifikantní proměnné. Nevezme v potaz jen nejlepší model, ale všechny modely s maximálně o 10 AIC vyšším než nejlepší model. Na základě této procedury byly vybrány finální modely:

Pro index relativní vzácnosti byly jako významné prediktory identifikovány: celkový dusík (TN), křemík (Si), zooplankton, přítomnost ptáků, členitost lokality, stáří lokality, zastíněnost a zaplavovanost.

Pro index maximální geografické disperze byly vybrány: koncentrace křemíku, pH, přítomnost ptáků na lokalitě, zastíněnost a návaznost lokality na původní mokřady.

Pro index obsazené plochy (AOO) byly vybrány: TN, Si, teplota, zooplankton, přítomnost ptáků, lesní pokryv, členitost, stáří, zastíněnost, původ lokality a zaplavovanost.

Důležitost proměnných (standartní regresní koeficient) byla vypočítána tak, že byly sečteny AICc hodnoty modelů, kde se proměnná vyskytovala, a výsledné číslo bylo vyděleno celkovým součtem modelů. Byl spočítán regresní koeficient a vážený průměr proměnné. p-hodnota proměnné byla spočítána jako vážený průměr p-hodnot proměnné ze všech modelů. Byl vytvořen odhad standardních chyb.

Důležitost proměnných byla vizualizovaná pomocí standardizovaných regresních koeficientů s intervaly nejistoty. Velikost bodů odpovídala relativní důležitosti prediktorů (Akaike weight), zatímco barevně byly odlišeny statisticky významné proměnné ($p < 0,05$).

Indexy vzácnosti lokalit byly určeny jako závislé proměnné a enviromentální faktory prostředí jako vysvětlující proměnné. Potom byly modelovány vztahy všech parametrů prostředí s každým ze tří indexů vzácnosti. Každý vztah byl definován p-hodnotou, R2 – kolik variability vysvětluje daná proměnná a koeficienty (směr a síla vztahu). Potom byl modelován efekt interakce proměnných. Regrese byly vizualizovány pro pH a křemík. Pro kategorické proměnné byl udělán boxplot.

Při vizualizaci geologických parametrů lokalit bylo zjištěno, že parametry plocha a obvod lokality mají outlier lokalitu CZ_281 Staňkovský rybník, který byl kvůli normalitě dat z regresní analýzy vyloučen. Pro index relativní vzácnosti a AOO index byly po vyloučení této lokality vybrány stejné prediktory, pro max distanci bylo vybráno o několik predátorů víc, ale signifikantně vyšel opět pouze parametr koncentrace křemíku ve vodě. Prakticky se tedy po vyloučení outlieru nic nezměnilo.

2.4.6.4 Ordinační analýzy (PCA, GLM-PCA a NMDS)

Protože data v tabulce environmentálních faktorů nebyla všechna v jednom formátu, ale byla kombinací spojitých, binárních a početních proměnných, byla udělána nejen PCA analýza v balíčku vegan, ale i GLM-PCA analýza - generalized linear model principal component analysis**,** jenž lépe pracuje se smíšenými daty z balíčku glmpca (Townes, 2019).

Data byla ještě před jednoduchou PCA analýzou upravena: lokalita CZ_269 byla chemicky velmi odlehlá, tak byla transformována její TOC. Lokalita 281 měla moc velkou plochu, která byla proto též transformována.

Před GLM PCA analýzou bylo třeba spojité proměnné standardizovat a transformovat na kladné hodnoty (požadavek modelu). Binární proměnné byly ponechány beze změny. Početní proměnné byly modelovány s Poissonovým rozdělením.

Pro každou skupinu proměnných (chemie, biologie, geografie) byla provedena GLM-PCA se dvěma latentními osami (L = 2). Získané první dvě ordinační osy (GLM-PC1 a GLM-PC2) byly dále použity jako souhrnné prediktory v regresních modelech. Bylo třeba dát pozor, aby nebyly použity transformované proměnné víckrát. V GLM PCA biologických parametrů lokality bylo 7 binárních proměnných (vegetace lokality) a 15 proměnných s Poissonovským rozdělením (přítomnost zooplanktonu a řasových skupin), v GLM PCA geologických parametrů lokality bylo 7 proměnných s normálním rozdělením a 16 binárních proměnných, GLM PCA chemických parametrů lokality pracovalo pouze s proměnnýma s normálním rozdělením.

Výsledky byly interpretovány pomocí GLM-PCA biplotů zobrazujících pozici lokalit i příspěvek jednotlivých proměnných k ordinačním osám.

Byla udělána i NMDS analýza (Non-metric Multidimensional Scaling) pomocí balíčku vegan. V té se jednotlivé skupiny proměnných převádějí do dvou hlavních ordinačních os, které shrnují podobnost lokalit. Pro chemické parametry lokalit byla udělána Euklidovská vzdálenost – každá lokalita je porovnána se všemi ostatními a lokality s největší podobností mají mezi sebou nejmenší vzdálenost. Algoritmus se opakoval až tisíckrát, aby našel nejlepší řešení zobrazení podobnosti lokalit ve 2D prostoru. Pro biologické parametry lokalit byla použita Jaccardova vzdálenost (dobrá pro binární data) a pro geologické parametry lokalit byla použita Gowerova vzdálenost.

Každá lokalita tak získá ve 2D prostoru dvě souřadnice NMDS1 a NMDS2, tyto osy se používají v lineárních regresích jako vysvětlující proměnné. Tyto osy porovnávám s každým indexem vzácnosti zvlášť.

2.4.7 Vizualizace výsledků

Pro vizualizaci výsledků byly vytvořeny barploty, boxploty, pca-ploty a mapy. Pro tvorbu boxplotů znázorňujících rozpětí hodnot parametrů měřených na lokalitách a boxplotů porovnávajících hodnoty parametrů prostředí na deseti lokalitách s nejvyšší a nejnižší hodnotou indexu vzácnosti byly v prostředí R použity balíčky ggplot2 (Wickham et al., 2024) a tidyr (Wickham et al., 2023). Stejné balíčky byly využity i pro tvorbu barplotů nezorňujících kolik lokalit z celkového počtu bylo s určitým typem dna, podložím, typem rostlin na lokalitě a určitou okolní vegetací.

Barploty znázorňující výskyt ostatních skupin řas a zooplanktonu na lokalitách byly dělány v MS Excel.

Výsledky vyhodnocení multimodelové interference byly vizualizovány pomocí balíčků ggplot2 (Wickham et al., 2024) a gridextra (Auguie, 2017).

PCA ploty a korelační matice indexů vzácnosti byly dělány pomocí balíčků dplyr, tidyr (Wickham et al., 2023), factoextra (Kassambara & Mundt, 2020), ggrepel (Slowikowski, 2024), FactoMineR (Lê et al., 2008) a scales (Wickham & Seidel, 2022).

Mapy byly dělány pomocí balíčků maps (Deckmyn, 2022), ggmap (Kahle a Wickham 2013), ggrepel (Slowikowski, 2024) a dplyr (Wickham et al., 2023). Na mapu lokalit s lokalitami barevně odlišenými podle hodnoty indexu vzácnosti byl použit ještě balíček leaflet (Cheng et al., 2023).

Výsledné pdf soubory byly graficky upravovány v editoru inkscape (Inkscape Project, 2024) a v editoru wordpdf (PDFedit Team, 2011). V editoru inkscape (Inkscape Project, 2024) byly dělány i obrázkové tabule.

3. VÝSLEDKY

V této kapitole budou shrnuty hodnoty naměřených enviromentálních parametrů lokalit Třeboňských odběrů, shrnutí zjištění o diverzitě druhů rodů *Mallomonas* a *Synura* na lokalitách po prohlížení vzorků lokalit pomocí transmisní elektronové mikroskopie, a nakonec výsledky ordinačních a regresních analýz, jež hodnotí, jak spolu souvisí indexy vzácnosti lokalit a hodnoty naměřených environmentálních faktorů.

3.1 Faktory prostředí

V této kapitole jsou popsány minimální, maximální a odlehlé hodnoty měřených parametrů prostředí rozdělených do tří skupin: chemické, biologické a geologické parametry prostředí. Kategorické proměnné byly vizualizovány pomocí barplotů a ostatní parametry prostředí pomocí boxplotů.

3.1.1 Chemické parametry prostředí

Ve skupině chemických parametrů prostředí se vyskytovaly tyto proměnné (Obr. 9):

Teplota: Na lokalitách odběrů byla naměřena průměrná teplota 11,0 °C. Maximální naměřená teplota byla 15,1 °C a minimální naměřená teplota byla 8,2 °C (Obr. 9). Teplota lokalit na Třeboňsku se v průběhu roku výrazně mění. Na jaře a na podzim je voda chladná (okolo 10-15 °C). V létě má voda obvykle 20 až 25 °C. V zimě lokality zamrzají. Čím je lokalita mělčí a menší, tím víc se teplota vody mění.

pH: pH sladkovodních lokalit se nejčastěji pohybuje okolo 6,5 až 8,5. pH rybníků s velkou rybí osádkou v průběhu sezony hodně osciluje. Jen pro srovnání, studie ze sezon od roku 2012 do roku 2014 na Třeboňsku naměřila průměrné pH lokalit 8,05 (Musil, 2018). Průměrné pH lokalit z našeho Třeboňského odběru bylo 6,46. Většina lokalit se pohybovala okolo průměrného pH. Tři lokality byly mnohem kyselejší než zbytek – dvě z nich byly rašelinné tůňky z NPR Žofinka (CZ_269, CZ_270) s pH okolo tří (minimální naměřené pH bylo 3,4) a jedna lokalita byla mnohem zásaditější než ostatní – CZ_250 rybník Rod s pH 8,3.

Konduktivita: což je elektrická vodivost, potažmo koncentrace iontů solí, kyselin a zásad rozpuštěných v roztoku. Konduktivita na Třeboňských lokalitách měla velmi rozdílné hodnoty s minimální hodnotou 12 µS/cm na lokalitě CZ_244 bývalé pískovně Jitra a maximální hodnotou 283 µS/cm na lokalitě CZ_248 Ptačím blatu. Průměrná hodnota byla 109,1 µS/cm.

Procento kyslíku ve vodě: Gradient procenta kyslíku ve vodě byl na lokalitách odběrů poměrně široký: minimální hodnota byla 2,9 % kyslíku na lokalitě CZ_251 PP Kramářka, slatiniště Karštejn. Maximální hodnota byla 132 % na lokalitě CZ_290 Žemlička. Průměrná hodnota rozpuštěného kyslíku ve vodě byla 52 %. Hodnoty mohly přesáhnout sto procent proto, že referenční prostřední je vzduch, v němž je 20,95 % kyslíku. Ve vodě ho může být víc díky fotosyntetizujícím řasám. Také pomáhá, že se v chladné vodě kyslík lépe rozpouští.

Koncentrace prvků ve vodě: Ve sladkých vodách je limitující prvek **fosfor**. Proto je nejdůležitější pro určování trofie lokalit. Existují různé stupnice pro určení toho, zda je lokalita eutrofní, mezotrofní, nebo oligotrofní. Podle klasifikace z roku 2006 (Radojevic) je koncentrace fosforu na oligotrofní lokalitě méně než 0,01 mg/l, na mezotrofní 0,01–0,02 mg/l a na eutrofní více

než 0,02 mg/l. Podle této škály by se mezi odebranými lokalitami nevyskytovaly žádné oligotrofní lokality, čtyři mezotrofní lokality a zbytek lokalit – 57 - eutrofních.

Průměrná koncentrace fosforu ve vodě byla 59,09 µg/l. Minimální koncentrace fosforu byla 17,22 µg/l (na lokalitě CZ_293 – pískovna na zastávce) a maximální 290,47 µg/l (na lokalitě CZ_259 – slepé rameno Lužnice, Suchdol).

Dusík má na oligotrofních lokalitách podle klasifikace VUT Brno (Radojevic, 2006) hodnotu < 200 µg/l, na mezotrofních lokalitách 200-500 µg/l a na eutrofních lokalitách > 500 µg/l (Radojevic 2006). Podle této klasifikace mezi mými lokalitami nebyla žádná oligotrofní, jednu mezotrofní lokalitu a šedesát eutrofních (viz Tabulka 1 v příloze). Průměrná koncentrace dusíku ve vodě byla 1,55 mg/l.

Maximální koncentrace dusíku byla 4,59 mg/l (na lokalitě CZ_292 NPR Brouskův mlýn) a minimální 0,35 mg/l (na lokalitě CZ_290 Žemlička).

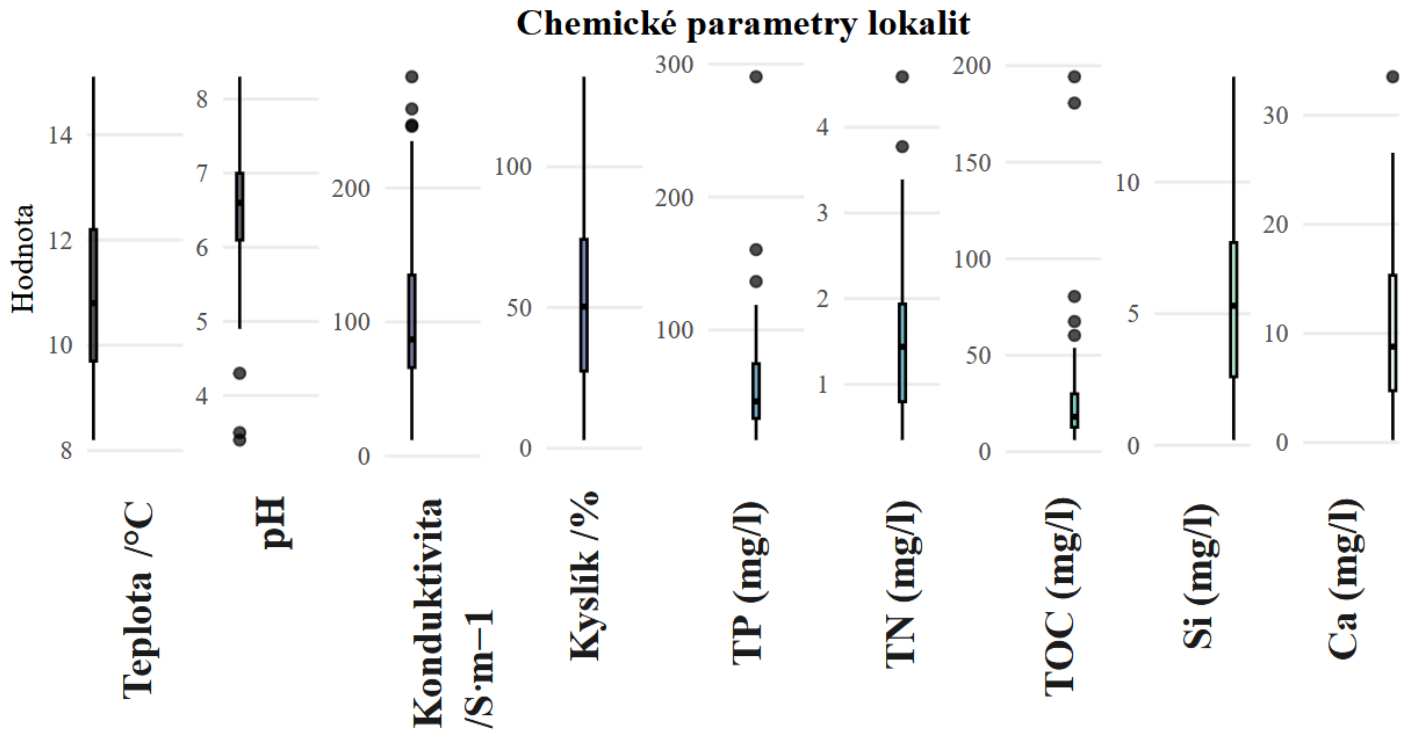
Celková **koncentrace organického uhlíku** se v klasifikaci trofie lokalit běžně nepoužívá, ukazuje spíš na přítomnost huminových kyselin. Průměrná koncentrace rozpuštěného organického uhlíku byla 28,48 mg/l, maximální koncentrace byla 194,29 mg/l (na lokalitě CZ_269 NPR Žofinka) a minimální 6, 1 mg/l (na lokalitě CZ_288 lom v Trhových Svinech).

Dalším měřeným prvkem byl **křemík**. Průměrná hodnota koncentrace křemíku ve vodě byla 5,39 mg/l. Maximální koncentrace byla 14 mg/l (na lokalitě CZ_259 – slepé rameno Lužnice, Suchdol) a minimální 0,52 mg/l (na lokalitě CZ_291 Na Vysoké).

Koncentrace **vápníku** ve vodě byla průměrně 10,41 mg/l, maximální hodnota byla 33,52 mg/l (na lokalitě CZ_248 Ptačí blato) a minimální 0,24 mg/l (na lokalitě CZ_244 Bývalá pískovna Jitra).

Barevnost vody na lokalitách závisí na látkách v ní rozpuštěných. Lokality s nejvyšší barevností byly CZ_269 a CZ_270 z NPR Žofinka. Obě lokality byly rašelinná jezírka s vysokým obsahem huminových kyselin. Jejich barevnost byla 1950 a 1650. Lokality s nejmíň barevnou vodou byly lokality CZ_290 Žemlička a CZ_297 Walden, kde byla naměřena barevnost 0. V obou případech se jednalo o rybník. Průměrná barevnost vody na lokalitách byla 184.

Zápach lokalit měl často malou hodnotu. Tři lokality měly zápach nulový: CZ_266 Pohořský rybník (Jiřická nádrž), CZ_267 Bažantník, CZ_268 Nadnakolický rybnik a CZ_280 Prchalů. Lokalita s nejvyšší průměrnou hodnotou zápachu – 7,167 - CZ_295 Romavský starý rybník se silně vymykala průměru – 1,253. Nejvyšší naměřená subjektivní hodnota zápachu byla 8.



Obr. 9 Boxplot hodnot chemických parametrů lokalit z Třeboňských odběrů. Na ose x chemické parametry lokalit, na ose y jejich hodnoty.

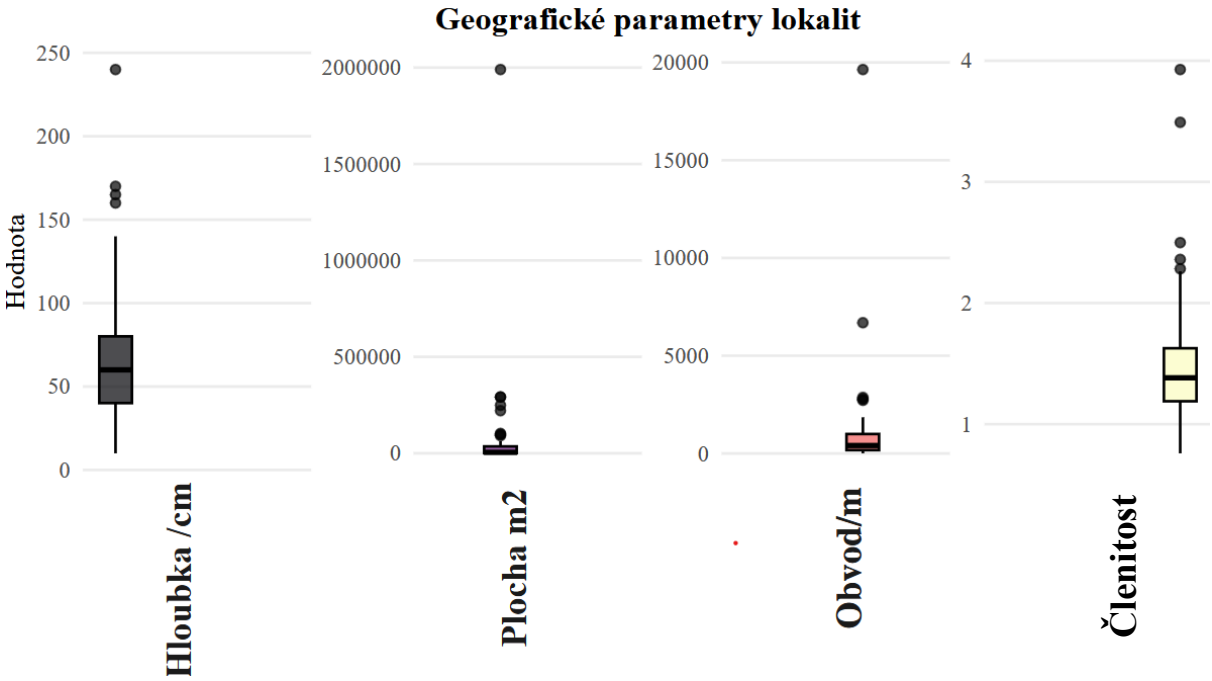
3.1.2 Geologické parametry prostředí

Hloubka vodního sloupce byla různá. Nejhlubší byly rybníky, kde byl vodní sloupec měřen u hráze. Nejhlubší byla lokalita CZ_264 Mlýnský rybník, která byla hluboká 240 cm. Některé rybníky byly vypuštěné a odebíralo se z mělčích kaluží na dně. Nejmělčí byla lokalita CZ_246 tůň v Borkovických blatech hluboká 10 cm. Průměrná hloubka lokalit byla 68 cm.

