

**MASARYKOVA  
UNIVERZITA**

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

**Sukcese na výsypkách  
po těžbě hnědého uhlí se  
zaměřením na vodní  
biotopy**

Bakalářská práce

**ALBÍN PAŘÍZEK**

Vedoucí práce: doc. RNDr. Jana Schenková, Ph.D.

Ústav botaniky a zoologie

Program Chemie se zaměřením na vzdělávání

Brno 2022

**MUNI**  
**SCI**

## Bibliografický záznam

<b>Autor:</b>	Albín Pařízek Přírodovědecká fakulta Masarykova univerzita Ústav botaniky a zoologie
<b>Název práce:</b>	Sukcese na výsypkách po těžbě hnědého uhlí se zaměřením na vodní biotopy
<b>Studijní program:</b>	Chemie se zaměřením na vzdělávání
<b>Studijní obor:</b>	Biologie se zaměřením na vzdělávání Chemie se zaměřením na vzdělávání
<b>Vedoucí práce:</b>	doc. RNDr. Jana Schenková, Ph.D.
<b>Rok:</b>	2022
<b>Počet stran:</b>	70
<b>Klíčová slova:</b>	sukcese, kolonizace, vodní bezobratlí, Trichoptera, chrostíci, výsypky, Velká podkrušnohorská výsypka, vodní biotopy, pěnovcová prameniště

## Bibliographic record

**Author:** Albín Pařízek  
Faculty of Science  
Masaryk University  
Department of Botany and Zoology

**Title of Thesis:** Succession in brown coal spoil heaps with a focus on aquatic habitats

**Degree Programme:** Chemistry with a view to Education

**Field of Study** Biology with a view to Education  
Chemistry with a view to Education

**Supervisor:** doc. RNDr. Jana Schenková, Ph.D.

**Year:** 2022

**Number of Pages:** 70

**Keywords:** succession, colonization, aquatic invertebrates, Trichoptera, caddisflies, spoil heaps, Velká podkrušnohorská spoil heap, aquatic habitats, brooks with tufa precipitation

## Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřena na problematiku ekologické sukcese. Zabývá se jejím průběhem na nově utvořených vodních habitatech, které vznikají na útvarech spojených s těžbou nerostných surovin, a to především po těžbě hnědého uhlí. Práce se věnuje především sukcesi vodních bezobratlých, jejich disperzi a jejich kolonizování nových stanovišť, zejména pěnovcových potoků a mokřadů na výsypkách. Součástí práce je také seznámení s jednou konkrétní skupinou vodních bezobratlých, a to se skupinou Trichoptera, česky chrostíci. Tato část pojednává o jejich morfologii, vývoji a rozšíření v České republice. Nedílnou součástí práce byla také determinace této skupiny ze vzorků nasbíraných na jaře a na podzim roku 2019 na Modráčkovém a Okružním potoce na Velké podkrušnohorské výsypce. V práci jsou vyhodnoceny změny chemismu vody a změny populace chrostíků oproti předchozím odběrům z let 2013 a 2014.

## Abstract

This bachelor thesis deals with the issues of the ecological concept of succession. It looks at the processes in newly formed aquatic habitats that have formed on formations associated with mineral extraction, especially after brown coal mining. The thesis then considers the succession of aquatic invertebrates, i.e., their dispersal, their colonization of new habitats, especially calcareous brooks and seepages. The work also includes an introduction to a specific group of aquatic invertebrates, the group Trichoptera, translated as caddisflies. This part deals with their morphology, development and distribution in the Czech Republic. An integral part of thesis is the identification of this group based on samples collected in spring and autumn 2019 in Modráčkový and Okružní brooks in the Velká podkrušnohorská spoil heap. Changes in water chemistry and changes in the caddisflies populations compared to previous sampling in 2013 and 2014 are evaluated in the thesis.

ZADÁNÍ  
BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Akademický rok: 2021/2022

<b>Ústav:</b>	Ústav botaniky a zoologie
<b>Student:</b>	Albín Pařízek
<b>Program:</b>	Chemie se zaměřením na vzdělávání
<b>Specializace:</b>	Biologie se zaměřením na vzdělávání Chemie se zaměřením na vzdělávání

Ředitel ústavu PřF MU Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu MU určuje bakalářskou práci s názvem:

<b>Název práce:</b>	Sukcese na výsypkách po těžbě hnědého uhlí se zaměřením na vodní biotopy
<b>Název práce anglicky:</b>	Succession on post-mining sites with focus on aquatic habitats
<b>Jazyk závěrečné práce:</b>	čeština

**Oficiální zadání:**

Velká podkrušnohorská výsypka je největší ze Sokolovských výsypek. Její navážení začalo již v 60. letech minulého století a bylo ukončeno v roce 2003. Výsypkový substrát je tvořený převážně sedimenty cyprisosového souvrství, jehož název pochází od fosilních nálezů koryše *Cypris angusta*, a které vzniklo v třetí- a čtvrtohorách. Velká podkrušnohorská výsypka byla až na nutné bezpečnostní úpravy ponechána spontánní sukcesi a zde vzniklé potoky jsou typické vysráženým uhličitanem vápenatým v podobě pěnovce a vysokou vodivostí danou přítomností síranů. Výsypkový materiál je tudíž specifický svým chemismem. Díky tomu představují výsypky po těžbě hnědého uhlí výjimečné antropogenní biotopy, na jedné straně s extrémním chemismem, na druhé straně charakteristické tak specifickými podmínkami, že mohou poskytnout sekundární habitáty pro vzácné a ohrožené druhy. Tyto potoky byly postupně osídleny řadou druhů vodních bezobratlých – od nenáročných euryvalentních druhů, až po druhy vzácné a ohrožené, zejména ze skupin Diptera a Coleoptera. Byla zjištěna podobnost s přirozenými potoky na prameništích slatiništích Západních Karpat. Pokračující sukcese může společenstvo ještě obohatit nebo naopak postupně zničit specifické podmínky umožňující i výskyt těchto vzácných druhů.

Cíle bakalářské práce jsou:

1. Na základě literární rešerše popsat procesy sukcese na antropogenních stanovištích se speciálním zaměřením na osídlování vodních biotopů bezobratlými.
2. Seznámit se z literárních zdrojů se skupinou chrostíci Trichoptera, jejich diverzitou v ČR, stanovišti a naučit se determinovat jejich larvy.
3. Determinovat larvy chrostíků ve vzorcích z pěnovcových potoků - Okružního p. (podzimní odběry 2019, celkem 7 vzorků) a Modráčkového p. (jarní a podzimní odběry 2019, celkem 12 vzorků).
4. Na základě porovnání společenstva chrostíků v Okružním a Modráčkovém potoce, které bylo nalezeno v roce 2014 (dříve determinovaných) a v roce 2019, zjistit jeho změny v souvislosti s probíhající sukcesí. Vyhodnotit změny diverzity, abundance a výměnu druhů. Popsat změny chemismu po pětiletém období.

Na práci může navazovat diplomová práce.

**Literatura:**

Batty, L. C., Atkin, L. & Manning, D. A. C. (2005). Assessment of the ecological potential of mine-water treatment wetlands using a baseline survey of macroinvertebrate communities. *Environmental Pollution* 138, 412–419.

Doležalová, J. Vojar J., Smolová, D., Solský, M. & Kopecký, O. (2012). Technical reclamation and spontaneous succession produce different water habitats: A case study from Czech post-mining sites. *Ecol. Eng.* 43, 5–12.

Harabiš, F., Tichanek, F. & Tropek, R. (2013). Dragonflies of freshwater pools in lignite spoil heaps: Restoration management, habitat structure and conservation value. *Ecol. Eng.* 55, 51–61.

Ježek, J., Oboňa, J., Příklad, I. & Mikátová, B. (2019). Moth flies (Diptera: Psychodidae) of the western Hercynian mountains, Sokolov open-cast coal mines and dumps (Czech Republic). *Acta Mus. Siles. Sci. Natur.*, 67, 193-292.

---

**Vedoucí práce:** doc. RNDr. Jana Schenková, Ph.D.

---

**Datum zadání práce:** 27. 4. 2021

---

**V Brně dne:** 10. 4. 2022

---

Zadání bylo schváleno prostřednictvím IS MU.

Albín Pařízek, 12. 11. 2021

doc. RNDr. Jana Schenková, Ph.D., 11. 11. 2021

doc. RNDr. Zdeňka Lososová, Ph.D., 11. 11. 2021



## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího práce s využitím informačních zdrojů, které jsou v práci citovány.

V Brně 4. května 2022

.....

Albín Pařízek

## Poděkování

Na tomto místě bych chtěl srdečně poděkovat vedoucí mé práce doc. RNDr. Janě Schenkové, Ph.D. za veškerou její ochotu a čas, který mi při vytváření této práce obětovala. Díky patří také jejímu přátelskému přístupu a důležitým radám, které mi ochotně a laskavě předávala. Nesmím opomenout také poděkovat Mgr. Janě Petruželové, která mě zaškolila v determinaci larev chrostíků a při určování mi po celou dobu asistovala. Další poděkování patří také Mgr. Martině Polákové, Bc. Tereze Marečkové a Stanislavu Němejcovi, kteří prováděli odběr a třídění vzorků, které jsem dále zpracovával. Nakonec bych chtěl poděkovat i RNDr. Ivo Přikrylovi za umožnění výzkumu výsypek.

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Sukcese</b>	<b>12</b>
2.1	Definice sukcese.....	12
2.2	Fáze sukcese .....	12
2.3	Faktory ovlivňující osidlování a vývoj společenstev vodních bezobratlých	14
2.4	Osidlování postindustriálních stanovišť vodními bezobratlými.....	17
2.5	Pěnovcové mokřady a potoky .....	18
2.6	Využití sukcese jako formy ekologické obnovy .....	18
<b>3</b>	<b>Chrostíci</b>	<b>21</b>
3.1	Základní charakteristika .....	21
3.2	Vývojová stádia a jejich morfologie.....	21
3.3	Pohyb a disperzní schopnosti chrostíků .....	26
3.4	Potravní strategie.....	27
3.5	Výskyt.....	28
3.6	Stručná charakteristika čeledí chrostíků v ČR .....	29
3.7	Význam chrostíků.....	34
<b>4</b>	<b>Materiál a metodika</b>	<b>35</b>
4.1	Studované území .....	35
4.2	Odběr a zpracování vzorků.....	41
<b>5</b>	<b>Výsledky</b>	<b>43</b>
5.1	Fyzikálně-chemické proměnné.....	43
5.2	Charakter toku a proměnné prostředí .....	47
5.3	Vzorky chrostíků.....	50
<b>6</b>	<b>Diskuse</b>	<b>57</b>
6.1	Proměnné prostředí a chemismus vody.....	57
6.2	Chrostíci .....	58
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>60</b>

<b>Použité zdroje</b>	<b>61</b>
<b>Příloha A</b>	<b>Tabulka č. 2: Vybrané roční průměry naměřené proměnných na Okružním potoce</b>
<b>Příloha B</b>	<b>Tabulka č. 3: Vybrané roční průměry naměřené proměnných na Modráčkovém potoce</b>

## 1 Úvod

Těžba nerostů, zejména uhlí, je provázána značnou změnou okolní krajiny. Lokality postižené těžbou nerostných surovin, tzv. postindustriální stanoviště, je ale možné podrobit ekologické obnově. Jednou z možností je spontánní či řízená sukcese, tedy samovolný či řízený vývoj a výměna vegetace a živočišných společenstev v čase probíhající na daném území (REITSCHMIEDOVÁ & FROUZ 2016). Sokolovsko je jedním z nejznámějších míst na našem území, které je spojené s těžbou hnědého uhlí. Při těžbě hnědého uhlí začaly vznikat i výsypky, tedy krajinné prvky vzniklé z vytěženého nadložního materiálu, které jsou pro Sokolovsko charakteristické. Tématem této práce je sledování sukcese v pěnovcových potocích, které vznikly na jedné z těchto výsypek – na Velké podkrušnohorské výsypce, na příkladu vodních bezobratlých. Zdejší výsypkové vody jsou známé extrémním chemismem a mohou, stejně jako jiná stanoviště vzniklá při těžební činnosti, poskytovat vhodné podmínky pro některé vzácné a ohrožené druhy (BATTY 2005, FROUZ et al. 2007, HARABIŠ et al. 2013, REITSCHMIEDOVÁ & FROUZ 2016). Velká podkrušnohorská výsypka byla až na některé nutné lesnické a zemědělské rekultivace ponechána právě již zmíněné spontánní sukcesi (FROUZ et al. 2007, PRACH et al. 2010).

Cílem teoretické části této práce je popsat procesy sukcese a osidlování vodních biotopů na antropogenních stanovištích. Práce se dále konkrétně zaměřuje na skupinu holometabolního hmyzu chrostíci (Trichoptera). Studuje zejména jejich morfologii, pohyb a disperzní schopnosti, potravu a rozšíření v České republice. Dalším cílem byla determinace larev tohoto hmyzu ze vzorků, které byly odebrány na vybraných lokalitách na podzim roku 2019. Šlo o vzorky ze dvou vybraných potoků vytékajících z pěnovcových pramenišť na výsypce, konkrétně z Modráčkového a Okružního potoka. Tato práce navazuje na předchozí zkoumání stejných odběrových míst na těchto potocích z let 2013 a 2014, proto je tématem poslední části práce kromě vyhodnocení posledních odběrů i porovnání změn na těchto lokalitách mezi lety 2013/14 a 2019. Jde o změny jak v chemickém složení vody a charakteru koryta potoků, tak změny v diverzitě, abundanci a výměně druhů chrostíků.

## 2 Sukcese

### 2.1 Definice sukcese

Sukcesi lze definovat jako nesezónní, směrovaný a kontinuální proces kolonizace prostředí a zániku populací v rámci jednotlivých druhů na určitém místě (BEGON et al. 1997). Lze tedy tvrdit, že jde o jakýsi vývoj populací v čase. Na konci tohoto vývoje by měl vzniknout ustálený ekosystém, tedy ekosystém, který bude uchovávat nejvíce mezidruhových symbiotických vztahů (ODUM 1997, KUMAR & MINA 2021). Dle Pracha pak jde sukcesi definovat jako postupné nahrazování druhů a společenstev či vývoj ekosystému v čase po různých narušeních, na jehož konci by měl vzniknout poměrně stálý stav rovnováhy, označovaný jako klimax (PRACH & WALKER 2020).

Základní dělení sukcese je na sukcesi primární a na sukcesi sekundární. Mluvíme-li o primární sukcesi, myslíme tím sukcesi probíhající na zcela nově vzniklých substrátech, na kterých není zatím vyvinuta půda, nejsou zde přítomny žádné diaspory. S takovýmto typem sukcese se můžeme setkat například na nově vzniklých výsypkách, lomech vzniklých po těžbě hnědého uhlí a dalších postindustriálních stanovištích spojených s těžbou. Sekundární sukcese, na rozdíl od primární sukcese, probíhá na lokalitách, kde je již půda vytvořená a obsahuje zásobu semen (PRACH et al. 2010). Dále se můžeme setkat s pojmy autogenní a allogenní sukcese. Autogenní sukcese nastává, pokud jsou sukcesní změny vyvolány biologickými procesy, tedy živými organismy ve společenstvu. Může tak jít například o mezidruhovou kompetici. O alogenní sukcesi mluvíme tehdy, pokud jsou změny druhů ve společenstvech vyvolány měnicími se geofyzikálními podmínkami prostředí, například pohybem sedimentu ze záplav a podobně (WALKER & DEL MORAL 2003).

### 2.2 Fáze sukcese

Mluvíme-li o sukcesi, setkáváme se třemi základními fázemi. Jde o kolonizaci, vývojovou fázi a fázi dospívání (VRÁBLÍKOVÁ et al. 2008). Celý tento proces vývoje a změn společenstva od kolonizace až po jeho ustálení vytváří takzvanou sukcesní sérii (BUČEK

2007). Při první fázi, tedy při kolonizaci, dochází k osidlování terénu živými organismy. Kolonizace nově vzniklého stanoviště začíná druhy, které jsou schopny rychlého šíření. Tyto druhy poté označujeme jako pionýrské. Tito prvotní kolonizátoři jsou většinou druhy, které se rychle a účinně rozmnožují a šíří, a jsou postupně vytlačováni konkurenčně silnějšími druhy, které jsou charakteristické pro pozdní fázi sukcese (TROPEK & ŘEHOUNEK 2012, KUMAR & MINA 2021). Proces kolonizace je ovlivněn podmínkami lokality a její historií (WALKER & DEL MORAL 2003). Kolonizace je následována vývojovou fází, při níž dochází k interakci mezi jednotlivými druhy. V poslední fázi nakonec vzniká rovnovážný stav (VRÁBLÍKOVÁ et al. 2008). Tomuto stavu se říká klimax a vyznačuje se maximální biomasou a velkou druhovou diverzitou (BUČEK 2007). Teorie klimaxů jsou různé. U Clementse (1916) se setkáváme s teorií jednoho klimaxu – monoklimaxová teorie, dle níž dochází při konečné fázi sukcese k vytvoření pouze jednoho klimaxu (CLEMENTS 1916). Tato teorie se ale později stala nepravděpodobnou a začaly se objevovat teorie vícero klimaxů, které se z dnešního hlediska zdají více pravděpodobné (MEEKER & MERKEL 1984).

Dle Clementse (1916) se ale při rozdělení sukcese můžeme setkat s více fázemi. Jde o fáze nudace, migrace, ecese, kompetice, reakce a stabilizace. V první fázi dochází k vzniku nových ploch, na kterou navazuje fáze migrace, kdy tyto nové plochy kolonizují organismy. Při fázi ecese se tyto organismy uchycují na lokalitě. Následuje fáze kompetice, při které přítomné organismy interagují a soutěží o dostupné zdroje. Další fází je reakce prostředí a změna podmínek vyvolaná přítomností příchozích druhů. V poslední fázi, stabilizaci, dochází k upevnění pozice druhů na lokalitě a vzniku již dříve zmíněného klimaxu (CLEMENTS 1916).

## 2.3 Faktory ovlivňující osidlování a vývoj společenstev vodních bezobratlých

Kolonizace prostředí a vývoj společenstva může být ovlivněn mnoha faktory. Ty můžeme dle jejich původu rozdělit na abiotické a biotické. Mezi abiotické faktory můžeme zařadit teplotu, roční období, topografii krajiny, druh substrátu či koncentraci chemických látek. Mezi biotické patří mezidruhové interakce, jako je například predace či kompetice (MACKAY 1992, JACKSON et al. 2001, TONKIN et al. 2018).

