

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra botaniky

**Vliv environmentálních podmínek
na životní cykly a emergenci pošvatek**

Diplomová práce

Bc. Pavel Strnad

Studijní program: Biologie

Studijní obor: Učitelství biologie pro střední školy, Učitelství geografie pro střední školy

Forma studia: Prezenční

Vedoucí práce: RNDr. Vladimír Uvíra, Dr.

Olomouc 2018

Bibliografická identifikace

Autor: Bc. Pavel Strnad

Název práce: Vliv environmentálních podmínek na životní cykly a emergenci pošvatek

Typ práce: Diplomová práce

Pracoviště: Katedra botaniky, PřF UP v Olomouci

Vedoucí práce: RNDr. Vladimír Uvíra, Dr.

Rozsah práce: 65 stran

Abstrakt: Diplomová práce se zabývá vlivem abiotických (hydro-meteorologických) faktorů na emergenci pošvatek (Plecoptera), důležité bioindikační skupiny vodního hmyzu. Zjišťuje, který faktor nejvýznamněji ovlivňuje emergenci pošvatek jako celku a vlivy vybraných faktorů jsou rozpracovány zvlášť pro jednotlivé čeledě. Podklady pro data vznikly v rámci projektu RITRODAT–LUNZ Rakouské Akademie věd v letech 1982–2005 na biologické stanici v Lunz am See v Rakousku. V didaktické části je vypracovaná didaktická analýza na téma *Vodní hmyz*, společně s návrhem terénního cvičení, a metodický list pro výukový program s tématem *Voda a život v ní* pro žáky základní školy, který byl ověřen v praxi.

Klíčová slova: emergence, životní cyklus, pošvatky, abiotické faktory, RITRODAT–LUNZ

Bibliographical identification

Autor: Bc. Pavel Strnad

Title of thesis: Influence of the environmental conditions on the life cycles and emergence of stoneflies

Type of thesis: Master's thesis

Pracoviště: Department of botany, Palacký University Olomouc

Supervisor: RNDr. Vladimír Uvíra, Dr.

Number of pages: 65 pages

Abstract: This master's thesis deals with the influence of abiotic (hydro-meteorological) factors on the emergence of stoneflies (Plecoptera), an important bioindication group of water insects. The thesis explores which factor affects most significantly the emergence of this group. The effects of selected factors are elaborated separately for each family. Data for the analysis was obtained within the project of the Austrian Academy of Sciences RITRODAT–LUNZ at the Biological Station in Lunz am See, Austria, during the years 1982–2005. A didactic analysis, dealing with issue of water insects, is elaborated in the didactic part of the thesis, together with the scheme of field exercises and a methodological sheet for a teaching program for elementary school pupils with topic *Water and life in it*, which was verified in practice.

Key words: emergence, life cycles, stoneflies, abiotic factors, RITRODAT–LUNZ

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou práci vypracoval samostatně za použití citované literatury a zdrojů.

V Olomouci dne

.....

Pavel Strnad

Rád bych poděkoval především vedoucímu práce RNDr. Vladimíru Uvírovi, Dr. a Mgr. Bronislavě Janíčkové MBA za trpělivost, vstřícnost, odborné rady a připomínky. Dále jsem moc vděčný Mgr. Petru Pyszkovi za pomoc při statistickém zpracování výsledků. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat Dr. Marii Leichtfried za umožnění návštěvy zkoumané lokality.

Obsah

Obsah.....	6
Seznam obrázků a grafů	8
1 Úvod.....	9
2 Cíl práce	10
3 Charakteristika pošvatek	11
3.1 Morfologie larev	12
3.2 Morfologie dospělců.....	14
3.3 Životní cyklus a emergence	16
3.3.1 Páření a ovipozice	16
3.3.2 Emergence	17
4 Lokalita	19
5 Metodika	21
5.1 Sběr vzorků.....	21
5.2 Vzorkování	24
5.3 Zpracování dat	25
6 Výsledky	27
6.1 Podobnost společenstev v jednotlivých letech	27
6.2 Časový průběh emergence čeledí	28
6.3 Vztah čeledí k pastem.....	29
6.4 Výběr nejprůkaznějších faktorů.....	30
6.5 Abiotické faktory ovlivňující emergenci	31
7 Diskuze	36
7.1 Podobnost společenstev v jednotlivých letech	36
7.2 Emergence čeledí v průběhu sezóny	36
7.3 Nejprůkaznější faktory ovlivňující emergenci	38
7.4 Vliv abiotických faktorů na emergenci	38
7.4.1 Teplota vzduchu	39
7.4.2 Zaplavenost pastí.....	39
7.4.3 Teplota vody.....	40
8 Didaktická část.....	42
8.1 Didaktická analýza tématu.....	42
8.2 Metodický list.....	48
8.3 Ověření ve výuce	53
9 Závěr	56

10	Seznam použité literatury	57
11	Přílohy	62
	1 Návrh pracovního listu k terénnímu cvičení.....	62
	2 Pracovní list pro výukový program	64

Seznam obrázků a grafů

Obr. 1: Larva pošvatky, dorzální pohled.....	13
Obr. 2: <i>Leuctra major</i> , Leuctridae.....	16
Obr. 3: Biologická stanice v Lunz am See.....	20
Obr. 4: Část toku Oberer Seebach, zkoumaná lokalita.....	20
Obr. 5: Emergenční past.....	23
Obr. 6: Meteorologická stanice poblíž zkoumané lokality.....	23
Obr. 7: Umístění zkoumaných emergenčních pastí v toku.....	24
Obr. 8: Kresba larvy chrostíka.....	51
Obr. 9: Výsledná práce žáků.....	54
Obr. 10: Určování nachytaného hmyzu.....	55
Graf 1: Podobnost společenstev v jednotlivých letech.....	27
Graf 2: Emergence čeledí v průběhu roku (1982–2005).....	28
Graf 3: Vztah čeledí k pastem.....	29
Graf 4: Redundační analýza faktorů čas, sezóna a pasti.....	30
Graf 5: Nejprůkaznější abiotické faktory ovlivňující emergenci.....	31
Graf 6a: Odpověď čeledí Leuctridae, Nemouridae a Chloroperlidae na teplotu vzduchu..	32
Graf 6b: Odpověď čeledí Perlodidae, Perlidae a Capniidae na teplotu vzduchu.....	33
Graf 7a: Vliv vybraných abiotických faktorů na emergenci čeledí pošvatek.....	34
Graf 7b: Vliv vybraných abiotických faktorů na emergenci čeledí pošvatek.....	34

1 Úvod

Voda je často brána jako něco samozřejmého. Pro člověka tu byla od nepaměti a lidé si neradi připouštějí, že by o ní mohli jakkoliv přijít. Klimatické změny (zejména sucho), znečišťování a plýtvání vodou jsou však reálné jevy a je potřeba, aby se o ně, o jejich příčiny a důsledky, veřejnost zajímala. Tato diplomová práce by k tomu měla přispět, a to hned z několika hledisek.