Průhlednost vody na lokalitách závisí na zvířeném kalu ze dna, nebo splachu z okolí (tento faktor nehrál roli, protože byla měřena odstátá voda), na obsahu chlorofylu ve vodě (sinicové květy, atd.) a na obsahu huminových kyselin, které snižují průhlednost. Nejnižší průhlednost vody byla naměřena na lokalitě CZ_261 Kukla, kde byla průhlednost 5 cm (hloubka 20 cm). Některé lokality měly nízkou průhlednost proto, že byly mělké (lokalita CZ_264 tůň v Borkovických blatech). Nejvyšší průhlednost vody byla naměřena na lokalitě CZ_264 Mlýnský rybník – 160 cm. Tato lokalita byla zároveň nejhlubší. Průměrná průhlednost vody na lokalitách byla 41,12 cm.

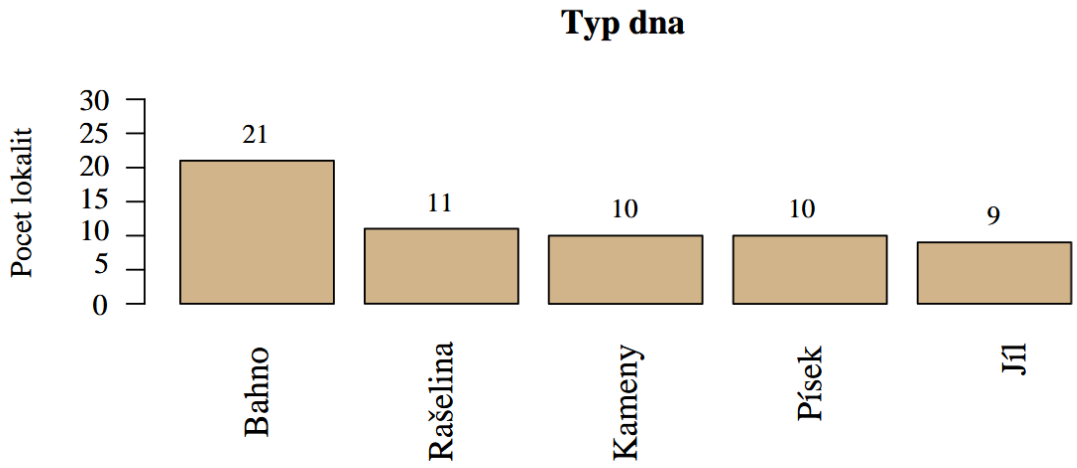
Vodní plocha odebíraných lokalit se velmi lišila. Lokalita s nejmenší plochou byla rašelinná tůňka CZ_270 NPR Žofinka s plochou 5 m². Tato lokalita měla i nejmenší **obvod** - 9 m. Lokalita CZ_281 Staňkovský rybník měla největší plochu – 1990000 m² – a i nejdelší obvod – 19640 m. Průměrná plocha lokality byla 65 428 m² a průměrný obvod byl 1 034 m.

Členitost lokalit je parametr, který kombinuje jak plochu, tak obvod břehu lokalit. Maximální hodnota členitosti - 3,93 - byla na lokalitě CZ_281 Staňkovský rybník. Minimální hodnota - 0,76 - byla naměřena na lokalitě CZ_264 Mlýnský rybník. Průměrná hodnota byla 1,54 (viz Obr. 10).

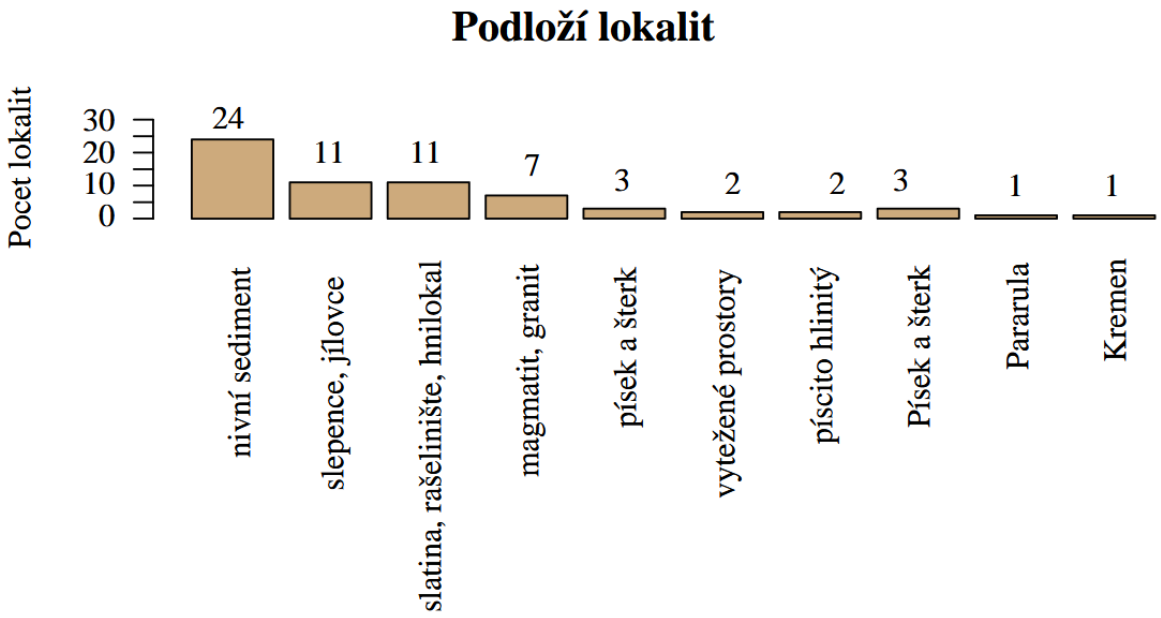


Obr. 10 Boxplot hodnot geologických parametrů prostředí lokalit z Třeboňských odběrů. Na ose x geologické parametry lokality, na ose y jejich hodnoty.

Další geologické parametry – **typ dna** na lokalitě a **podloží** lokality – jsou kategorické proměnné a byly vizualizovány pomocí barplotů. Nejvíc lokalit mělo bahnité dno. Další typů dna byly na lokalitách zastoupeny skoro stejně (Obr. 11). Nejvíc zastoupeným typem podloží na lokalitách byl nivní sediment (na 24 lokalitách). Typů podloží bylo devět. Slepence, jílovce, prachovce a rašelina, slatina, hnilokal byly druhé nejčastější (oba typy na 11 lokalitách). Další typy byly (ještě kromě granitu, který byl na 7 lokalitách) zastoupeny minimálně (Obr. 12).



Obr. 11 Barplot typů dna na lokalitě. Na ose x typy dna, na ose y počet lokalit.



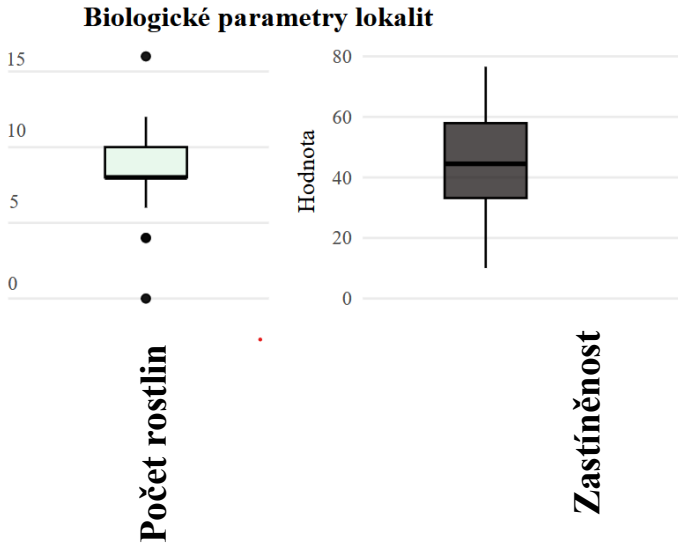
Obr. 12 Barplot podloží lokalit. Na ose x jsou druhy podloží na lokalitě. Na ose y počet lokalit.

Stáří a **původ** lokalit se výrazně liší. V použitém datasetu, v němž se vyskytovaly jak přes 600 let staré rybníky založené Jakubem Krčínem a slepá ramena řek, tak relativně mladé, pouze desítky let staré rašelinné tůňky. Vzhledem k širokému gradientu těchto parametrů v použitém datasetu je zajímavé je testovat.

3.1.3 Biologické parametry prostředí

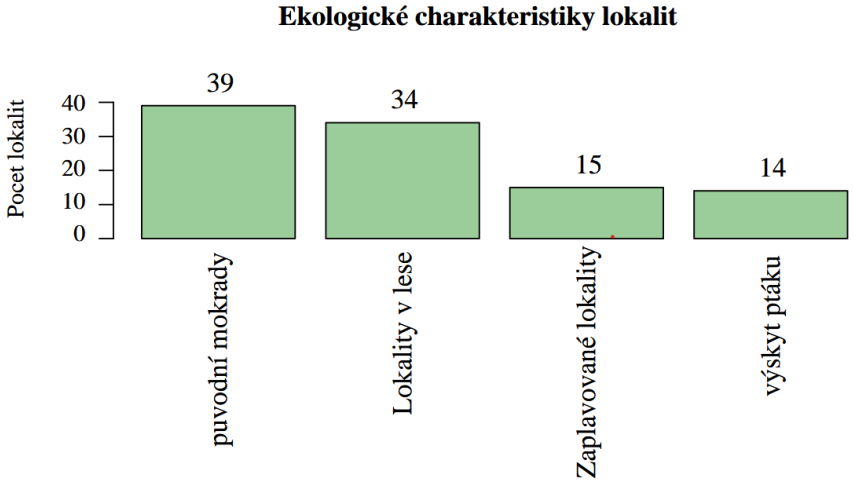
Zastíněnost lokalit se mezi jednotlivými lokalitami výrazně lišila. Nejméně zastíněná byla lokalita CZ_269 NPR Žofinka, která byla zastíněná z 10,1 %. Nejvíce zastíněná byla lokalita CZ_285 PP Blana, ta byla zastíněná ze 76,6 % (viz Obr. 13). Průměrná zastíněnost lokalit byla 44,8 %.

Počet druhů rostlin na lokalitách se také lišil. Na lokalitách CZ_253 Malý závistivý rybník a CZ_274 Xerr se nevyskytovaly žádné rostliny. Na lokalitě CZ_276 Hůrecký rybník se naopak vyskytovalo nejvíc - 10 – druhů rostlin. Průměrně se na lokalitách vyskytovaly 4 druhy rostlin (Obr. 13).



Obr. 13 Boxplot biologických parametrů lokality. Na ose x je počet druhů na lokalitách a zastíněnost v procentech, na ose y je jejich hodnota.

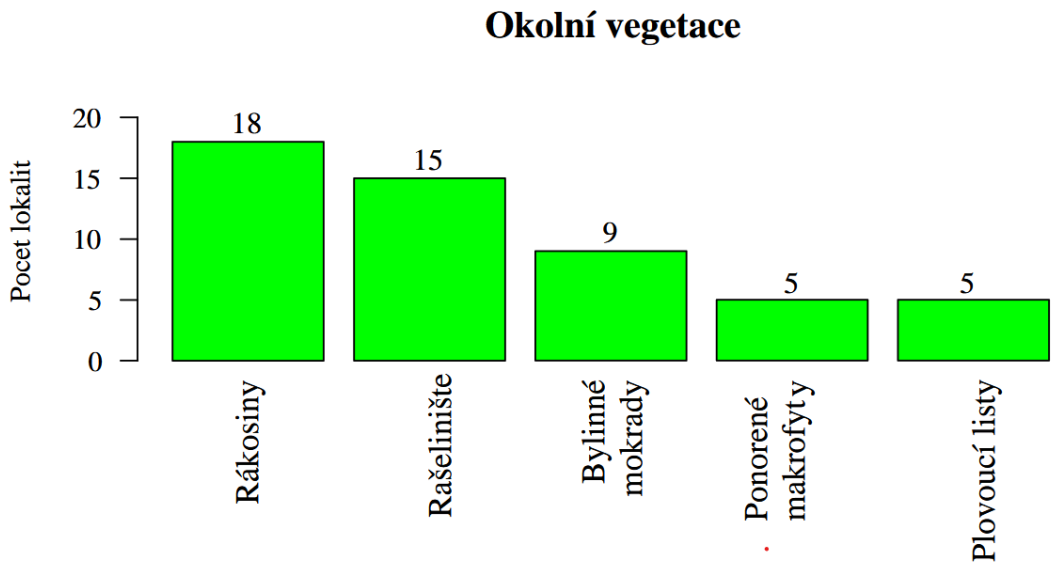
Dalšími biologickými parametry prostředí bylo např. **celoroční hnízdění ptáků na lokalitě**, které bylo potrvzeno na 14 lokalitách. Bylo hodnoceno i okolí lokality: 34 lokalit bylo v **lese** (tedy více než polovina), 15 lokalit bylo v kategorii **zaplavované lokality**, tzn. v oblasti, kam zasahuje stoletá voda a 39 lokalit mělo **návaznost na původní mokřady** (Obr. 14).



Obr. 14 Barplot ekologických parametrů prostředí. Na ose x jsou názvy parametrů a na ose y počet lokalit.

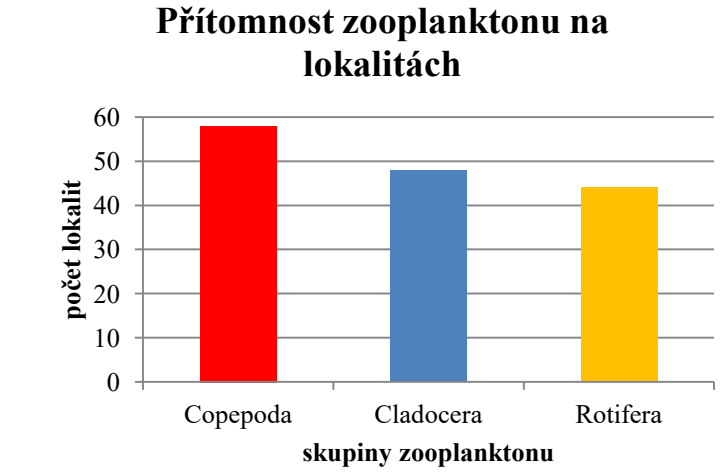
Podle výskytu druhů rostlin na lokalitě byly lokality rozděleny do pěti **ekologických kategorií**. V kategorii ‘Rašeliniště‘ bylo 15 lokalit. Druhy rostlin vyskytující se na těchto lokalitách naznačují, že tyto lokality mají nízké pH, jsou chudé na živiny a jsou pravděpodobné sycené srážkovou vodou. Do kategorie ‘Rákosiny a vysoké ostřiciny‘ spadalo 18 lokalit, což je nejvíc ze všech kategorií. V kategorii ‘Litorální bylinné‘ mokřady bylo 9 lokalit. Druhy rostlin vyskytující se na lokalitách v kategoriích ‘Rákosiny‘ a vysoké ostřiciny‘ a ‘Litorální bylinné mokřady‘ mají vysoké nároky na

živiny. Tyto lokality byly tedy pravděpodobně eutrofní a hrozí jim zazemnění. V kategorii ‘Otevřená voda s ponořenými makrofyty‘ a v kategorii ‘Plovoucí listy a volná hladina’ bylo 5 lokalit, jedná se tedy o nejmenší kategorie (nepočítáme-li lokality bez vegetace.



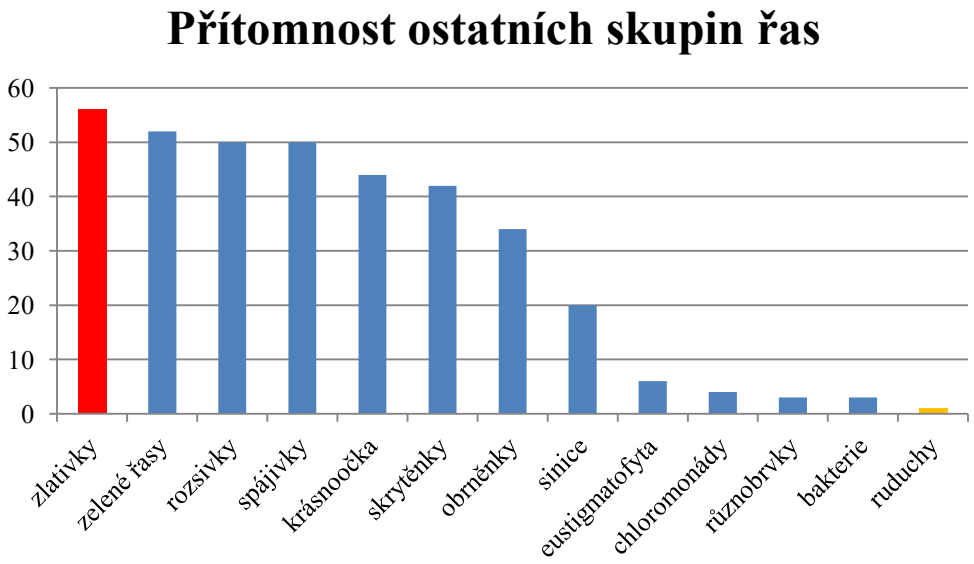
Obr. 15 Barplot kategorií lokalit podle přítomných druhů rostlin. Na ose x jsou kategorie lokalit a na ose y počet lokalit.

Jedním z parametrů byla i přítomnost ostatních organismů, s nimiž by mohly námi zkoumané druhy interagovat. Na nejvíce lokalitách byl přítomný **zooplankton** ze skupiny Copepoda – na 58 lokalitách - celková hodnota semikvantit - 137, následovala skupina Cladocera na 48 lokalitách - celková hodnota semikvantit 110 a Rotifera na 44 lokalitách s celkovou hodnotou semikvantit 94 (Obr. 16).



Obr. 6 Graf přítomnosti zooplanktonu na lokalitách. Na ose y je počet lokalit a na ose x jedna ze tří zkoumaných skupin zooplanktonu. Červeně jsou znázorněna Copepoda, modře Cladocera a žlutě Rotifera.

Přítomnost zlativek byla pod světelným mikroskopem potvrzena na 57 odebíraných lokalitách. Monitorovala se i **přítomnost ostatních skupiny řas**. Nejvíce zastoupené po zlativkách byly zelené řasy, které byly nalezeny na 52 lokalitách. Rozsivky a spájivky byly nalezeny na 50 lokalitách atd. (viz Obr. 17). Zástupce ruduch se vyskytoval pouze na jedné lokalitě. Skupiny řas nebyly zastoupeny rovnoměrně.



Obr. 17 Graf výskytu různých skupin řas na lokalitách. Na ose y je počet lokalit na nichž se řasy vyskytovaly, na ose x jsou názvy skupin řas. Oranžově je znázorněna skupina s nejmenším zastoupením, červeně skupina s největším zastoupením.