### Teplota

Teplota hraje velmi důležitou roli jak u vývoje společenstev, tak při vývoji jedince. Má také vliv na metabolismus jedinců (BESCHTA et al. 1987, ALLAN 2007). Teplota vody je ovlivněna hlavně denní dobou a ročním obdobím. Většina vodních toků má pak průměrnou roční teplotu mezi 0 až 25 °C (ALLAN 2007). Každý druh má jiné teplotní preference, kde teplota má významný vliv na životní cykly. Určuje, kdy je čas rozmnožování, kladení vajec a jejich líhnutí a na celkový vývoj jedince (HERSHEY et al. 2001, ALLAN 2007). Dle tolerance výkyvů teploty můžeme rozdělit druhy na stenotermní, tedy ty, které tolerují úzký rozsah teploty, a na eurytermní, tedy druhy, které tolerují široké škály teplot (HERSHEY et al. 2001). Tato vyšší tolerance teplot dělá z eurytermních druhů generalisty a ze stenotermních naopak specialisty (VERBERK et al. 2016). Z tohoto důvodu mohou mít eurytermní druhy při kolonizaci větší výhodu, neboť mohou kolonizovat širší škálu habitatů (MERMILLOD-BLONDIN 2013). To, že má každý druh jiné teplotní optimum, také znamená, že se během různých ročních období mohou na stejném místě objevovat různé druhy. Dochází tak k určité sezónní druhové obměně. Příkladem mohou být například některé bakterie či plankton, jejichž sukcese je teplotou značně ovlivněna (PAVER & KENT 2017). Teplota vody je pak zejména závislá na intenzitě slunečního záření a zastínění a má vliv na další proměnné vody, jako je výška hladiny vody či obsah rozpuštěného kyslíku (BESCHTA et al. 1987, PAVER & KENT 2017). Svůj vliv tak má i roční období. Při extrémních teplotách, které mohou vést například i k vysychání toků, většinou dochází k



minimálnímu vývoji společenstev, nicméně i na tyto teplotní podmínky se některé druhy adaptovaly (WALKER & DEL MORAL 2003).

#### Koncentrace chemických látek

Dalším z faktorů, které ovlivňují vývoj společenstva, je vliv chemických látek. Jde především o různé ionty rozpuštěné ve vodě. Ty ovlivňují další proměnné vody, jako je pH, salinita, vodivost či tvrdost vody (ALLAN 2007). Důležitou složkou vody pro organismy je v ní rozpuštěný kyslík, který vodní organismy dýchají (HERSHEY et al. 2001). Rozpuštěné ionty ovlivňují pH vody, které závisí zejména na rovnováze mezi kyselinou uhličitou a jejími solemi. Pokud je ve vodě velký obsah kyselých iontů, pH je nízké a nabízí útočiště především pro druhy acidotolerantní (HERSHEY et al. 2001). Naopak při vyšším pH je prostředí vhodné spíše pro druhy alkalifilní, které preferují zásaditější prostředí.

#### Terén a substrát

Faktorem, který může ovlivnit kolonizaci je i topografie terénu. Heterogenita a celkový tvar terénu může v některých případech vytvořit fyzickou bariéru, která znesnadňuje šíření druhů (TONKIN et al. 2018). Také záleží i na charakteristice substrátu. Většina vodních bezobratlých je větší část svého života vázaná na substrát, na kterém žije a jeho druh ovlivňuje schopnost uchycení organismu na něm (HERSHEY et al. 2001, SCHOWALTER 2011). Kritérii jsou poté typ substrátu, velikost částic substrátu a obsah organické hmoty (MACKAY 1992, WALKER & DEL MORAL 2011). Neboť se na zcela nově vzniklých substrátech, na nichž probíhá primární sukcese, nenachází téměř žádná organická hmota, mají zásadní vliv na její tvorbu rostliny, které tuto složku substrátu postupně vytvářejí a umožňují tak následnou kolonizaci jinými organismy (FROUZ et al. 2016).

#### Mezidruhová interakce

Jedním z dalších faktorů, které ovlivňují kolonizaci, je i vzájemná interakce jednotlivých druhů na daném území. Dle typu tohoto mezidruhového ovlivňování rozlišujeme z hlediska interakcí tři základní mechanismy sukcese, a to facilitaci, toleranci a inhibici (CONNELL & SLAYTER 1977). První z nich, tedy model facilitace, nám říká, že nástup a růst nových

druhů je ovlivněn druhy, které se v dané lokalitě vyskytovaly dříve. Tyto dřívější druhy dle tohoto modelu mění prostředí a tím připravují vhodné podmínky pro kolonizaci dalších druhů. Druhým modelem je model tolerance. Ten popisuje situaci tolerování nově přichozích druhů, efekt dřívějšího druhu na reprodukci druhu navazujícího je neutrální. V praxi to znamená, že nové kolonizátory neovlivňuje ani pozitivně, ani negativně. Posledním modelem je model inhibice, který nám říká, že původní druhy se snaží odolávat přílivu nových druhů. Původní silnější druh zabírá své místo, a buď zcela zabraňuje kolonizaci novými druhy, nebo se ji zpomaluje (CONNELL & SLAYTER 1977, SCHOWALTER 2011). Mezi tyto mezidruhové interakce můžeme zařadit například predaci (SCHOWALTER 2011).

#### Šíření a způsob pohybu

Schopnost šířit se a druh pohybu také ovlivňuje, jak rychle bude nový terén kolonizován. Zpravidla rozlišujeme čtyři druhy pohybů. Jde o drift, lezení po substrátu, plavání a u dospělců okřídlených druhů se setkáváme i s létáním (MACKAY 1992). Drift představuje druh pasivního pohybu, při kterém se jedinci pohybují po proudu toku. Jde o jeden z nejběžnějších druhů pohybu vodních bezobratlých (BILTON et al. 2001). Lezení, plavání a létání jsou poté druh aktivního pohybu, kterým se jedinci mohou pohybovat i proti směru proudu (GRIFFITH et al. 1998, VERDONSCHOT et al. 2014). Druhy, které mají okřídlená dospělá stádia a mají tak schopnost létat se mohou pohybovat i přes souš a mohou se tak šířit i mezi jednotlivými rameny řek či mezi různými vodními plochami. To ale platí zejména pro druhy, které jsou dobrými letci, jako jsou například vážky. Slabí či neobratní letci se vyznačují zejména letem podél toku, který obývají (TONKIN et al. 2018). Okřídlené druhy tak mají oproti nelétavým druhům velkou výhodu. Důvodem k pohybu a šíření může být přítomnost predátorů, parazitů, omezenost potravních zdrojů či změna přírodních podmínek (BILTON et al. 2001).

## 2.4 Osidlování postindustriálních stanovišť vodními bezobratlými

Mezi antropogenní stanoviště, která mohou být osidlována a na kterých může docházet k sukcesi, patří například místa, která byla v minulosti zasažena těžbou nerostných surovin. Tato místa jsou charakteristická tím, že na nich po těžební aktivitě nezůstává žádný pozůstatek života, ve smyslu rostlin, jejich semen a živočichů. Jde tedy o typický příklad primární sukcese (PRACH & WALKER 2020). Mezi takováto stanoviště patří například opuštěné lomy, výsypky dálniční násypy, deponie, šterkovny či pískovny. Takováto místa mohou poskytovat útočiště nejen pro běžné druhy rostlin a živočichů, ale také pro vzácné a ohrožené druhy, často pionýrské nebo adaptované na extrémní podmínky (TROPEK & ŘEHOUNEK 2012). Na těchto stanovištích může také docházet k tvorbě zcela nových vodních biotopů.

Mohou vznikat dva typy vod, a to buď vody dočasné nebo vody přetrvávající delší časovou periodu. Mezi dočasné vody můžou patřit například zatopené odvodňovací příkopy, louže nebo jezírka, která vznikla před povrchovou úpravou výsypek. K trvalejším vodám patří například zbytkové jámy, poldry, jezírka, nádrže či zatopené propadliny po hlubinné těžbě. Vody trvalejšího typu se mohou vyznačovat tím, že mají specifické vlastnosti a chemismus (PŘIKRYL 2003). Trvalejší vody mají tendenci obsahovat vyšší koncentrace některých solí či kovů. Například na Sokolovsku, kterému se tato práce věnuje, je koncentrace některých solí (např. síranů) až řádově vyšší oproti normě. Při zvýšených koncentracích může docházet u některých sloučenin k jejich srážení. Příkladem jsou například uhličitany, které se dokáží vysrážet v podobě specifického minerálu - pěnovce. Vznikají tak pěnovcové potoky a mokřady, které mohou poskytovat útočiště pro vzácné a ohrožené druhy adaptované na tento typ substrátu. Dalšími útvary, které mohou vznikat díky vyšší koncentraci solí, jsou například i slaniska. Dalším charakteristickým rysem vod vzniklých po těžbě je i nízká trofie vody. Tyto vody jsou většinou na úrovni mezotrofie či oligotrofie. Postupem času ale dochází k hromadění živin a postupné eutrofizaci (PŘIKRYL 2003).

## 2.5 Pěnovcové mokřady a potoky

Z ekologického hlediska jsou z různých vodních biotopů na výsypce, jako jsou propadliny, pinky, přeložky toků, jezírka, louže, odvodňovací příkopy, zatopené jámy, nádrže či poldry, nejvýznamnější pěnovcové mokřady a potoky (PŘIKRYL 2003, PŘIKRYL 2006). Vzhledem k vysokým koncentracím uhličitánů a síranů jde o vody s extrémním chemismem, kde často dochází ke srážení pěnovce (PŘIKRYL 2006, POLÁŠKOVÁ et al. 2017). Ten vzniká srážením jak ve studených, tak teplejších vodách (RIVOLA 1982). Pěnovec se v potocích může srážet v podobě krusty a pokrývat jejich dna (BARTOŠOVÁ et al. 2019) nebo vytváří charakteristické kaskády (RIVOLA 1982). Ačkoliv vysoká koncentrace síranů může být pro organismy škodlivá a zvyšovat pH vody, v některých případech může docházet k neutralizaci těchto síranů. Tak tomu je například na námi sledované Velké podkrušnohorské výsypce, kde jsou sírany neutralizovány uhličitany, obsaženými v cyprisových jílech, které výsypku tvoří. Díky takovéto specifčnosti vody mohou pěnovcové potoky vzniklé na výsypkách poskytovat útočiště pro některé vzácné a ohrožené druhy rostlin i živočichů (FROUZ et al. 2007, POLÁŠKOVÁ et al. 2017).

## 2.6 Využití sukcese jako formy ekologické obnovy

Pojem ekologická obnova popisuje obnovu krajiny, která byla nějakým způsobem narušena či zničena především činností člověka. Mezi hlavní cíle této obnovy patří obnova ekosystémů či jejich pouhých částí. Může jít například o obnovu říčních ekosystémů, ekosystémů na orné půdě, obnova lučních a lesních porostů či míst narušených těžbou. Obnova těchto lokalit může probíhat třemi základními způsoby. Prvním způsobem je spontánní sukcese bez zásahů člověka, druhým je přirozená sukcese, která je usměřovaná člověkem, a třetím možným způsobem je rekultivace s použitím technických postupů, při kterých do obnovy zasahuje člověk (PRACH et al. 2007, ŘEHOUNEK et al. 2010).

### Spontánní sukcese

Ponechání obnovovaného útvaru spontánní, neboli přirozené, sukcesi je postup ekologické obnovy, při kterém je krajina nechána bez jakéhokoli zásahu člověkem (ŘEHOUNEK et al. 2010). Jde o poměrně levnou metodu obnovy, která vede k vytvoření hodnotných a přírodě více podobných ekosystémů. Jde však o vcelku nepředvídatelný a časově poměrně náročný druh obnovy (FROUZ et al. 2007, VRÁBLÍKOVÁ et al. 2008). Některé lokality navíc není možné ponechat sukcesi kvůli silnému narušení krajiny. V takovýchto případech je řešením většinou technická rekultivace (REITSCHMIEDOVÁ & FROUZ 2016).

### Řízená sukcese

Řízená, neboli usměrňovaná, sukcese je dalším typem obnovy krajiny. Spolu se spontánní sukcesí bývá hojně využívána při ekologické obnově míst spojených těžbou nerostů, jako jsou například lomy, pískovny či výsyvky (ŘEHOUNEK et al. 2010, CHUMAN 2012). Oproti spontánní sukcesi se řízená sukcese liší zásahy ze strany člověka. Většinou jde o odstraňování invazních či nežádoucích druhů nebo naopak o přidání žádoucích druhů (CHUMAN 2012, REITSCHMIEDOVÁ & FROUZ 2016). Jde o jakýsi spojovací můstek mezi spontánní sukcesí a rekultivací, při kterém vzniká více heterogenní prostředí (REITSCHMIEDOVÁ & FROUZ 2016).

### Technická rekultivace

Zpravidla rozlišujeme čtyři typy rekultivací – a zemědělskou, lesnickou, hydrickou a účelovou rekultivaci. Při prvních dvou typech dochází k návratu zemědělské a lesnické produkce na daném území. Výsledkem pak mohou být trvalé travní nebo lesní porosty, pole, nebo například vinice. Při hydrické rekultivaci dochází ke vzniku nových vodních útvarů, jako jsou například záchytné příkopy, drény, kanály, nebo dokonce jezera (GREMLICA et al. 2011, CHUMAN 2012, CHUMAN 2015). Při těchto rekultivacích se využívají různé technické postupy, kterými je krajina měněna, přičemž dochází k zániku krajinné pestrosti (CHUMAN 2015). Oproti spontánní a řízené sukcesi jsou výsledky tohoto způsobu obnovy nejvíce vzdáleny od přirozených ekosystémů a vzniká poměrně uniformní krajina, která

nenabízí příliš vhodné útočiště pro vzácnější druhy (HODAČOVÁ & PRACH 2003, TROPEK et al. 2010, CHUMAN 2012). Problémem je to, že technické rekultivace se na místech těžby začínají uplatňovat až po jejím skončení a často se tak stává, že jsou během ní vymýceny vzácné a chráněné druhy či dokonce zničeny celé jejich biotopy. Příkladem takovýchto biotopů jsou tůně s obojživelníky, které jsou při rekultivacích většinou zavezeny (CHUMAN 2012).

## 3 Chrostíci

### 3.1 Základní charakteristika

Chrostíci, vědeckým názvem Trichoptera, jsou druhem menšího až středně velkého holometabolního hmyzu, tedy hmyzu s proměnou dokonalou (ZAHRADNÍK 2015, MERRITT & CUMMINS 2019). Skupina chrostíků je blízce příbuzná skupině motýli (Lepidoptera) a sdílí s nimi některé rysy (MERRITT & CUMMINS 2019, DE MOOR & IVANOV 2008, MORSE 2009). Holometabolní hmyz se vyznačuje dokonalou proměnou, z vajíček líhnou larvy zcela odlišné od dospělců. Během vývoje se tato larva několikrát svléká a při posledním svléknutí se zakuklí. Vzniká tak chitinózní kukla, ze které se následně vylíhne dospělec (imago) (RIETSCHER 2011). Vývojový cyklus chrostíků, zejména larvální stádium, je úzce spjaté s vodním prostředím, zatímco okřídlení létající dospělci jsou poté suchozemští. Celý vývojový cyklus poté může být univoltní, tedy jednoroční, až tříletý (MORSE 2009).

### 3.2 Vývojová stádia a jejich morfologie

#### Vajíčka

Vajíčka chrostíků jsou kladena dospělci buď přímo do vody nebo blízko ní (ROSS 1944). Mají kulatý či oválný tvar a jsou kladena na pevný podklad, jako jsou kameny či vodní vegetace. Na něm drží díky želatinové polysacharidové látce zvané spumalin, která navíc vajíčka chrání před predátory (ZAHRADNÍK 2015, MORSE et al. 2019). Tento obal je také první potravou vylíhnuté larvy (ZAHRADNÍK 2015). Vajíčka jsou kladena ve větším množství – desítky až stovky vajíček a jsou formovány do skupin. Tyto kupky mohou nabývat rozmanitých tvarů a formací. Po naklazení vajíček dochází většinou po několika dnech k vylíhnutí larvy, kde důležitým faktorem je okolní teplota. Pokud teplota není vhodná, mohou vajíčka upadnout do diapauzy a proces líhnutí se tak může protáhnout až na několik měsíců (MORSE 2009).

### Larvy

Z vajíček se líhnou larvy, které nejsou podobné dospělcům. Na rozdíl od dospělců, kteří jsou si druhově vzájemně velmi podobní vzhledem, larvy se dají určit mnohem snadněji, jelikož zde je mnohem více charakteristických znaků pro jednotlivé druhy. Dalším rozdílem oproti dospělcům je i způsob dýchání. Zatímco larvy a kukly dýchají kyslík rozpuštěný ve vodě, dospělci dýchají vzdušný kyslík (DE MOOR & IVANOV 2008). Během tohoto stádia larva prochází zpravidla pěti instary, u některých druhů může být počet i vyšší (MORSE 2009). Larvy chrostíků jsou morfologicky i ekologicky velmi diverzifikované a obývají velkou škálu vodních habitatů (DE MOOR & IVANOV 2008). Můžeme rozlišit dva typy larev. První z nich je larva kampodeiformní. Ta je vývojově primitivnější a vyznačuje se zploštělým tělem a hlavou směřující dopředu (prognátní). Takovéto larvy se pohybují po dně či po vodní vegetaci a mohou si na kamenech vytvářet chodbičky. Druhým typem larvy je larva eruciformní. Ta má válcovitý tvar připomínající housenku (eruca) a na rozdíl od kampodeiformní larvy hlava směřuje ústním ústrojím dolů (hypognátní). Tyto larvy si vytvářejí schránky, ze kterých vyčnívá ven jen hlava a kráčivé končetiny (ZAHRADNÍK 2015).

Tělo larvy chrostíků je stejně jako tělo dospělého tvořeno hlavou, hrudí a zadečkem (ROZKOŠNÝ 1980). Hlava larev je dobře sklerotizovaná, složená ze dvou párovitých částí zvaných parietalia a nepárového čelního štítku (frontoclypeus). Právě tvar tohoto nepárového štítku může být pro některé druhy charakteristickým znakem. Parietalia a frontoclypeus jsou spojeny dvěma švy, a to epikraniálním švem a hypokraniálním švem. Epikraniální šev se nachází podél frontoclypea a je rozvětvený na frontální větev. Vzniká tak vidlicovitý šev, po jehož obou stranách se táhnou tmavé vidlicovité pásy. Na bocích hlavy leží oči složené ze šesti oček. Z hlavy dospělého také vyrůstají dlouhá tykadla, v larválním stádiu jsou ale zakrnělá. Ústní ústrojí larev chrostíků je kousacího typu a je složené z několika částí. Jedná se o horní pysk (labrum), poměrně silná, avšak krátká kusadla (mandibuly) a útvar vzniklý srůstem spodního pysku a čelistí, který je označován jako maxillolabium. Ke zmíněnému útvaru se dále přikládají malé sklerity trojúhelníkovitého tvaru zvané mentum a submentum (ROZKOŠNÝ 1980).



Hrud' (thorax) je u larev složena ze tří článků, které dále nesou tři páry kráčivých končetin. Dorsální strana předohrudi se nazývá pronotum, středohrudi mesonotum a zadohrudi metanotum (MERRITT & CUMMINS 2019). U jednotlivých čeledí se liší, zda je sklerotizováno jen pronotum nebo i mesonotum a metanotum. Spodní strany těchto článků jsou u většiny druhů blanité, u některých druhů se ale může na prvním článku objevit drobný sklerit, takzvané prosternum, který dále často vybíhá dopředu v rohovitý výběžek. Může být patrný také další malý sklerit, zvaný sternellum, který se nachází za prosternem. Boční části hrudi jsou zpevněny pleuronem, který může být rozdělen na 3 pleurální sklerity – episternum, epimeron a trochantin. Právě k pleuronu jsou připojeny kráčivé končetiny. Ty jsou složeny z šesti článků. Jde o kyčel (coxa), příkýčlí (trochanter), stehno (femur), holeň (tibia), chodidlo (tarsus) a koncový drápek (unguiculus) (ROZKOŠNÝ 1980). Z těchto článků končetin poté u některých druhů vyrůstají štěty, které jsou rovněž jedním z poznávacích znaků. U některých druhů (např. z čeledi Leptoceridae) lze také pozorovat i značné obrvení posledního páru končetin. Tato adaptace má pomáhat při pohybu plaváním (GALL et al. 2011). Tělo larvy chrostíka je na mnohých místech dále kryto sklerotizovanými výrůstky – ostny nebo štětinami. Ostny plní především ochrannou funkci a nalézají se především na končetinách, zatímco štětiny, které jsou tmavěji zbarvené, plní funkci smyslovou a můžeme je nalézt po celém těle larvy. U některých jedinců se setkáváme i s jemnějšími smyslovými štětinami v oblasti zadečku, které vytvářejí útvar zvaný postranní čára (ROZKOŠNÝ 1980).