Pošvatky, jakožto významná bioindikační skupina bezobratlých, jsou s vodou úzce spjaté. Pozorováním změn v jejich životním cyklu (posun doby páření, kladení vajíček a především emergence) je možné zjišťovat konkrétní vlivy měnících se klimatických a ekologických podmínek na celý vodní ekosystém. Změny se týkají zejména teploty vody, vzduchu, hodnoty pH, koncentrace kyslíku a v neposlední řadě hydrologických a světelných podmínek. To vše může být negativně ovlivňováno přirozenými i antropogenními vlivy. Bioindikační skupiny nám pak mohou dát odpověď na to, v jaké míře změny hodnot ve vybraných parametrech přímo ovlivňují vodní ekosystémy. Vodní bezobratlí jsou významným článkem potravního řetězce a změny v jejich životních cyklech, nebo dokonce změny v počtu jedinců, mohou být fatální pro živočichy v dalších úrovních potravní pyramidy (STEWART 2009).

O vodu by se lidé měli zajímat už od školních let. Měli by si k ní vytvořit vztah a vědět, jak chránit to, co v ní žije a roste. I sebemenší potok má svůj ekosystém, svá jasná ekologická pravidla a každé narušení je rizikem nejen pro organismy v toku, ale i v celém povodí a v konečném důsledku pro celou přírodu. V didaktické části diplomové práce je proto popsán program pro 5. třídu ZŠ, který se snaží žáky k vodě v přírodě přivést a zkoumat ji, docílit toho, aby žáci získávali zajímavé informace o samotném vodním toku, ale hlavně o fauně a flóře v něm. Součástí je i metodický list, díky němuž může tento program zopakovat kterýkoliv pedagogický pracovník v rámci školního pobytu v přírodě, ať už na výletě, škole v přírodě nebo v rámci standartní výuky.

2 Cíl práce

Cílem diplomové práce je komplexně charakterizovat zkoumaný řád pošvatek (Plecoptera). Výstupem výzkumné části by mělo být zhodnocení hydrologických a teplotních nároků čeledí pošvatek a analýza vlivu abiotických faktorů na intenzitu emergence jednotlivých čeledí, potažmo celého zkoumaného řádu. To vše na základě vzorků sesbíraných z emergenčních pastí v alpském potoce Oberer Seebach mezi lety 1982 až 2005 v rámci projektu RITRODAT – LUNZ. Dalším cílem je vytvořit didaktickou analýzu k tématu *Vodní hmyz* pro studenty středních škol a metodický list pro výukový program pro žáky prvního a druhého stupně ZŠ s tématem *Voda a život v ní*, který je zaměřen na faunu vodního toku, a tento výukový program ověřit v praxi.

3 Charakteristika pošvatek

Pošvatky jsou jedním z nejstarších zástupců hmyzu. Celosvětově je uváděno více než 3300 druhů rozdělených do 15 čeledí, v Evropě pak 571 druhů a poddruhů (WEISS *et al.* 2012). Čísla se však liší dle autorů (PRYCE *et al.* (2007) uvádí 2700 druhů, STEWART (2009) a WILLIAMS & FALTMATE (1992) jen 2000 druhů). Pošovatky bývají rozdělovány do dvou podřádů: z větší části na severní polokouli se vyskytují čeledi z podřádu Arctoperlaria. Na jižní polokouli je to pak podřád Antarctoperlaria. Oba tyto taxony zahrnují jak herbivorní, tak predátorské druhy (STEWART 2009). V této diplomové práci se budu zabývat především pošvatkami vyskytujícími se na území Evropy, tedy Arctoperlaria, která se dále dělí do dvou skupin – Systellognatha (čeledi Chloroperlidae, Perlidae a Perlodidae) a Euholognatha (Capniidae, Leuctridae, Nemouridae, Taeniopterygidae) (ZWICK 1973). Kromě tohoto označení je možné setkat se v literatuře s rozdělením do skupin Setipalpia (Systellognatha) a Filipalpia (Euholognatha) (RAUŠER 1980).

Larvy pošvatek tvoří značné množství biomasy v tekoucích vodách a jsou tak nenahraditelnou součástí tohoto všudypřítomného ekosystému. Nymfy žijí v čistých, na kyslík bohatých vodách a bývají velmi citlivé na teplotní změny a organické znečištění. Pošovatky jsou mezi prvními skupinami živočichů, které mizí po zvýšení polutantů v toku. To z nich dělá skvělé bioindikátory čistoty vody a klimatických změn (PRYCE *et al.* 2007). Společně s jepicemi (Ephemeroptera) a chrostíky (Trichoptera) tvoří základ tzv. EPT indexu, který odhaduje kvalitu vody na základě abundance těchto tří hlavních bioindikačních skupin vodního hmyzu. EPT index vyjadřuje v procentech podíl zastoupení skupin EPT v celkovém množství taxonů ve zkoumané lokalitě (UNH CENTER OF FRESHWATER BIOLOGY 2013).