3.2 GLM PCA

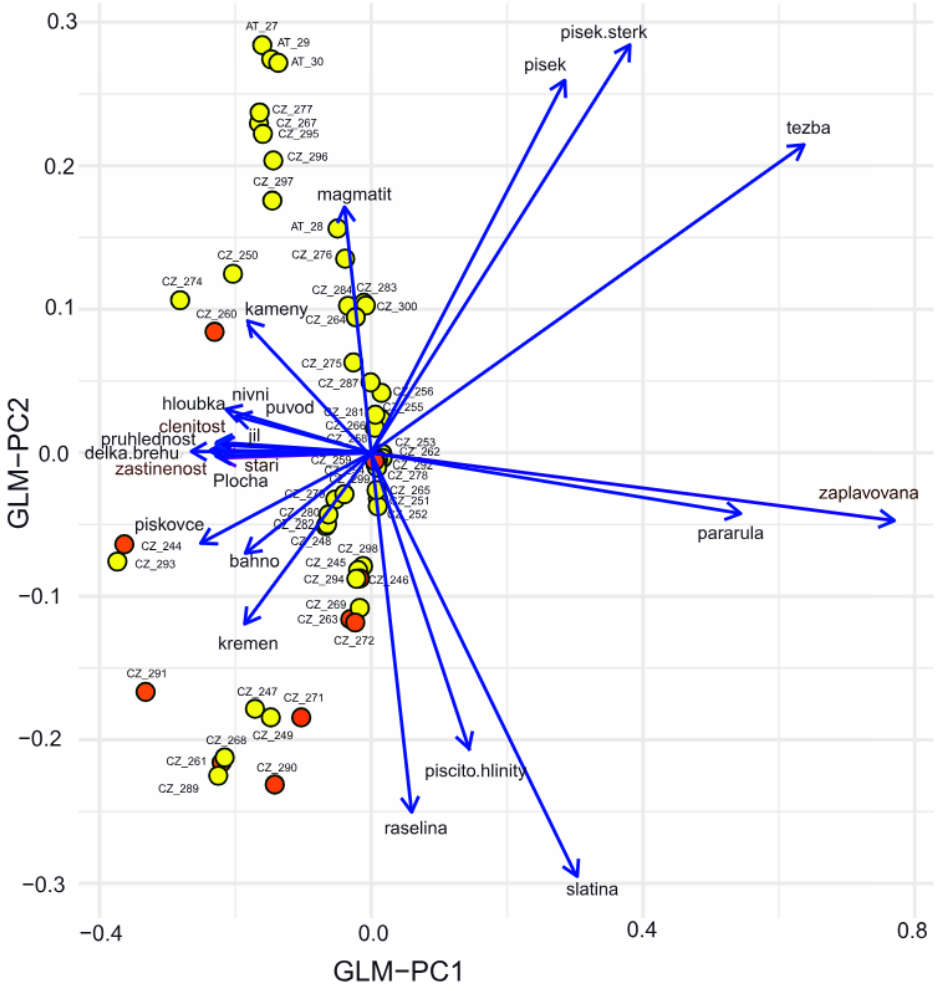
Parametry lokalit byly pro přehlednost GLM PCA analýz rozděleny do tří skupin: geologické, biologické a chemické. Ve výsledných GLM PCA plotech byly červeně označeny lokality s nejnižším relativním indexem vzácnosti.

3.2.1 GLM PCA geologických parametrů lokalit

GLM PCA geologických parametrů (Obr. 18) odhalilo, že podobnost lokalit je nejvíce vysvětlována proměnnými popisujícími typ podloží, což naznačují dlouhé vektory těchto proměnných (osy písku, písku se štěrkem, slatiny, rašeliny, písku s hlínou a pararuly). Velký vliv na podobnost lokalit má taky zaplavovanost lokality. Proměnné jako členitost, zastíněnost, původ či délka břehu mají krátké vektory, což naznačuje jejich menší příspěvek k variabilitě zachycené prvními dvěma hlavními komponentami.

Všechny lokality se vyskytují v levé části grafu, protože skóre většiny lokalit na první hlavní komponentě jsou záporná, což ukazuje, že mezi lokalitami není výrazná variabilita ve směru kladných hodnot PC1. To, že jsou lokality nahloučeny blízko u sebe, ukazuje na podobné geologické charakteristiky. Vektor zaplavovanosti lokality ukazuje opačným směrem než vektor členitosti, zastíněnosti a stáří lokality, to naznačuje negativní korelaci mezi těmito vektory. Deset lokalit

s nejnižším indexem vzácnosti bylo zvýrazněno červenou barvou. Většina se jich vyskytovala v levé dolní části grafu, což naznačuje, že mají podobné geologické charakteristiky prostředí. A že lokality s rašelinným, popř. písčito-hlinitým substrátem by mohly hostit více vzácných druhů rodů *Mallomonas* a *Synura*.



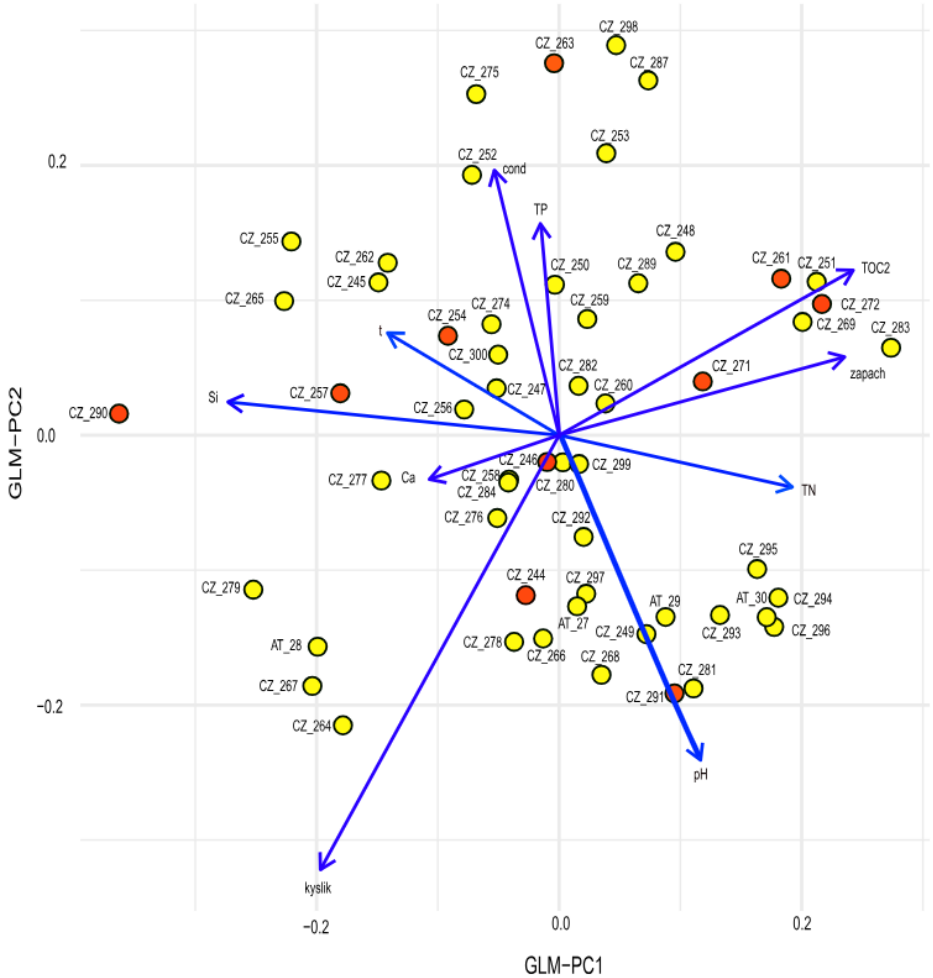
Obr. 18 GLM PCA analýza geologických parametrů lokalit. Deset lokalit s nejnižším relativním indexem vzácnosti bylo zvýrazněno červenou barvou. Modře jsou znázorněny osy ostatních parametrů. Vysvětlivky k popiskům vektorů parametrů: typy podloží na lokalitě – pisek.sterk (písek štěrk), tezba (těžené podloží), pararula, slatina, piscito.hlinity (písčito hlinité podlož), křemen, pískovce, nivni (nivní sediment), magmatit. Typ substrátu na dně – bahno, kameny, pisek, rašelina, jíl. Další parametry lokality – stáří, zastíněnost lokality, délka břehu, plocha, průhlednost vody, puvod – návaznost na původní mokřady, členitost a hloubka lokality.

3.2.2 GLM PCA chemických parametrů lokalit

Další skupinou parametrů, pro něž byla dělána GLM PCA analýza, byly chemické parametry lokalit (Obr. 19). Parametr s nejdelším vektorem je procento kyslíku ve vodě na lokalitě. Vektor pH a teploty, pH a koncentrace křemíku, celkové koncentrace dusíku a koncentrace křemíku, celkové koncentrace dusíku a teploty mezi sebou svírají tupý úhel, což naznačuje, že mezi sebou nemají

pozitivní, ale spíše negativní korelaci. Pozitivně korelované byly parametry celkové koncentrace uhlíku ve vodě se zápachem lokality a konduktivita s celkovou koncentrací fosforu ve vodě.

Lokality nejsou nahloučené na jednou místě. To znamená, že netvoří žádné skupiny na základě podobnosti v jejich chemických parametrech. Z výsledků analýzy vidíme, že lokality s nejnižším indexem vzácnosti jsou stejně jako ostatní lokality rovnoměrně rozložené po celém ordinačním prostoru. Jediná lokalita výrazně odlehlá od ostatních je lokalita CZ_290 Žemlička.

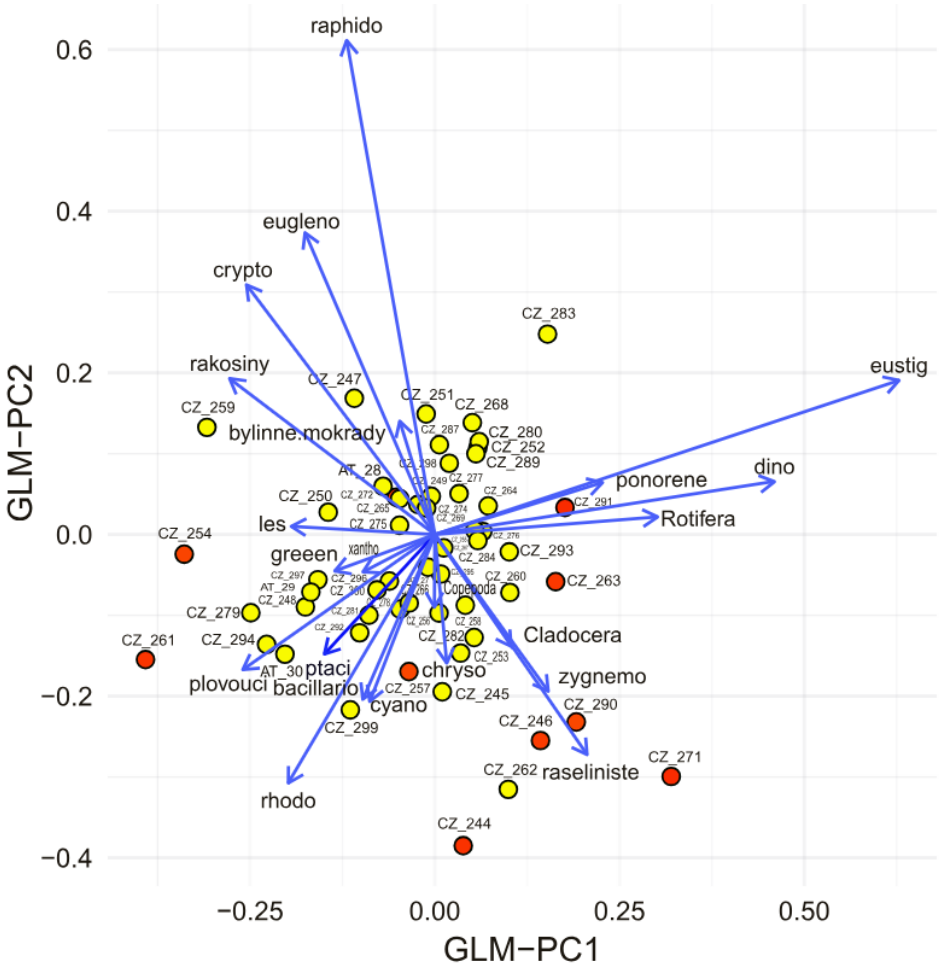


Obr. 19 GLM PCA chemických parametrů lokalit. Červeně zvýrazněno je prvních deset lokalit s nejnižším indexem vzácnosti. Vysvětlivky k popiskům vektorů parametrů: pH – pH vody na lokalitě, kyslik – procento kyslíku ve vodě, Ca – koncentrace vápníku ve vodě, Si – koncentrace křemíku ve vodě, t – teplota vody na lokalitě, cond – konduktivita vody, TP – celková koncentrace fosforu ve vodě, TOC2 celková koncentrace organického uhlíku ve vodě, zapach – zápach lokality, TN – celková koncentrace dusíku ve vodě.

3.2.3 GLM PCA biologických parametrů lokalit

GLM PCA biologických parametrů lokalit ukázalo, že většina lokalit leží blízko sebe ve středu ordinačního prostoru. Většina vektorů parametrů lokalit je krátkých, což znamená, že na podobnost lokalit nemají vliv. Vektor výskytu spájivek (zygnemo) a rašelinného podloží spolu pozitivně korelují, což je v pořádku, protože spájivé řasy se často vyskytují na rašeliništích.

Lokality s nízkým indexem vzácnosti jsou více vzdálené od středu a vyskytují se spíš ve spodní části ordinačního prostoru, kam ukazuje vektor celoročního hnízdění ptáků na lokalitě, vektor výskytu ruduch, zlativek, sinic, rozsivek a vektor lokalit v kategorii plovoucích rostlin.



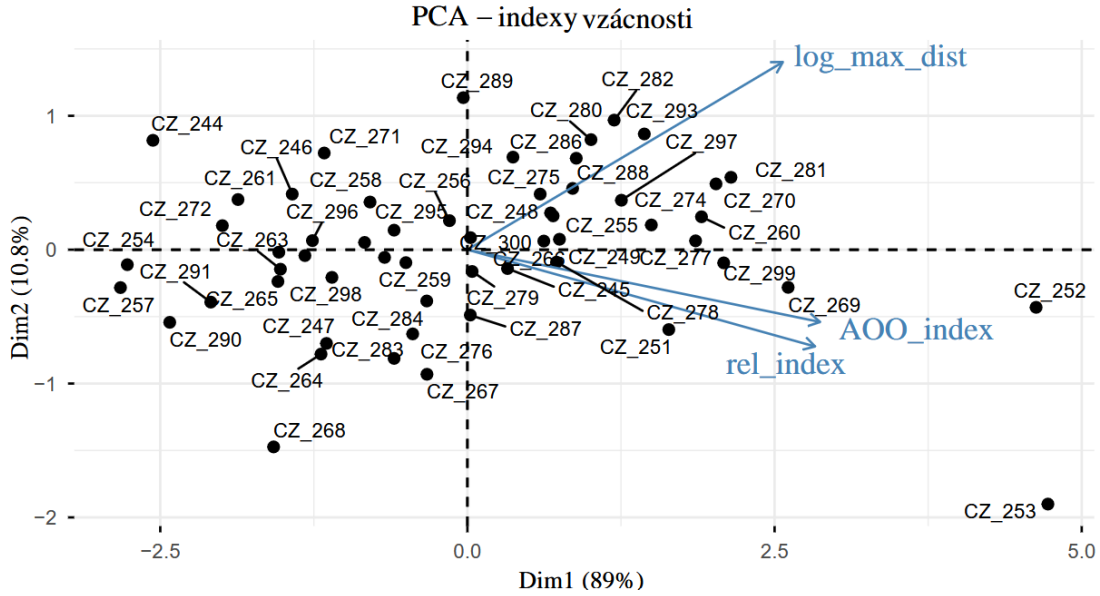
Obr. 20 GLM PCA biologických parametrů lokalit. Červeně zvýrazněno je prvních deset lokalit s nejnižším indexem vzácnosti. Vysvětlivky k popiskům vektorů parametrů: přítomnost tří skupin zooplanktonu na lokalitě – Cladocera, Rotifera, Copepoda. Přítomnost dalších skupin řas na lokalitě: cyano – sinice, chryso – zlativky, rhodo – rouchy, bacillario – rozsivky, green – zelené řasy, krypto – skrytěnky, eugleno – krásnoočka, raphido – Raphidophyceae, eustig – Eustigmatophyceae, dino – obrněnky, zygnemo - spájivky. Typ vegetace na lokalitě – rašeliniště, plovouci – plovoucí rostliny, bylinné mokřady, rákosiny, ponorene – ponořené rostliny. Další parametry: les – jestli byla lokalita v lese, ptáci – celoroční hnízdění ptáků na lokalitě.

3.3 Indexy vzácnosti lokalit

V této práci jsou jak již bylo zmíněno výše používány tři indexy vzácnosti. Index relativní vzácnosti, index maximální ggeografické disperze a index obsazené plochy (AOO). V této kapitole bych chtěla vizualizovat, jaké vztahy mezi sebou tyto tři indexy mají.

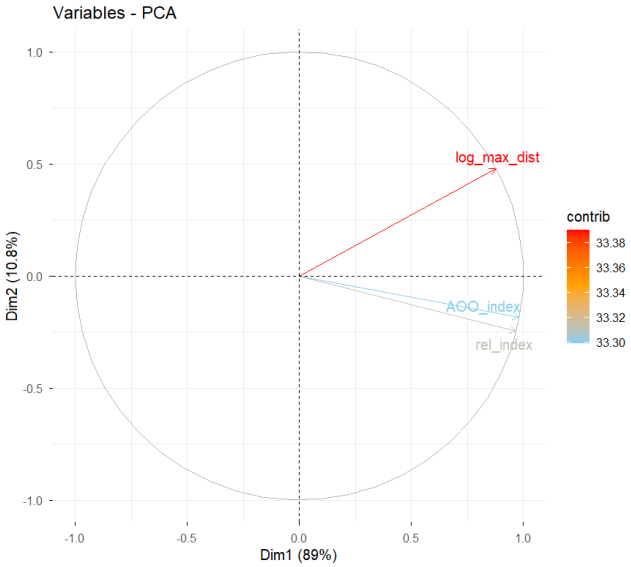
Úzký vztah mezi indexem relativní vzácnosti a indexem obsazené plochy ukazuje PCA indexů vzácnosti (Obr. 21). V ordinačním prostoru leží osy těchto indexů velmi blízko sebe a míří stejným směrem, což znamená, že jsou silně pozitivně korelované a poskytují téměř stejnou informaci.

Osa indexu maximální geografické disperze míří jiným směrem. Znovu se potvrzuje, že tento index s předchozími dvěma sice souvisí, ale současně obsahuje vlastní informaci. Osy všech indexů jsou poměrně dlouhé, všechny indexy tedy mají význam. Dvě lokality mají extrémní hodnoty – lokalita CZ_253 Malý závistivý rybník, která má velmi odlišnou kombinaci indexů než většina ostatních lokalit a lokalita CZ_252 PP Kramářka, slatiniště Karštejn, která je výrazně vychýlená k první ose.



Obr. 21 PCA analýza indexů vzácnosti. Modré osy znázorňují indexy vzácnosti: log_max_dist znázorňuje index maximální geografické disperze, rel_index znázorňuje index relativní vzácnosti a AOO_index znázorňuje index obsazené plochy.

Ještě lépe je vztah tří indexů vidět na korelační kružnici (Obr. 27). Vpravo vidíme stupnici příspěvku proměnné k vytvoření hlavních komponent PCA. Rozdíly mezi 33,30 % a 33,40 % jsou zanedbatelné, což znamená, že žádný index výrazně nedominuje, žádný index není zanedbatelný, všechny tři jsou pro PCA podobně důležité.



Obr. 22 Korelační kružnice. Osy znázorňují indexy vzácnosti. Barva os představuje stupeň příspěvku indexu k vytvoření hlavních komponent PCA.