Zadeček (abdomen), je měkký a blanitý, tedy nesklerotizovaný, a skládá se z deseti článků. Na prvním a devátém článku se občas může na svrchní straně u některých druhů vyskytnout sklerotizovaný štítek, takzvaný tergum, který poté může být rozdělen na menší celky zvané tergity. Poslední článek zadečku nese jeden pár pošinek, což jsou anální nožky opatřené na konci drápkami. Na člancích zadečku jsou u některých druhů v řadách také přítomny tracheální žábry, které mohou nabývat buď prstovitého či keříčkovitého tvaru (ROSS 1967, ROZKOŠNÝ 1980). V některých případech se můžeme setkat i s žábry vyrůstajícími z hrudních článků či s análními žábry. Některé druhy larev nemají naopak žábry vůbec, v těchto případech larva dýchá celým povrchem těla (ROZKOŠNÝ 1980).

Larvy chrostíků jsou známy nejvíce tím, že jsou schopny stavět si schránky a úkryty které je chrání buď před nepříznivými vlivy okolí nebo před predátory, kteří se nacházejí v jejich blízkosti (DE MOOR & IVANOV 2008). Schránky také napomáhají jako kamufláž nebo mají pomocnou funkci při dýchání (MORSE 2009). Tyto schránky jsou budovány z hedvábí, které larvy produkují svými snovacími žlázami, které vznikly z původně slinných žláz a z materiálu, který se nalézá v okolí (MORSE 2009, MORSE et al. 2019). Chrostíci ke stavbě těchto útvarů mohou používat drobné kamínky, šterk, zrnka písku, kousky napadaného listí, větvičky nebo úlomky ze schránek měkkýšů. V posledním instaru si larvy schránku přebudovávají na úkryt. Larvy ale mohou žít také volně (MORSE et al. 2019). Příkladem volně žijících larev mohou být například zástupci čeledí Hydrobiosidae a Rhyacophilidae. V těchto případech si úkryt stavějí zcela nový. V těchto úkrytech poté přebývají, než se z nich stane kukla (MORSE 2009).

### Kukly

Po posledním svlékání se larva zakuklí a vzniká kukla, v případě chrostíků kukla volná (pupa exarata). Kukla je volná a její forma se ale může lišit dle typu larev. U kampodeiformních larev je zakuklený jedinec uzavřen v kožovitém kokonu, který je připevněný pevně na podkladu a je obalený zrnky písku či drobnými kamínky. U eruciformních larev se jedinec zakuklí v larvální schránce, která je na obou koncích uzavřena víčkem s otvory. Kukla se svým vzhledem na rozdíl od larvy více přibližuje dospělci, neboť se u ní setkáváme již s křídlovými a tykadlovými pochvami. V tomto stádiu vývoje má chrostík stále velká silná funkční kusadla, která požívá při líhnutí k uvolnění se ze schránky. Tracheální žábry na člancích abdomenu jsou stále přítomny, můžeme se zde ale dále setkat se sklerity a přichytnými háčky, které napomáhají dýchacím pohybům kukly. Na koncovém zadečkovém článku některých druhů chrostíků se u kukel můžeme setkat s různými výběžky či štětinami, které slouží k čištění víček (ROZKOŠNÝ 1980). Z kukly se poté stává dospělý jedinec většinou po dvou až třech týdnech (MORSE 2009). Jakmile je kukla připravena k přeměně v imago, prokousá přední víčko svého úkrytu a vyplave volně na hladinu nebo se přichytí k plovoucímu předmětu. Zde se poté líhne okřídlený dospělý jedinec, jehož tělo ovšem není zatím plně sklerotizováno. Dospělec je ale už schopen rychlého odletu. Rychlost

je v tomto případě důležitá, neboť by se dospělec mohl stát kořistí jiného živočicha. Imago poté letí většinou na břeh, kde se usadí na kamení nebo vegetaci a vyčkává, než se jeho tělo plně sklerotizuje (COLLIER & SMITH 2004, MORSE 2009).

### Dospělci

Po vylíhnutí z kukly se z jedince stává imago. Imaga chrostíků jsou značně podobná motýlům a můrám, najdeme zde ale několik odlišných znaků. Hlava dospělců nese dvě velké složené oči a dvě až tři jednoduchá temenní očka. Směrem dopředu vyrůstají i dlouhá nitkovitá tykadla, která jsou značně článkovaná, čímž se liší od motýlů. Tato tykadla jsou většinou stejně dlouhá jako tělo chrostíka (ZAHRADNÍK 2015). Původně kousací ústrojí larev u dospělců zakrňuje a společně se spodním pyskem je přetvořeno v lízací orgán zvaný haustellum (MERRITT & CUMMINS 2019). Dospělci mají delší štíhlé tělo, které může nabývat u našich druhů až 25 mm (ROZKOŠNÝ 1980). Z hrudi vyrůstá šest dlouhých, štíhlých, kráčivých končetin, které jsou v tomto vývojovém stádiu často opatřené ostruhami na holeních (ROZKOŠNÝ 1980). Na svrchní straně meso- a metathoraxu vyrůstají dva páry křídel, které dospělec skládá střežovitě nad zadeček (ROZKOŠNÝ 1980, KOLIBÁČ et al. 2019). Na rozdíl od motýlů, kteří mají křídla pokryta šupinkami, mají chrostíci křídla jemně ochlupená. Rozpětí křídel u některých cizokrajných druhů může nabývat až 100 mm (DE MOOR & IVANOV 2008). Přední křídla jsou buď stejně dlouhá, nebo delší než zadní, zadní mohou být širší. Křídla jsou protkána hustou, převážně podélnou žilnatinou a slouží zejména ke kratším přeletům, většinou za účelem rozmnožování (ZAHRADNÍK 2015). Zbarvení chrostíků je dáno odstínem chlupů přítomných po celém těle dospělce), to ale není většinou nikterak výrazné. Může nabývat od nažloutlých odstínů přes hnědou až po černou barvu (ROZKOŠNÝ 1980, HOLZENTHAL et al. 2007, KOLIBÁČ et al. 2019). U některých druhů se můžeme setkat i s více barevnými vzory (DE MOOR & IVANOV 2008). Zadeček dospělce je válcovitý a má opět deset článků, kde na posledním z nich vybíhají pohlavní přívěsky, které hrají roli při rozmnožování.

Dospělci jsou aktivní především za večera a v noci (MERRITT & CUMMINS 2019). Imaga chrostíků nežijí příliš dlouho. U většiny druhů se jedná o dobu okolo několika týdnů, některá imaga z čeledi Limnephilidae mohou žít ale i déle jak tři měsíce (MORSE 2009,

MERRITT & CUMMINS 2019). Při pohlavní zralosti dospělé samice lákají samce feromony, zatímco u samců některých druhů je prokázáno lákání samic předváděním svých letových schopností. Při vybrání vhodného partnera dochází ke kopulaci a následnému kladení vajíček (MORSE 2009).

### 3.3 Pohyb a disperzní schopnosti chrostíků

Šíření chrostíků do okolí je u larev dáno zejména dostupností potravy, množstvím predátorů, substrátem či druhem jejich pohybu (JACKSON et al. 1999). Důvodem k pohybu larev může být i hledání materiálu ke stavění schránek (VERDONSCHOT et al. 2014). Stejně jako larvy ostatního vodního hmyzu se chrostíci mohou pohybovat buď směrem po proudu toku, nebo naopak proti němu (GRIFFITH et al. 1998). Tento pohyb ve vodě se pak dělí na aktivní a pasivní, přičemž jako pasivní způsob pohybu bývá převážně driftování, kdy jsou larvy unášeny vodními proudy směrem toku řeky či potoka. Mezi aktivní způsoby pohybu larev patří zejména lezení či v některých případech i plavání. Tímto způsobem jsou chrostíci schopni pohybovat se i proti proudu řeky (GRIFFITH et al. 1998, VERDONSCHOT et al. 2014, GRAHAM et al. 2017). Schopnost a rychlost lezení larev se odvíjí od typu jejich schránky. Pokud jsou chrostíci volní či mají schránky z lehčích materiálů, pohybují se rychleji, zatímco jedinci s těžkými schránkami jsou pomalejší a těžkopádnější (VERDONSCHOT et al. 2014). Aktivního plavání nejsou schopny všechny druhy chrostíků, ale některé druhy například z čeledi Leptoceridae mají dlouhé končetiny se speciálně přizpůsobenými chloupky k plavání (GALL et al. 2011). Plavání je jinak u chrostíků pozorováno, zejména u kukel, které při líhnutí plavou na hladinu (MORSE 2009), kde se poté líhnou. U larev jiných druhů, například z čeledi Limnephilidae, bylo prokázáno, že jsou schopny vylézt z vodního prostředí na břeh a vyhledávat zde potravu (GLIME 2017c).

Zatímco larvy jsou vázány zejména na vodní prostředí, okřídlení dospělci jsou terestričtí a pohybují se na souši. Skoro všichni dospělí chrostíci jsou po vylíhnutí schopni letu, najdou se ale některé druhy s kratšími křídly, které jim znemožňují let. Tyto druhy se skrývají ve

vegetaci nebo mezi kameny po většinu času své dospělosti (MORSE 2009). Účelem aktivního pohybu dospělců letem je zejména účel rozmnožit se (ZAHRADNÍK 2015).

### 3.4 Potravní strategie

Potravní strategie chrostíků jsou poměrně rozmanité a liší se druh od druhu. Zatímco se imaga během své vývojové fáze živí pouze nektarem z květů nebo nepřijímají během svého života potravu vůbec, larvy mají v tomto ohledu poměrně větší variabilitu (ZAHRADNÍK 2015). Zpravidla rozlišujeme 5 typů potravních strategií. Jsou to sběrači, filtrátoři, škrabači, kouskovači a predátoři. Sběrači se specializují na sbírání malých kousků organické hmoty ze substrátu, na kterém žijí. Tuto potravní strategii využívají zejména první instary většiny známých druhů. Filtrátoři na rozdíl od sběračů nevyužívají potravu ze substrátu, ale zachytávají potravu z proudící vody. K tomu tyto druhy většinou využívají sítě, které si jsou schopny vytvářet svými předními ochlupenými končetinami za použití hedvábí tvořeného jejich slinnými žlázami (MORSE 2009, MERRITT & CUMMINS 2019). Škrabači se živí seškrabáváním nárostů řas z kamenů či houbami rostoucími na substrátu. Kouskovače můžeme rozdělit na dva typy. Prvním typem jsou býložraví kouskovači, kteří se živí okusováním listů z živých rostlin. Druhým typem jsou detritovorní kouskovači, kteří se živí hnijícími kousky dřeva nebo zbytky listů, případně i houbami a bakteriemi (MORSE 2009). Posledním typem strategie u chrostíků je predace. Predátoři se živí naháněním živé potravy, která se pohybuje v jejich blízkosti. Většinou jde o jiný druh hmyzu, může jít ale také o malé korýše nebo kroužkovce. Predátor kořist nejdříve buď sežvýká, nebo ji polyká v celku. U některých druhů byla zjištěna i konzumace masa již zemřelých živočichů (například ryb), kanibalismus či dokonce parazitismus (ROSS 1944, MACKAY & WIGGINS 1979, WELLS 2005, MORSE 2009, PRICE et al. 2011). První instary chrostíků se živí malými organickými částicemi. Nejsou-li larvy chrostíků predátory, je tato hmota tvořena především řasami a rostlinným materiálem (MERRITT & CUMMINS 2019).

### 3.5 Výskyt

Historicky se s předky chrostíků můžeme setkat již ve středním a pozdním triasu. Tito předkové obývali kontinent Gondwana a její pozdější rozpad vedl k izolaci a následné diverzifikaci této skupiny (DE MOOR & IVANOV 2008). V současné době známe okolo 13 000 druhů chrostíků po celém světě (DE MOOR & IVANOV 2008, MORSE 2009). Můžeme se s nimi setkat ve všech typech sladkých vnitrozemských vod po celém světě s výjimkou polárních oblastí jako je Antarktida (DE MOOR & IVANOV 2008, MORSE 2009), a to jak v tekoucích vodách, tedy potocích a řekách, tak ve vodách stojatých, jako jsou tůňe, mělká jezera a rybníky (DE MOOR & IVANOV 2008, MERRITT & CUMMINS 2019). Zde se larvy uchycují většinou na spadáných listech, živých rostlinách, klacících, odumřelém dřevě či na kamenech, písku či šterku. Důležitým faktorem, který by voda měla splňovat, je její relativní čistota a množství rozpuštěného kyslíku (MORSE 2009). Můžeme se setkat ale i s druhy, kterým k životu stačí pouze vzdušná vlhkost (ROSS 1967). V těchto případech jsou schopni žít i ve vlhkých meších či lesním podrostu (MACKAY & WIGGINS 1979, HARDING 1998). Některé druhy například z čeledi Chathamidae mají zvýšenou toleranci k obsahu soli ve vodě, což má za následek i schopnost obývání brakických vod či přílivových jezírek na mořském pobřeží (DE MOOR & IVANOV 2008).

V České republice se s chrostíky můžeme setkat na celém území státu. Je zde známo okolo 258 druhů chrostíků toto číslo se však neustále mění, neboť je seznam druhů často aktualizován (CHVOJKA et al. 2009, KOMZÁK & KROČA 2011, CHVOJKA et al. 2016, KOLIBÁČ et al. 2019). Na našem území jsou k roku 2016 zaznamenány druhy z 20 čeledí, a to z čeledí Apataniidae, Beraeidae, Brachycentridae, Ecnomidae, Glossosomatidae, Goeridae, Hydropsychidae, Hydroptylidae, Lepidostomatidae, Leptoceridae, Limnephilidae, Molannidae, Odontoceridae, Philopotamidae, Phryganeidae, Polycentropodidae, Psychomyiidae, Ptilocolepidae, Rhyacophilidae a Sericostomatidae (CHVOJKA 2008, CHVOJKA et al. 2009, KOMZÁK & KROČA 2011, CHVOJKA et al. 2016). Tyto čeledi se poté mohou rozdělit do tří skupin, a to Annulipalpia, Integripalpia a „Spicipalpia“ (DE MOOR & IVANOV 2008).

### 3.6 Stručná charakteristika čeledí chrostíků v ČR

Seznam čeledí vyskytujících se v ČR je zde abecedně seřazen a ke každé z nich je uvedena stručná charakteristika larev, spočívající především v popisu jejich schránky, potravní strategii a jejich habitatové preferenci.

#### Apataniidae

Tato skupina chrostíků dříve spadala pod čeleď Limnephilidae. Larvy chrostíků z této skupiny si staví schránky z malých kamínků. Obývají zejména chladné tekoucí vody, některé druhy je ale možné nalézt i v jezerech. Většina larev se živí perifytonem (HOLZENTHAL et al. 2007).

#### Beraeidae

Jedinci z této skupiny si staví schránky ze zrněk písku. Můžeme se s nimi setkat v potocích například mezi porosty mechu, v napadaném listí či mezi vodní vegetací. Tato skupina se může živit například kousky rostlin a hub (HOLZENTHAL et al. 2007).

#### Brachycentridae

Larvy z této skupiny si staví schránky u rostlinného materiálu, kamínků nebo pouze z hedvábí, které samy produkují. Mohou obývat jak rychleji tekoucí vody, tak ty pomalejší. Larvy jsou většinou filtrátoři, sběrači či kouskovači, kteří se živí například nárosty vodních mechů (BOUCHARD 2004, HOLZENTHAL et al. 2007)

#### Ecnomidae

Tito chrostíci si staví válcovité schránky z hedvábí a jemného písku, které jsou následně připevněny ke kamenům, dřevu či vodní vegetaci (HOLZENTHAL et al. 2007). Můžeme se s nimi setkat jak v tekoucích vodách, tak ve vodách stojatých (HOLZENTHAL et al. 2007, GLIME 2017a).

### Glossosomatidae

Schránky těchto chrostíků jsou kupolovitého tvaru a jsou poměrně odolné a nenápadné. Bouchard (2004) tyto schránky připodobňuje k želvímu krunýři. Jedná se především o škrabače, seškrabávající nárosty řas či rozsivek (BOUCHARD 2004, SHAPAS & HILSENHOFF 1976), se kterými se můžeme setkat na kamenech v chladnějších tekoucích vodách, ale i v jezerech (SHAPAS & HILSENHOFF 1976, BOUCHARD 2004, GLIME 2017b).

### Goeridae

Larvy této skupiny si staví schránky z úlomků kamenů, a to jak malých, tak i těch větších. Většina druhů žije v chladných tekoucích vodách a živí se perifytonem (HOLZENTHAL et al. 2007, GLIME 2017b).

### Hydropsychidae

Tato skupina je známá především svými hedvábnými sítěmi a můžeme se s ní setkat v tekoucích vodách od malých potoků po větší řeky (BOUCHARD 2004). Síť si připevňuje ke kamenům v tekoucích vodách a jsou určené k zachytávání detritu či mikroorganismů. Jde tedy o filtrátory, některé druhy této skupiny se živí i živou potravou (SHAPAS & HILSENHOFF 1976, BOUCHARD 2004, HOLZENTHAL et al. 2007). Tato skupina bývá na tocích většinou velmi početná a je důležitou součástí koloběhu živin v řekách a potocích (HOLZENTHAL et al. 2007).

### Hydroptilidae

Larvy této skupiny jsou poměrně diverzifikované. Většina druhů si staví schránky z hedvábí nebo písku, některé druhy si ale staví ploché připevněné úkryty nebo žijí volně (BOUCHARD 2004, HOLZENTHAL et al. 2007). Můžeme se s nimi setkat od potoků po jezera a živí se jako škrabači (SHAPAS & HILSENHOFF 1976, BOUCHARD 2004).



### Lepidostomatidae

Schránky této čeledi jsou především stavěny z listů či kůry stromů a jsou většinou čtyřhranné, občas využívají ale také zrnka písku (BOUCHARD 2004, HOLZENTHAL et al. 2007). Larvy obývají chladnější prameny a potoky, můžeme se s nimi setkat ale i při březích jezer. Jde převážně o detritovory (BOUCHARD 2004, HOLZENTHAL et al. 2007).

### Leptoceridae

Larvy čeledi Leptoceridae si mohou stavět velkou škálu typů schránek. Jsou především válcovitého tvaru a mohou být tvořeny pouze hedvábím, úlomky listů, zrnky písku i většími kamínky (BOUCHARD 2004, HOLZENTHAL et al. 2007). Můžeme se setkat ale i s plochými či spirálově skládanými schránkami (HOLZENTHAL et al. 2007). S touto čeledí se můžeme setkat v nejrůznějších biotopech, od horských pramenů po potoky řeky. Jedinci mohou být nalezeni i v jezerech a dočasných tůních. Některé larvy jsou i semi-terestriální a žijí v blízkosti vodopádů (BOUCHARD 2004, HOLZENTHAL et al. 2007). Tato skupina se živí jako sběrači či kouskovači (živí se perifytonem či listím) nebo jsou to predátoři (BOUCHARD 2004, HOLZENTHAL et al. 2007).