Kvůli nízké toleranci na výkyvy v kvalitě vody pošvatky citelně reagovaly na nástup průmyslové výroby v Evropě. Na středních tocích je jejich populace řídká a na dolních tocích pošvatky téměř vymizely. K tomu přispěla i jejich věrnost svému původnímu stanovišti a malá snaha o disperzi (REISINGER *et al.* 2006). Nymfy pošvatek preferují chladnější toky, především v horách. Některé druhy tolerují i níže položené řeky napájené vodou z tajícího sněhu. Terestričtí dospělci jsou vázáni na chladná a vlhká stanoviště. Některé zástupce lze nalézt i v oligotrofních jezerech, ale teplota musí být vždy pod 25 °C. Z tohoto důvodu se pošvatky vyskytují spíše ve vyšších zeměpisných šířkách anebo mají cirkumpolární rozšíření (WILLIAMS & FALTMATE 1992). V oblastech blíže rovníku bychom pošvatky našli na vysoko položených anebo silně zalesněných stanovištích. Pokud se zaměříme na evropské

pošvatky, tak větší diverzitu vykazují v oblastech střední a jižní Evropy. Je to z důvodu bariéry vzniklé ledovcem během pleistocenního zalednění, kdy se v ledovcových refugiích na jižní hranici ledovce vytvořila značná diverzita pošvatek a zároveň byly zásadně zredukovány populace v zaledněných oblastech. Ledovec je v současné době nahrazen bariérou evropských pohoří, která se táhnou ve východně-západním směru a znemožňují pošvatkám větší osídlení západní a severní Evropy (BRITAIN 1990).

Pošvatky jsou řádem velmi variabilním. Díky samostatnému vývoji populací v oddělených refugiích se jednotlivé čeledi přizpůsobily dostupnému typu potravy a substrátu. Nymfy mohou být detritofágy, herbivory, omnivory nebo predátory. Také se u nich vyvinuly odlišné znaky. Každá z čeledí má unikátní kombinaci křídelní žilnatiny, stavby pohlavního ústrojí a tracheálních žaber (STEWART 2009).

3.1 Morfologie larev

Samotné larvy se podobají dospělcům s tím rozdílem, že na konci abdomenu mají vždy dva dlouhé štěty (tzv. cerky). Jejich lehce zploštělé válcovité tělo a silné nohy jim dopomáhají k tomu, aby se co nejvíce přimknuly ke kamenům či jiným předmětům ve vodě, kde není rychlost proudění tak vysoká. Larvy některých druhů žijí zahrabány hluboko v substrátu a na povrch se dostávají až v období emergence (PRYCE *et al.* 2007). Plavou omezeně a pokud se působením vnějších vlivů dostanou do driftu, snaží se okamžitě střídavými pohyby nohou a horizontálním vlněním zadečku doplavit zpět na dno (REISINGER *et al.* 2006).

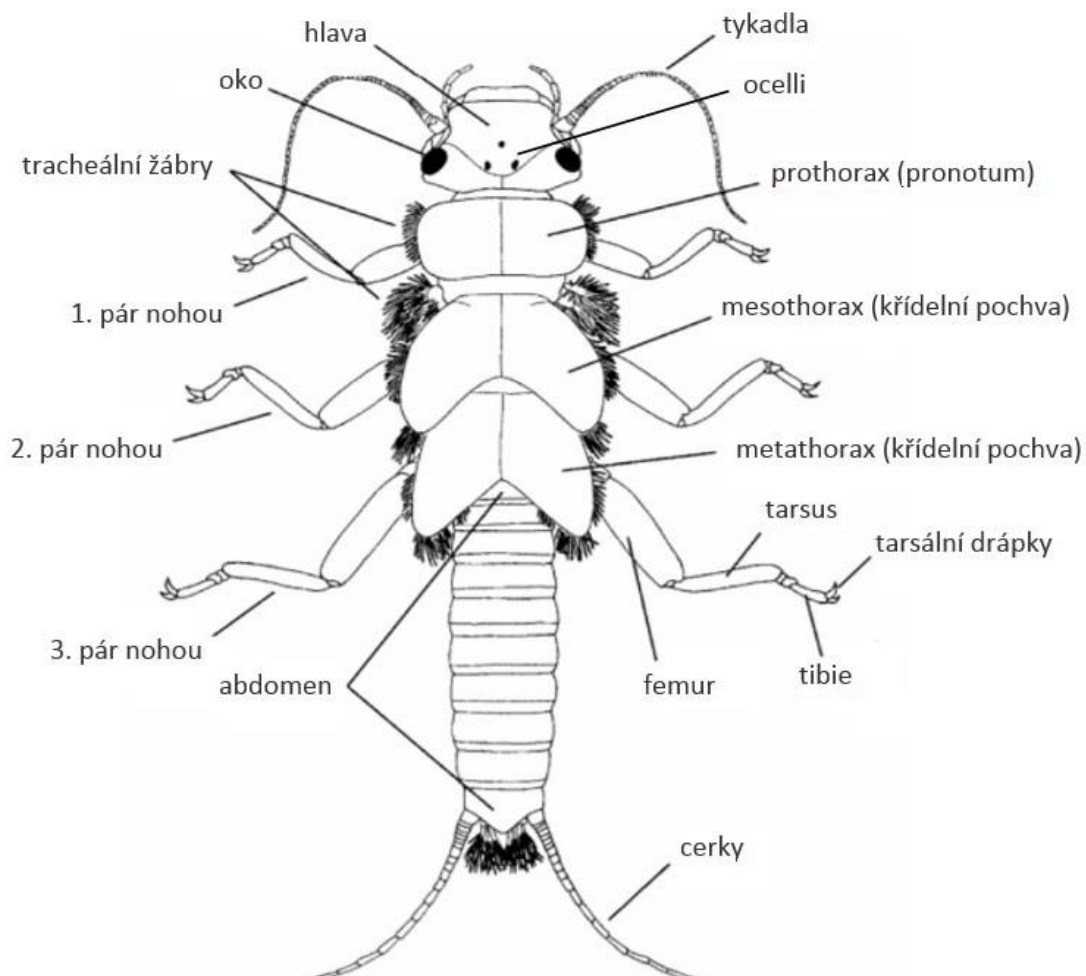
Velikost larev se pohybuje od několika milimetrů (Leuctridae, Nemouridae) až po centrimetry (Perlidae a Perlodidae až 5 cm). Jejich barva může být světle hnědá až hnědá (Leuctridae, Nemouridae), světle zelená (Chloroperlidae) nebo mohou nést různé tmavé či barevné vzory (Perlidae, Perlodidae) (BOUCHARD 2004).