3.4 Nalezené druhy

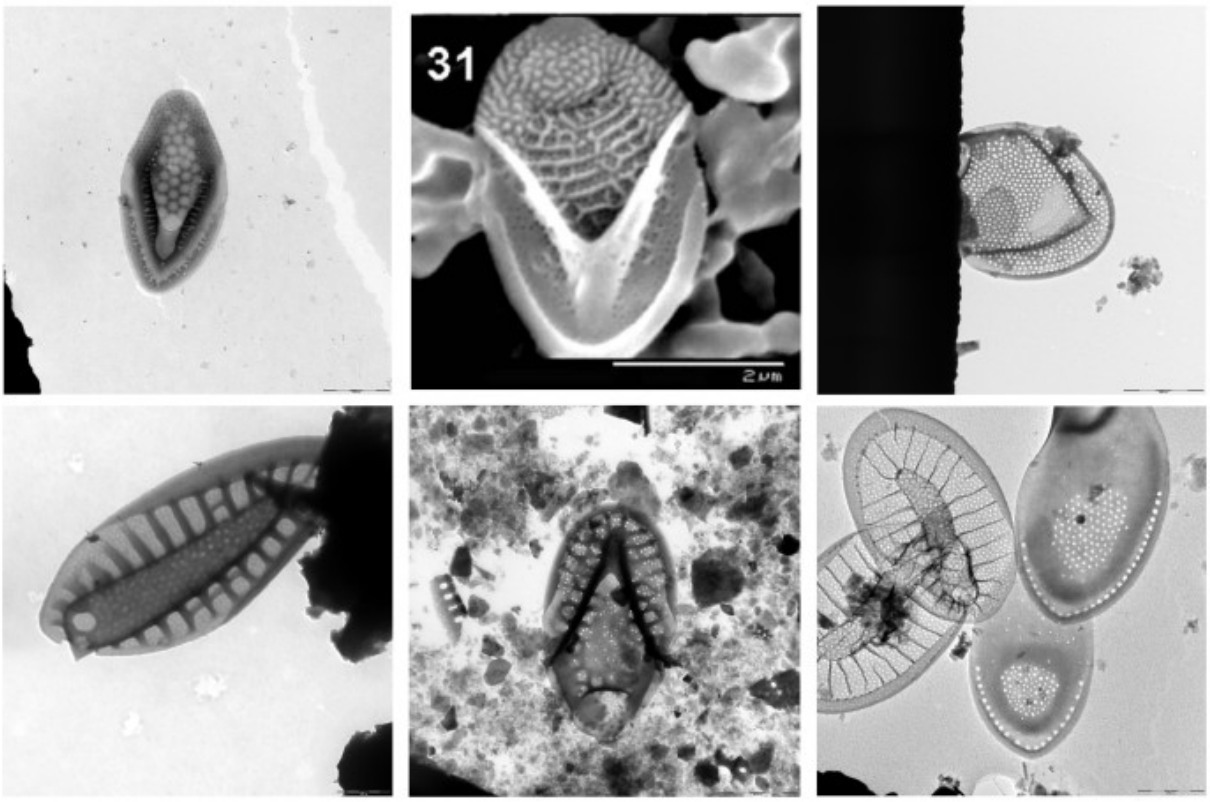
Z datasetu záznamů sloučených z vyexportovaných dat z databáze chrysophytes.eu a z dat mého školitele bylo zjištěno, že v Evropě bylo zaznamenáno 168 druhů námi zkoumaných rodů. 132 druhů *Mallomonas* a 36 druhů *Synura*.

Nejvzácnější v Evropě byly druhy *Mallomonas* sp. sensu Hartmann & Steinberg (1989), *M. actinoloma* var. *nadiensis, Mallomonas areolata, M.* aff. *rasilis, M. altaica, M.* cf. *alata, M. getseniae, M. hindonii, M. intermedia* var. *saliceaensis* a *M. lychenensis* f. *symosiaca* - seřazeno od nejvzácnějšího k desátému nejvzácnějšímu taxonu (Obr. 24). Těchto deset druhů bylo stejných pro všechny indexy.

Nejběžnější druhy byly pro všechny tři indexy podobné, ale mírně se lišily (viz Obr. 23). Pro index relativní vzácnosti a index obsazené plochy vyšla *Synura petersenii* jako nejběžnější druh v Evropě. I tyto dva indexy se mezi sebou lišily, ale méně než index maximální geografické disperze.

Kategorie	Index relativní vzácnosti	Index obsazené plochy	Index maximální geografické disperze
nejvzácnější druhy Mallomonas a Synura v Evropě	*Mallomonas* sp. sensu Hartmann & Steinberg	*Mallomonas* sp. sensu Hartmann & Steinberg	*Mallomonas* sp. sensu Hartmann & Steinberg
	Mallomonas actinoloma var. *nadiensis*	*Mallomonas actinoloma* var. *nadiensis*	*Mallomonas actinoloma* var. *nadiensis*
	Mallomonas areolata	*Mallomonas areolata*	*Mallomonas areolata*
	Mallomonas aff. *rasilis*	*Mallomonas* aff. *rasilis*	*Mallomonas* aff. *rasilis*
	Mallomonas altaica	*Mallomonas altaica*	*Mallomonas altaica*
	Mallomonas cf. *alata*	*Mallomonas* cf. *alata*	*Mallomonas* cf. *alata*
	Mallomonas getseniae	*Mallomonas getseniae*	*Mallomonas getseniae*
	Mallomonas hindonii	*Mallomonas hindonii*	*Mallomonas hindonii*
	Mallomonas intermedia var. *saliceaensis*	*Mallomonas intermedia* var. *saliceaensis*	*Mallomonas lychenensis* f. *symposiaca*
	Mallomonas lychenensis f. *symposiaca*	*Mallomonas lychenensis* f. *symposiaca*	*Mallomonas pseudocratis*
nejběžnější druhy Mallomonas a Synura v Evropě	*Synura petersenii*	*Synura petersenii*	*Mallomonas intermedia* var. *saliceaensis*
	Mallomonas crassisquama	*Mallomonas crassisquama*	*Mallomonas striata*
	Mallomonas akrokomos	*Mallomonas caudata*	*Mallomonas acaroides*
	Mallomonas caudata	*Mallomonas acaroides*	*Mallomonas alpina*
	Mallomonas acaroides	*Mallomonas akrokomos*	*Mallomonas heterospina*
	Synura echinulata	*Synura spinosa*	*Mallomonas crassisquama*
	Synura spinosa	*Synura echinulata*	*Synura curtispina*
	Mallomonas tonsurata	*Mallomonas tonsurata*	*Mallomonas pillula* f. *valdiviana*
	Mallomonas alpina	*Mallomonas alpina*	*Mallomonas calceolus*
	Mallomonas papillosa	*Mallomonas punctifera*	*Mallomonas pugio*

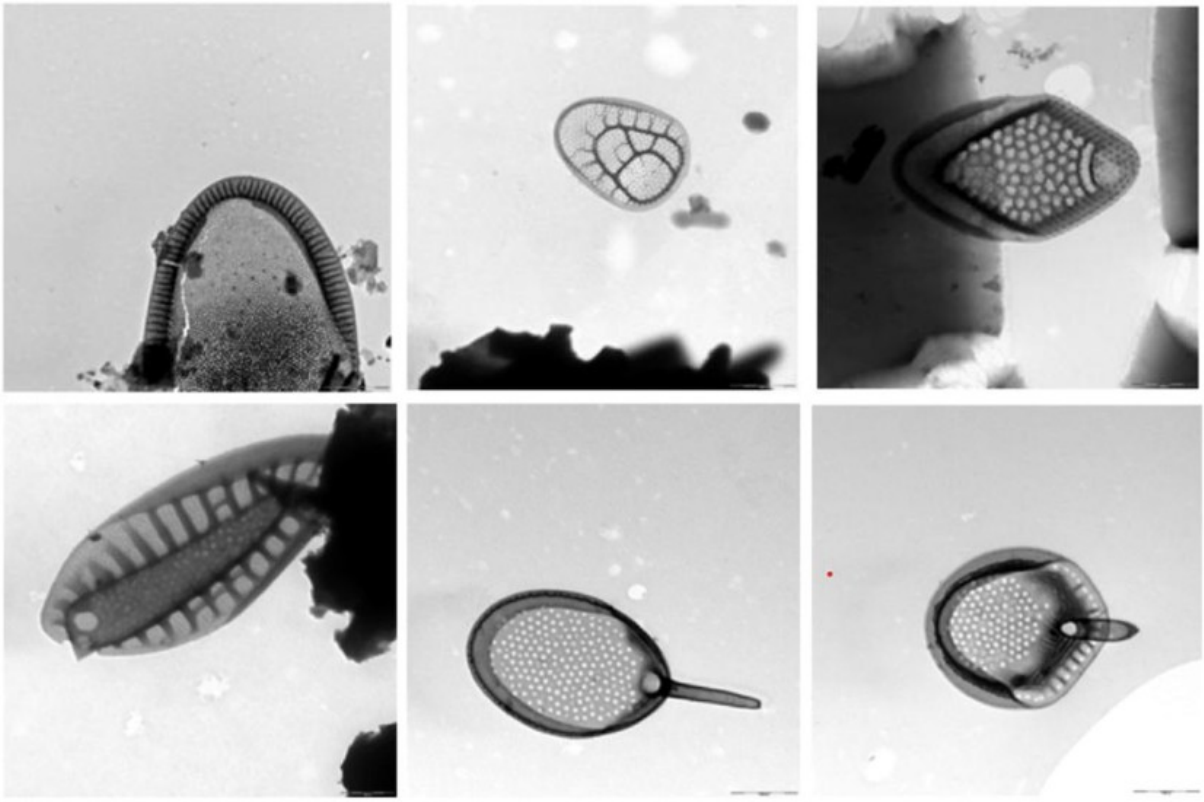
Obr. 23 Tabulka 10 nejvzácnějších a 10 nejběžnějších druhů rodů *Mallomonas* a *Synura* v Evropě. Vzácné druhy jsou seřazené od nejvzácnějšího k desátému nejvzácnějšímu a běžné druhy jsou seřazené od nejběžnějšího po desátý nejběžnější v Evropě podle tří různých indexů vzácnosti



Obr. 24 Nejvzácnější a nejběžnější druhy rodů *Mallomonas* a *Synura* v Evropě. V první řadě tři nejvzácnější druhy: zleva – *Mallomonas* sp. sensu Hartmann & Steinberg (1989*), M. actinoloma* var. *nadiensis* (Cambra, 2010) měřítko 2 µm*, M. areolata*. V druhé řadě tři nejběžnější druhy: zleva – *Synura petersenii, M. crassisquama, M. akrokomos* (vlevo na obr. *S. glabra*). Měřítko 1 µm.

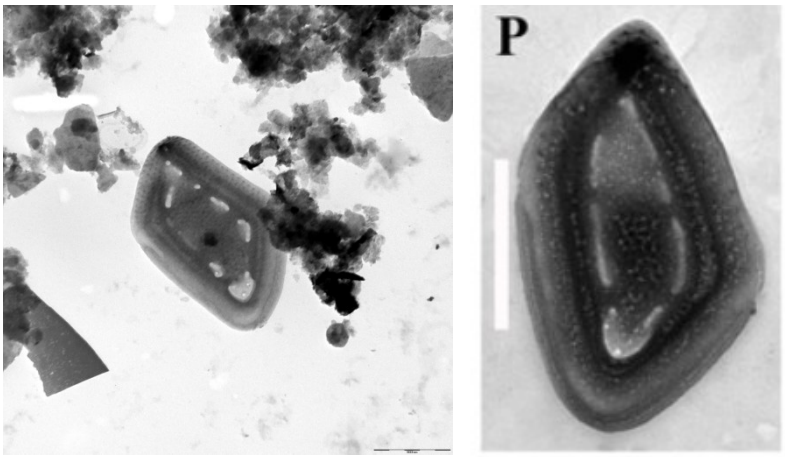
Celkem bylo na všech lokalitách na Třeboňsku nalezeno 97 druhů zlativek: 84 druhů *Mallomonas* a 13 druhů *Synura* (viz Tabulka 2 v příloze). Průměrně se na lokalitách vyskytovalo14,4 druhů. Na prvních deseti lokalitách s nejnižším indexem vzácnosti se průměrně vyskytovalo 22,2 druhů (12, 43, 26, 45, 16, 19, 9, 26, 7 a 19 druhů) a na 10 lokalitách s nejvyšším indexem vzácnosti se průměrně vyskytovalo 12,7 druhů (20, 24, 17, 2, 15, 10, 20, 6, 8 a 5 druhů). Na lokalitě s největším počtem druhů bylo nalezeno 45 druhů, jednalo se o lokalitu CZ_261 – Kukla. Jediná další lokalita s podobně vysokým počtem druhů – 43 - byla lokalita CZ_254 – tůň u Nové vsi nad Lužnicí. Na dvanácti lokalitách se vyskytovalo méně než 10 druhů. Na lokalitě CZ_270 bylo nalezeno málo šupin (2 druhy), ale hodně rozsivek, na lokalitě CZ_273 byly nalezeny 3 druhy (v jednom ze sloučených datasetů nebyl nalezen žádný druh) a síťka byla celkově chudá na šupiny. Na lokalitě CZ_286 byly nalezeny 4 druhy. Na síťce bylo celkově asi 15 šupin. Na lokalitě CZ_288 bylo nalezeno asi 20 šupin celkem na síťce, převážně *M. caudata*, od zbylých dvou druhů tak 2-3 šupiny, hodně kulatých centrických rozsivek. Na ostatních lokalitách bylo nalezeno mnoho šupin (běžně přes sto šupin).

Nejvzácnější druhy z Třeboňských odběrů se na lokalitách vyskytovaly s frekvencí 2% (tzn., byly nalezeny pouze na jedné lokalitě). Jednalo se o nový druh *S.*aff. *petersenii, M. tolerans, M. scalaris, M. retifera, M. munda, M. lychenensis, M. kornevae, M. divida, M. canina, M.* cf. *camerunensis* a *M. adamas*. Nejběžnější druh měl frekvenci 90 % (*S. petersenii*). Další nejběžnější druhy měly frekvenci výskytu kolem: 73 % (*M. caudata*), 70 % (*M. papillosa*), 75 % (*S. echinulata*) a 77 % (*S. sphagnicola*) (Obr. 25).



Obr. 25 Nejvzácnější a nejběžnější druhy rodů *Mallomonas* a *Synura* Třeboňských odběrů. V první řadě tři vybrané nejvzácněji nalézané druhy: zleva *–Mallomonas tolerans, M. canina, M. retifera*. V druhé řadě tři vybrané nejběžnější druhy Třeboňských odběrů: zleva – *Synura petersenii, S. sphagnicola, S. echinulata.* Měřítko 1 μm.

Druh *Mallomonas mangofera* f. *sulcata* (Dürrschmid, 1981), který jsem nalezla na Třeboňsku v roce 2024, představuje první nález v Evropě (Obr. 26). Jedná se o varietu *Mallomonas* z komplexu *M. mangofera*. Popsal ji Dürrschmidt (1981) z Chile z teplých, mírně kyselých vod. Od té doby byla nalezena v Singapuru a ve Vietnamu, šupiny z těchto dvou zemí se však mírně liší od popisu z typové lokality v Chille, takže možná šlo o jiný morfotyp (Gusev et al., 2023). Na Třeboňsku se *M. mangofera f. sulcata* vyskytoval na lokalitách: CZ_261 rybník Kukla (48.9562967N, 14.8890503E) v poměrně studené vodě - 12,5 °C s pH 6,7 a konduktivitou 121µS/cm (29.10. 2024) a na lokalitě CZ_268 Nadnakolický rybník (48.8072258N, 14.8469867E) kde měla voda teplotu 11,4 °C, pH 7,5 a konduktivitu 62 µS/cm (30.10. 2024). Tento druh tedy není vázaný pouze na teplé vody a vyskytuje se i v mírně zásaditých vodách v poměrně širokém gradientu konduktivity.

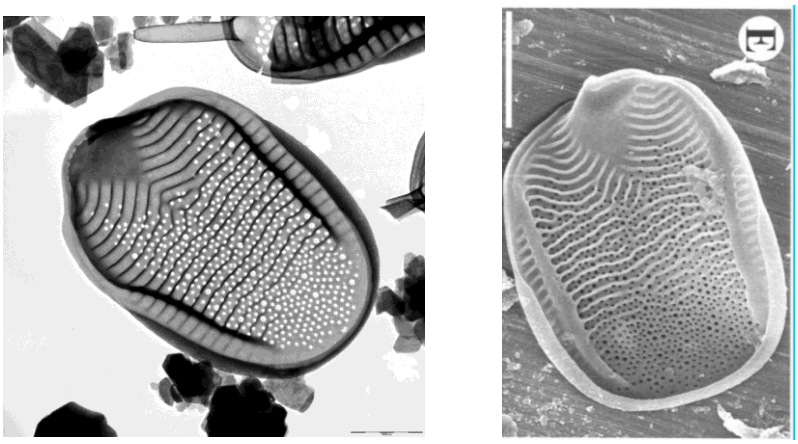


Obr. 26 *Mallomonas mangofera var. sulcata:* nalevo fotka z Třeboňského odběru, napravo fotografie tělní šupiny z publikace Gusev et al. (2023), měřítko 1 µm.

Mallomonas pseudomatvienkoae byla pravděpodobně v evropské databázi zaměněna za *Mallomonas matvienkoae,* proto byly tyto dva druhy v tabulce sloučeny.

Mallomonas transsylvanica var. *curvata* (Siver a Lott, 2000) představuje rovněž první nález v Evropě (Obr. 27). Původně byl popsán v březnu roku 2000 z jezera Catherine z národního parku Ocala National Forest na Floridě. Vyskytoval se tam ve vodách oligotrofního, kyselého jezera s pH 4,9.

Na Třeboňsku se vyskytoval na třech lokalitách: CZ_260 rybník Vizír (48.9649250N, 14.8885717E), kde měla voda teplotu 15,1 °C, pH 6,5 a konduktivitu 88 µS/cm (29.10. 2024), CZ_257 tůň 160 (48.8531767N, 14.9064467E) ve vodě, která měla teplotu 12,4 °C, pH 6,5 a konduktivitu 247 µS/cm (29.10. 2024) a na lokalitě CZ_244 bývalá pískovna Jitra (49.2263728N, 14.6454658E), kde byla teplota vody 12,3 °C, pH 6,5 a konduktivits 12 µS/cm (28. 10. 2024). *Mallomonas transsylvanica* var. *curvata* se i na typové lokalitě vyskytoval ve studenější vodě, ale v mnohem kyselejším pH, než bylo naměřeno na Třeboňsku. V ČR byl nalezen v různých typech habitatů od rybníku až po tůň, příčemž všechny lokality byly oligotrofní.



Obr. 27 *Mallomonas transsylvanica* var. *curvata* z Třeboňského odběru nalevo, napravo fotka tělní šupiny, měřítko 2 µm (Siver a Lott, 2000).

3.5 Deset lokalit s nejnižším indexem vzácnosti

Prvních deset lokalit s nejnižším indexem vzácnosti (viz Obr. 28) vyšlo téměř stejně pro index relativní vzácnosti a index obsazené plochy, lišily se jen v jedné lokalitě. Naopak podle indexu maximální disperze dopadlo pořadí odlišně. V následných analýzách bylo pracováno s pořadím podle indexu relativní vzácnosti.

Lokalita s nejnižším indexem relativní vzácnosti, a tedy s největším výskytem vzácných druhů byla lokalita CZ 244 (Bývalá pískovna Jitra), následovaly lokality CZ 254 (Nová ves nad Lužnicí, tůň), CZ 257 (tůň 168), CZ 261 (Kukla), CZ 272 (těžebna Bůrek), CZ 290 (Žemlička - má odlehlou hodnotu pH a barevnosti.), CZ 291 (Na Vysoké), CZ 246 (Borkovická Blata, tůň), CZ 271 (lesní tůň u Borské stoky) a CZ 263 (Kamerun).

index vzácnosti	index maximální geografické disperze	index relativní vzácnosti	index obsazené plochy
deset lokalit s nejnižším indexem vzácnosti	CZ_268	CZ_244	CZ_244
	CZ_290	CZ_254	CZ_254
	CZ_257	CZ_257	CZ_257
	CZ_254	CZ_261	CZ_272
	CZ_291	CZ_272	CZ_290
	CZ_264	CZ_290	CZ_261
	CZ_247	CZ_291	CZ_291
	CZ_265	CZ_246	CZ_271
	CZ_283	CZ_271	CZ_273
	CZ_267	CZ_263	CZ_246

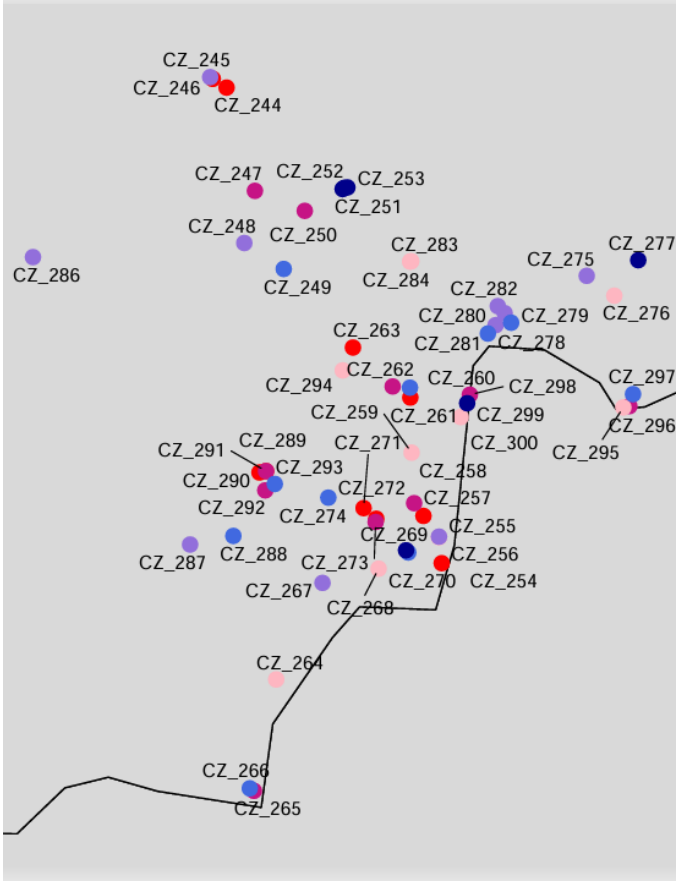
Obr. 28 Deset lokalit s nejnižším indexem vzácnosti pro každý index.