### Limnephilidae

Jde o nejvíce diverzifikovanou skupinu chrostíků. Larvy tak mohou obývat velkou škálu habitatů – od jezer přes prameny až po močály (BOUCHARD 2004, HOLZENTHAL et al. 2007). Můžeme se s nimi setkat i v dočasných jezírkách a pramenech (HOLZENTHAL et al. 2007). Schránky si mohou stavět jak z rostlin, tak z různých kamínků, větviček a písku (BOUCHARD 2004, HOLZENTHAL et al. 2007). Tato skupina se živí především jako kouskovači (BOUCHARD 2004).

### Molannidae

Larvy této skupiny si staví poměrně těžké schránky z písku s velkými bočními výběžky či anteriorními výběžky, které slouží například jako ochrana před predátory (HOLZENTHAL et al. 2007). Žijí na písčítých dnech jezer, pramenů a potoků

(BOUCHARD 2004, HOLZENTHAL et al. 2007). Larvy se živí řasami, rozsivkami, spadáním listím nebo dalšími vodními bezobratlými (HOLZENTHAL et al. 2007).

### Odontoceridae

Larvy této čeledi žijí v pramenech, potocích či středně velkých řekách, můžeme je ale nalézt také v blízkosti vodopádů (BOUCHARD 2004, HOLZENTHAL et al. 2007). Upřednostňují spíše pomalu proudící toky, kde žijí v na písčitéch či štěrkových povrchích (BOUCHARD 2004, HOLZENTHAL et al. 2007). Schránky si staví ze zrn písku či kamínků. Larvy jsou omnivorní a mohou se živit jak detritem, rostlinami, mechy, řasami či vodními členovci (HOLZENTHAL et al. 2007).

### Philopotamidae

Larvy této skupiny jsou vzhledově poměrně uniformní. Všichni si staví si podobné trubicovité sítě, které připevňují ke kamenům na dně toku (HOLZENTHAL et al. 2007). Žijí v tekoucích vodách od menších potůčků po řeky (BOUCHARD 2004). Larvy se živí mikroorganismy a detritem ze svých sítí (SHAPAS & HILSENHOFF 1976, HOLZENTHAL et al. 2007).

### Phryganeidae

Tito chrostíci si staví schránky především z rostlinného materiálu, který upravují a připevňují k sobě v prstencích či ve spirálách (BOUCHARD 2004, HOLZENTHAL et al. 2007). Larvy můžeme najít mezi vodní vegetací na dně rybníků či močálů, některé druhy obývají také pomalu tekoucí vody či hluboká jezera. Mohou se živit jak jako predátoři, tak jako býložravci (BOUCHARD 2004, HOLZENTHAL et al. 2007).

### Polycentropodidae

Larvy této čeledi si staví různé druhy sítí v závislosti na jejich využití (HOLZENTHAL et al. 2007). Žijí většinou v teplejších, pomalu tekoucích potocích a řekách či v jezerech a rybnících (BOUCHARD 2004). Většina zástupců této skupiny jsou predátoři, najdeme mezi

nimi ale i sběrače či filtrátory (SHAPAS & HILSENHOFF 1976, BOUCHARD 2004, HOLZENTHAL et al. 2007).

#### Psychomyiidae

Tito chrostíci si staví trubicovité labyrinty pokryté například pískem, které budují na kamenech, větvích nebo na kmenech spadlých stromů (BOUCHARD 2004, HOLZENTHAL et al. 2007). Žijí v chladných tekoucích vodách a živí se rozsivkami a řasami (BOUCHARD 2004, HOLZENTHAL et al. 2007).

#### Ptilocolepidae

Tato skupina byla vyřazena z čeledi Hydroptilidae a má s ní řadu společných znaků. Larvy této čeledi žijí volně během prvních instarů a v posledním instaru si staví hedvábné schránky. Živí se jako kouskovači řas či škrabači seškrabáváním perifytonu (MORSE et al. 2019)

#### Rhyacophilidae

Chrostíci této skupiny si nestavějí schránky (BOUCHARD 2004). Obývají především chladné, rychle proudící řeky a potoky (BOUCHARD 2004, HOLZENTHAL et al. 2007). Larvy žijí zejména volně, pod kameny či mezi vodním mechem a řasami a jsou to predátoři (SHAPAS & HILSENHOFF 1976, BOUCHARD 2004, HOLZENTHAL et al. 2007).

#### Sericostomatidae

Schránky této skupiny jsou většinou trubicovité a různě zakřivené. Mohou být vytvořeny například z písku či hedvábí (BOUCHARD 2004, HOLZENTHAL et al. 2007). Larvy těchto chrostíků obývají potoky, řeky a jezera především v mírných oblastech. Hlavní složkou jejich potravy jsou zbytky listů (HOLZENTHAL et al. 2007).

### 3.7 Význam chrostíků

Chrostíci jsou jedna z hlavních skupin větších bezobratlých v ekosystémech tekoucích vod, a to jak co se druhové diverzity týče, tak i hustoty (MORSE 2009). Larvy chrostíků žijí především v relativně neznečištěné vodě, proto mohou být ukazatelem čistoty vod (MORSE 2009, ROZKOŠNÝ 1980). Jsou také důležitou složkou potravních řetězců, neboť jsou častou složkou potravy některých druhů ryb či jiných vodních a suchozemských živočichů (ROZKOŠNÝ 1980, DE MOOR & IVANOV 2008, MORSE 2009, ZAHRADNÍK 2015). Toho se také využívá při rybaření, kde se jako návnada na ryby používají imitace především larev chrostíků (DE MOOR & IVANOV 2008, MORSE 2009). Larvy i dospělci mohou být potravou i jiných živočichů ve svém okolí. Některé druhy larev živící se seškrabováním řas napomáhají jejich růstu a produkci, čímž zajišťují potravu pro další konzumenty tohoto zdroje potravy; ve své podstatě by se to dalo přirovnat k sekání trávníku na zahradě (MORSE 2009). Chrostíci ale mohou mít také negativní význam. Příkladem můžou být chrostíci spřádající sítě, kteří mohou zablokovat potrubí vodních elektráren. Některé dřevem živící se druhy mohou také narušovat dřevěné stavby nalézající se u vody (MORSE et al. 2019).

## 4 Materiál a metodika

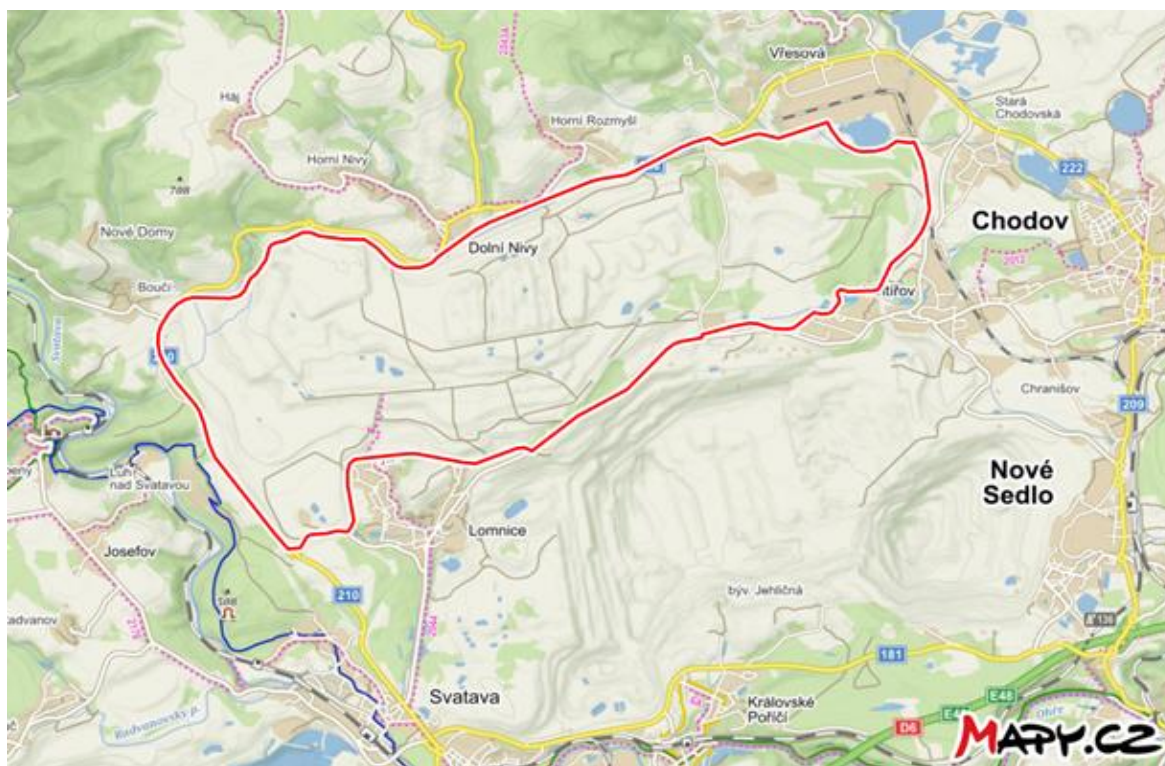
### 4.1 Studované území

#### Sokolovská pánev

Sokolovská pánev se nachází na západě České republiky v Karlovarském kraji a rozprostírá se jižně od pohoří Krušné hory (Obr. 1). Celá pánev zabírá zhruba 312 km<sup>2</sup>. Tato oblast je spojována zejména s těžbou hnědého uhlí, která zde probíhá již od 17. století (FROUZ et al. 2007), a probíhá zde do dnešní doby. Na počátku převládala spíše těžba hlubinná, od druhé poloviny 20. století jde ale už pouze o povrchovou těžbu (REITSCHMIEDOVÁ & FROUZ 2016). Z důvodu uskladnění vykopaného odpadního materiálu při těžbě začaly vznikat z návozu tohoto materiálu útvary zvané výsypky. Na území Sokolovska je v současné době zhruba 90 km<sup>2</sup> výsypek. Více jak polovina z nich je rekultivována. Značná část sokolovských výsypek je ale ponechána spontánní sukcesi (PRACH et al. 2010).



Obr. 1 – Mapa České republiky s vyznačením území Sokolovské pánve, Zdroj: Mapy.cz



Obr. 2 – Území Velké podkrušnohorské výsypky, Zdroj: Mapy.cz

### Velká podkrušnohorská výsypka

Výsypka se nachází v centru Karlovarského kraje v Sokolovské pánvi severně od města Sokolov. Celý útvar výsypky je na severu vymezen obcí Dolní Nivy, na východě obcí Vintířov, z jihu je ohraničen obcí Lomnice a ze západu obcí Boučí (Obr. 2). Jižně od výsypky se nalézá lom Jiří, z něhož pochází materiál, ze kterého je výsypka tvořena. Navážení této výsypky začalo již v 60. letech minulého století a bylo ukončeno až v roce 2003 (VÚHÚ a.s. 2003). Během této doby zde bylo uloženo zhruba 800 milionů m<sup>3</sup> zeminy (BROUMOVÁ et al. 2007). Celý útvar se byl vytvořen sloučením více menších výsypek, příkladem je výsypka Vintířov a výsypka Pastviny (DRECHSLER 2011). Velká podkrušnohorská výsypka byla ze značné části zrekultivována lesnickými a zemědělskými úpravami, část byla ponechána bez zásahu spontánní sukcesi (FROUZ et al. 2007, PRACH et al. 2010). Rozloha území

výsypky je zhruba 1957 ha a její nejvyšší bod se nachází ve výšce kolem 600 m. n. m. (BROUMOVÁ et al. 2007). Dle geologických map a záznamů VÚHÚ a.s. je tato výsypka tvořena především cyprisovými a uhelnými jíly a jílovci a dalšími podsypovými materiály (VÚHÚ a.s. 2003, REITSCHMIEDOVÁ & FROUZ 2016). Fakt, že je výsypka tvořena jílovitými materiály vede k nepropustnosti podloží a hromadění vod, což vede ke vzniku nových vodních útvarů, jako jsou například pěnovcová prameniště.

### Pěnovcové potoky

Pro tuto bakalářskou práci byly vybrány dva potoky pramenící na této výsypce. Oba potoky jsou si podobné zejména tím, že na nich dochází ke srážení pěnovce. Vybranými toky byly Modráčkový potok a Okružní potok. Modráčkový potok pramení na východní části výsypky, tedy poblíž obce Vintířov, zatímco Okružní potok pramení ve střední části této oblasti (Obr. 3, Obr. 4, Obr. 5).



Obr. 3 – Poloha Modráčkového a Okružního potoka na Velké podkrušňohorské výsypce, Zdroj: Mapy.cz, upraveno.

Oba potoky poté tečou směrem na jih, kde následně protékají podél lomu Jiří. Na těchto potocích byly v letech 2013/14 a 2019 odebírány vzorky makrozoobentosu a měřeny proměnné týkající se vody. Na Modráčkovém potoku byly vzorky odebírány na celkem šesti odběrových místech, na Okružním potoku bylo těchto míst sedm. U obou potoků bylo vždy jedním z těchto míst jejich prameniště, dále byly vzorky odebírány z míst po proudu toku samotných potoků. Společným rysem těchto pramenišť bylo, že kromě pěnovce se zde sráželo i železo, což vedlo k charakteristické oranžové barvě vody. Na dalších odběrových místech po proudu potoků docházelo už pouze ke srážení pěnovce. Ten poté na některých místech, zvláště na Okružním potoku, vytvářel již zmíněné kaskádové soustavy.



Obr. 4 – Odběrová místa na Modráčkovém (modrý) a Okružním potoce (oranžový), Zdroj: Google mapy, upraveno.

## Charakteristika odběrových míst

### Okružní potok

#### **O1 (50°13'16,3" N, 12°38'34,1" E)**

Jde o bahnité, trávou zarostlé mělké prameniště. Nenalézá se zde téměř vůbec vysrážený pěnovec, naopak zde dochází ke srážení železa. Z tohoto důvodu se na substrátu vytváří oranžový povlak.



**O2 (50°13'15,6" N, 12°38'37,4" E)**

Jde opět o široký, mělký a bahnitý úsek potoka, která je tentokrát hustě zarostlá rákosinou. Začíná se zde pomalu srážet pěnovec, jehož zastoupení je odhadováno na zhruba 50%.

**O3 (50°13'15,3" N, 12°38'38,3" E)**

Tento úsek potoka je stále poměrně široký a nalézá se v těsné blízkosti Ježkova vodopádu. Substrát na tomto odběrovém místě převládá spíše písčité, místy bahnitý. Dochází zde už ke většímu srážení pěnovce.

**O4 (50°13'13,6" N, 12°38'41,3" E)**

Odběrové místo se nalézá přímo pod Ježkovým vodopádem. Substrát byl více opět z části písčité a z části bahnitý a vysrážený pěnovec zde převládá.

**O5 (50°13'11,6" N, 12°38'44,0" E)**

Na této lokalitě se oproti předchozím odběrovým místům potok razantně zužuje. Dno je opět písčité a bahnité s vysokým obsahem vysráženého pěnovce.

**O6 (50°13'10,5" N, 12°38'47,9" E)**

Toto odběrové místo se nalézá v blízkosti mostku. Dno je převážně tvořené bahnem a pěnovce a dochází zde ke tvorbě menší kaskády.

**O7 (50°13'01,1" N, 12°38'30,6" E)**

Poslední odběrové místo na Okružním potoce se nalézá v blízkosti silnice, kde potok vytéká z lesa. Dno je bahnité a pěnovec na tomto úseku potoku tvoří několikanásobnou kaskádu.

Modráčkový potok

**M1 (50°14'34,8" N, 12°42'22,5" E)**

Jedná se o široké a mělké prameniště s bahnitým dnem, na kterém docházelo opět k vytváření oranžových povlaků ze sraženého železa. Mimo železa se zde srážel v malém množství také pěnovec. Na místo trávy, jak tomu bylo u Okružního potoka, byla tato lokalita zarostlá především přesličkami.

**M2 (50°14'34,5" N, 12°42'23,7" E)**

Na odběrovém místě byl opět vytvořen oranžový povlak sraženého železa, dno ale bylo převážně písčité a bahnité s vysokým množstvím opadaného listí. Oproti prameništi se zde nalézalo více vysráženého pěnovce.

**M3 (50°14'34,0" N, 12°42'24,4" E)**

Tato část potoka byla hustě zarostlá třtinou křovištní. Substrát byl opět písčité bahnitý a nacházel se zde vysrážený pěnovec.

**M4 (50°14'32,2" N, 12°42'24,2" E)**

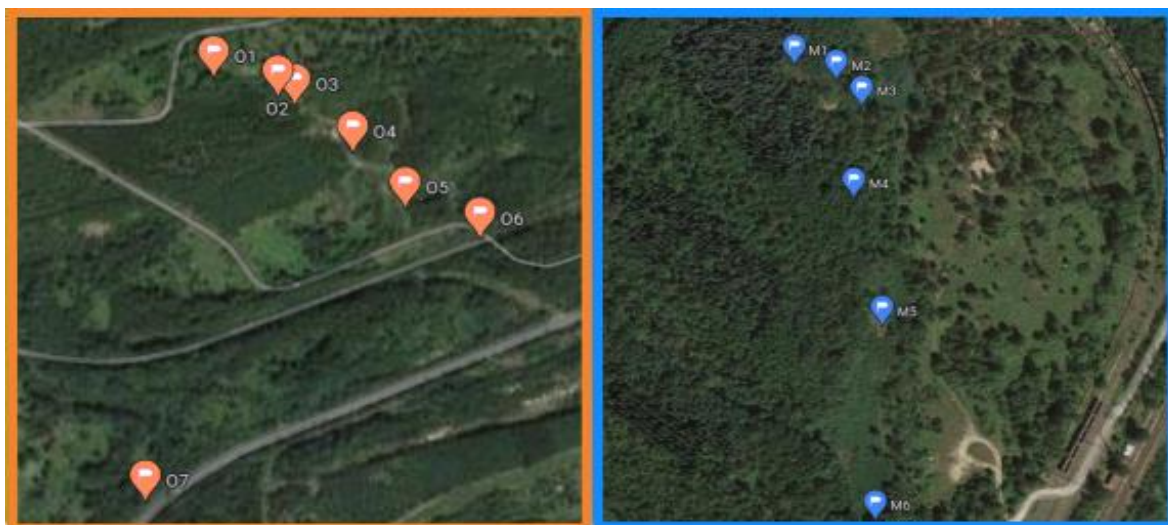
Tento úsek potoka byl tvořen pomalu tekoucí až stojatou vodou. Nebyl zde vysrážený téměř žádný pěnovec a dno bylo opět potažené povlakem sraženého železa, pravděpodobně se zde totiž připojuje drobný pramen.

**M5 (50°14'29,7" N, 12°42'25,0" E)**

Na tomto odběrovém místě se potok široce rozlévá a dno je pokryté velkým množstvím vysráženého pěnovce. Substrát dna byl opět písčité bahnitý.

**M6 (50°14'25,9" N, 12°42'24,8" E)**

Poslední odběrové místo na Modráčkovém potoku se vyznačovalo úzkým a hlubokým korytem. Substrát byl spíše šterkovitý a nedocházelo zde téměř k žádnému srážení pěnovce.



Obr. 5 – Odběrová místa na Modráčkovém (modrý) a Okružním potoce (oranžový) – zvětšeno, Zdroj: Google mapy, upraveno.