Prognátní hlava je klenutá nebo zploštělá a nese výrazný epikraniální šev (RAUŠER 1980). Larvy začínají svůj život jako herbivoři nebo detrivoři a živí se rozsivkami, řasami nebo rozkládajícími se rostlinnými zbytky. V průběhu vývoje se u některých čeledí tato potravní specializace nemění (Leuctridae, Nemouridae, Taeniopterygidae, Capniidae). Zástupci z čeledí Perlidae, Perlodidae a Chloroperlidae se stanou omnivory, a kromě rostlinné potravy se živí malými korýši, larvami jiného hmyzu nebo červy (PRYCE *et al.* 2007). Dravé larvy se vyznačují zvýšenou pohyblivostí, kdežto herbivorní druhy jsou značně pomalejší (REISINGER *et al.* 2006). Pro různé potravní specializace je také typická morfologie ústního ústrojí. Dravé pošvatky mají symetricky protáhlá, ozubená kusadla a nezúžená pěti-článková makadla. Pošvatky živící se rostlinou potravou mají mohutná, silná kusadla a zúžená čelistní

makadla. Rozdíl je také ve stavbě svrchní a spodního pysku (RAUŠER 1980). Tykadla, složené oči a ocelli jsou strukturálně velmi podobné jako u dospělců (WILLIAMS & FALTMATE 1992).

Každý hrudní článek je krytý samostatným štítem (pronotem, mesonotem, respektive metanotem) (Obr. 1), který je rozdělen na dvě štítová pole středním švem (RAUŠER 1980). Od dospělců je odlišuje přítomnost vnějších žaber a samozřejmě absence křídel. Tvar křídelních pochev u jednotlivých čeledí se liší a může sloužit jako dobrý determinační znak (BOUCHARD 2004). Většinou během posledních šesti instarů se v pochvách začnou vyvíjet samotná křídla (PRYCE *et al.* 2007). Důležitým determinačním znakem je také vzájemná velikost tří tarsálních článků. Na nohách se často vyskytují plovací chlupy (RAUŠER 1980).

Larvy dýchají pomocí tracheálních žaber. Tracheální žábry mohou být umístěny jak na thoraxu, tak na abdomenu. Některé druhy dýchají difuzí přes tělní kryt. Kromě dýchání mají žábry u některých čeledí využití jako chemoreceptory a mechanoreceptory (WILLIAMS & FALTMATE 1992). Mladí jedinci, kteří ještě nemají vyvinuté tracheální žábry, dýchají přes střevní epitel nasáváním a vypuzováním vody z a do konečníku (LELLÁK *et al.* 1982).



Obr. 1: Larva pošvatky, dorzální pohled (BOUCHARD 2004, upraveno: Pavel Strnad)

Nymfy procházejí několika instary. Většina autorů uvádí jejich počet mezi deseti až pětadvaceti (WILLIAMS & FALTMATE 1992; STEWART 2009; PRYCE *et al.* 2007; BRITAIN 1990). Počet instarů je kromě druhové příslušnosti ovlivněn podmínkami prostředí. LELLÁK *et al.* (1982) uvádějí, že větší druhy mají více instarů. Svou roli zde hraje dostatek potravy či teplota (BOTTOVÁ *et al.* 2013). Zpočátku mají larvy 12 antenálních a 6 cercálních segmentů a jen velmi malé tracheální žábry. S každým dalším instarem počet segmentů těchto výběžků přibývá, zvyšuje se celková hmotnost těla a tvrdost kutikuly. Využívají se také vnější žábry a vytváří se typické zbarvení (STEWART 2009).

3.2 Morfologie dospělců

Dospělci pošvatek se značně podobají larvám. Jsou okřídlení a chybí jim tracheální žábry. Abdominální cerky jsou u některých čeledí v dospělosti redukovány na jeden, maximálně dva články (Leuctridae, Nemouridae), u jiných zůstávají v původní délce (Perlodidae, Perlidae, Chloroperlidae) (PRYCE *et al.* 2007; WILLIAMS & FALTMATE 1992). Dlouhé cerky u dospělců mají význam při stabilizaci letu, krátké výběžky pak mohou pomáhat při kopulaci (WILLIAMS & FALTMATE 1992). Významnou charakteristikou dospělců pošvatek je mechanismus skládání křídel na abdomen a variabilní žilnatina křídel. Například zástupci čeledi Leuctridae téměř omotávají svá průsvitná křídla kolem zadečku a vytváří tak pochvu, od toho je odvíjen český název řádu (Obr. 2). Nejdůležitějším rozlišovacím znakem je však stavba pohlavních orgánů, které slouží k determinaci druhů a poddruhů (WILLIAMS & FALTMATE 1992; LILLEHAMMER 1988). Jinak si jsou ale dospělci vcelku podobní, protože větší selektivní tlaky působily především na larvální stádia. To se projevuje například ve větší variabilitě životních strategií larev (BRITAIN 1990).

Na hlavě disponují dospělci párem dobře vyvinutých složených očí doplněných dvěma až třemi očky (ocelli). Mandibuly, a obecně celé ústní ústrojí, mají primitivní až zcela zakrnělé (WILLIAMS & FALTMATE 1992). Buď potravu nepřijímají nebo se živí nektarem, lišejníky, řasami nebo plody (STEWART 2007). Druhy, které potravu nepřijímají, získaly všechny potřebné živiny pro tvorbu vajíček již v nedospělém stádiu a jsou tak připraveny na rozmnožování hned poté, co jim po emergenci ztvdne kutikula (WILLIAMS & FALTMATE 1992). Ostatní druhy však musí přijímat potravu, aby přežily dostatečně dlouho a byly schopné vytvořit vajíčka a rozmnožit se (HYNES 1967).

Dospělci mají velký prothorax se širokým, plochým pronotem. Mesothorax a metathorax jsou menší a na boční straně mají laterálně umístěné průduchy. Abdomen je většinou hladký, válcovitý nebo lehce dorzoventrálně zploštělý. U různých čeledí může

dosahovat různých délek, všechny skupiny ale mají shodně 10 abdominálních článků. Na bocích prvních osmi segmentů jsou, stejně jako u thoraxu, umístěny průduchy (WILLIAMS & FALTMATE 1992). Některé druhy si za hlavou nebo na člancích thoraxu zachovaly rudimenty tracheálních žaber (LELLÁK *et al.* 1982).