Na prvních deseti lokalitách s nejnižším indexem relativní vzácnosti, kde převažovaly vzácné druhy, bylo nalezeno 28 druhů Synurales s relativním indexem vzácnosti menším než polovina evropského průměru (velmi vzácné druhy). 16 druhů s relativním indexem vzácnosti menším, než

evropský průměr (vzácné druhy) a 32 druhů s indexem větším než průměr (běžné druhy). Evropský průměr relativní vzácnosti druhů Synurales byl 0,0059.

Z druhů, které byly nalezeny na více lokalitách s nízkým indexem vzácnosti má z velmi vzácných druhů největší výskyt *Mallomonas labyrinthina*, *M.* aff. *clavus* (byl nalezen pětkrát), *Mallomonas conspersa, Mallomonas pillula* f. *exannulata, M. cristata* a *M. kalinae* (na 4 lokalitách). Z vzácných druhů byl na lokalitách s nejnižším indexem relativní vzácnosti nejčastější *Mallomonas pillula* f. *valdiviana*.

Z mapy (Obr. 29) jde vidět, že vzácné lokality nemají jeden hotspot a jsou rovnoměrně rozložené na mapě.

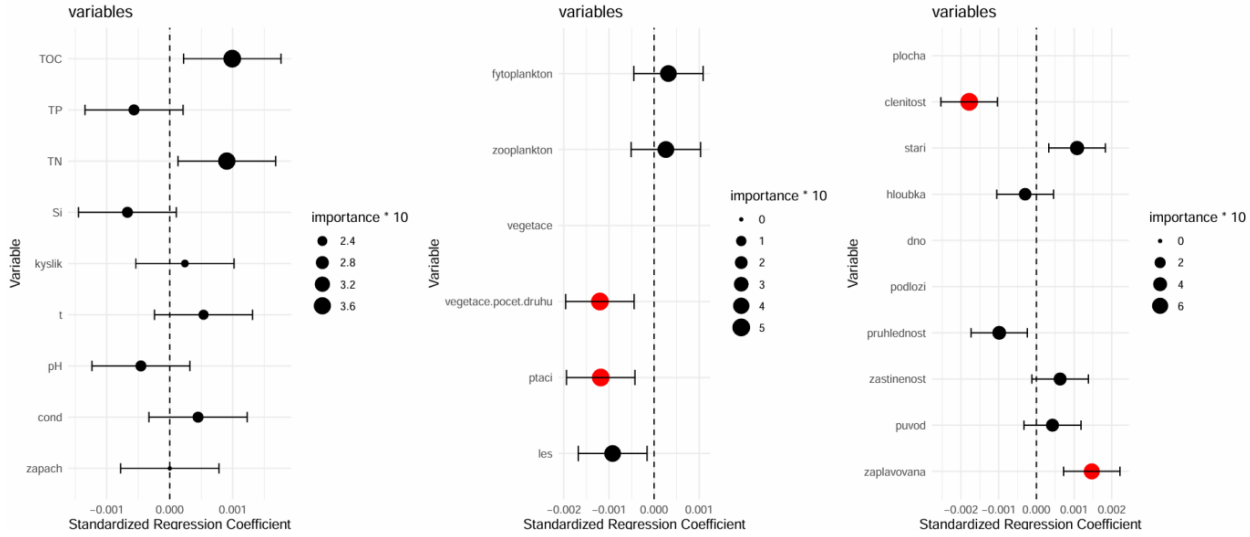


Obr. 29 Mapa lokalit Třeboňských odběrů. Body odběrových míst jsou barevně označeny podle toho, jaký měla lokalita index vzácnosti – deset lokalit s nejnižším relativním indexem vzácnosti mělo červenou barvu, dalších deset tmavě růžovou, potom světle růžovou, fialovou, světle modrou a deset lokalit s nejvyšším indexem vzácnosti mělo tmavě modrou barvu.

3.6 Vícemodelová regresní analýza s AICc výběrem modelů

3.6.1 Analýza vztahů indexu relativní vzácnosti s třemi skupinami parametrů prostředí

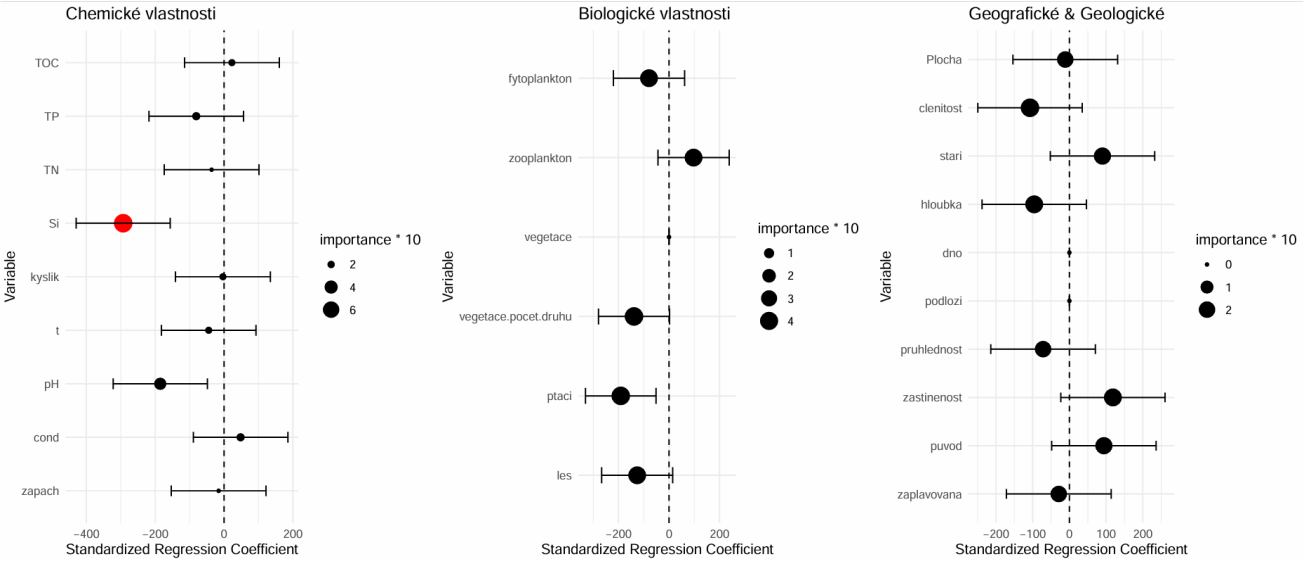
V analýze vztahů parametrů prostředí s indexem relativní vzácnosti (Obr. 31) nevyšel ve skupině chemických parametrů prostředí žádný vztah statisticky významně. Ve skupině biologických parametrů prostředí vyšly významně vztahy indexu relativní vzácnosti s celoročním hnízděním ptáků na lokalitě a s počtem druhů rostlin v okolní vegetaci. Obě proměnné měly s indexem relativní vzácnosti negativní korelaci. Tzn. čím víc druhů rostlin na lokalitě a pokud na lokalitě celoročně hnízdí ptáci, tím vyšší je pravděpodobnost výskytu společenstev s vzácnými druhy Synurales. Ve skupině geologických parametrů vyšla členitost lokality jako faktor pozitivně ovlivňující přítomnost vzácných druhů na lokalitách – čím členitější lokalita, tím vyšší pravděpodobnost jejich výskytu. Z této skupiny parametrů vyšla statisticky významně i zaplavovanost lokality. Vyšlo, že tento faktor nepodporuje výskyt námi zkoumaných vzácných druhů.



Obr. 30 Výsledek analýzy vícemodelové regresní analýzy pro index relativní vzácnosti. První sloupec zobrazuje vztahy s chemickými parametry, druhý s biologickými a třetí s geologickými parametry prostředí. Velikost kolečka (importace) vyjadřuje důležitost proměnné v modelech. Červená barva označuje parametry, které vyšly s p hodnotou menší než 0,05.

3.6.2 Analýza vztahů indexu maximální geografické disperze s třemi skupinami parametrů prostředí

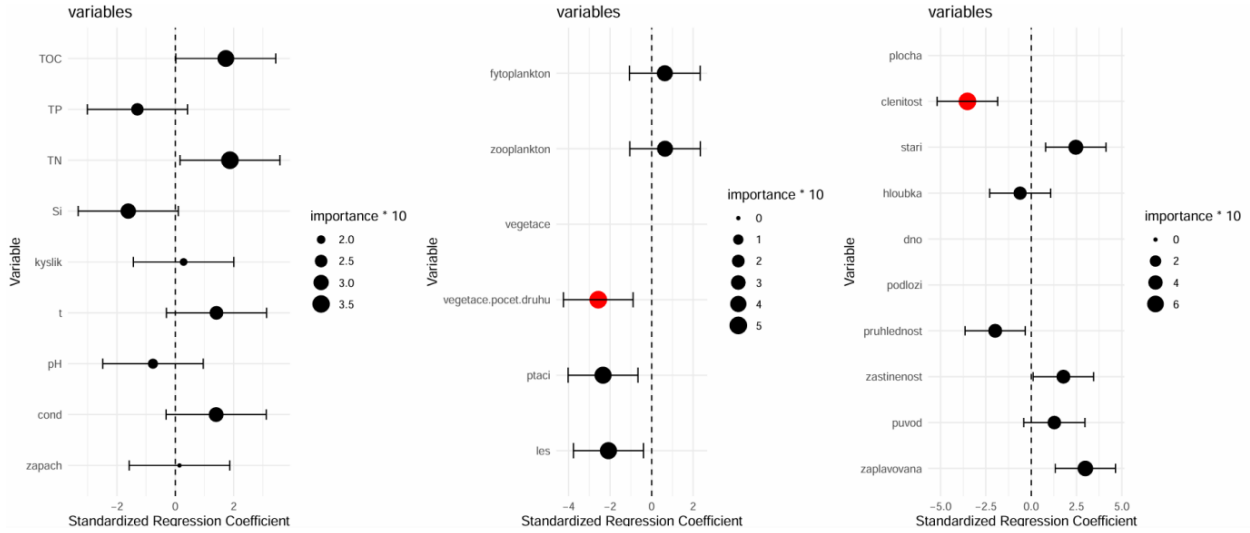
V analýze vztahu indexu maximální geografické disperze s třemi skupinami parametrů prostředí vyšel statisticky významně pouze jeden parametr. Tento parametr byl ze skupiny chemických parametrů prostředí a byla jím koncentrace křemíku ve vodě. Vyšlo, že čím vyšší koncentrace křemíku ve vodě, tím větší pravděpodobnost výskytu vzácných druhů rodů *Mallomonas* a *Synura* na lokalitě.



Obr. 31 Výsledek vícemodelové regresní analýzy pro index maximální geografické disperze a tří skupin parametrů prostředí. První sloupec ukazuje chemické parametry prostředí, druhý biologické a třetí geologické. Velikost kolečka (importace) vyjadřuje důležitost proměnné v modelech. Červená barva označuje parametry, které vyšly s p hodnotou menší než 0,05.

3.6.3 Analýza vztahů indexu obsazené plochy s třemi skupinami parametrů prostředí

Vyšlo, že na index obsazené plochy nemá vliv žádný chemický parametr prostředí. Z biologických parametrů prostředí má vliv počet druhů rostlin v okolní vegetaci. Negativně spolu korelují, takže čím víc druhů rostlin, tím nižší index obsazené plochy a tím větší pravděpodobnost výskytu vzácných druhů ve společenstvu na dané lokalitě. Z geologických parametrů vyšel s negativní korelací parametr členitosti. Víc vzácných druhů ve společenstvu zlativek s křemičitými šupinami se tedy bude pravděpodobně vyskytovat na lokalitách s velkou členitostí.



Obr. 32 Výsledek vícemodulové regresní analýzy pro index obsazené plochy. První sloupec zobrazuje vztahy s chemickými parametry, druhý s biologickými a třetí s geologickými parametry prostředí. Velikost kolečka (importance) vyjadřujedůležitost proměnné v modelech. Červená barva označuje parametry, které vyšly s p hodnotou menší než 0,05.

3.6.4 Analýza vztahů tří indexů vzácnosti s vybranými parametry prostředí

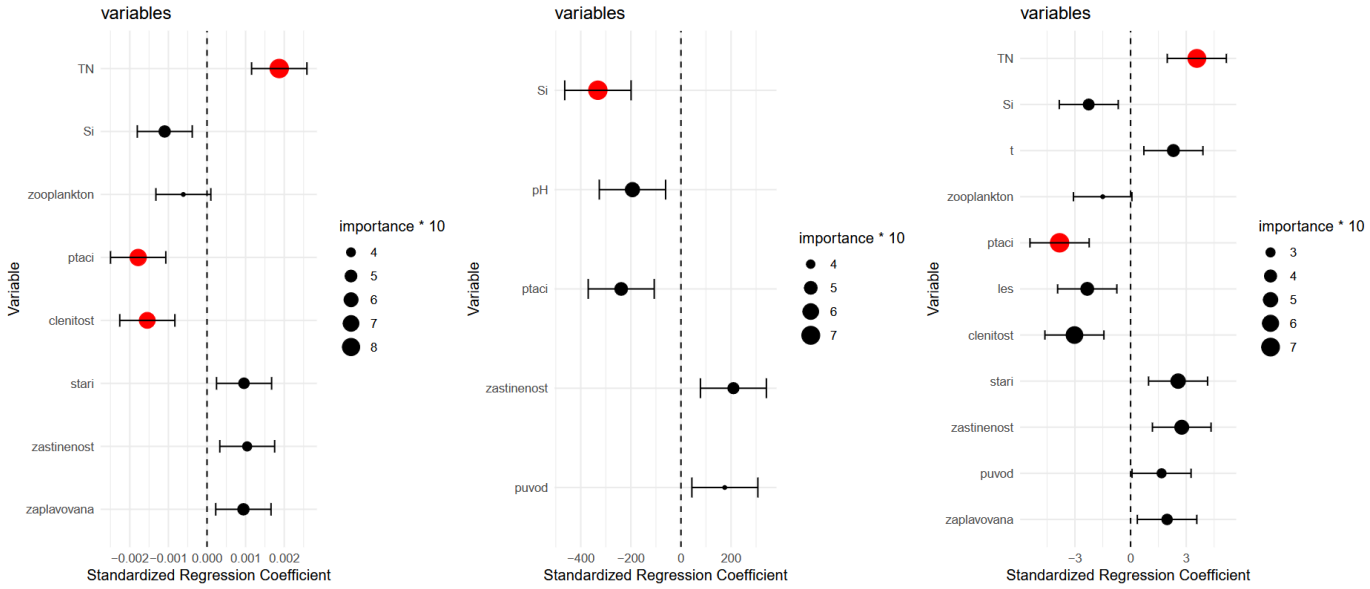
Ve výsledcích analýz všech indexů zvlášť se třemi skupinami parametrů prostředí nebyl odhalený skoro žádný parametr se statisticky významným vlivem na indexy vzácnosti lokalit. Proto byly na základě AIC analýzy vybrány pro každý index parametry prostředí, které jej vysvětlovaly nejvíc.

Tato analýza dat se lišila od předchozích výsledků a poskytla zajímavé informace (Obr. 33). Vlivy počtu druhů rostlin v okolní vegetaci a toho, zda je lokalita zaplavovaná v této analýze, na rozdíl od předchozích analýz, nevyšly statisticky významně.

Nejlepší model pro index relativní vzácnosti vykazoval celkovou signifikanci p = 0,011 a vysvětloval 14,4 % variability (R^2 = 0,144), přičemž nejsilnější podporu vykazovaly proměnné TN, členitost lokality a celoroční hnízdění ptáků na lokalitě. Členitost a celoroční hnízdění ptáků na lokalitě podporovaly výskyt vzácných druhů. Celková koncentrace dusíku měla s indexem vzácnosti negativní korelaci – čím větší koncentrace dusíku, tím menší pravděpodobnost výskytu vzácných druhů zlativek s křemičitými šupinami.

Nejlepší model pro index maximální geografické disperze byl signifikantní (p = 0,019) a vysvětloval 10,6 % variability (R^2 = 0,106), přičemž nejvýznamnějším prediktorem byla koncentrace Si. Tento parametr prostředí byl negativně korelován s indexem vzácnosti – čím větší koncentrace křemíku ve vodě, tím větší pravděpodobnost přítomnosti vzácných druhů.

Nejlepší model pro index obsazené plochy byl statisticky signifikantní (p = 0,018) a vysvětloval 15,7 % variability (R^2 = 0,157), přičemž největší podporu měly celoroční hnízdění ptáků a TN. Celoroční hnízdění ptáků na lokalitě bylo s indexem vzácnosti korelováno negativně – celoroční hnízdění ptáků koreluje s přítomností vzácných druhů na lokalitě. Celková koncentrace dusíku byla s indexem obsazené plochy korelována pozitivně – čím víc dusíku na lokalitě, tím menší pravděpodobnost výskytu vzácných druhů.



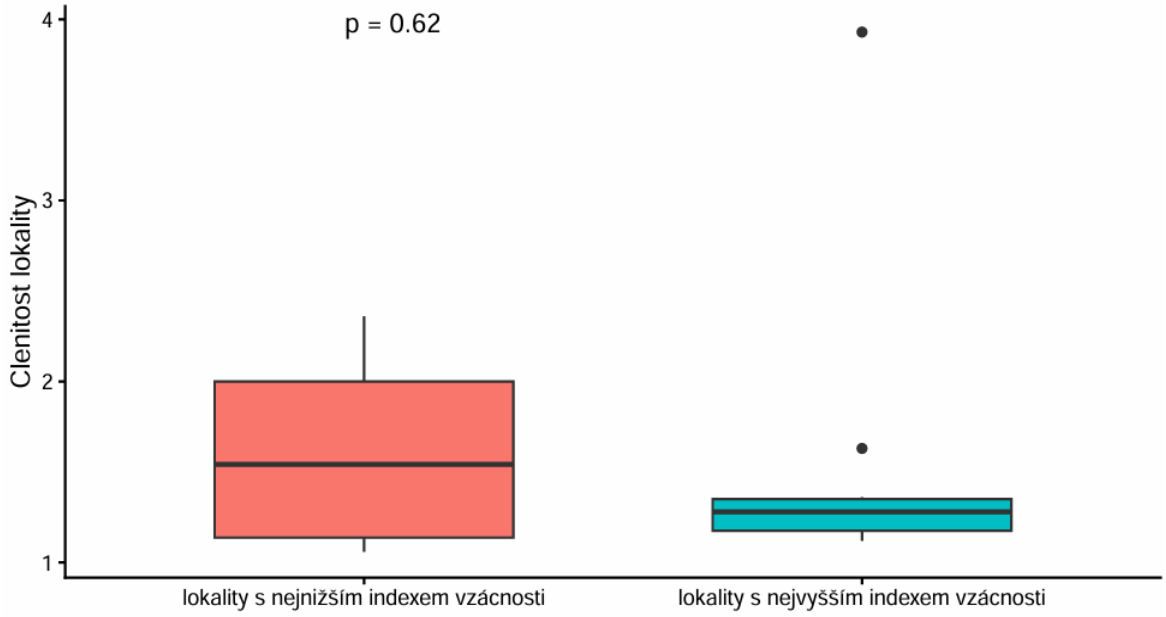
Obr. 33 Výsledek analýzy vlivů parametrů prostředí vybraných AIC analýzou na každý index zvlášť. Zleva relativní index, index maximální vzdálenosti a AOO index. Importance tzn. velikost kolečka, ukazuje důležitost proměnné v modelech. Červené body představují parametry s p hodnotou nižší než 0,05.