## 4.2 Odběr a zpracování vzorků

Odběry vzorků z potoků jsem neprováděl osobně, neboť k nim došlo ještě před započnutím vypracování této bakalářské práce. Osoby, které odběry prováděly, získaly na místě vzorky makrozoobentosu za pomoci sítky o rozměrech 25x25cm s oky o velikosti 0,5mm. Tyto odběry byly provedeny na všech lokalitách a byly nasbíráni zástupci skupin Diptera, Trichoptera, Ephemeroptera, Plecoptera, Odonata, Clitellata, Mollusca, Coleoptera a Hemiptera. Součástí této práce bylo zpracovat vzorky Trichoptera z podzimu roku 2019. Zpracování proběhlo pod binokulárním mikroskopem za použití determinačního klíče (WARINGER & GRAF 2011). Spolu s těmito odběry byly na lokalitách odebrány vzorky vody a bylo provedeno měření pH, teploty, vodivosti, rozpuštěného kyslíku, CPOM, FPOM, obsahu pěnovce a rozpuštěných iontů. Mezi ně patřily například  $\text{Ca}^{2+}$ , Fe, Mn, Al,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , TN, Cl<sup>-</sup>,  $\text{PO}_4^{3-}$ , Ni, Pb, Zn, Cu, Cd a TP. Ve vodě byl také zjištěn obsah kamínků, šterku, písku a bahna. Mimo tyto proměnné byla změřena šířka a hloubka toku a rychlost protékající vody. Získaná data byly následně zpracována do grafů a

tabulek v programu Excel (MICROSOFT 2020) a statisticky vyhodnoceny Wilcoxonovým párovým neparametrickým testem v programu Statistica (TIBCO SOFTWARE INC. 2020).

## 5 Výsledky

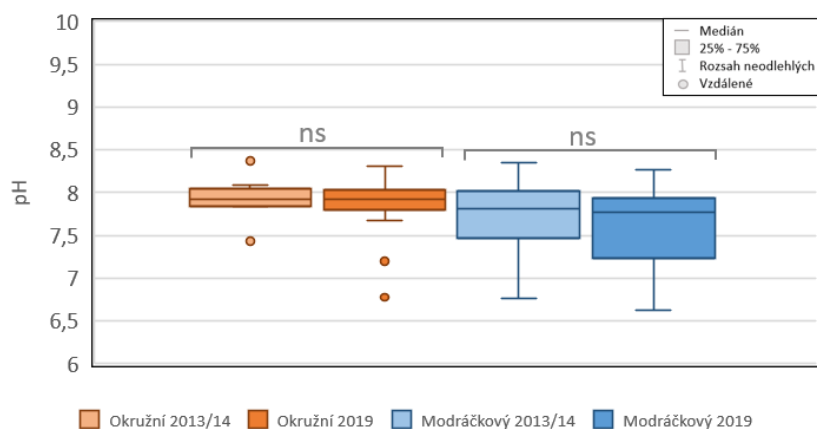
### 5.1 Fyzikálně-chemické proměnné

#### Teplota

Průměrná teplota vody při odběrech na jaře a na podzim byla na Modráčkovém potoku v letech 2013/14 15,5 °C, na Okružním potoku 15,9 °C. V roce 2019 se průměrná teplota snížila na Modráčkovém potoku na 12,7 °C a na Okružním potoku na 12,9 °C.

#### pH

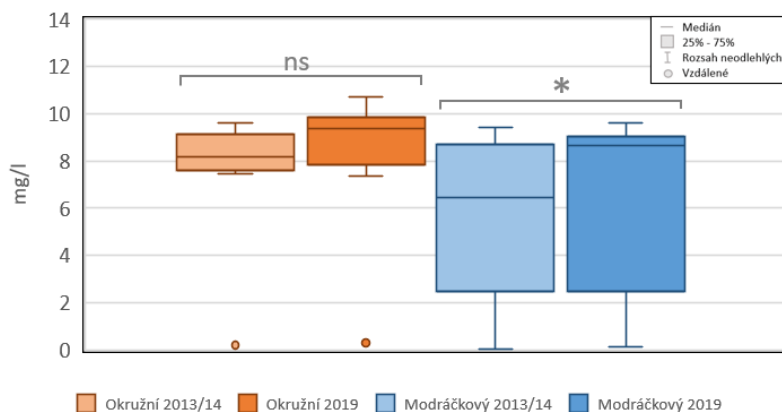
Hodnoty pH vody se v letech 2013/14 pohybovaly na Okružním potoku od 7,43 po 8,37, na Modráčkovém potoce poté od 6,76 po 8,35. Při odběrech z roku 2019 bylo změřeno na Okružním potoku pH od 6,78 po 8,31 a na Modráčkovém potoku od 6,63 po 8,27 (Obr. 6). V průměru tak byla voda v obou případech převážně zásaditějšího charakteru. V obou případech došlo k mírnému poklesu pH, ten ale pro  $p < 0,05$  nevyšel jako signifikantní.



Obr. 6 – Porovnání naměřených hodnot pH z let 2013/14 a 2019 na Okružním a Modráčkovém potoce. Statisticky porovnáno Wilcoxonovým párovým neparametrickým testem (\*  $p < 0,05$ ).

## Obsah kyslíku

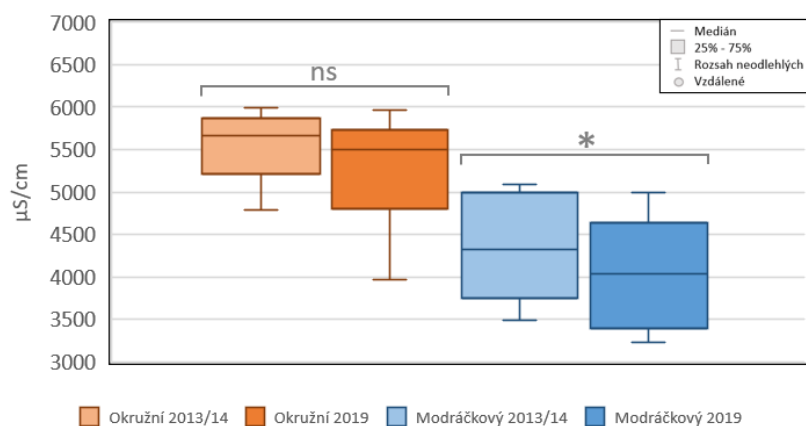
Obsah kyslíku ve vodě v Okružním potoce se pohyboval při odběrech v letech 2013/14 mezi hodnotami 0,25 mg/l po 9,53 mg/l. V roce 2019 byly na stejném místě změřeny hodnoty od 0,3 mg/l až 10,72 mg/l. Na Modráčkovém potoce byly zjištěny v letech 2013/14 hodnoty od 0,007 mg/l po 9,43 mg/l, zatímco při odběrech v roce 2019 to činilo od 3,8 mg/l po 9,61 mg/l (Obr. 7). Na Modráčkovém potoce se tedy obsah kyslíku signifikantně zvedl ( $p < 0,05$ ). Na Okružním potoce se poté nejnižší obsahy kyslíku objevovaly na odběrovém místě O1, tedy na prameništi, zatímco u Modráčkového potoku byly zjištěny nejnižší hodnoty na odběrovém místě M4.



Obr. 7 – Porovnání naměřených hodnot obsahu kyslíku ve vodě z let 2013/14 a 2019 na Okružním a Modráčkovém potoce. Statisticky porovnáno Wilcoxonovým párovým neparametrickým testem (\*  $p < 0,05$ ).

## Vodivost

V letech 2013/14 se vodivost na Okružním potoce pohybovala od 4790  $\mu\text{S}/\text{cm}$  po 5991  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , zatímco na Modráčkovém potoce byla naměřena od 3723  $\mu\text{S}/\text{cm}$  po 5093  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . V roce 2019 byla následně naměřena na Okružním potoce od 3960  $\mu\text{S}/\text{cm}$  po 5960  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , zatímco na Modráčkovém potoce od 3230  $\mu\text{S}/\text{cm}$  po 4987  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Obr. 8). Na Modráčkovém potoce tedy došlo k signifikantnímu poklesu vodivosti ( $p < 0,05$ ).



Obr. 8 – Porovnání vodivosti vody z let 2013/14 a 2019 na Okružním a Modráčkovém potoce. Statisticky porovnáno Wilcoxonovým párovým neparametrickým testem (\*  $p < 0,05$ ).

### Koncentrace iontů

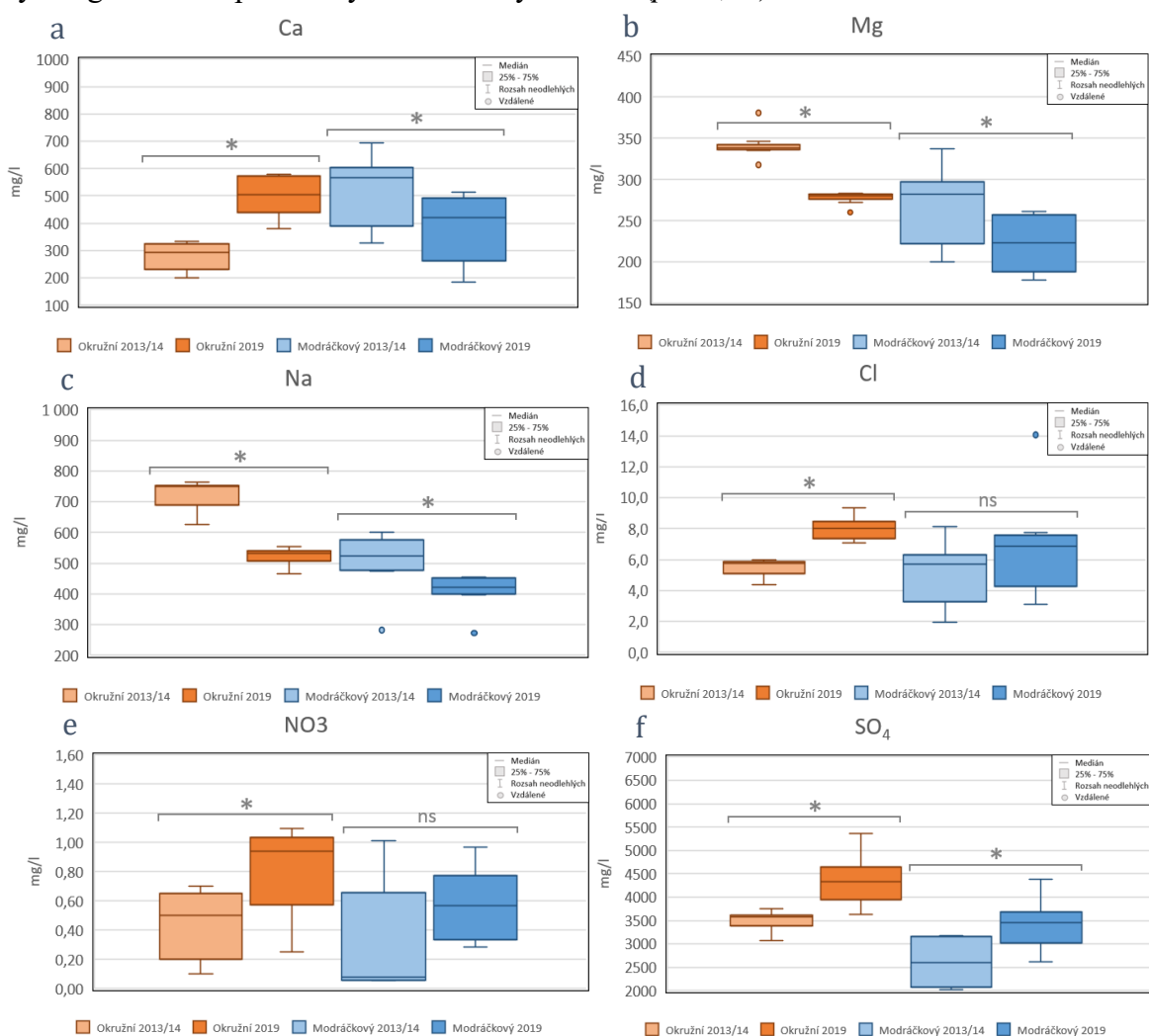
Koncentrace iontů byly měřeny pokaždé pouze při podzimních odběrech. V některých případech došlo mezi lety 2013/14 a 2019 k výraznější změně v koncentracích některých iontů, jindy zase nedocházelo skoro k žádným změnám. Z měřených iontů bylo vybráno několik, u kterých došlo ke změně v jejich koncentraci (Obr. 9).

Koncentrace vápenatých iontů se na Okružním potoce pohybovala v letech 2013/14 v průměru okolo 278 mg/l, zatímco na Modráčkovém potoce okolo 517 mg/l. V roce 2019 to však činilo na Okružním potoce průměrně 498 mg/l a na Modráčkovém 377 mg/l. Na Okružním potoce tak došlo k signifikantnímu nárůstu ( $p < 0,05$ ), zatímco na Modráčkovém potoce k signifikantnímu poklesu koncentrace vápenatých iontů ( $p < 0,05$ ).

K dalším změnám došlo u koncentrace hořečnatých iontů, kdy v letech 2013/14 byla na Okružním potoce naměřena hodnota 342 mg/l a na Modráčkovém potoce 268 mg/l, zatímco v při odběrech v roce 2019 to činilo na Okružním potoce 277 mg/l a na Modráčkovém potoce 222 mg/l. V obou případech došlo k signifikantnímu poklesu ( $p < 0,05$ ).

Ke snížení došlo také u sodných iontů, kdy byla jejich koncentrace na Okružním potoce při odběrech v letech 2013/14 průměrně 718 mg/l a na Modráčkovém 498 mg/l. Průměrná hodnota koncentrace těchto iontů byla v roce 2019 nižší, a to na Okružním potoce 521 mg/l a na Modráčkovém 404 mg/l. Obě snížení koncentrace byly signifikantní ( $p < 0,05$ ).

Naopak ke zvýšení průměrné koncentrace došlo u chloridových, síranových a dusičnanových iontů. V letech 2013/14 činila na Okružním potoce koncentrace  $\text{Cl}^-$  5,4 mg/l,  $\text{SO}_4^{2-}$  3489 mg/l a  $\text{NO}_3^-$  0,43 mg/l, což je méně než při odběrech v roce 2019, kdy byly koncentrace  $\text{Cl}^-$  8 mg/l,  $\text{SO}_4^{2-}$  4361 mg/l a  $\text{NO}_3^-$  0,79 mg/l. K podobnému zvýšení průměrných došlo i na Modráčkovém potoce. V letech 2013/14 byly změřeny koncentrace  $\text{Cl}^-$  5,1 mg/l,  $\text{SO}_4^{2-}$  2610 mg/l a  $\text{NO}_3^-$  0,35 mg/l, zatímco v letech 2013/14 byla koncentrace  $\text{Cl}^-$  7 mg/l,  $\text{SO}_4^{2-}$  3427 mg/l a  $\text{NO}_3^-$  0,58 mg/l (Obr. 9). Na Okružním potoce došlo u všech těchto koncentrací k signifikantnímu zvýšení ( $p < 0,05$ ), zatímco na Modráčkovém potoce bylo signifikantní pouze zvýšení síranových iontů ( $p < 0,05$ ).



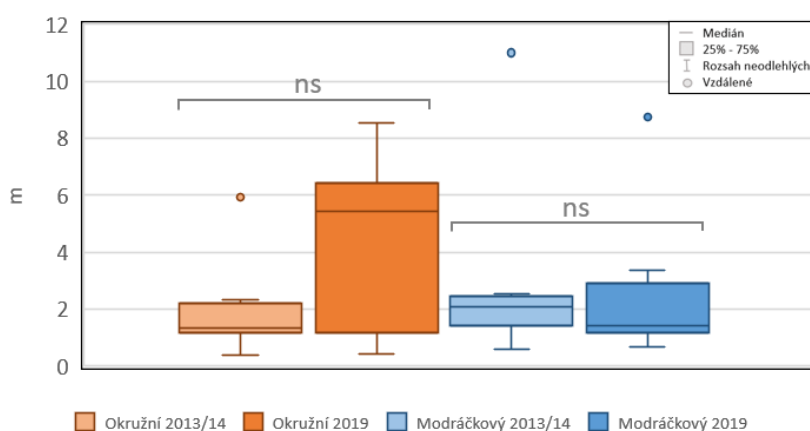
Obr. 9 – Porovnání koncentrací vybraných iontů  $\text{Ca}^{2+}$  (a),  $\text{Mg}^{2+}$  (b),  $\text{Na}^+$  (c),  $\text{Cl}^-$  (d),  $\text{NO}_3^-$  (e) a  $\text{SO}_4^{2-}$  (f) z let 2013/14 a 2019 na Okružním a Modráčkovém potoce. Statisticky porovnáno Wilcoxonovým párovým neparametrickým testem (\*  $p < 0,05$ ).



## 5.2 Charakter toku a proměnné prostředí

### Šířka koryta

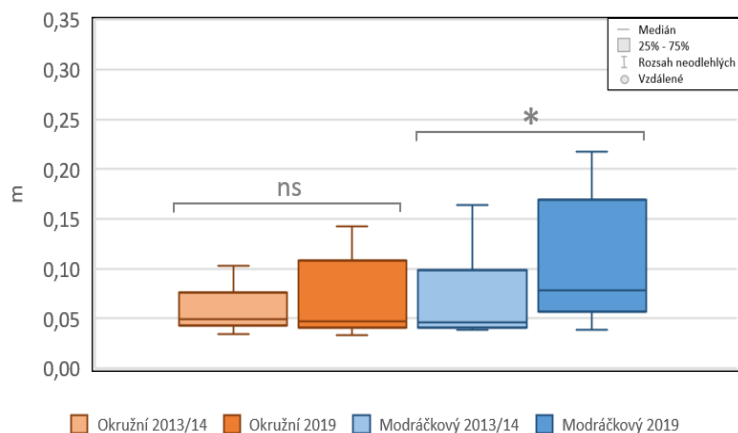
Šířka koryta se na Okružním potoce pohybovala v letech 2013/14 od 0,4 do 5,9 metrů, zatímco v roce 2019 byl tento rozptyl od 0,4 do 8,5 metrů. Na Modráčkovém potoce byla v roce 2013/14 tato šířka od 0,6 do 11 metrů, zatímco v roce 2019 se pohybovala od 0,7 do 8,8 metrů (Obr. 10). Ačkoliv se na některých úsecích toku šířky koryt značně zvětšovaly, celková změna na obou potocích nebyla potvrzena jako signifikantní ( $p < 0,05$ ).



Obr. 10 – Porovnání šířky koryt z let 2013/14 a 2019 na Okružním a Modráčkovém potoce. Statisticky porovnáno Wilcoxonovým párovým neparametrickým testem (\*  $p < 0,05$ ).