Některé alpské a arktické pošvatky mají menší nebo téměř zakrnělá křídla. Létat při nízkých teplotách vzduchu je energeticky náročné a pravděpodobně proto tyto druhy spíše směřovaly svou energii ke zvýšení úspěšnosti při reprodukci. Zástupci s takto redukovanými křídly zůstávají v blízkosti vody na substrátu, pod kameny nebo na vegetaci (BRITAIN 1990; HYNES 1976). I létající druhy však většinou zůstávají v blízkosti místa emergence. Jejich disperzní kapacita však není zcela známá (KOESE 2008). PETERSEN *et al.* (2007) uvádějí, že 90 % pošvatek se v průběhu života nedostane dál než 60 metrů od toku. Polovina dokonce nepřesáhne vzdálenost 18 metrů od místa emergence. Je to pravděpodobně dané tím, že pošvatky nejsou dobrými letci, jejich let je chaotický a pomalý. I některé okřídlené druhy nebyly nikdy v letu pozorovány (PRYCE *et al.* 2007). Nejlepšími letci jsou velké druhy z čeledi Perlidae, které zvládnou přeletět i delší vzdálenost (REISINGER *et al.* 2006).



Obr. 2: *Leuctra major*, Leuctridae (foto Jozef Šeršeň, 2014)

Dospělé pošvatky bývají nejvíce aktivní v období páření a kladení vajíček. V době páření však nevytváří roje, jako je tomu u některých druhů chrostíků či jepic (REISINGER *et al.* 2006). Druhy, emergující v zimních měsících, jsou aktivní i při teplotách pod bodem mrazu. Využívají své tmavé zbarvení, které kontrastuje s okolním sněhem a ledem, a

absorbuje tak více slunečního záření (WILLIAMS & FALTMATE 1992). Zástupce těchto druhů lze pozorovat i při teplotách klesajících k $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (REISINGER *et al.* 2006).

3.3 Životní cyklus a emergence

Pošvatky patří mezi řády hmyzu, u kterých délka života larev daleko přesahuje délku života dospělců. Nymfy procházejí energeticky náročnou emergencí a v následné fázi dospělce žijí nanejvýš 3 až 4 týdny. Životní cyklus pošvatek je nejčastěji univoltinní (jedna generace za jeden rok). Délka vývoje larvy se v tomto případě pohybuje od 4 do 12 měsíců. Krátká doba vývoje (4 až 7 měsíců) bývá dána dlouhým obdobím tzv. diapauzy, kdy je odloženo vylíhnutí larvy z vajíčka (nebo pozastavený larvální vývoj) z důvodu nepříznivé teploty vody nebo vyschnutí toku. Toto období silného metabolického útlumu může trvat až 8 měsíců (STEWART 2009; ZWICK & HOHMANN 2003).

Výjimkou není ani semivoltinní životní cyklus (jedna generace za dva až tři roky). Ta se vyskytuje především u větších druhů (např. čeled' Perlodidae) (WILLIAMS & FALTMATE 1992). Některé arktické a alpské druhy dokáží mezi těmito typy cyklů přecházet podle konkrétních podmínek prostředí (BRITAIN 1990). U semivoltinních zástupců chladných toků je fáze vajíčka krátká, naopak nymfa ve svém vývoji může setrvat až 3 roky (STEWART 2009). V průběhu zimních měsíců u těchto jedinců nedochází k zastavení růstu larev, a to ani tehdy, když teplota vody klesne pod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (WILLIAMS & FALTMATE 1992). Multivoltinní cyklus (více generací za jeden rok) nebyl u pošvatek pozorován.

3.3.1 Páření a ovipozice

Hledání jedinců opačného pohlaví probíhá v drtivé většině případů pomocí akustické signalizace. Ta probíhá t'ukáním nebo třením abdomenu o substrát. Prošla dlouhým vývojem a dnes se pošvatky, oproti jiným zástupcům hmyzu, vyznačují poměrně složitými vzorci akustické signalizace. Kromě složitější rytmiky se u pošvatek objevují také specializované struktury na ventrální straně abdomenu nebo sofistikovanější výběr substrátu pro vysílání signálu (STEWART 2009). Akustickou signalizaci provádějí obě pohlaví. Signály ze strany samců jsou ale značně složitější. Obsahují totiž informace o fyzickém stavu samce, jeho druhové příslušnosti, reprodukční zdatnosti a jeho poloze. Samice poté odpovídá jednodušeji, především tím usnadňuje samci její lokalizaci (STEWART 2006).

U podřádu Arctoperlaria probíhá celý pářící proces v blízkosti vodního toku. Poté, co za pomocí akustické signalizace dojde k počátečnímu setkání obou jedinců opačného pohlaví, pokračuje samec ve svém vysílání. Pokud samička vyhodnotí samce jako přijatelného pro

páření, připojí se k bubnování a oba pokračují v jakémisi dvojhlasu (STEWART 2009). Samec samičku přesně lokalizuje a po setkání téměř okamžitě dochází ke kopulaci na pevné podložce v blízkosti vody. Ta trvá od několika minut do půl hodiny (REISINGER *et al.* 2006). Samci jsou polygamní (STEWART 2009).

Po oplození klade samička vajíčka, která do té doby nosí nalepená na 9. a 10. abdominálním článku (RAUŠER 1980). Počet vajíček se u jednotlivých čeledí pohybuje od 100 do 1500. (BRITTAIN 1990). TIERNO DE FIGUEROA & DERKA (2003) však u zástupce čeledi *Chloroperlidae* uvádějí i méně než 50 vajíček. Ta jsou velmi proměnlivá v mnoha znacích, jako je velikost a tvar nebo skulptury na povrchu. Většinou bývají vřetenovitá, ale vyskytují se i vajíčka kulovitá nebo trojhranná. Na povrchu mohou být hladká, pokrytá lepkavou membránou nebo nesou výběžky, které slouží k přichycení na vhodný substrát ve vodě. Samice klade vajíčka v kupkách, které vypouští do vody z výšky nebo při nárazech na vodní hladinu. Samičky některých druhů z čeledí Leuctridae a Nemouridae kladou vajíčka na hygropetrické (vlhké) břehy. Byly pozorovány i případy, kdy se samička potápí pod hladinu celá a klade vajíčka přímo na substrát. Kladení vajíček je velmi nebezpečné, pošvatky se v této době stávají jednoduchou kořistí pro ryby (STEWART 2009; PRYCE *et al.* 2007; REISINGER *et al.* 2006). Některá z vajíček mohou okamžitě po kontaktu s vodou pukat, což slouží jako dispersní mechanismus. Samice může klást vajíčka opakovaně v průběhu několika dnů (WILLIAMS & FALTMATE 1992). Standardně trvá embryonální vývoj 3 až 4 týdny. V případě pro larvu nevhodných environmentálních podmínek může nastat výše zmíněná diapauza (STEWART 2009).