3.7 Porovnání prvních deseti lokalit s nejnižším indexem vzácnosti a deseti lokalit s nejvyšším indexem relativní vzácnosti

Prvních deset lokalit s nejnižším indexem relativní vzácnosti bylo porovnáno s deseti lokalitami s nejvyšším indexem relativní vzácnosti. Rozhodla jsem se vizualizovat, zda jsou mezi těmito skupinami lokalit patrné rozdíly ve vybraných parametrech. Lokality jsem seřadila na základě hodnoty indexu. Byly vizualizovány rozdíly v hodnotách koncentrace dusíku, koncentrace křemíku a členitostí mezi těmito dvěma skupinami lokalit. Tedy parametry, které vyšly se statisticky významným vlivem na hodnotu indexu vzácnosti.

3.7.1 Porovnání hodnot členitosti lokalit s nízkým a vysokým indexem relativní vzácnosti

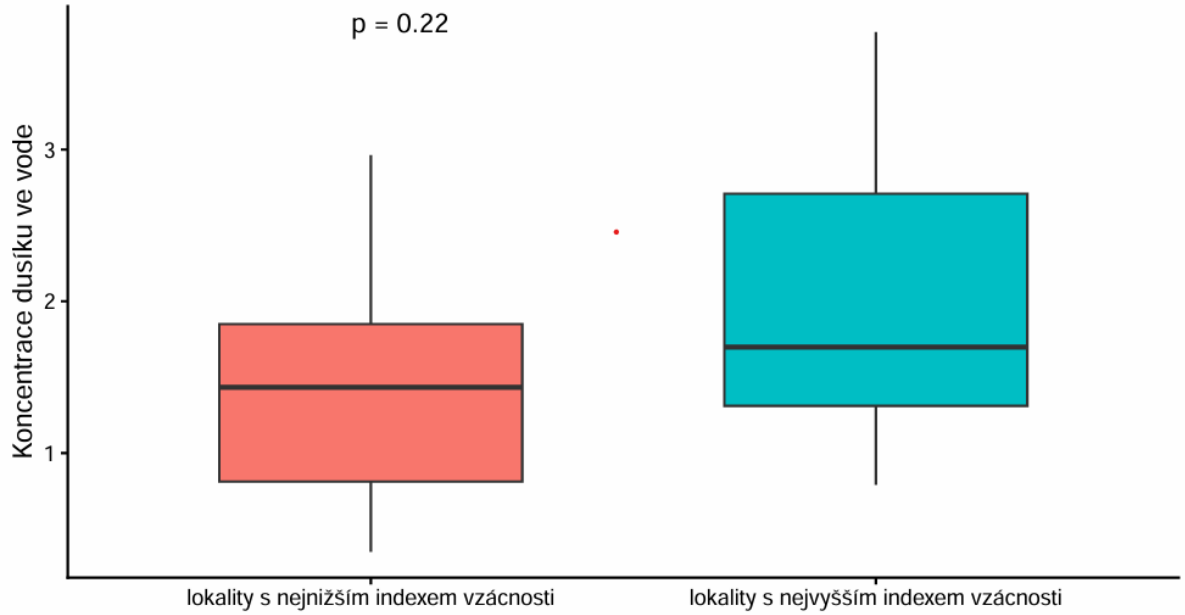
Porovnání členitosti lokalit (Obr. 34) neodhalilo žádný statisticky významný rozdíl (p hodnota byla vysoká: 0,62). I když opticky by se mohlo zdát, že lokality s nejnižší hodnotou indexu relativní vzácnosti jsou členitější než ty s vysokým indexem, medián hodnot členitosti byl u obou skupin velmi podobný. Větší hodnotu měl u lokalit s nejnižším indexem relativní vzácnosti. To by podporovalo hypotézu, že lokality s větším výskytem vzácných druhů jsou členitější. Tato hypotézu však kazí nejen to, že výsledný graf má vysokou p hodnotu, ale i dvě lokality s odlehlou vysokou hodnotou členitosti v souboru lokalit s vysokým indexem vzácnosti. Lokality s nejnižším indexem relativní vzácnosti měly větší rozptyl hodnot členitosti než lokality s nejvyšším indexem vzácnosti. Ty měly hodnoty v úzkém rozmezí mezi 1,2 – 1,3.



Obr. 34 Srovnání členitosti prvních deseti lokalit s nejnižším indexem relativní vzácnosti s členitostí posledních deseti lokalit s nejvyšším indexem relativní vzácnosti. Na ose x jsou dvě porovnávané skupiny lokalit a na ose y hodnota členitosti lokality.

3.7.2 Porovnání hodnot celkové koncentrace dusíku lokalit s nízkým a vysokým indexem relativní vzácnosti

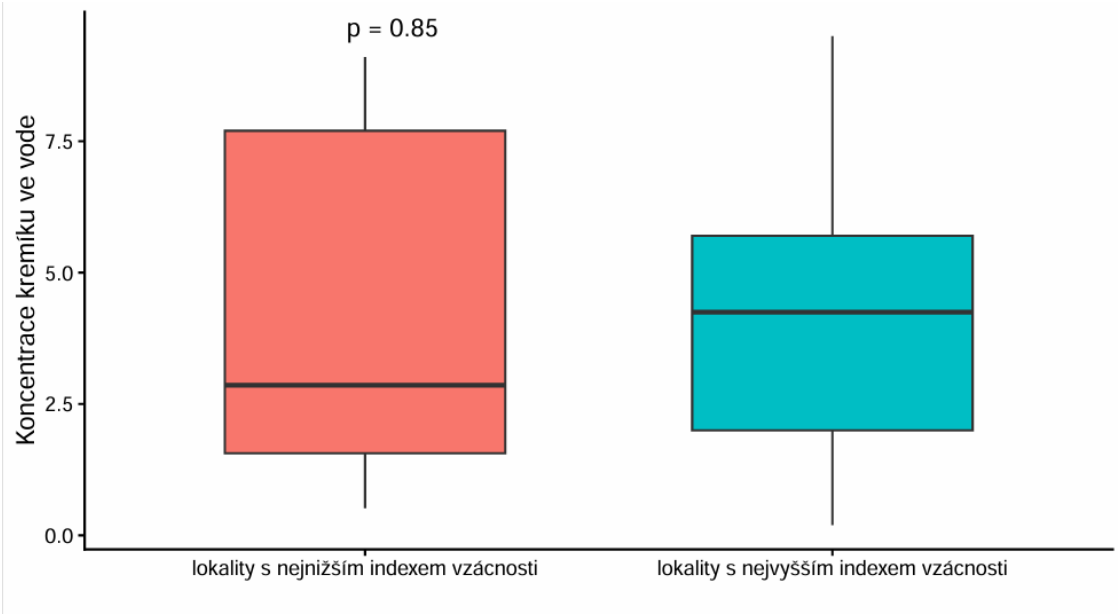
Srovnání celkové koncentrace dusíku ve vodě dvou výše zmíněných skupin lokalit (Obr. 35) na první pohled podporuje hypotézu, že na lokalitách s menší koncentrací dusíku se vyskytuje více vzácných druhů než na lokalitách s vyšší koncentrací tohoto prvku, která může ukazovat např. na eutrofizaci lokality. Tento výsledek ovšem také nevyšel statisticky významně (p hodnota byla vysoká: 0,22). I když lokality s velkou hodnotou indexu vzácnosti měly obecně větší koncentrace dusíku a větší rozptyl jejich hodnot. Medián hodnot koncentrace dusíku ve vodě byl trochu vyšší ve skupině lokalit s nejvyšším indexem vzácnosti (1,7 mg/l vs 1,4 mg/l u druhé skupiny).



Obr. 35 Srovnání celkového koncentrace dusíku ve vodě prvních deseti lokalit s nejnižším indexem vzácnosti s koncentrací tohoto prvku na deseti lokalitách s nejvyšším indexem vzácnosti. Na ose y je koncentrace celkového dusíku ve vodě v mg/l, na ose x jsou dvě skupiny lokalit.

3.7.3 Porovnání hodnot celkové koncentrace dusíku lokalit s nízkým a vysokým indexem vzácnosti

Srovnání koncentrace křemíku ve vodě na deseti lokalitách s nejnižším a nejvyšším indexem relativní vzácnosti (Obr. 36) odhalilo rozdíly v mediánu hodnot těchto dvou skupin. Lokality s nejnižším indexem vzácnosti měly medián hodnot 2,86 mg/l a lokality s nejvyšším indexem vzácnosti měly medián hodnot 4,25 mg/l. Lokality s nízkým indexem relativní vzácnosti měly větší rozptyl hodnot koncentrace křemíku, ale celkově srovnání nevyšlo statisticky významně (p hodnota byla vysoká: 0,85).



Obr. 36 Srovnání koncentrace křemíku na deseti lokalitách s nejnižším indexem relativní vzácnosti s koncentrací na deseti lokalitách s nejvyšším indexem relativní vzácnosti. Na ose y je koncentrace křemíku ve vodě v mg/l. Na ose x dvě skupiny lokalit.

3.7.4 Porovnání celoročního hnízdění ptáků mezi lokalitami s nízkým a vysokým indexem relativní vzácnosti

Celoroční hnízdění ptáků se mezi oběma skupinami lokalit lišilo, i když málo. Ve skupině lokalit s nejnižšími hodnotami indexu relativní vzácnosti se vyskytovaly tři lokality s potvrzeným celoročním hnízděním ptáků, zatímco v druhé skupině byla pouze jedna lokalita.

4. DISKUZE

Zlativky s křemičitými šupinami jako takové jsou poměrně zkoumanou skupinou protist a existují studie, které se zabývají vlivem různých faktorů na druhovou diverzitu jejich společenstev (Bessudova et al., 2020; Němcová et al., 2015) nebo studie zabývající se faktory, jež ovlivňují jejich distribuci (Siver a Hamer, 1989; Bock et al., 2026; Roijackers a Kessels, 1986; Siver a Lott, 2012). Nikoli však studie, které by se snažily odhalit příčinu výskytu jejich vzácných druhů.

Třeboňsko je pro tento výzkum ideální nejen díky širokému gradientu hodnot parametrů lokalit, ale také díky již zmiňované velké druhové diverzitě Synurales. Na 61 lokalitách bylo nalezeno 97 druhů rodů *Mallomonas* a *Synura*. Toto číslo je srovnatelné s druhovou diverzitou hot spotů Synurales v Akvitánii: 85 druhů v (Němcová, 2019) na Floridě v národních parcích Ocala National Forest a Myakka River: 69 druhů (Knotek et al., 2025), nebo v oblasti Bajkalu: 79 druhů (Bessudova et al., 2020).

Je prokázáno, že společenstva zlativek jsou dynamická a vzácné druhy se na lokalitách vyskytují jen krátce a rychle mizí (Tučková, 2023). Přestože byla každá studovaná lokalita odebrána pouze z jednoho místa a pouze jednou, podařilo se na Třeboňsku zaznamenat mimořádně vysokou druhovou diverzitu sledovaných rodů zlativek, včetně řady vzácných druhů.

Hlavním cílem této práce pak bylo odpovědět na otázku, který faktor prostředí má na výskyt těchto vzácných druhů vliv.

4.1 Faktory s vlivem na výskyt vzácných druhů rodů *Mallomonas* a *Synura*

V této práci bylo zjištěno, že na výskyt vzácných druhů rodů *Mallomonas* a *Synura* mají vliv: **koncentrace křemíku** – vzácné druhy se vyskytují na lokalitách s vyšší koncentrací tohoto prvku, **celoroční hnízdění ptáků** – pozitivně ovlivňuje pravděpodobnost výskytu vzácných druhů, **členitost lokality** – čím členitější lokalita, tím víc vzácných druhů ve společenstvu a **koncentrace celkového dusíku** ve vodě – na lokalitách s nízkou koncentrací je větší pravděpodobnost výskytu vzácných druhů. Na výskyt vzácných druhů námi zkoumaných rodů by mohla mít pozitivní vliv i větší diverzita okolní vegetace.

Níže budu diskutovat, proč by tomu tak mohlo být pro každý faktor zvlášť.

4.1.1 Koncentrace křemíku ve vodě

Koncentrace křemíku ve vodě negativně korelovala s indexem vzácnosti. Lokality s nízkým indexem vzácnosti měly tedy vysokou koncentraci křemíku ve vodě.

Synurales si tvoří křemičité šupiny, jimiž obalují svou buňku. Vnitrobuněčné množství křemíku se u zlativek mění podle koncentrace křemíku ve vodě. Může se pohybovat v rozmezí od 0,13 do 2,40 pmol křemíku na buňku (Sandgren, 1996). Zlativky na rozdíl od rozsivek, které si také tvoří křemičité obaly, jsou schopné růst a replikovat se i v médiu bez křemíku (toto bylo potvrzeno pro rod *Synura* (Sandgren, 1996) i *Mallomonas* (Kim a Lee, 2011)). Další skupiny řas tvořící křemičitou schránku jsou např. Dictyochophyceae, zástupce této třídy *Dictyocha speculum* byla nalezena bez schránky ve vodách s nízkou koncentrací křemíku. Byla životaschopná, ale její replikace nebyla potvrzena (Jochem a Babenerd, 1989, podle Yamada et al., 2014). Schopnost a přežít a replikovat se i v médiu bez křemíku byla potvrzena i pro *Triparma laevis* (z řádu Parmales, jehož zástupci také tvoří

křemičité schránky), která byla po přidání křemíku do média schopna znovu tvořit křemičitou schránku (Yamada et al., 2014).

Vliv koncentrace křemíku na růst vybraných druhů rodů *Mallomonas* a *Synura* byl zkoumán pouze v laboratorních podmínkách. Je možné, že na lokalitách, kde se zlativky přirozeně vyskytují, by nahé buňky nepřežily. Křemičité šupiny a ostny totiž pravděpodobně slouží jako mechanická ochrana buňky proti predaci a parazitismu. Vliv přítomnosti křemičité schránky na predaci zlativek byl zkoumán Sandgrenem a Waltonem (1955 podle Knotek, 2022) a bylo zjištěno, že díky zvětšení průměru buňky obalené ostny a šupinami unikají buňky se schránkou, na rozdíl od nahých buněk, predačnímu tlaku perlooček. V magisterské práci Knotka (2022) byla vytvořena simulace tlaku ústního ústrojí zooplanktonu na šupiny a bylo zjištěno, že na mechanickou odolnost šupin má vliv hlavně struktura V-žebro a to, že šupiny se spojují a dohromady tvoří odolnou strukturu. Pro sekundární struktury žeber nebyl prokázán vliv na mechanickou pevnost šupiny. Do budoucna by bylo zajímavé zkoumat, zda mají vzácné druhy jinou strukturu V-žebra než běžné druhy a zda na tvorbu šupin potřebují větší koncentraci křemíku v médiu, než běžné druhy. Pokud by tomu tak bylo a vzácné druhy by potřebovaly na tvorbu šupin vyšší koncentraci křemíku ve vodě, tak by na lokalitách s jeho nízkou koncentrací mohly být vytlačeny predačním tlakem, nebo běžnými druhy, které jsou schopné prospívat při nižších koncentracích křemíku.

Vliv koncentrace křemíku ve vodě na změny druhového složení společenstev mikrořas je zdokumentovaný nejen pro zlativky (Tučková, 2023), ale např. i pro rozsivky (Kilham, 1971). Kilham ((1971) ve své práci poukazuje na korelaci mezi koncentrací křemíku a dominancí určitých druhů rozsivek. Např. *Asterionella formosa* dominovala při koncentraci křemíku 1,7 mg/l, na rozdíl od *Melosira granulata* (dnes *Aulacoseira granulata*), která dominovala ve vodách s koncentrací křemíku 13,4 mg/l. V novější studii (Endo et al., 2018) vyšlo, že abundance ani druhová diverzita rozsivek nekoreluje s koncentrací křemíku. Rozdílný výsledek by mohl být dán i tím, že starší studie byla dělána ve sladkovodních eutrofních jezerech a novější v Pacifickém oceánu. V již zmiňované studii Enda a jeho týmu (2018) ale vyšlo, že koncentrace křemíku pozitivně korelovala s abundancí haptophyt ($p < 0.01$) a negativně s jejich druhovou diverzitou ($p < 0.01$). Při zkoumání toho, co ovlivňuje druhové složení a abundanci květů haptophyt bylo zjištěno, že největší abundance buněk byla naměřena při vysoké koncentraci křemíku ve vodě, což je v protikladu s dřívější teorií, že haptophyta tvoří květy až tehdy, když rozsivky vyčerpají křemík a uvolní prostor pro haptophyta (Lin et al., 2014).

Rozsivky jsou jedním z důvodů celkového poklesu křemíku ve vodě. Jejich nárůst ve fosilním záznamu koreluje s poklesem koncentrace křemíku v mořské vodě na současnou hodnotu. S klesající koncentrací křemíku se řasy vyrovnávají tvorbou lehčích křemičitých schránek, změnou velikosti buňky nebo evolucí účinnějších transportérů. Některé skupiny jako mřížovci a křemičití houbovci jsou vytlačováni do prostředí s nižší kompeticí o křemík (Marron et al., 2013). Je možné, že vzácné druhy mají méně efektivní přenašeče křemíku do buňky.

Koncentrace křemíku by také mohla představovat indikátor jiných charakteristik prostředí. Tento parametr prostředí však nekoreloval s žádným jiným parametrem prostředí. Měl jen slabou pozitivní korelaci s kyslíkem – to by mohlo souviset s rozpouštěním křemíku ve vodě a slabou negativní korelaci se záplavami – mohlo by dojít k jeho vymývání.

4.1.2 Celoroční hnízdění ptáků na lokalitě

Celoroční hnízdění ptáků na lokaitě zvyšuje pravděpodobnost výskytu vzácných druhů námi zkoumaných druhů. Ptáci by mohli tvořit vektor přenosu vzácných druhů s omezenou distribucí na jim vyhovující lokality. Proto by se mohl výskyt vzácných druhů a ptáků překrývat.

Přenos mikroskopických druhů řas ptáky byl potvrzen kultivačními studiemi vzorků odebraných nejen z nohou a peří ptáků, ale i z jejich trávicího traktu (Proctor, 1959; Schlichting, 1960; Sides, 1973, podle Fiedler, 2025). Tyto studie našly životaschopné zástupce nejen zelených řas (Proctor, 1959), ale i zlativek, konkrétně zástupců *Chromulina* a *Spumella* (Schlichting, 1960).

Jedním z důkazů, že přenos řas na dlouhé vzdálenosti (pravděpodobně ptáky) funguje, je přítomnost geneticky velmi podobných populací *Synura* v Evropě a v Asii. Ukazuje se také, že i příbuzné druhy mají odlišné strategie disperze. Zatímco *S. petersenii* využívá dálkový transport efektivně, blízce příbuzný druh *Synura glabra* vykazuje silnější geografickou izolaci a šíří se pravděpodobně spíše postupně mezi sousedními lokalitami (Jadrná et al., 2026).

Výše zmiňovaný dálkový transport by byl zprostředkován ptactvem migrujícím na dlouhé vzdálenosti. Z migrujících ptáků byla popsána velká diverzita různých druhů mikrořas, která dokonce korelovala s konkrétním druhem ptáka. Takže přenos by mohl být druhově specifický, závislý na hmotnosti ptáka, typu peří i jeho pohybu a kontaktu s vodou (Fiedler, 2025). V této práci ale nebylo počítáno s výskytem migrujících ptáků na lokalitách ale s celoročně hnízdícími druhy. S celoročním výskytem bylo počítáno proto, že byl v databázi, z níž bylo čerpáno, přehledněji zpracovaný a aktuálnější. Přítomnost některých migrujících druhů je také ornitology úmyslně nezveřejňována, což by ztížilo odhad přítomnosti této skupiny ptáků na lokalitě. Přenos životaschopných druhů řas byl ale dokumentován i z kachen (Proctor, 1959), které na lokalitách hnízdí celoročně. I celoročně hnízdící ptáci mají potenciál působit jako vektor přenosu, i když na kratší vzdálenosti.