### Hloubka koryta

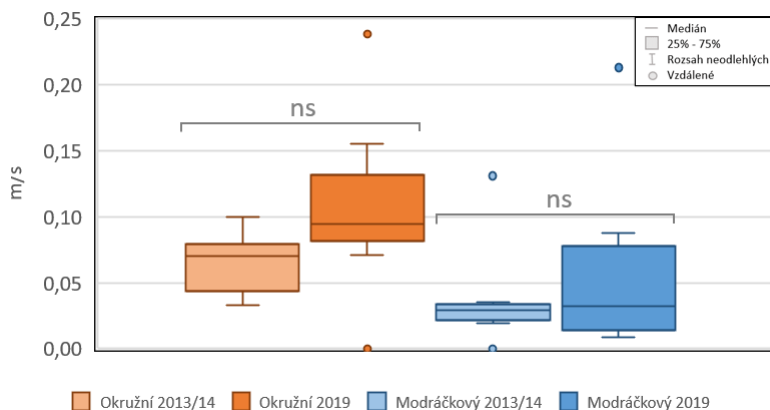
Hloubka koryta se na Okružním potoce v letech 2013/14 pohybovala v rozmezí od 0,034 po 0,103 metrů, zatímco v roce 2019 to bylo mezi 0,033 až 0,143 metrů. Na Modráčkovém potoce se pohybovala v letech 2013/14 od 0,39 po 0,164 metrů, zatímco v roce 2019 se tato hloubka pohybovala mezi 0,038 až 0,217 metrů (Obr. 11). Na Modráčkovém potoce tak došlo k signifikantnímu z většení hloubky ( $p < 0,05$ ).



Obr. 11 – Porovnání hloubky koryt z let 2013/14 a 2019 na Okružním a Modráčkovém potoce. Statisticky porovnáno Wilcoxonovým párovým neparametrickým testem (\*  $p < 0,05$ ).

### Rychlost proudu

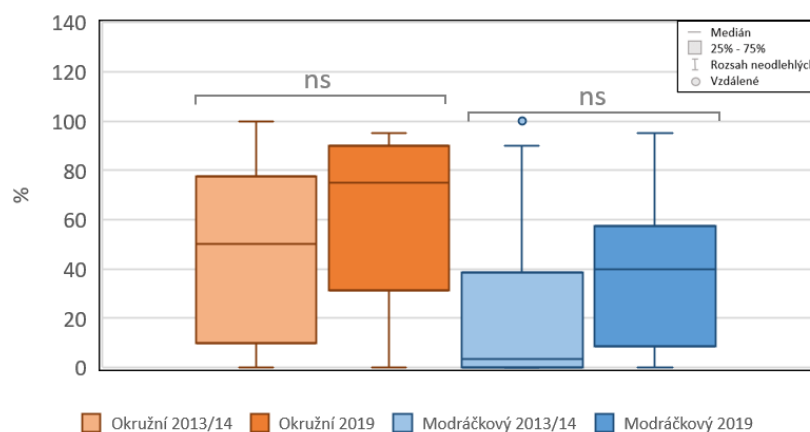
Rychlost proudu se na obou sledovaných tocích v porovnávaných obdobích signifikantně nelišila ( $p < 0,05$ ). Na Okružním potoce dosahovala v letech 2013/14 od 0,033 do 0,1 m/s, zatímco v roce 2019 se rychlost pohybovala od nulové rychlosti po 0,238 m/s. Na Modráčkovém potoce pak v letech 2013/14 byla naměřena rychlost od nulové až po 0,131 m/s, zatímco se v roce 2019 pohybovala mezi 0,009 až 0,213 m/s (Obr. 12).



Obr. 12 – Porovnání rychlosti proudu z let 2013/14 a 2019 na Okružním a Modráčkovém potoce. Statisticky porovnáno Wilcoxonovým párovým neparametrickým testem (\*  $p < 0,05$ ).

## Obsah pěnovce

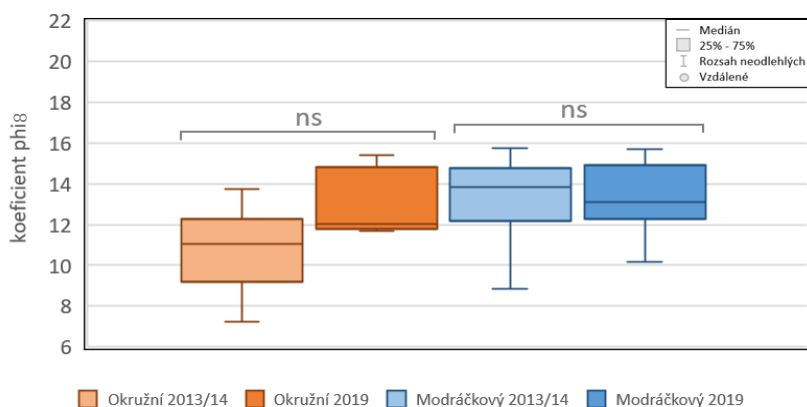
Při odběrech v letech 2013/14 bylo na Okružním potoce odhadnu zastoupení vysráženého pěnovce od 0 do 100%, zatímco v roce 2019 to bylo od 0 po 95%. Na Modráčkovém potoce to poté v letech 2013/14 činilo od 0 po 100%, zatímco v roce 2019 tento odhad činil od 0 po 95% (Obr. 13). Rozdíl nebyl vyhodnocen jako signifikantní ( $p < 0,05$ ).



Obr. 13 – Porovnání obsahu pěnovce z let 2013/14 a 2019 na Okružním a Modráčkovém potoce. Statisticky porovnáno Wilcoxonovým párovým neparametrickým testem ( $* p < 0,05$ ).

## Koeficient phi8

V letech 2013/14 byl na Okružním potoce odhadnut koeficient phi8 mezi hodnotami 7,2 až 13,8, zatímco v roce 2019 to bylo od 11,7 až 15,4. Na Modráčkovém potoce byla při odběrech v letech 2013/14 tato hodnota odhadnuta od 8,8 po 15,8, zatímco v roce 2019 se odhady nalézaly v rozmezí 10,2 až 15,7 (Obr. 14). Na žádném potoce ale nedošlo k signifikantnímu zvýšení této hodnoty ( $p < 0,05$ ).



Obr. 14 – Porovnání koeficientu  $\phi_{i8}$  z let 2013/14 a 2019 na Okružním a Modráčkovém potoce. Statisticky porovnáno Wilcoxonovým párovým neparametrickým testem (\*  $p < 0,05$ ).

Veškeré naměřené proměnné týkající se prostředí byly vyneseny do Tabulky č. 2 a 3, které jsou součástí přílohy.

### 5.3 Vzorky chrostíků

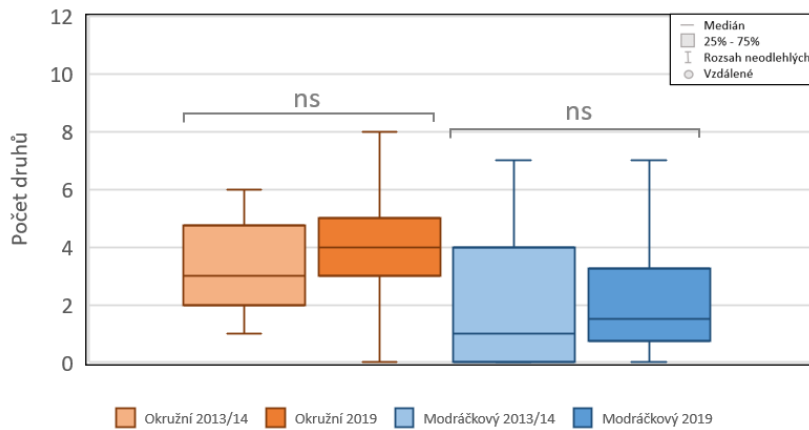
#### Diverzita

Při odběrech v roce 2019 bylo na Okružním potoce nalezeno 14 druhů, což je stejný počet, který byl nalezen na Modráčkovém potoce (Obr. č. 17, Obr. č. 18). Nešlo ale vždy o stejné druhy. Celkem bylo nalezeno na obou lokalitách 16 druhů z 6 čeledí (jako samostatné „druhy“ byla počítána i blíže neurčená juvenilní stádia). Šlo o čeledě Phryganeidae, Psychomyiidae, Hydropsychidae, Hydroptilidae, Limnephilidae a Polycentropodidae. V porovnání s odběry v letech 2013/14, kdy bylo odebráno 12 druhů z 5 čeledí, jde o lehký nárůst (Obr. č. 16, Obr. č. 17). Druhově nejvíce početnou čeledí byla při všech odběrech čeleď Limnephilidae, která v roce 2019 zahrnovala celkově na obou lokalitách 6 druhů, zatímco čeledi Phryganeidae a Psychomyiidae byly zastoupeny nanejvýše jedním druhem (Tabulka č. 1).

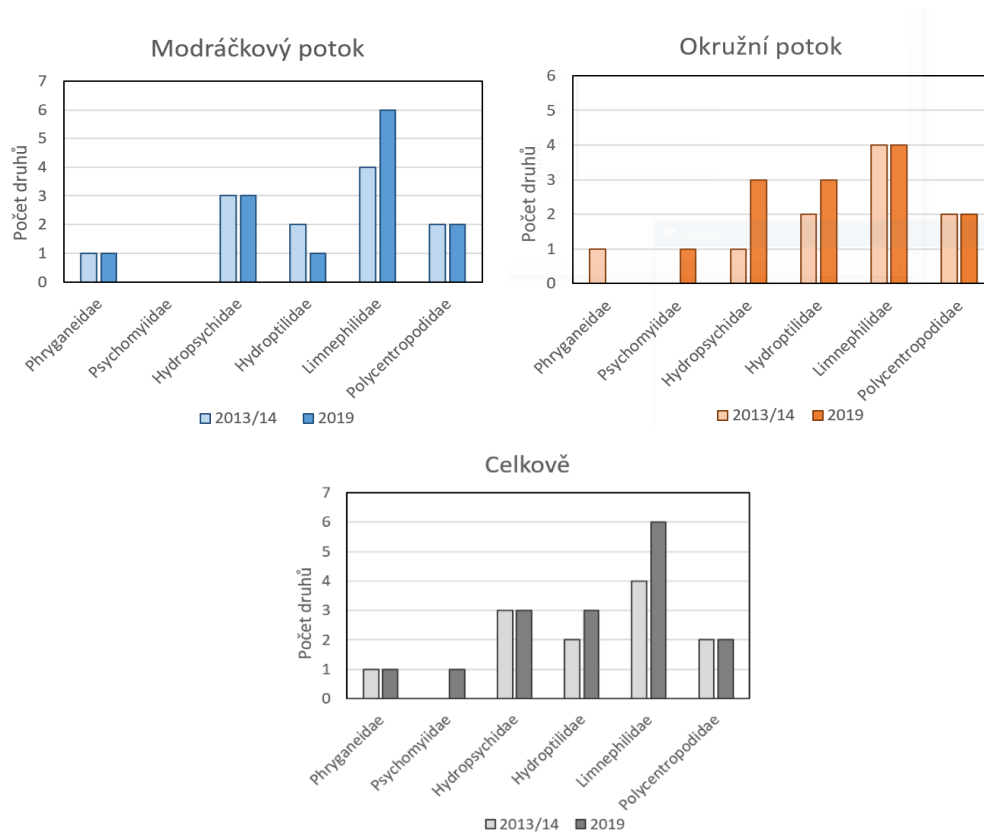
Tabulka č. 1 – Seznam nalezených druhů a jejich počet na příslušných lokalitách

**Trichoptera**

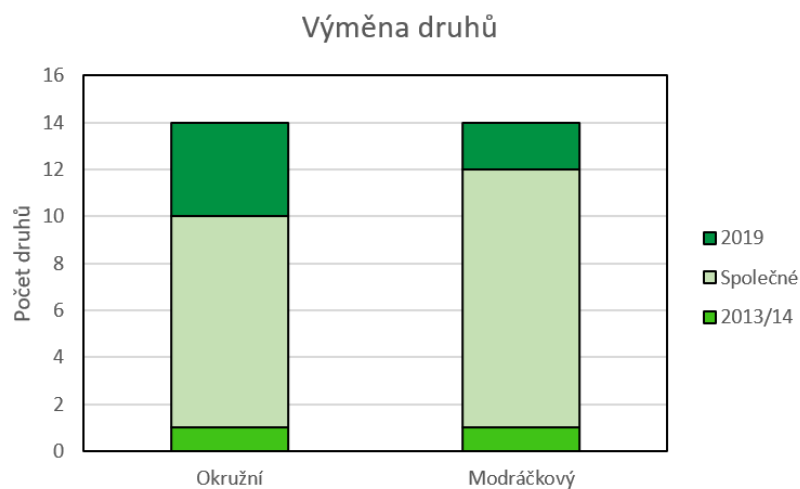
<b>Druh</b>	<b>Čeď</b>	<b>Okružní 2013/14</b>	<b>Okružní 2019</b>	<b>Modráčkový 2013/14</b>	<b>Modráčkový 2019</b>
<i>Agrypnia varia</i>	Phryganeidae	16	-	22	16
<i>Tinodes waeneri</i>	Psychomyiidae	-	1	-	-
<i>Hydropsyche angustipennis</i>	Hydropsychidae	52	111	2	56
<i>Hydropsyche saxonica</i>	Hydropsychidae	-	11	24	2
<i>Hydropsyche</i> spp. juv.	Hydropsychidae	-	22	30	8
<i>Hydroptila</i> spp.	Hydroptilidae	1313	295	29	13
<i>Oxyethira falcata</i>	Hydroptilidae	-	9	-	-
<i>Oxyethira</i> spp.	Hydroptilidae	1570	3517	134	-
<i>Limnephilus flavicornis</i>	Limnephilidae	-	-	-	2
<i>Limnephilus hirsutus</i>	Limnephilidae	106	1	2	10
<i>Limnephilus ignavus</i>	Limnephilidae	80	2	2	56
<i>Limnephilus lunatus</i>	Limnephilidae	225	265	24	660
Limnephilidae g. sp. juv.	Limnephilidae	298	83	138	75
<i>Ironoquia dubia</i>	Limnephilidae	-	-	-	4
<i>Plectrocnemia conspersa</i>	Polycentropodidae	24	60	12	12
<i>Plectrocnemia</i> sp. juv.	Polycentropodidae	8	43	6	20



Obr. 15 – Porovnání počtu druhů na Okružním a Modráčkovém potoce mezi lety 2013/14 a 2019. Statisticky porovnáno Wilcoxonovým párovým neparametrickým testem (\*  $p < 0,05$ ).



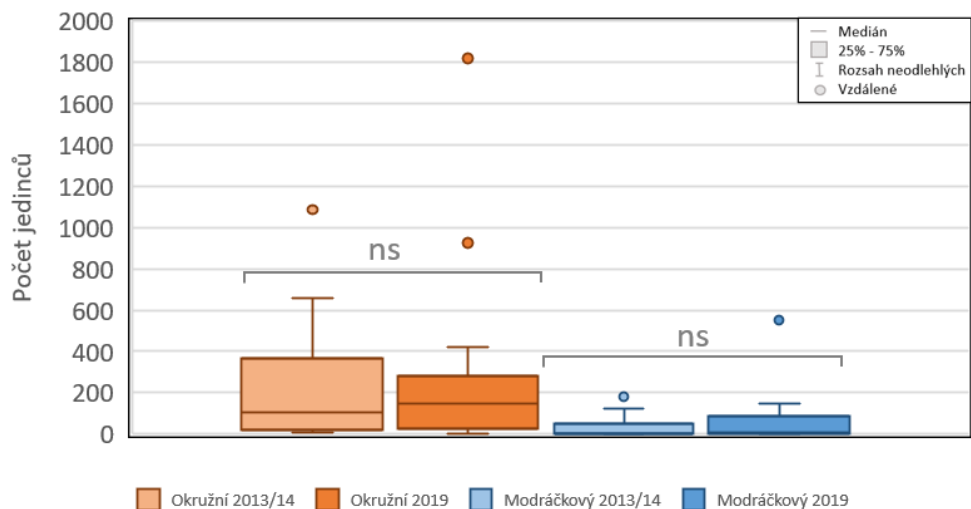
Obr. 16 – Porovnání počtu druhů v jednotlivých čeledích mezi lety 2013/14 a 2019.



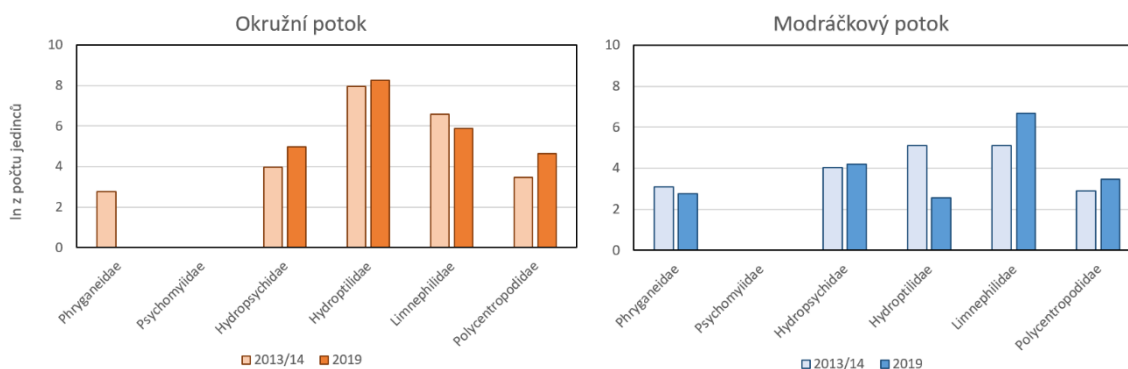
Obr. 17 – Výměna druhů mezi lety 2013/14 a 2019.

### Abundance

Také počet jedinců se časem v rámci čeledí mírně měnil (Obr. 18, Obr. 19). Na Okružním potoce docházelo od odběru 2013/14 do roku 2019 k nárůstu počtu jedinců ve všech čeledích, kromě čeledi Limnephilidae a Phryganeidae, kde početnost klesla. U Modráčkového potoku to tak jednoznačné nebylo. K největším změnám početnosti zde došlo u čeledi Limnephilidae, kde počet jedinců výrazně stoupl, zatímco u čeledi Hydroptilidae zase početnost klesla. Na Okružním potoce byla při obou odběrech zastoupena čeleď Hydroptilidae, kde šlo konkrétně o rod *Oxyethira* spp., který byl na lokalitě v roce 2019 přítomen v počtu 3821 jedinců. Naopak nejméně zastoupená byla čeleď Psychomyiidae, která čítala pouze jednoho jediného jedince, a druhu *Tinodes waeneri*. Na Modráčkovém potoce byly dříve nejvíce zastoupeny čeledi Hydroptilidae a Limnephilidae, ale v při odběrech v roce 2019 počet jedinců čeledi Hydroptilidae klesl a početně nejbohatší čeledí se stala čeleď Limnephilidae s celkem 807 jedinci.



Obr. 18 – Porovnání počtu jedinců na Okružním a Modráčkovém potoce mezi lety 2013/14 a 2019. Statisticky porovnáno Wilcoxonovým párovým neparametrickým testem (\*  $p < 0,05$ ).