3.3.2 Emergence

Emergence je velmi energeticky náročná a důležitá fáze života pošvatky. Je ovlivněná řadou environmentálních faktorů. V případě, že nejsou podmínky k emergenci ideální, dochází k jejímu posunu. Roli při emergenci hraje především teplota vody, teplota vzduchu, dále také vodní stav a umístění v toku (LILLEHAMMER 1988). Čím vyšší je teplota vody, tím rychleji dochází k ukončení larválního vývoje a doba jeho trvání se zkracuje. Stejně tak dochází ke zvýšení počtu emergujících jedinců (MIKULKA 2015). Vliv má také zeměpisná šířka a nadmořská výška, a to i v rámci druhu. Populace druhu žijící v chladnějších oblastech emergují později než jejich příbuzní v teplejších oblastech (HYNES 1976). Faktory, působící na emergenci jednotlivých čeledí z podřádu Arctoperlaria, a jejich význam, jsou uvedeny ve výzkumné části této diplomové práce.

Roční doba emergence se u jednotlivých druhů liší. Čeleď Leuctridae sdružuje druhy, které emergují jak v pozdně zimních měsících, tak na jaře i v létě a na počátku podzimu (PETERSEN *et al.* 1999). Zástupci čeledí Chloroperlidae, Perlidae a Perlodidae emergují v období pozdního jara až začátkem léta (PRYCE *et al.* 2007). Dospělce z čeledí Capniidae a Taeniopterygidae lze pozorovat již v chladných měsících na konci zimy a na počátku jara (BOUCHARD 2004). Zástupci z čeledi Nemouridae vylétávají hlavně v jarních měsících (duben–květen) (MIKULKA 2015; PRYCE *et al.* 2007). U většiny druhů emergují obě pohlaví simultánně, případně samice vylétají o něco dříve (WILLIAMS & FALTMATE 1992).

K emergenci dochází poté, co larva dosáhne svého posledního instaru. Poté vylézá na břeh, pobřežní vegetaci nebo obnažené kameny. Na dorzální straně těla dojde k protržení kutikuly a dospělý jedinec se postupně, trupem, poté hlavou, a nakonec abdomenem, dostává z exuvie ven. Okřídlené druhy poté suší svá křídla ve vertikální poloze (LILLEHAMMER 1988). Mladá imaga jsou po vylíhnutí o poznání světlejší než starší dospělci (REISINGER *et al.* 2006).

4 Lokalita

Lokalita Biologické stanice v Lunz am See (Obr. 3) se nachází v Dolním Rakousku, přibližně 100 km jihozápadně od Vídně, na severním vápencovém okraji východních Alp. Pasti na odchyt hmyzu byly umístěny v toku druhého řádu, který nese název Oberer Seebach. Šlo o 100 metrů dlouhý, neznečištěný úsek potoka, přibližně 500 metrů proti proudu od jeho ústí do jezera Lunzer Untersee, které leží v nadmořské výšce 600 m n. m. (BRETSCHKO & LEICHTFRIED 1988).

Oberer Seebach je chladný horský potok (Obr 4). Teplota vody v létě málokdy přesáhne 12 °C a roční průměrná teplota se pohybuje kolem 7 °C (BRETSCHKO & LEICHTFRIED 1988). Podloží je vápencové, což může ovlivňovat hodnotu pH vody a zvyšovat její zásaditost. Sedimenty v toku jsou tvořeny směsí převážně vápenců (z 84 %), dolomitů a pískovců (MATHOOKO & SCHMID 1993). Částice sedimentů jsou střední až velké, menší částice jsou zastoupeny z méně než deseti procent. Sediment má také velkou porozitu, což hraje roli při zásobování kyslíkem. Epigeická fauna v tomto úseku kolonizuje substrát až do hloubky 50 centimetrů (BRETSCHKO & LEICHTFRIED 1988).

Podnebí lokality je ovlivněno nadmořskou výškou. Průměrné roční teploty se pohybují kolem 6,6 °C. Průměrná letní maxima dosahují hodnot nad 32 °C a zimní minima pod -20 °C. Roční průměrné srážky činí 1515 mm. Vodní stav v Oberer Seebach je ale ovlivněn především tajícím sněhem v jarních měsících (WAGNER & LEICHTFRIED 2003).

Larvy vodních bezobratlých mohou využít spadlého listí a jehličí a jiných organických zbytků z vegetace v okolí toku, například ze smrku ztepilého (*Picea abies*) modřínu opadavého (*Larix decidua*) nebo buku lesního (*Fagus sylvatica*). Plocha povodí je z větší části tvořena smíšenými lesy právě s těmito zástupci (WAGNER & LEICHTFRIED 2003). Roste zde i jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior*), vrba jíva (*Salix caprea*) nebo javor klen (*Acer pseudoplatanus*) (WARINGER 1986).

Projekt byl kromě pošvatek zaměřen i na studium dalších skupin hmyzu. Žijí zde tedy i zástupci řádu chrostíků (Trichoptera), jepic (Ephemeroptera), dvoukřídých (Diptera) nebo brouků (Coleoptera). Tyto a další řády hmyzu, případně také drobní korýši, jsou důležitou součástí potravního řetězce vodního toku a jako potravu je využívají ryby, především vranky (*Cottus gobio*) nebo pstruh obecný (*Salmo trutta fario*) (WAGNER & LEICHTFRIED 2003).