Ptáci by také mohli fungovat stejně, jako kdyby byl na lokalitě vyšší počet mikrohabitatů – jejich přítomnost a aktivita zvyšují jemnou prostorovou heterogenitu prostředí, čímž vzniká více ekologických nik, které umožňují společný výskyt většího počtu druhů, včetně vzácných zástupců řádu Synurales.

Limitace zpracování tohoto parametru spočívá nejen ve vynecháním migrujících ptáků, ale i v tom, že nebylo zpracováno, jaké druhy ptáků, popř. kolik druhů se na lokalitách vyskytovalo. Pokud bychom porozuměli hnízdním preferencím druhů, které se na lokalitách se vzácnými ptáky vyskytují celoročně, byli bychom schopni lépe pochopit, co stojí za pozitivním vlivem celoročního hnízdění ptáků na přítomnost vzácných druhů ve společenstvu.

4.1.3 Celková koncentrace dusíku ve vodě

Celková koncentrace dusíku ve vodě byla pozitivně korelována s hodnotou indexu vzácnosti – čím víc dusíku na lokalitě, tím vyšší hodnota indexu vzácnosti a tím menší pravděpodobnost výskytu vzácných druhů na lokalitě.

Tento výsledek není překvapivý. Negativní vliv vysoké koncentrace dusíku na výskyt vzácných druhů byl popsán např. i u rostlin (Kleijn et al., 2007; Dawson et al., 2007; Weiger Wamelink et al., 2014). Studie, která zkoumala rozdíly v preferencích abiotických parametrů prostředí u vzácných a běžných druhů rostlin, odhalila, že největší rozdíl mezi těmito skupinami spočíval v šíři tolerance koncentrace dusíku.. Vzácné druhy měly mnohem užší ekologickou valenci, rozdíl mezi vzácnými a běžnými druhy byl až 44% (Wieger-Wamelink et al., 2014). V práci Klejna et al. (2007) vyšlo, že

koncentrace amoniaku a nitrátů byla až třikrát vyšší na lokalitách s výskytem běžných druhů, než na těch, kde se vyskytovaly vzácné druhy. Běžné druhy také lépe reagují na přidání dusíku do substrátu lidmi a jsou schopné vykompetovat původní vzácné druhy (Dawson et al., 2007).

Problém eutrofizace (obohacení prostředí o živiny, hlavně o dusík a fosfor) z antropogenních důvodů je velký problém i ve vodním prostředí: 40 – 50 % jezer a nádrží je podle International Lake Enviromental Comittee znečištěno živinami (Istvánovics, 2009, podle T-Krasznai a B-Béres 2021). Není to problém jen kvůli častější tvorbě toxických vodních květů sinic na eutrofizovaných lokalitách, ale i proto, že některé vzácné druhy řas se vyskytují pouze na oligotrofních lokalitách a po znečištění lokalit dusíkem mizí. Např. kvůli krásivkám, které se vyskytují pouze v oligotrofních vodách, padl návrh na ochranu přirozeně málo úživných lokalit v Británii (Brodie et al., 2007). Vzácné druhy krásivek samozřejmě nejsou jediné vzácné druhy řas, které jsou vázané na oligotrofní habitaty (Juráň a Kaštovský, 2019). Pozitivní ale je, že ve studii z Maďarska, která se zabývala vzácnými druhy řas, bylo zjištěno, že na eutrofních až hypertrofiích lokalitách se vyskytovaly druhy řas vzácné nejen v Maďarsku, ale i celosvětově. Žádný ze zmiňovaných druhů však nepatřil do rodů *Synura* ani *Mallomonas* (T-Krasznai a B-Béres, 2021).

Je zvláštní, že jako faktor, který má vliv na výskyt vzácných druhů Synurales, nevyšla i koncentrace fosforu, který je limitujícím prvkem ve sladkých vodách. Jeho zvýšená koncentrace také indikuje eutrofizované lokality a často způsobuje vodní květy. I v práci Sivera a Hamera (1989) vyšlo, že koncentrace fosforu na lokalitách má vliv na distribuci Synurales (i když zkoumal běžné druhy) a o dusíku se nezmiňoval. Vliv koncentrace tohoto prvku však v této práci nebyl prokázán.

4.1.4 Členitost lokalit

Vliv členitosti lokality má podle mých výsledků pozitivní vliv na výskyt námi zkoumaných vzácných druhů ve společenstvu.

Je známo, že členité lokality (které jsou většinou enviromentálně heterogenní) hostí větší druhovou diverzitu rostlin (Dufour et al., 2006) včetně jejich vzácných druhů (Luoto et al., 2002) a obecně vzácných druhů makroskopických organismů z různých taxonů (Tukiainen et al., 2016). Členitost lokalit může mít pozitivní vliv na výskyt vzácných druhů, protože členitější lokality poskytují větší počet rozdílných habitatů a protože členitost lokalit má vliv na ekologické procesy jako jsou disperze a predace (Dufour et al., 2006).

Tyto procesy ovlivňují i druhovou diverzitu a abundanci řas. Například je prokázáno, že mořští ježci v méně členitém prostředí spásají mnohem víc řasové biomasy, než v členitém prostředí, kde vyžírají pouze úzké pásy v bezprostřední blízkosti svých úkrytů. Již 50 cm od jejich úkrytu se vyskytují druhově bohaté porosty vzpřímených řas (Benedetti-Cecchi a Cinelli, 1995). Tento jev byl sice popsán z mořského prostředí, ale ve sladkovodním prostředí bude tento jev pro makroskopické predátory řas pravděpodobně fungovat velmi podobně.

Členitost lokality také znamená více mikrohabitatů. Ve studii z Maďarska bylo zjištěno, že většina vzácných druhů mikrořas byla nalezena v malých, nebo středně velkých habitatech s členitou litorální zónou a vysokým počtem mikrohabitatů (Görgényi, et al., 2023). Důležitost mikrohabitatů pro výskyt vzácných druhů zlativek s křemičitými šupinami je patrná i z výzkumu v Akvitánii, kde se více druhů vyskytovalo v metafytonu (78 druhů) než v planktonu (62 druhů.) Právě v metafytonu, který by mohl sloužit jako úkryt před predátory, bylo nalezeno mnoho vzácných druhů: např. *M. cucullata*, *M. koreana* či *M. madagascariensis*. Přítomnost určitých druhů rostlin v metafytonu dokonce několikanásobně zvyšuje šanci na nalezení zlativek na lokalitě. Například *Tolypella* sp.

zvyšuje pravděpodobnost výskytu zlativek až 3,4krát, *Iris* sp. 2krát a *Myriophyllum* sp. 1,7krát (Faturová, 2019).

Členitější lokalita by také mohla poskytovat klidné zátočiny, kde není tak velký vliv větru a vln. Ve sladkovodním prostředí není vlnění tak velký limitující faktor výskytu řas, ale v mořích výrazně ovlivňuje druhové složení společenstev makrořas. To je ovlivňováno i členitostí, rozmanitostí povrchu. Bylo zjištěno, že *Asparagopsis taxiformis* na rozdíl od *Caulerpa racemosa* preferuje topograficky komplexní stanoviště (Tamburello et al., 2013). Důkaz pozitivního vlivu prostorově heterogenních stanovišť na výskyt běžných i vzácných druhů bentických, říčních řas byl popsán i ve studii z roku 2013 (Schneck a Mělo, 2013).

4.1.5 Další faktory, které byly vybrány v AICc analýze

Zastíněnost byla vybrána pro všechny indexy vzácnosti (i když statisticky nevyšla významně). Zlativky jsou adaptovány na nízkou zastíněnost. Nejen heterotrofní nebo mixotrofní druhy, ale i fototrofní druhy. Tato vlastnost jim umožňuje dominovat v zimním fytoplanktonu nebo v hlubších vrstvách vody, kde je konkurence ostatních řas nižší (Bock et al., 2026). Vzácné druhy se tedy asi adaptují na více osvětlené prostředí, které běžným druhům nevyhovuje.

Dalším faktorem, který byl vybrán je **teplota**, i když také nevyšla s velkou signifikancí - měla pozitivní korelaci pouze s indexem obsazené plochy. Kdyby výsledek vyšel statisticky významně, znamenalo by to, že čím nižší teplota, tím nižší index vzácnosti a tím vyšší pravděpodobnost výskytu vzácných druhů. Chrysophyceae obecně jsou známé tím, že jsou schopny se vyskytovat v chladných podmínkách (Rott 1988 podle Bock et al., 2026). Ve studii z roku 2026 (Bock et al.) se ukázalo, že většina druhů Chrysophyceae (včetně rodů *Mallomonas* a *Synura*) má teplotní optimum v rozmezí 15 °C až 19 °C, některé druhy rodu *Synura* dokonce tvoří vodní květy pod ledem, např. *S. uvella*, *S. petersenii* (Rott, 1988 podle Bock et al., 2026).

Tento parametr prostředí není pro zkoumání v této práci vhodný, protože všechny lokality byly odebrány prakticky ve stejnou dobu a jejich teplota byla ptoto velmi podobná. Teplota vody na lokalitách by se musela studovat na delším časovém horizontu, aby měly výsledky výpovědní hodnotu.

Stáří lokality by mohlo mít slabý pozitivní vliv na nárůst indexu vzácnosti. Což znamená, že čím mladší lokalita, tím nižší index vzácnosti a tím víc vzácných druhů. Tento faktor sice vyšel pro index relativní vzácnosti i pro index obsazené plochy, ale s velmi malým regresním koeficientem. Vzácné druhy zlativek s křemičitými šupinami by se tedy mohly vyskytovat spíš na mladých lokalitách, kde je ještě nestačily vytlačit kosmopolitní druhy. Tento faktor prostředí je ošemetný v tom, že mnoho námi odebíraných lokalit byly rybníky, jejichž prostředí není v průběhu jejich existence stabilní a závisí hlavně na míře vápnění a na intenzitě rybářského hospodaření. Mnoho rybníků na Třeboňsku bylo v 70. a 80. letech minulého století výrazně vyhrnuto a tím vznikly ostrůvky materiálu a poté širší litorál s rákosinami. Některé rybníky byly v průběhu své existence dokonce zasypány a poté znovu obnoveny. Parametr stáří u nich tedy nelze přesně určit.

pH je často udáváno jako faktor, který má velký vliv na distribuci a druhovou diverzitu Synurales (Siver a Hamer 1989; Němcová, 2012; Roijackers a Kessels, 1986). Autoři se většinou shodují, že nejvíc druhů vyskytuje v pH od 5,5 do 6, a že druhová diverzita se rychle snižuje, když pH klesne pod 5,5 nebo vystoupí nad 6 (Siver a Hamer, 1989; Němcová, 2012; Janatková a Němcová, 2009). Tyto studie se zabývaly celkovou diverzitou zlativek s křemičitými šupinami.

Studie, které se zabývají oblastmi s výskytem vzácných druhů, spojují často extrémní hodnoty pH. Extrémně kyselé pH bylo naměřeno v hotspotu zlativek s křemičitými šupinami na Floridě

v národním parku Ocala National Forest (pH = 3,8-7,4). 16 lokalit mělo pH nižší než 5 a např. na typové lokalitě vzácného druhu *Mallomonas ocalensis* bylo naměřeno pH 5,3 (Knotek, 2025) Slať Borkovna na Třeboňsku, kde bylo nalezeno mnoho vzácných druhů Synurales je také kyselá s pH v rozmezí od 6 do 7,1 (Tučková, 2023). V Akvitánii na lokalitách, kde bylo nalezeno mnoho vzácných druhů, byly naopak naměřeny extrémně vysoké hodnoty pH. Mnoho vzácných a unikátních druhů prosperuje právě v neutrálních až mírně zásaditých vodách, např. *Mallomonas koreana* - pH 7,5, *M. decora* - pH 7,4, *M. lelymene* - pH 7,3, *M. madagascariensis* pH - 7,1 nebo *Mallomonas duerrschmidtiae* - pH 8,0 (Faturová, 2019).

4.2 Je možné pomocí jednoduše získaných či pozorovaných faktorů vytipovat lokality obsahující větší množství vzácných druhů?

Parametry, které v naších analýzách vyšly se signifikantním vlivem na hodnotu vzácnosti, jsou pro mnoho lokalit dohledatelné bez nutnosti osobní přítomnosti na lokalitě. Členitost lokality se dá zjistit ze satelitních snímků lokalit, celoroční hnízdění ptáků na lokalitě, stejně jako trofie lokality je pro mnoho lokalit dohledatelná ve veřejně dostupných databázích. Tyto parametry by mohly mít vliv nejen na přítomnost vzácných druhů námi zkoumaných rodů zlativek, ale obecně na vzácné druhy řas. Koncentrace křemíku ve vodě, která vyšla jako parametr s největším vlivem na výskyt vzácných druhů rodů *Mallomonas* a *Synura* asi bude mít vliv hlavně na výskyt vzácných druhů zlativek. Tento parametr prostředí bohužel není běžně měřený a koncentrace tohoto prvku pravděpodobně nebude snadno dostupná ve veřejných databázích.

Pokud bych se chystala do oblasti, kterou neznám a hledala lokality s větší pravděpodobností výskytu vzácných druhů zlativek, vybrala bych v mapě členité lokality, z nichž bych vyselektovala ty, které jsou oligotrofní a vyskytují se na nich celoročně hnízdící ptáci (popř. i migrující druhy).

Pokud bych přímo v terénu chtěla odhadnout, zda se na lokalitě budou vyskytovat vzácné druhy a orientovala se pouze vizuálně, mohla bych opět zvážit, zda je lokalita členitá a zda v jejím okolí hnízdí ptáci. Také bych zkoumala, zda se na lokalitě vyskytuje mnoho druhů makrofyt, popř. bych hledala některé specifické druhy (viz Faturová, 2019), které by také mohly pozitivně ovlivnit přítomnost vzácných druhů. Další parametry prostředí, které jsem schopná vidět pouhým okem, jako jsou barva vody, typ dna, množství spadu listí a to, zda je lokalita v lese bohužel o druhovém složení řasových společenstev na lokalitě nic neřeknou, protože nemají na výskyt vzácných druhů vliv.

4.3 Jaké faktory hrají důležitější roli – chemické, biologické, nebo geologické?

Většina faktorů, které mají vliv na hodnotu indexů vzácnosti, souvisí s chemismem lokality. Jsou jimi koncentrace křemíku a celkového dusíku ve vodě. Ve skupině chemických parametrů lokalit bylo celkově nejvíc proměnných - dvanáct.

Geologických faktorů bylo měřeno deset a vliv na hodnotu indexů vzácnosti z nich má jeden parametr - členitost lokality.

Biologických faktorů bylo nejméně – osm. Z této skupiny má na hodnotu indexu vzácnosti vliv celoročního hnízdění ptáků na lokalitě a pravděpodobně i bohatost a složení okolní vegetace, která však nevyšla statisticky významně.

4.4 Budou některé faktory podporovat vzácné druhy všeobecně, nebo bude vzácnost jednotlivých druhů záviset na rozdílných faktorech?

Výše zmíněné faktory, které mají vliv na výskyt vzácných druhů, mají vliv na index vzácnosti lokality, což v podstatě znamená všeobecně na vzácné druhy námi zkoumaných rodů zlativek. Zkoumat faktory, které mají vliv na vzácnost konkrétních druhů rodů *Mallomonas* a *Synura* je složité, protože ekologické nároky jednotlivých vzácných druhů jsou často nedostatečně prozkoumané a vzácné druhy jsou často nalézány i ve velmi odlišném prostředí, než z jakého byly popsány. Proto nelze po třech nálezech určitého vzácného druhu na Třeboňsku na zastíněné lokalitě s kyselou hodnotou pH vody, kde rostl *Potamogeton* říct, že se daný vzácný druh vyskytuje pouze na tomto typu lokality a mají na něj vliv výše zmíněné parametry prostředí. Pokud by existovaly detailní popisy prostředí, v němž byly konkrétní druhy nalezeny pro každý jejich záznam v Evropě, dal by zkoumat i vliv parametrů prostředí na jednotlivé vzácné druhy.

Osobně si myslím, že důvody, proč jsou vzácné druhy vzácné, jsou velice komplexní a výskyt jednotlivých vzácných druhů *Mallomonas* a *Synura* budou záviset na rozdílných faktorech.

Celoroční hnízdění ptáků na lokalitě, nebo přítomnost migrujících druhů ptáků, nízká koncentrace celkového dusíku ve vodě a členitost lokality by podle mě mohly ovlivňovat přítomnost nejen vzácných druhů Synurales, ale i obecně vzácných druhů mikrořas. Ptáci fungují jako vektor přenosu pro mnoho skupin řas (Proctor, 1959 podle Fiedler, 2025) a z předchozích studijí je potvrzeno, že vzácné druhy mikrořas se vyskytují na členitých lokalitách (Görgényi, et al., 2023) s nízkou trofií (Juráň a Kaštovský, 2019).

5. ZÁVĚR

Jak již bylo zmíněno v úvodu, studií, které se zabývají příčinami výskytu vzácných druhů protist, není mnoho. Studie, která by se zaměřovala na to, jaký faktor má vliv na výskyt vzácných zlativek s křemičitými šupinami, doposud neexistovala. Pro tuto diplomovou práci bylo odebíráno více než šedesát lokalit s širokým gradientem 30 abiotických i biotických faktorů prostředí. To poskytuje dobrý základ pro robustní studii.

Hlavní cíl této práce: odhalení toho, které faktory prostředí mají vliv na výskyt vzácných druhů rodů *Mallomonas* a *Synura,* byl splněn. Bylo zjištěno, že vliv na hodnotu indexů vzácnosti mají především chemické parametry lokalit. Konkrétně celková koncentrace dusíku ve vodě a koncentrace křemíku ve vodě. Vliv měly i geologické a biologické parametry lokalit – členitost lokality a celoroční hnízdění ptáků na lokalitě. Lokalita s vyšší pravděpodobností výskytu vzácných druhů bude podle mých výsledků mít vysokou koncentraci křemíku ve vodě, nízkou koncentraci celkového dusíku ve vodě, bude členitá a budou na ní celoročně hnízdit ptáci.

Vlivy těchto parametrů vyšly statisticky významně. Vysvětlují sice pouze malou část variability námi zkoumaných indexů, ale to je způsobeno tím, že příčina toho, proč jsou některé druhy vzácné, je pravděpodobně velmi komplexní a pro její úplné pochopení by byl třeba rozsáhlejší výzkum.

Výše zmíněné parametry by mohly ovlivňovat i vzácné druhy dalších skupin mikrořas, z nichž je většina pravděpodobně též šířena ptáky a preferuje dusíkem neznečištěné, členité prostředí s velkým množstvím mikrohabitatů. Díky snadnému zjištění hodnot těchto parametrů z veřejně přístupných databází by se pravděpodobně daly dopředu vybírat lokality s přítomností vzácných druhů.

Jedním z dalších přínosů této práce je podrobný popis parametrů prostředí na mnoha lokalitách, který by se mohl hodit do budoucích studií. Užitečný by mohl být i popis druhové diverzity na jednotlivých lokalitách. Ten ukázal mimo jiné to, že Třeboňsko je celosvětově významný hotspot rodů *Mallomonas* a *Synura*.

6. ZDROJE

Adamec, L. (1995). Ecological requirements and the European distribution of the aquatic carnivorous plant *Aldrovanda vesiculosa* - A review. *Folia Geobotanica & Phytotaxonomica*, *30*(1), 53–61.

Adamec, L., & Lev, J. (1999). The introduction of the aquatic carnivorous plant *Aldrovanda vesiculosa* to new potential sites in the Czech Republic: A five year investigation. *Folia Geobotanica*, *34*(3), 299–305.

Alverson, A. J., Beszteri, B., Julius, M. L., Theriot, E. C., & Spaulding, S. A. (2021). Microbial biogeography through the lens of exotic species: The recent introduction and spread of the freshwater diatom *Discostella asterocostata* in the United States. *Biological Invasions*, *23*(7), 2191–2204.

AOPK ČR. (2026). *Nálezová databáze ochrany přírody: Informační systém eBIRDS* [Datová sada]. Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky. Citováno 16. dubna 2026 z https://portal.nature.cz/

APHA. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.). American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, D.C. *(Pozn.: Sem patří zkratka pro „Standardní metody“).*

Auguie, B. (2017) *gridExtra: Miscellaneous Functions for "Grid" Graphics*. R package version 2.3.

Baas Becking, L. G. M. (1934). *Geobiologie of inleiding tot de milieukunde*. W. P. Van Stockum & Zoon N.V.