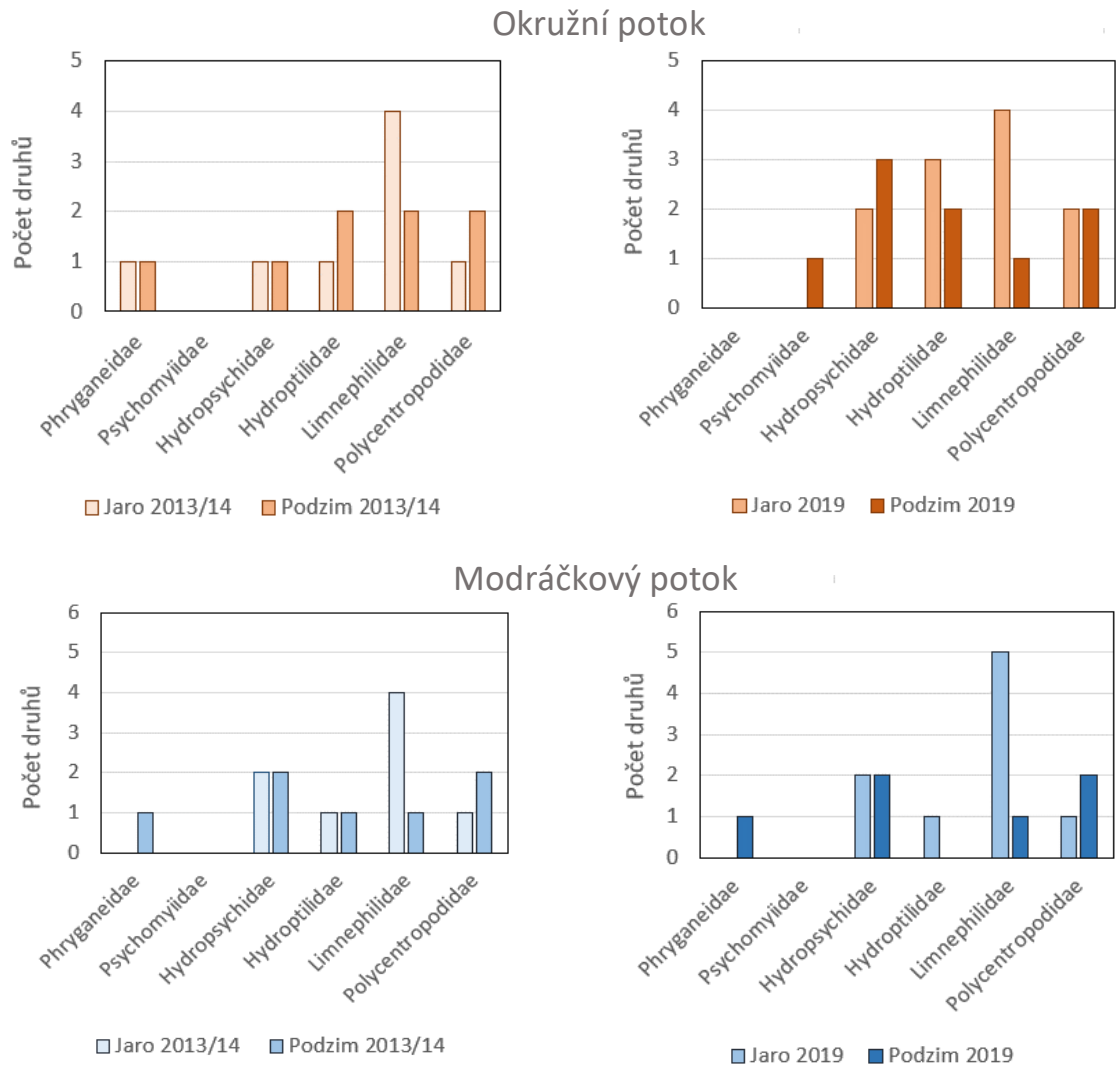
Obr. 19 – Porovnání počtu jedinců (zlogaritmovaných) na Okružním a Modráčkovém potoce mezi lety 2013/14 a 2019 v rámci jednotlivých čeledí.

### Sezónní výměna druhů

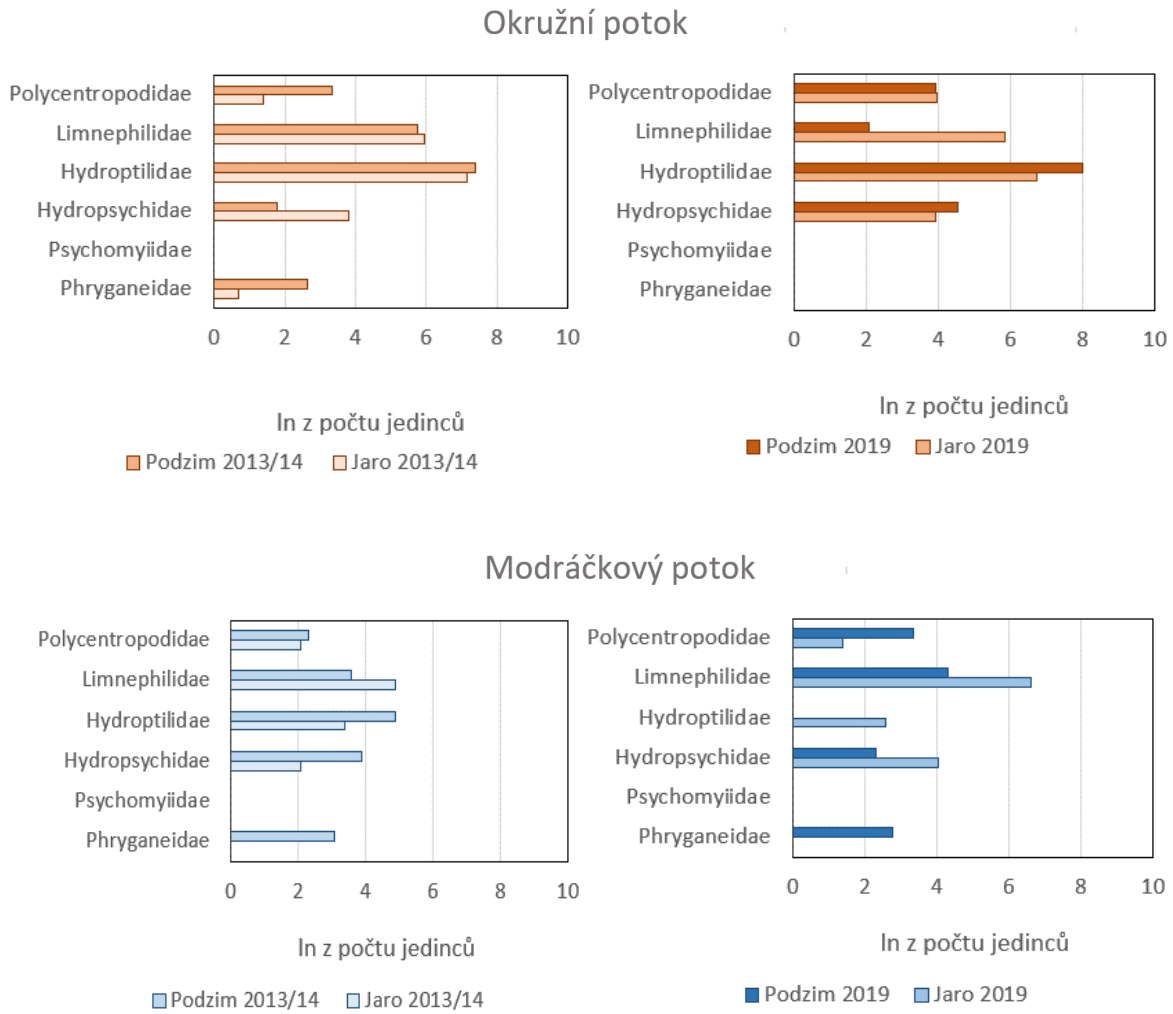
K druhovým i abundančním změnám docházelo i v rámci roku (Obr. 20, Obr. 21). Některé druhy zůstaly na svých stanovištích po celý rok, jiné druhy byly naopak nalezeny buď pouze na jaře nebo pouze na podzim. Při všech odběrech došlo ke změně u čeledi Limnephilidae, která byla při jarních odběrech zastoupena až 5 druhy, nicméně při



podzimních odběrech došlo ke snížení druhové bohatosti. To vedlo také ke snížení počtu jedinců v této čeledi. Můžeme také pozorovat, že při podzimních odběrech dochází ke zvýšení počtu jedinců v čeledi Hydroptilidae.



Obr. 20 – Porovnání druhové bohatosti mezi jarními a podzimními odběry na Okružním a Modráčkovém potoce v letech 2013/14 a 2019.



Obr. 21 – Porovnání počtu jedinců mezi jarními a podzimními odběry na Okružním a Modráčkovém potoce v letech 2013/14 a 2019.

## 6 Diskuse

V rámci této bakalářské práce byly sledovány změny podmínek prostředí a změny společenstva chrostíků na dvou pěnovcových potocích Velké podkrušnohorské výsypky. Od odběrů vzorků z let 2013/14 do roku 2019 došlo na těchto potocích – Okružním a Modráčkovém potoce k mnohým změnám.

### 6.1 Proměnné prostředí a chemismus vody

Sledované potoky, jejichž koryta nejsou nijak upravována, se v čase vyvíjí, u Modráčkového potoku došlo významnému zvětšení průměrné hloubky. V dalších charakteristikách koryta jako šířka koryta, rychlost proudu, obsah vysráženého pěnovce a drsnost dna ( $\phi_8$ ) docházelo taktéž ke změnám, nicméně ty nebyly vyhodnoceny jako signifikantní.

K výrazným změnám ale docházelo u fyzikálně-chemických proměnných. Zejména šlo o změny v chemickém složení vody a obsahu jednotlivých iontů. Došlo například k signifikantnímu snížení obsahu iontů hořčnatých a sodných iontů na obou potocích, naopak ke zvýšení došlo na obou potocích u síranových iontů. Právě síranové ionty byly oproti ostatním iontům naměřeny ve vysokých hodnotách. Tento fakt se dal předem předpokládat, neboť vysoké hodnoty koncentrace síranů jsou charakteristické pro důlní a výsypkové vody a proces uvolňování síranů z výsypkového materiálu vlivem srážkové vody stále probíhá (FROUZ et al. 2007, POLÁŠKOVÁ et al. 2017). Zajímavé změny byly zjištěny u koncentrací vápenatých iontů. Zatímco na Okružním potoce jejich obsah výrazně vzrostl, na Modráčkovém potoce naopak signifikantně klesl. K dalším změnám v chemismu docházelo jen na Okružním potoce například u chlorných a dusičnanových iontů, kdy se jejich koncentrace prokazatelně zvýšila, zatímco na Modráčkovém potoce se tyto obsahy signifikantně nezměnily. Na Modráčkovém potoce se ale ještě lehce snížila vodivost vody a naopak zvýšil obsah rozpuštěného kyslíku. Vývoj obou potoků neprobíhá zcela shodně, podmínky na Modráčkovém potoce jsou pro vodní bezobratlé mírně příznivější, ale

probíhající sukcese může vést k tomu, že dříve přestanou vyhovovat druhům vázaným na extrémní chemismus.

Přestože docházelo ke změnám koncentrací iontů, nedošlo k významné změně pH. To zůstalo i nadále neutrální až mírně zásadité, a to i přes vysoké koncentrace síranových iontů. Tento jev je způsoben neutralizační reakcí síranů s uhličitany obsaženými v cyprisových jílech, které tvoří výsypku (VÚHÚ a.s. 2003, POLÁŠKOVÁ et al. 2017).

## 6.2 Chrostíci

Celkově bylo na obou lokalitách nalezeno 16 druhů chrostíků (v rámci této práce se jako samostatný druh počítaly i blíže neurčená juvenilní stádia). Jednalo se o zástupce šesti čeledí, a to Phryganeidae, Psychomyiidae, Hydropsychidae, Hydroptylidae, Limnephilidae a Polycentropodidae. Druhově nejvíce zastoupenou čeledí byla čeleď Limnephilidae, která čítala šest druhů. Tento výsledek není příliš překvapivý, neboť jde o velmi variabilní čeleď chrostíků, která je v České republice zastoupena nejvíce druhy (CHVOJKA 2008, CHVOJKA et al. 2009, KOMZÁK & KROČA 2011, CHVOJKA et al. 2016). Celkově se na potocích objevilo osm rodů chrostíků, a to *Agrypinia*, *Tinodes*, *Hydropsyche*, *Hydroptila*, *Oxyethira*, *Limnephilus*, *Ironoquia* a *Plectrocnemia* (viz Tabulka č. 1). Vzhledem k tomu, že se v současné době na našem území vyskytuje okolo 258 druhů chrostíků, není počet druhů na pěnovcových potocích Velké podkrušnohorské výsypce nikterak vysoký (CHVOJKA et al. 2016). Ačkoliv došlo během pětiletého období k menším změnám v druhovém složení společenstva chrostíků, tyto změny nebyly prokázány jako statisticky signifikantní. Přesto však došlo k nálezům některých nových druhů či potvrzení jejich výskytu na lokalitě. Konkrétně šlo o druhy *Tinodes waeneri*, *Limnephilus flavicornis*, *Ironoquia dubia* a *Oxyethira falcata*. Právě *Oxyethira falcata* je zřejmě nejdůležitějším z nich, neboť jde o ohrožený druh (CHVOJKA & KOMZÁK 2017). Jeho výskyt byl v současné době potvrzen pouze na dvou lokalitách – na řece Morávce na Moravě a právě na sokolovských výsypkách (KOMZÁK & KROČA 2018). Výskyt tohoto druhu je vázán na vyvěrající podzemní vody (SALOKANNEL 2012, KOMZÁK & KROČA 2018). Potvrzuje se tak předpoklad, že právě pěnovcové potoky mohou naskýtat útočiště pro některé vzácné

druhy (jako je právě *Oxyethira falcata*), které na jiných lokalitách nemají vhodné podmínky k životu (FROUZ et al. 2007).

Pomineme-li druhové složení společenstva, v rámci abundance v jednotlivých čeledí došlo také ke změnám. Došlo k výraznému růstu počtu jedinců z čeledí Hydroptilidae a Limnephilidae, kde se jejich počet zněkolikanásobil (u druhu *Limnephilus lunatus* se jeho abundance na Modráčkovém potoce za pětileté období téměř ztřicetinásobila). Zdá se tedy, že se těmito čeledím na pěnovcových potocích daří. Důvodem by mohlo být zřejmě to, že obě tyto skupiny jsou velmi variabilní a dokáží obývat velkou škálu vodních habitatů (BOUCHARD 2004, HOLZENTHAL et al. 2007). Zcela nejpočetnějším rodem byl rod *Oxyethira*, jehož zástupci dosahovali na Okružním potoce až tisícových počtů. Z tohoto důvodu byl pro grafické znázornění zvolen zlogaritmovaný počet jedinců, neboť tento počet zcela zastínil méně početné skupiny. Druhým početně nejvýraznějším rodem byl rod *Limnephilus*, který sice na lokalitách nedosahoval tisícových počtů, přesto byla ale zastoupena ve stovkách jedinců. Při odběrech v letech 2013/14 byl na Okružním potoce hojně zastoupen rod *Hydroptila*, nicméně abundance tohoto rodu klesla do roku 2019 na čtvrtinu své původní hodnoty. Zdá se, že se tomuto rodu na potoce již tolik nedaří. Ostatní rody se na potocích vyskytovaly ve výrazně nižším počtu.

Byla zjištěna také druhová výměna mezi jarními a podzimními odběry, a to zejména u čeledí Hydroptilidae a Limnephilidae. Zatímco oproti podzimním odběrům byla při těch jarních druhově i početně více zastoupena čeleď Limnephilidae, u čeledi Hydroptilidae byl tento trend, alespoň co se týče abundance, opačný. Potvrzuje se tedy, že i roční období může mít vliv na složení společenstev (PAVER & KENT 2017).

## 7 Závěr

Velká podkrušnohorská výsypka je jednou z největších výsypek Západních Čech a jde o pozůstatek po těžbě hnědého uhlí z nedalekého lomu Jiří. Jako způsob ekologické obnovy tohoto útvaru byl výsypkový substrát až na některé lesnické rekultivační úpravy ponechán spontánní sukcesi. Během let na výsypce začaly vznikat prameniště a potoky, které jsou charakteristické jak svým chemismem, tak typickým vysráženým uhličitanem vápenatým v podobě pěnovce. Díky specifickým podmínkám představují tyto vody možné útočiště pro vzácné a ohrožené druhy organismů, jako jsou například někteří vodní bezobratlí.

V rámci této bakalářské práce bylo cílem na základě rešerše popsat procesy sukcese na vodních biotopech postindustriálních stanovišť, seznámit se konkrétně s jednou skupinou bezobratlých, a to s řádem Trichoptera, a determinovat její larvy ze vzorků pořízených na odběrových místech. Posledním cílem této práce bylo srovnat naměřené fyzikálně-chemické proměnné a společenstva chrostíků z odběrů z let 2013/14 a 2019 ze dvou pěnovcových potoků na Velké podkrušnohorské výsypce. Z výsledků bylo zjištěno, že během tohoto pětiletého období došlo k prokazatelným změnám některých proměnných, jako je například koncentrace iontů, obsah kyslíku či vodivost. Tyto proměnné mohly mít vliv na vývoj sukcese na obou potocích. Co se týče společenstva chrostíků, docházelo zde také k menším změnám. Za pětileté období bylo na lokalitě nalezeno celkem 16 druhů z 6 čeledí, kde nejvíce byla druhově zastoupena čeleď Limnephilidae a nejvíce početnou byla čeleď Hydroptilidae. Mezi lety 2013/14 a 2019 se na lokalitách objevovaly a mizely některé druhy, nicméně tato změna nebyla prokázána jako signifikantní. Na lokalitě byl nalezen také jeden ohrožený druh, a to *Oxyethira falcata*, který se v současné době vyskytuje pouze na dvou lokalitách v České republice, kde právě Sokolovské výsypky jsou jedním z nich.

V celkovém výsledku sice během pětiletého období docházelo k menším změnám ve složení společenstva, nicméně se zdá, že pět let je na celkové posouzení vývoje velmi krátká doba. Je tedy těžké vyhodnotit, zda sukcese bude pokračovat, nebo již skončila. Je zde tedy prostor pro další výzkum těchto společenstev v následujících letech.

## Použité zdroje

- Allan D. J. & Castillo M. M. 2007: *Stream ecology: structure and function of running waters*. Second edition. Dordrecht. Springer.
- Bartošová M., Schenková J., Polášková V., Bojková J., Šorfová V. & Horsák M. 2019: Macroinvertebrate assemblages of the post-mining calcareous stream habitats: are they similar to those inhabiting the natural calcareous springs? *Ecological Engineering* 136: 38–45.
- Batty L. C. 2005: The Potential Importance of Mine Sites for Biodiversity. *Mine Water and the Environment* 24: 101–103.
- Begon M., Harper J. L. & Townsend C. R. 1997: *Ekologie: Jedinci, populace, společenstva*. Vydavatelství Univerzity Palackého, Olomouc.
- Beschta R. L., Bilby R. E., Brown G. W., Holtby L. B. & Hofstra T. D. 1987: Stream temperature and aquatic habitat: fisheries and forestry interactions. In: Salo E. O. & Cundy T. W. (ed.): *Streamside Management: Forestry and Fishery Interactions*, Institute of Forest Resources. University of Washington, Seattle, Washington. pp. 191–232.
- Bilton D. T., Freeland J. R. & Okamura B. 2001: Dispersal in freshwater invertebrates. *Annual Review of Ecological Systems* 32: 159–181.
- Bouchard R. W. 2004: *Guide to aquatic macroinvertebrates of the Upper Midwest*. Water Resources Center, University of Minnesota, St. Paul.
- Broumová H., Novotná K. & Šimová I. 2007: Výsypka po těžbě hnědého uhlí – unikátní krajinný novotvar. Dostupné z <https://adoc.pub/queue/hana-broumova-kateina-novotna-iva-imova-laborato-aplikovane-.html>. Verze z 2. 5. 2022.
- Buček A. 2007: Primární sukcese a typ geobiocénu. Geobiocenologické spisy, sv. 11. v Brně, s. 12–16.
- Clements F. E. 1916: *Plant succession, an analysis of the development of vegetation*. Carnegie Institution of Washington.