Obr. 3: Biologická stanice v Lunz am See (foto Pavel Strnad, 2018)



Obr. 4: Část toku Oberer Seebach, zkoumaná lokalita (foto Pavel Strnad, 2018)

5 Metodika

Data pro tuto diplomovou práci byla shromažďována v rámci dlouholetého projektu RIDTRODAT–LUNZ, realizovaného na Biologické stanici v Lunz am See, která spadala pod Limnologický institut Rakouské akademie věd. Biologická stanice v Lunzu je významným výzkumným zařízením už od roku 1905 a v průběhu 20. století se zde vystřídalo mnoho rakouských i zahraničních vědeckých pracovníků (WASSERCLUSTER LUNZ 2018). Jedním z nich byl uznávaný rakouský biolog prof. Gernot Bretschko (1938-2002), který vedl Biologickou stanici v Lunzu od roku 1977 a ve stejném roce inicioval start projektu RITRODAT, ojedinělé studie ekosystému tekoucích vod (HERZIG & SCHIEMER 2002). Samotný projekt RITRODAT byl ukončen v roce 2003. Výzkumná lokalita je ale i nadále využívána pro nejrůznější studie. Kromě sběru živočišného materiálu bývá zkoumán i samotný sediment v toku, případně morfologie koryta.

Cílem RITRODATu byla komplexní analýza ekosystému horského potoka jak z hlediska vzájemných vztahů, tak z hlediska působení vnějších abiotických faktorů. Vedle samotného sběru vzorků makrozoobentosu a mikrobiálních společenstev byly měřeny hydrologické a meteorologické údaje. Šlo o vodní stav, chemismus, obsah organických látek, teplotu vody a vzduchu a množství srážek (WAGNER & LEICHTFRIED 2003). Sběr vzorků a dat probíhal téměř 25 let, v současné době dochází k časově náročnému třídění získaných vzorků a ke statistickému zpracování výsledných dat a jejich porovnání s hydrometeorologickými parametry.

5.1 Sběr vzorků

Samotný počátek projektu RITRODAT sahá do roku 1977 a oficiálně byl ukončen v roce 2003, i poté však docházelo k omezenému sběru vzorků až do roku 2009. Pro analýzu jsou k dispozici vzorky emergujícího hmyzu z let 1982–2005. Ve zmiňovaném, 100 metrů dlouhém úseku, bylo rozmístěno v průběhu sledovaného období různé množství pastí. Jejich počet se pohyboval mezi 12 až 30. Pasti byly umístěny na různých místech v toku, aby pokryly co nejširší variabilitu habitatů – hloubku, mělčinu, šterkové náplavy, místa periodicky vysychající, rozdílnou rychlost toku a další (WAGNER & LEICHTFRIED 2003).

Metod použitých při sběru vzorků zoobentosu bylo několik druhů. Při aplikaci jedné či jiné metody muselo být přihlédnuto k tomu, co má daná past splňovat. Žádná past není univerzální a je nutné přizpůsobit výběru vzorků. V případě občasných sběrů vzorků

z mělčích sedimentů byl použit tzv. Lunz–Sampler. Ten vychází z metody Hesse (1941) a Surbera (1934) a byl Bretschkem modifikován pro potřeby Biologické stanice v Lunz am See. Samotná past se skládá z plastové trubky či roury, síťoviny v přední části a sběrné zadní části. Sediment se rozruší a uvolněný sediment je společně s organismy zachycen v odnímatelné nádobce v zadní části.

Pro průzkum hyporeálu (hlubší vrstva dna s infiltrovanou říční vodou pod aktivním tokem až do hloubky několika decimetrů) byla aplikována sonda Stand Pipe Trap, dlouhý tubus s výřezem ve spodní části, který se zavedl do říčního dna. Na podobném principu fungovala sonda Cage Pipe Trap, která byla schopná sbírat vzorky z více hloubek najednou. Náročnější, ale velmi účinnou metodou byla metoda Freeze Core, která využívá kapalného dusíku ke zmrazení a odběru sedimentu včetně fauny a v sedimentu deponovaných organických látek. Živočichové driftující ve vodním sloupci byli zachycováni metodou využívající Box-type Driftsampler.

Pro kontinuální zachycování emergujících dospělců vodního hmyu, bylo využito pyramidových emergenčních pastí (Obr. 5). Základ tvoří pevná kovová konstrukce. Je nutné, aby past byla dostatečně zatížená a nebyla proudem stržena. Pro všechny případy je také přichycena v substrátu ocelovými háky či kolíky. Mezi rameny je natažena síťovina, přes kterou může proudit voda. Dno je otevřené, na vrcholu pasti je plastová nádobka s ethylenglykolem. Emergující larvy vylézají ze dna či hyporeálu na vnitřní stěnu pasti. Po dokončení proměny v dospělce se snaží vyletět, jsou však zachyceni v nádobce na vrcholu a usmrceni a zároveň fixováni ethylenglykolem. Jednotlivé pasti pokrývaly plochu 1000 cm² dna. Samotná past má rozměry 54 x 54 x 40 cm (WAGNER & LEICHTFRIED 2003).

V době sběru zachycených jedinců z pastí byly také měřeny meteorologické a hydrologické údaje. Vzhledem k poměrně malému prostorovému rozptylu pastí v potoce, byly údaje měřeny pouze na jednom místě a vztahují se k celé výzkumné lokalitě. Měřila se především teplota vzduchu, teplota vody a vodní stav. Tyto parametry doplňovaly také informace o teplotě vody v blízkém jezeře nebo množství spadlých srážek a informace o sněhové pokrývce (Obr. 6).