Bartoń, K. (2023). *MuMIn: Multi-Model Inference*. R package version 1.47.5. https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn

Benedetti-Cecchi L, Cinelli F (1995) Habitat heterogeneity, sea urchin grazing and the distribution of algae in littoral rock pools on the west coast of Italy (western Mediterranean). Mar Ecol Prog Ser 126:203-212.

Bessudova, A. Y., Sorokovikova, L. M., Sinyukovich, V. N., Firsova, A. D., Tomberg, I. V., & Likhoshway, Y. V. (2020). Effects of water levels on species diversity of silica-scaled chrysophytes in large tributaries of Lake Baikal. *Acta Biologica Sibirica*, *6*, 11–32.

Bock, C., Sieber, G., Beszteri, S., et al. (2026). Cool and shady: Ecophysiological preferences of chrysophytes. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, *73*(2), e70071.

Bolgovics, A., B-Béres, V., Várbíró, G., Krasznai-K, E. A., Ács, É., Kiss, K. T., & Borics, G. (2019). Groups of small lakes maintain larger microalgal diversity than large ones. *Science of The Total Environment*, *678*, 162–172.

Brodie, J., Andersen, R. A., Kawachi, M., & Millar, A. J. K. (2009). Endangered algal species and how to protect them. *Phycologia*, *48*(5), 423–438.

Brodie, J., John, D. M., Tittley, I., Holmes, M. J., Williamson, D. B. (2007) Important plant areas for algae: a provisional review of sites and areas of importance for algae in the United Kingdom. Plantlife International, Salisbury

Cambra, J. (2010). Chrysophytes from some lakes and peat-bogs in the eastern Pyrenees, Catalonia (Spain). *Biologia*, *65*(4), 577–586.

ČGS. (2020). *Geologická mapa ČR 1 : 500 000*. Česká geologická služba, Praha. Dostupné z: https://www.geology.cz/

Darwin, C. (1859). *O původu druhů* (John Murray, Ed.). L. Reeve & Co. *(Pozn.: Lze případně uvést i české vydání, pokud z něj bylo čerpáno, např. Nakladatelství Academia).*

Dawson, W., Fischer, M. and van Kleunen, M. (2012), Common and rare plant species respond differently to fertilisation and competition, whether they are alien or native. Ecol Lett, 15: 873-880.

Deckmyn, A. (2022) *maps: Draw Geographical Maps*. R package version 3.4.1.

Dufour, A., Gadallah, F., Wagner, H. H., Guisan, A. and Buttler, A. 2006. Plant species richness and environmental heterogeneity in a mountain landscape: effects of variability and spatial configuration. Ecography, 29, 573 584.

Duncan, R. P., & Young, J. R. (2000). Determinants of plant extinction and rarity 145 years after European settlement of Auckland, New Zealand. *Ecology*, *81*(11), 3048–3061.

Endo, H., Ogata, H. & Suzuki, K. (2018). Contrasting biogeography and diversity patterns between diatoms and haptophytes in the central Pacific Ocean. *Sci Rep* **8**, 10916.

Faturová, J. (2019). *Kremičité chrysomonády v priestorovo štruktúrovaných mikrobiotopoch (príkladová štúdia z Akvitánie, Francúzsko)* [Diplomová práce, Karlova Univerzita]. Repozitář závěrečných prací UK.

Fenchel, T., & Finlay, B. J. (2004). The ubiquity of small species: Patterns of local and global diversity. *BioScience*, *54*(8), 777–784.

Fernald, M. L. (1925). Persistence of plants in unglaciated areas of boreal America. *Memoirs of the American Academy of Arts and Sciences*, *15*(3), 237–342.

Fiedler, J. (2025). *Šíření mikroskopických sladkovodních řas pomocí vodních ptáků* [Diplomová práce, Karlova Univerzita]. Repozitář závěrečných prací UK.

Fleischer-Dogley, F., Kettle, C. J., Edwards, P. J., Ghazoul, J., Määttänen, K., & Kaiser-Bunbury, C. N. (2011). Morphological and genetic differentiation in populations of the dispersal-limited coco de mer (*Lodoicea maldivica*): Implications for management and conservation. *Diversity and Distributions*, *17*(2), 235–243.

Foissner, W. (2007). Dispersal and biogeography of protists: Recent advances. *Japanese Journal of Protozoology*, *40*(1), 1–16.

Foissner, W. (2008). Protist diversity and distribution: Some basic considerations. *Biodiversity and Conservation*, *17*(2), 235–242.

Google. (2026). *Google Earth Pro* (Verze 7.3) [Softwarová aplikace / Satelitní snímky]. https://www.google.com/earth/

Görgényi, J., Krasznai, E., Ács, E., Kiss, K. T., Botta-Dukát, Z., Végvári, Z., Lukács, Á., Várbíró, G., B-Béres, V., Kókai, Z., Tóthmérész, B., & Borics, G. (2023). Rarity of microalgae in macro, meso, and microhabitats. *Inland Waters*, *13*(2), 231–246.

Gusev, E., Martynenko, N., Shkurina, N., Huan, P. T., Dien, T. D., & Thanh, N. T. H. (2023). An annotated checklist of algae from the order Synurales (Chrysophyceae) of Viet Nam. *Diversity*, *15*(2), 183.

Hartmann, H. & Steinberg, C. (1989): The occurrence of silica-scaled chrysophytes in some central European lakes and their relation to pH. - Nova Hedwigia Beiheft 95: 131-158.

Cheng, J., Schloerke, B., Karambelkar, B. & Xie, Y. (2023) *leaflet: Create Interactive Web Maps with the JavaScript 'Leaflet' Library*. R package version 2.2.1.

Chianucci, F., & Mattioli, W. (2024). *hemispheR: Processing Hemispherical Canopy Photographs*. R package version 1.x.x. https://CRAN.R-project.org/package=hemispheR

Inkscape Project. (2024) *Inkscape: Open Source Vector Graphics Editor*. Verze 1.3. Dostupné z: https://inkscape.org.

ISO. (1999). *ISO 8245:1099 Water quality — Guidelines for the determination of total organic carbon (TOC) and dissolved organic carbon (DOC)*. International Organization for Standardization, Geneva.

ISVS voda. (2024). *Datová sada záplavových území ČR*. Informační systém vodního hospodářství, Ministerstvo zemědělství ČR. Dostupné z: https://voda.gov.cz/

Jadrná, I., Škvorová, Z., Škaloud, P. (2026). Beyond protist generalizations: different evolutionary trajectories in closely related microbial species. ISME Communications.

Janatková, K., & Němcová, Y. (2009). Silica-scaled chrysophytes of Southern Bohemian water bodies, including *Mallomonas conspersa* Dürrschmidt with occurrence so far reported from Japan and New Zealand. *Fottea*, *9*(1), 93–99.

Jousset, A., Bienhold, C., Chatzinotas, A., et al. (2017). Where less may be more: How the rare biosphere pulls ecosystems strings. *The ISME Journal*, *11*(4), 853–862.

Juráň, J., & Kaštovský, J. (2019). The procedure of compiling the Red List of microscopic algae of Czech Republic. *Biodiversity and Conservation*, *28*(10), 2499–2529.

Kahle, D. & Wickham, H. (2013) ggmap: Spatial Visualization with ggplot2. *The R Journal*, 5(1), 144–161.

Kassambara, A. & Mundt, F. (2020) *factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses*. R package version 1.0.7.

Kelly, M. G., Juggins, S., Guthrie, R., Pritchard, S., Jamieson, J., Rippey, B., Hirst, H., & Yallop, M. (2008). Assessment of ecological status in U.K. rivers using diatoms. *Freshwater Biology*, *53*(2), 403–422.

Kilham, P. (1971). A hypothesis concerning silica and the freshwater planktonic diatoms. *Limnology and Oceanography*, 16(1), 10-18.

Kilroy, C., Whitehead, A., Wood, S., Vandergoes, M., Lambert, P., & Novis, P. (2021). Predicting the potential distribution of the invasive freshwater diatom *Lindavia intermedia* in New Zealand lakes. *Aquatic Invasions*, *16*(3), 415–442.

Kim, H. S., Lee, K. L. (2011). Growth characteristics of bloom forming *Mallomonas elongata* (Synurophyceae) based on silicate and light intensity. ALGAE, 26(1), 73-77.

Klaveness, D., Vrate, J., Patil, V., Shalchian-Tabrizi, K., Kluge, R., & Gislerod, H. R. (2011). The 18S and 28S rDNA identity and phylogeny of the common lotic chrysophyte *Hydrurus foetidus*. *European Journal of Phycology*, *46*(3), 282–291.

Kleijn, D., Bekker, R.M., Bobbink, R., De Graaf, M.C.C. and Roelofs, J.G.M. (2008), In search for key biogeochemical factors affecting plant species persistence in heathland and acidic grasslands: a comparison of common and rare species. Journal of Applied Ecology, 45: 680-687.

Knotek, P., & Škaloud, P. (2023). The effect of patterned structures on the mechanical resistance of microscopic silica scales. *Fottea*, *23*(2), 190–200.

Knotek, P., Pusztai, M., Jadrná, I., & Škaloud, P. (2025). Expanding our knowledge of Synurales (Chrysophyceae) in Florida, United States: Proposing three novel *Mallomonas* taxa. *Journal of Phycology*, *61*(6), 1206–1224.

Krasznai, E., Fehér, G., Borics, G., Várbíró, G., Grigorszky, I., & Tóthmérész, B. (2008). Use of desmids to assess the natural conservation value of a Hungarian oxbow (Malom-Tisza, NE-Hungary). *Biologia*, *63*(6), 928–935.

Kristiansen, J. (1975). On the occurrence of the species of *Synura*. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*, *19*, 2709–2715.

Kristiansen, J. (1986). Silica-scale bearing chrysophytes as environmental indicators. *British Phycological Journal*, *21*(4), 425–436.

Kristiansen, J. (2000). Cosmopolitan Chrysophytes. *Systematics and Geography of Plants*, *70*(2), 291–300.

Kristiansen, J., & Lind, J. F. (2005). Endemicity in silica-scaled chrysophytes. *Nova Hedwigia, Beihefte*, *128*, 65–83.

Lê, S., Josse, J. & Husson, F. (2008) FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*, 25(1), 1–18.

Leitão, R. P., Zuanon, J., Villéger, S., Williams, S. E., Baraloto, C., Fortunel, C., ... & Mouillot, D. (2016). Rare species contribute disproportionately to the functional structure of species assemblages. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *283*(1828), 20160084.

Lin, Y. C., Chung, C. C., Gong, G., Chiang, K. (2014). Diversity and abundance of haptophytes in the East China Sea. Aquat Microb Ecol, 72, 227-240.

Luoto, M., Toivonen, T., Heikkinen, R. K. (2002) Prediction of total and rare plant species richness in agricultural landscapes from satelite images and topographic data. Landscape Ecology, 17, 195-217.

Marron, A. O., Alston, M. J., Heavens, D., Akam, M., Caccamo, M., Holland, P. W. H., Walker, G. (2013). A family of diatom-like silicon transporters in the siliceous loricate choanoflagellates. Proc Biol Sci. 280:20122543.

Mendes, R. S., Evangelista, L. R., Thomaz, S. M., Agostinho, A. A., & Gomes, L. C. (2008). A unified index to measure ecological diversity and species rarity. *Ecography*, *31*(4), 450–456.

Ministerstvo zemědělství ČR. (n.d.). *Záplavová území* [Datová sada]. Informační systém veřejné správy Voda (ISVS). Citováno 16. dubna 2026 z https://voda.gov.cz/portal/

Musil, M., Rajchard, J., Novotná, K., et al. (2018). The relationship between occurrence of invasive bryozoan *Pectinatella magnifica* (Leidy 1851) and parameters of the aquatic environment in the Biosphere Reserve Třeboňsko (Czech Republic). *Wetlands Ecology and Management*, *26*(5), 977–983.

Němcová, Y., Kreidlová, J., Kosová, A., & Neustupa, J. (2012). Lakes and pools of Aquitaine region (France) – a biodiversity hotspot of Synurales in Europe. *Nova Hedwigia*, *95*(1-2), 1–24.

Němcová, Y., Pusztai, M., & Neustupa, J. (2015). Silica-scaled chrysophytes (Stramenopiles, Ochrophyta) along a salinity gradient: A case study from the Gulf of Bothnia western shore (northern Europe). *Hydrobiologia*, *764*(1), 175–187. https://doi.org/10.1007/s10750-015-2424-9

Nimis, L. P., Martellos, S., Spitale, D., & Nascimbene, J. (2018). Exploring patterns of commonness and rarity in lichens: A case study from Italy (Southern Europe). *The Lichenologist*, *50*(3), 385–396.

Nolte, V., Pandey, R. V., Jost, S., Medinger, R., Ottenwälder, B., Boenigk, J., & Schlötterer, C. (2010). Contrasting seasonal niche separation between rare and abundant taxa conceals the extent of protist diversity. *Molecular Ecology*, *19*(14), 2908–2915.

Oksanen, J., Simpson, G. L., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., ... & Weedon, M. N. (2024). *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.6-x. https://CRAN.R-project.org/package=vegan

Pascoal, F., Costa, R., & Magalhães, C. (2021). The microbial rare biosphere: Current concepts, methods and ecological principles. *FEMS Microbiology Ecology*, *97*(12), 1–15.

PDFedit Team. (2011) *PDFedit: Free Editor for PDF Documents*. Verze 0.4.5. Dostupné z: http://pdfedit.cz.

R Core Team. (2024). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. https://www.R-project.org/

Rabinowitz, D. (1981). Seven forms of rarity. In H. Synge (Ed.), *The biological aspects of rare plant conservation* (pp. 205–217). John Wiley & Sons.

Radojevic, M., & Bashkin, V. N. (2006). *Practical environmental analysis* (2nd ed.). Royal Society of Chemistry.

Riaux-Gobin, C., Ashworth, M. P., Kociolek, J. P., Chevallier, D., Saenz-Agudelo, P., Witkowski, A., ... & Planes, S. (2021). Epizoic diatoms on sea turtles and their relationship to host species, behaviour and biogeography: A morphological approach. *European Journal of Phycology*, *56*(3), 1–14.

Roijackers, R. M. M., & Kessels, H. (1986). Ecological characteristics of scale-bearing Chrysophyceae from The Netherlands. *Nordic Journal of Botany*, *6*(3), 373–385.

Rybníky.info. (n.d.). *Rybníky v České republice*. https://rybniky.info/rybniky

Sandgren, C. D. (1988). The ecology of chrysophyte flagellates: Their growth and perennation strategies as freshwater phytoplankton. In *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton* (pp. 9–104). Cambridge University Press.

Sandgren, C. D., Hall, S. A., & Barlow, S. B. (1996). Siliceous scale production in chrysophyte and synurophyte algae. I. Effects of silica-limited growth on cell silica content, scale morphology, and the construction of the scale layer of *Synura petersenii*. *Journal of Phycology*, *32*(4), 675–692. https://doi.org/10.1111/j.0022-3646.1996.00675.x

Schlichting, H. E. (1960). The role of waterfowl in the dispersal of algae. *Transactions of the American Microscopical Society*, *79*(2), 160–166.

Schneck, F. and Melo, A.S. (2013), High assemblage persistence in heterogeneous habitats: an experimental test with stream benthic algae. Freshwater Biology, 58: 365-371.

Siver, P. A. (1991). *The biology of Mallomonas: Morphology, taxonomy and ecology* (Developments in Hydrobiology, Vol. 63). Kluwer Academic Publishers.

Siver, P. A., & Hamer, J. S. (1989). Multivariate statistical analysis of the factors controlling the distribution of scaled chrysophytes. *Limnology and Oceanography*, *34*(2), 368–381.

Siver, P. A., & Lott, A. M. (2004). Further observations on the scaled Chrysophycean and Synurophycean flora of the Ocala National Forest, Florida, U.S.A. *Nordic Journal of Botany*, *24*(2), 211–233.

Siver, P. A., & Lott, A. M. (2017). The scaled chrysophyte flora in freshwater ponds and lakes from Newfoundland, Canada, and their relationship to environmental variables. *Cryptogamie, Algologie*, *38*(4), 325–347.

Slowikowski, K. (2024) *ggrepel: Automatically Position Non-Overlapping Text Labels with 'ggplot2'*. R package version 0.9.5.

Sullivan, B. L., Wood, C. L., Iliff, M. J., Bonney, R. E., Fink, D., & Kelling, S. (2009). *eBird: A cluster of digital tools in support of birding, science, and conservation*. Biological Conservation, 142(10), 2282-2292. *(Pozn.: Oficiální vědecká citace pro projekt eBird).*

Swarts, N. D., Sinclair, E. A., Francis, A., & Dixon, K. W. (2010). Ecological specialization in mycorrhizal symbiosis leads to rarity in an endangered orchid. *Molecular Ecology*, *19*(15), 3226–3242.

Škaloud, P. (2013). *Silica-scaled chrysophytes of Europe, chrysophytes.eu*. Citováno [2025].

Škaloud, P. (nepubl. data). Interní databáze nálezů řas třídy Chrysophyceae.

Škaloud, P., Kristiansen, J., & Škaloudová, M. (2013). Developments in the taxonomy of silica-scaled chrysophytes – from morphological and ultrastructural to molecular approaches (review). *Nordic Journal of Botany*, *31*(4), 385–402.

Tamburello, L., Benedetti-Cecchi, L., Masini, L. *et al.*(2013) Habitat heterogeneity promotes the coexistence of exotic seaweeds. *Oecologia* 172, 505–513.

Tesson, S. V. M., Weißbach, A., Kremp, A., Lindström, Å., Rengefors, K. (2018) The potential for dispersal of microalgal resting cysts by migratory birds. J Phycol, 54, 518–528.

Townes, F. W. (2019). *glmpca: Generalized Linear Principal Components Analysis*. R package version 0.2.0. https://CRAN.R-project.org/package=glmpca

Tučková, K. (2023). *Temporální změny genetické a morfologické diverzity křemičitých zlativek (Stramenopiles, Chrysophyceae)* [Diplomová práce, Karlova Univerzita]. Repozitář závěrečných prací UK.

Tučková, K.., Herciková, Z. & Škaloud, P. (2026). Temperature, pH and silica as key drivers of papillae formation in *Mallomonas* across local and continental scales. *Hydrobiologia* (in press).

Tukiainen, H., Bailey, J. J., Field, R., Kangas, K., Hjort, J. (2016). Combinig geodiversity with climate and topography to account for threatened species richness. Conservation Biology, 31(2), No. 2, 364–375

US EPA. (1974). *Method 415.1: Total Organic Carbon by Combustion or Oxidation*. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

Vincent, H., Bornand, C. N., Kempel, A., & Fischer, M. (2020). Rare species perform worse than widespread species under changed climate. *Biological Conservation*, *246*, 108586.

Whitford, L. A. (1983). On rare fresh-water algae. *Transactions of the American Microscopical Society*, *102*(4), 401–403.

Wickham, H. & Seidel, D. (2022) *scales: Scale Functions for Visualization*. R package version 1.3.0.

Wickham, H. (2016) *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.

Wickham, H., François, R., Bryan, J., & Müller, K. (2023). *dplyr: A Grammar of Data Manipulation*. R package version 1.1.4. https://CRAN.R-project.org/package=dplyr

Wickham, H., François, R., Henry, L., Müller, K. & Vaughan, D. (2023) *dplyr: A Grammar of Data Manipulation*. R package version 1.1.4.

Wickham, H., Vaughan, D. & Girlich, M. (2024) *tidyr: Tidy Messy Data*. R package version 1.3.1.

Wieger Wamelink, G. W., Goedhart, P. W., & Frissel, J. (2014). Why some plant species are rare. *PLOS ONE*, *9*(7), e102674.

Willis, J. C. (1922). *Age and area: A study in geographical distribution and origin of species*. Cambridge University Press.

Yamada, K., Yoshikawa, S., Ichinomiya, M., Kuwata, A., Kamiya, M., Ohki, K. (2014). Effects of Silicon-Limitation on Growth and Morphology of *Triparma laevis* NIES-2565 (Parmales, Heterokontophyta). PLoS ONE 9(7): e103289.

7. ELEKTRONICKÉ PŘÍLOHY

Tabulka 1 – tabulka environmentálních parametrů lokalit
Tabulka 2 – tabulka druhů rodů *Mallomonas* a *Synura* nalezených na Třeboňsku