- Collier K. J. & Smith B. J. 1998: Dispersal of adult caddisflies (Trichoptera) into forests alongside three New Zealand streams. *Hydrobiologia* 361: 53–65.
- Connell J. H. & Slatyer R. O. 1977: Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *The American Naturalist* 111: 1119–1144.
- De Moor F.C. & Ivanov V. D. 2008: Global diversity of caddisflies (Trichoptera: Insecta) in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 393–407.
- Drechsler J. 2011: Vzpomínky na budování a provoz výsypek ve východní části Sokolovského revíru. Dostupné z [https://chodov2011.webnode.cz/\\_files/200000021-a45b7a650a/Vzpom%C3%ADnky%20na%20budov%C3%A1n%C3%AD%20v%C3%BDsypek.pdf](https://chodov2011.webnode.cz/_files/200000021-a45b7a650a/Vzpom%C3%ADnky%20na%20budov%C3%A1n%C3%AD%20v%C3%BDsypek.pdf). Verze z 2. 5. 2022
- Frouz J., Popperl J., Příkryl I. & Štrudl J. 2007: *Tvorba nové krajiny na Sokolovsku*. Sokolovská uhelná, právní nástupce, a.s., Sokolov.
- Frouz J., Toyota A., Mudrák O., Jílková V., Filipová A. & Cajthaml T. 2016: Effects of soil substrate quality, microbial diversity and community composition on the plant community during primary succession. *Soil Biology & Biochemistry* 99: 75–84.
- Gall B. G., Hopkins G. R., & Brodie E. D. 2011: Mechanics and Ecological Role of Swimming Behavior in the Caddisfly Larvae *Trienodes tardus*. *Journal of Insect Behavior* 24: 317–328.
- Glime J. M. 2017a: Aquatic Insects: Holometabola – Trichoptera, Suborder Annulipalpia. Chapt. 11–11. In: Glime, J. M. (ed.): *Bryophyte Ecology: Volume 2. Bryological Interaction*. Tech, Michigan.
- Glime J. M. 2017b: Aquatic Insects: Holometabolous Insects – Trichoptera, Suborders Integripalpia and Spicipalpia. Chapt. 11–12. In: Glime, J. M. (ed.): *Bryophyte Ecology: Volume 2. Bryological Interaction*. Tech, Michigan.



- Glime J. M. 2017c: Terrestrial Insects: Holometabola – Trichoptera. Chapt. 12–11. In: Glime, J. M. (ed.): *Bryophyte Ecology. Volume 2: Bryological Interaction*. Michigan Tech, Michigan.
- Graham S. E., Storey R. & Smith B. 2017: Dispersal distances of aquatic insects: upstream crawling by benthic EPT larvae and flight of adult Trichoptera along valley floors. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 51: 146–164.
- Gremlica T., Cílek V., Vrabec V., Zavadil V. & Lepšová A. 2011: *Využívání přirozené a usměrňované ekologické sukcese při rekultivacích území dotčených těžbou nerostných surovin*. Ústav pro ekopolitiku, o. p. s., Praha, pp. 29–53.
- Griffith M. B., Barrows E. M. & Perry S. A. 1998: Lateral Dispersal of Adult Aquatic Insects (Plecoptera, Trichoptera) following Emergence from Headwater Streams in Forested Appalachian Catchments. *Annals of the Entomological Society of America* 91: 195–201.
- Harabiš F., Tichánek F. & Tropek R. 2013: Dragonflies of freshwater pools in lignite spoil heaps: restoration management, habitat structure and conservation value. *Ecological Engineering* 55: 51–61.
- Harding D. J. L. 1998: Distribution and population dynamics of a litter-dwelling caddis, *Enoicyla pusilla* (Trichoptera). *Applied Soil Ecology* 9: 203–208.
- Hershey A. E. & Lamberti G. A. 2001: Aquatic insect ecology. In: Thorp J. H. & Covich A. P. (ed.): *Ecology and classification of North American freshwater invertebrates*, 2nd ed. Academic Press, London, pp. 733–775.
- Hodačová D. & Prach K. 2003: Spoil heaps from brown coal mining: Technical reclamation versus spontaneous revegetation. *Restoration Ecology* 11: 385–391.
- Holzethal R. W., Blahnik R. J., Prather A. L. & Kjer K. M. 2007: Order Trichoptera Kirby, 1813 (Insecta), Caddisflies. *Zootaxa* 1668: 639–698.
- Chuman T. 2012: Revitalizace lomů spontánní sukcesí. *Životné prostredie* 46: 134–138.

- Chuman T. 2015: Restoration Practices Used on Post Mining Sites and Industrial Deposits in the Czech Republic with an Example of Natural Restoration of Granodiorite Quarries and Spoil Heaps. *Journal of Landscape Ecology* 8: 29–46.
- Chvojka P. 2008: Chrostíci (Trichoptera) Jizerských hor a Frýdlantska. Trichoptera of the Jizerské hory Mts and Frýdlant region (northern Bohemia, Czech Republic). Sborník Severočeského Muzea, Přírodní Vědy 26: 49–77.
- Chvojka P., Komzák P. & Špaček J. 2009: New faunistic records of Trichoptera (Insecta) from the Czech Republic III. *Acta Musei Moraviae, Scientiae biologicae* 94: 81–85.
- Chvojka P., Špaček J., Komzák P. & Lukáš J. 2016: New faunistic records of Trichoptera from the Czech Republic and Slovakia. Nové faunistické nálezy chrostíků (Trichoptera) z České republiky a Slovenska. *Klapalekiana* 52: 43–46.
- Chvojka P. & Komzák P. 2017: Trichoptera (chrostíci). In: Hejda R., Farkač J. & Chobot K. (eds): *Červený seznam ohrožených druhů České republiky. Bezobratlí. Red List of Threatened Species in the Czech Republic. Invertebrates*. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha, pp. 170–174.
- Jackson D., Peres-Neto P. & Olden J. 2001: What Controls Who Is Where in Freshwater Fish Communities—The Roles of Biotic, Abiotic, and Spatial Factors. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58: 157–170.
- Jackson J. K., Mcelravy E. P. & Resh V. H. 1999: Long-term movements of self-marked caddisfly larvae (Trichoptera: Sericostomatidae) in a California coastal mountain stream. *Freshwater Biology* 42: 525–536.
- Kolibáč J., Hudec K., Laštůvka Z. & Peňáz M. 2019: *Příroda České republiky, průvodce faunou*. Academia. Praha.
- Komzák P. & Kroča J. 2011: New faunistic records of Trichoptera (Insecta) from the Czech Republic, IV. *Acta Musei Moraviae, Scientiae biologicae* 96: 189–192.
- Komzák P. & Kroča J. 2018: New faunistic records of Hydroptilidae (Insecta, Trichoptera) from the Czech Republic. *Acta Musei Silesiae, Scientiae Naturales* 67: 165–173.

- Kumar P. & Mina U. 2021: *Fundamentals of Ecology and Environment*, 3rd ed., Pathfinder Publication, New Delhi.
- Mackay R. J. 1992: Colonization by lotic macroinvertebrates: a review of processes and patterns. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49: 617–628.
- Mackay R. J. & Wiggins G. B. 1979: Ecological diversity in Trichoptera. *Annual Review of Entomology* 24: 185-208.
- Meeker D. O. & Merkel D. L. 1984: Climax theories and a recommendation for vegetation classification - a viewpoint. *Journal of Range Manage* 37: 427–430.
- Mermillod-Blondin F., Lefour C., Lalouette L., Renault D., Malard F., Simon L. & Douady C. J. 2013: Thermal tolerance breadths among groundwater crustaceans living in a thermally constant environment. *Journal of Experimental Biology* 216 (9): 1683–1694.
- Merritt R. W. & Cummins K. W. 2019: *An introduction to the aquatic insects of North America*, 5th ed. Kendall Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa, pp. 585–764.
- Microsoft 2020: Excel. MS Office 365, Verze 2204. Dostupné z <https://www.microsoft.com/cs-cz/microsoft-365/excel>.
- Morse J. C. 2009: Trichoptera (Caddisflies). In: Resh V. H. & Cardé R. T. (eds.): *Encyclopedia of Insects*. 2nd edition. Academic Press, San Diego, pp. 1015–1020.
- Morse J. C., Frandsen P. B., Graf W. & Thomas J. A. 2019: Diversity and ecosystem services of Trichoptera. *Insects* 10: 125.
- Odum E. P. 1977: *Základy ekologie*, 1. Vydání. Academia, Praha.
- Paver S. F. & Kent A. D. 2017: Direct and context-dependent effects of light, temperature, and phytoplankton shape bacterial community composition. *Ecosphere* 8(9):e01948, pp. 1–14.
- Polášková V., Schenková J., Bartošová M., Rádková V. & Horsák M. 2017: Post-mining calcareous seepages as surrogate habitats for aquatic macroinvertebrate biota of vanishing calcareous spring fens. *Ecological Engineering* 109: 119–132.

- Prach K. & Walker W. R. 2020: *Comparative Plant Succession among Terrestrial Biomes of the World*. Cambridge University Press.
- Prach K. 2010: Výsypky. In: Řehounek J., Řehouňková K., Prach K. (ed.): *Ekologická obnova území narušených těžbou nerostných surovin a průmyslovými deponiemi*. Calla, České Budějovice. pp. 15–35.
- Prach K., Marrs R., Pyšek P. & van Diggelen, R. 2007: Manipulation of Succession. In: Walker L., Walker J. & Hobbs R. H. (ed.): *Linking restoration and ecological succession*. Springer, New York, pp. 121–149.
- Price P. W., Denno R. F., Eubanks M. D. & Finke D. L. & Kaplan I. 2011: *Insect Ecology: Behavior, Populations and Communities*. Cambridge University Press, New York, USA.
- Příkryl I. 2003: *Vody vznikající v souvislosti s těžbou uhlí*. Sborník z konference Hnědé uhlí. Most.
- Příkryl I. 2006: Vody vznikající v Podkrušnohoří v souvislosti s těžbou nerostů. In: Sacherová V. (ed.): *Sborník příspěvků XIV. konference České limnologické společnosti a Slovenskej limnologickej spoločnosti*. Česká limnologická společnost, Praha, pp. 64–65.
- Reitschmiedová E. & Frouz J. 2016. Sokolovské výsypky: Od měsíční krajiny po les. Uchycování pionýrských druhů dřevin a jejich význam. *Fórum ochrany přírody* 1: 29–33.
- Rietschel, S. 2011: *Hmyz: 3 znaky: klíč ke spolehlivému určování*. 3. vydání. Rebo, Čestlice.
- Rivola M. 1982: Vegetace středočeských pěnovců. *Preslia* 54: 329–339.
- Ross H. H. 1944: The Caddis Flies, or Trichoptera, of Illinois. *Illinois Natural History Survey Bulletin* 23: 1–326.
- Ross H. H. 1967: The Evolution and Past Dispersal of the Trichoptera. *Annual Review of Entomology* 12: 169–206.
- Rozkošný R. 1980: *Klíč vodních larev hmyzu*. Academia, Praha.

- Řehounek J., Řehouňková K. & Prach K. (eds.) 2010: *Ekologická obnova území narušených těžbou nerostných surovin a průmyslovými deponiemi*. Calla, České Budějovice.
- Salokannel J., Wahlberg N., Vesterinen E., Martinez J. & González M. 2012: A taxonomic study of the caddisfly *Oxyethira falcata* Morton, 1893 (Trichoptera: Hydroptilidae) using genital morphology and DNA barcoding. *Entomologica Fennica* 23 (4): 199–205.
- Shapas T. J. & Hilsenhoff W. L. 1976: Feeding Habits of Wisconsin's Predominant Lotic Plecoptera, Ephemeroptera, and Trichoptera. *The Great Lakes Entomologist* 9: 175–188.
- Schowalter T. D. 2011: *Insect Ecology: An Ecosystem Approach*. Fourth edition. Academic Press, London.
- TIBCO Software Inc. 2020: Statistica. Data Science Workbench, Verze 14. Dostupné z <http://tibco.com>.
- Tonkin J. D., Altermatt F., Finn D., Heino J., Olden J. D., Pauls S. U. & Lytle D. A. 2018: The role of dispersal in river network metacommunities: Patterns, processes, and pathways. *Freshwater Biology* 63: 141–163.
- Tropek R. & Řehounek J. 2012: *Bezobratlí postindustriálních stanovišť: význam, ochrana a management*. Entomologický ústav AV ČR, České Budějovice.
- Tropek R., Kadlec T., Karesova P., Spitzer L., Kocarek P., Malenovský I., Banar P., Tuf I. H., Hejda M. & Konvíčka M. 2010: Spontaneous succession in limestone quarries as an effective restoration tool for endangered arthropods and plants. *Journal of Applied Ecology* 47: 139–147.
- Verberk W. C., Bartolini F., Marshall D. J., Pörtner H. O., Terblanche J. S. White, C. R. & Giomi F. 2016: Can respiratory physiology predict thermal niches? *Annals of the New York Academy of Sciences* 1365(1): 73–88.
- Verdonschot P. F. M., Besse-Lototskaya, A. A., Dekkers D. B. M. & Verdonschot R. C. M. 2014: Directional movement in response to altered flow in six lowland stream Trichoptera. *Hydrobiologia* 740: 219–230.

- Vráblíková J. 2008: *Revitalizace antropogenně postižené krajiny v Podkrušnohoří. II. část. Teoretická východiska pro možnost revitalizace území v modelové oblasti*. Univerzita J. E. Purkyně, Ústí nad Labem.
- VÚHU a.s. 2003: Geologické, inž. geologické a hydrologické hodnocení jednotlivých oblastí. *Koncept řešení ekologických škod*. Dostupné z [http://www.15miliard.cz/cd\\_fnm\\_oprava/kapitola\\_03/Kapitola\\_3\\_TEXT.pdf](http://www.15miliard.cz/cd_fnm_oprava/kapitola_03/Kapitola_3_TEXT.pdf). Verze z 2. 5. 2022
- Walker L. R. & del Moral R. 2003: *Primary succession and ecosystem rehabilitation*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Walker L. R. & del Moral R. 2011: Primary Succession. In: Wiley J. & Sons (ed.): *Encyclopedia of Life Sciences*, Chichester, pp. 1–8.
- Waringer J. & Graf W. 2011: *Atlas der mitteleuropäischen Köcherfliegenlarven. Atlas of Central European Trichoptera Larvae*. Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben.
- Wells A. 2005: Parasitism by hydroptilid caddisflies (Trichoptera) and seven new species of Hydroptilidae from northern Queensland. *Australian Journal of Entomology* 44: 385–391.
- Zahradník J. 2015: *Hmyz*. Třetí české upravené vydání. Aventinum, Praha.

## Příloha A Tabulka č. 2: Vybrané roční průměry naměřené proměnných na Okružním potoce

LOKALITA	O1		O2		O3		O4		O5		O6		O7	
ROK	2014	2019	2014	2019	2014	2019	2014	2019	2014	2019	2014	2019	2014	2019
teplota (°C)	11,9	12,2	14,3	12,0	15,7	12,4	17,9	13,0	17,3	14,2	16,6	13,2	17,6	13,6
pH	7,47	6,99	7,66	7,81	7,88	7,92	7,92	7,73	8,03	8,02	8,01	8,02	8,23	8,30
vodivost (μS/cm)	5391	5866	5926	5773	5855	5388	5693	5547	5663	4893	5226	4358	5071	4779
DO (mg/l)	0,23	3,84	8,29	10,25	8,66	9,92	8,78	9,10	7,77	9,77	8,97	8,48	8,93	4,93
pěnovec (%)	0,0	2,5	5,0	40,0	30,0	80,0	95,0	90,0	50,0	87,5	80,0	45,0	75,0	62,5
koeficient phi8	13,8	14,6	11,0	15,1	13,4	11,7	9,6	11,9	7,2	11,7	11,2	12,0	8,8	15,4
šířka (m)	1,2	7,0	2,1	5,5	2,4	5,9	5,9	8,5	0,4	0,4	1,1	0,9	1,3	1,5
hloubka (m)	0,049	0,084	0,063	0,047	0,048	0,036	0,038	0,033	0,034	0,048	0,090	0,133	0,103	0,143
rychlost (m/s)	0,033	0,000	0,100	0,109	0,086	0,094	0,073	0,092	0,052	0,238	0,036	0,071	0,071	0,155
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	319	568	335	579	330	578	295	505	260	493	204	380	201	386
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	337	283	339	272	335	283	338	280	346	280	381	282	318	260
Na <sup>+</sup> (mg/l)	758	548	749	554	748	533	749	534	765	525	625	467	631	486
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	4,39	7,09	5,78	7,16	5,85	8,78	5,91	8,00	5,25	8,13	4,98	7,61	5,98	9,37
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	3760	3 970	3640	4 340	3560	4 890	3600	4 420	3580	5 360	3200	3 630	3080	3 920
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0,20	0,94	0,60	1,07	0,70	1,10	0,70	1,00	0,50	0,75	0,10	0,25	0,20	0,39
Fe (mg/l)	24,8	2,19	0,3	0,09	0,09	0,06	0,04	0,04	0,09	0,06	0,07	0,06	0,12	0,16

## Příloha B Tabulka č. 3: Vybrané roční průměry naměřené proměnných na Modráčkovém potoce

LOKALITA ROK	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	2014	2019	2014	2019	2014	2019	2014	2019	2014	2019	2014	2019
teplota (°C)	15,6	10,9	13,3	11,0	18,1	13,5	16,7	13,4	15,5	14,1	14,0	13,6
pH	6,80	6,94	7,77	7,62	8,04	7,88	7,31	6,98	7,89	7,94	8,28	8,25
vodivost (µS/cm)	4915	4472	5062	4964	4925	4708	3648	3271	3742	3399	3737	3499
DO (mg/l)	2,43	2,85	9,00	9,02	8,49	9,21	0,68	0,83	4,51	5,83	7,96	8,89
pěnovec (%)	5,0	35,0	45,0	70,0	90,0	65,0	1,0	0,0	15,0	67,5	0,0	7,5
koeficient příš	15,0	15,4	14,1	12,1	11,7	12,7	15,8	15,7	13,6	13,5	8,8	10,2
šířka (m)	11,0	8,8	2,2	3,4	2,5	1,3	2,0	1,5	1,2	1,2	0,6	0,7
hloubka (m)	0,164	0,217	0,039	0,038	0,050	0,057	0,115	0,194	0,040	0,058	0,043	0,098
rychlost (m/s)	0,035	0,013	0,131	0,087	0,030	0,213	0,000	0,009	0,019	0,015	0,030	0,050
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	615	509	575	514	556	436	693	408	329	213	334	185
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	337	259	287	261	278	253	301	193	200	186	204	178
Na <sup>+</sup> (mg/l)	582	443	602	455	560	453	282	272	474	403	490	398
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	5,99	14,05	8,16	7,09	5,46	7,74	6,45	6,64	2,57	3,45	1,97	3,12
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	3 180	4 380	3 160	3 740	3 130	3 550	2 030	2 910	2 080	3 370	2 080	2 610
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0,06	0,97	0,07	0,81	0,10	0,67	0,06	0,47	0,84	0,28	1,01	0,29
Fe (mg/l)	49,7	51,1	14,1	1,91	7,11	5,09	1 980	6,21	1,57	0,07	3,86	0,04