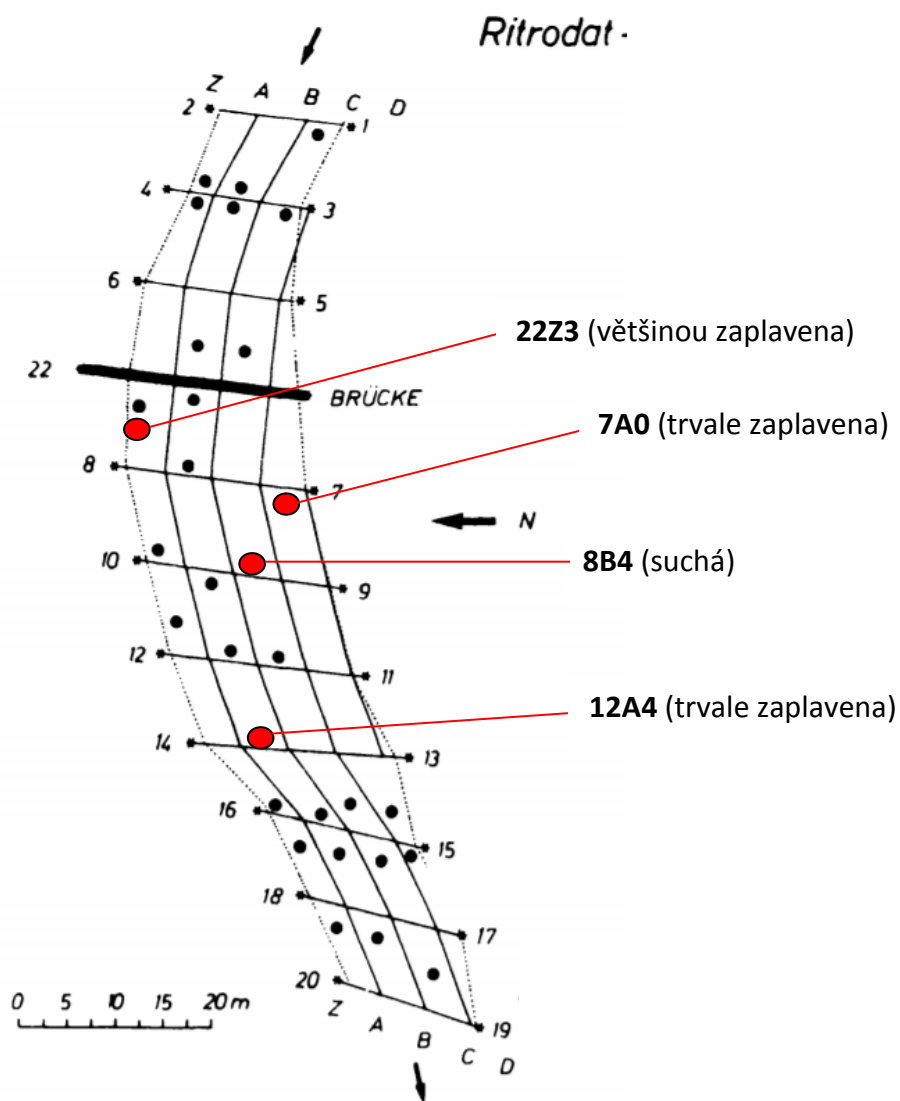
Obr. 5: Emergenční past (foto Pavel Strnad, 2018)



Obr. 6: Meteorologická stanice poblíž zkoumané lokality (foto Pavel Strnad, 2018)

5.2 Vzorkování

V diplomové práci jsou využita data ze čtyř emergenčních pastí: 7A0, 22Z3, 8B4 a 12A4 (jejich umístění v toku je znázorněno na obrázku 7). Pasti 12A4 a 8B4 byly v minulých letech rozebírány a determinovány Janou Fehérovou a Ondřejem Mikulkou. Čeledi a druhy z těchto dvou pastí však byly hodnoceny jen z části v rámci diplomových prací těchto dvou studentů (FEHÉROVÁ 2015, MIKULKA 2015). Každá z pastí se vybírala ve dvoudenních až třítydenních intervalech v závislosti na roční době. Z ethylenglykolu byly vzorky přemístěny do epruvet s 80% etanolem. Vzorky byly převezeny na Katedru zoologie Přírodovědecké fakulty UPOL a jsou předmětem dlouhodobého rozboru, na kterém se podílí několik studentů pod vedením dr. Uvíry a Mgr. Janíčkové.



Obr. 7: Umístění zkoumaných emergenčních pastí v toku (zdroj STUMMER 1982, upraveno: Pavel Strnad)

Determinace probíhá na několika úrovních. Nejprve se vzorky vytřídí na úroveň řádů. Řády s největší prioritou (Plecoptera, Trichoptera, Ephemeroptera) jsou dále vytříděny do čeledí, případně na nejnižší možnou taxonomickou úroveň (druhy). Vlastní třídění řádu pošvatek do čeledí probíhalo za pomoci klíčů (např.: Koese 2008, Pryce *et al.* 2007, Hynes 1967) a to na základě determinačních znaků (křídelní žilnatina, délka jednotlivých článků chodidla, přítomnost štětů a další). Vytříděné čeledi jsou nadále uchovávány v 80% ethanolu, označené číslem vzorku, které obsahuje údaj o pasti a datum sběru (např. 7A0/0 (7-B4/1) 2003-07-24) a připraveny k rozboru na nižší taxonomickou úroveň.

5.3 Zpracování dat

Při statistickém zpracování dat musel být nejprve vyřešen problém související s nestejným vybíráním zájmových pastí. V průběhu letních měsíců, kdy byl počet emergujících jedinců nejvyšší, docházelo k vybírání pastí častěji než v měsících chladnějších. V případě přímé analýzy by došlo k podhodnocení letních abundancí. Dalším problémem byla nejednotnost v intervalech výběru jednotlivých pastí, které se pohybovaly od jednoho do několika desítek dnů a mezi pastmi se lišily. V neposlední řadě hrál roli také fakt, že pasti nebyly vždy vybírány ve stejný den. Řešení těchto problémů spočívalo v přepočítání všech měřených faktorů a abundancí na stejně dlouhý časový úsek (v tomto případě 14denní).

Vzhledem k měření hloubky pouze na jednom místě v toku bylo potřeba zjistit, při jakém vodním stavu byly jednotlivé pasti zaplaveny či obnaženy. Byly vytvořeny kategorie, díky kterým mohl být určen vliv zatopení pasti na emergenci: 1 – suchá, 2 – zvodnělá, 3 – zcela zatopená. Zastoupení jednotlivých kategorií u pastí zobrazuje tabulka 1. Tyto kategorie byly převedeny na binomická data v rozsahu 0 až 1 (kde 1 znamená, že past byla celou dobu zaplavená) a ve směru daného faktoru roste doba, kdy byla past během daných 14 dnů zaplavena. V opačném směru roste počet dní, kdy byla na suchu.

Tabulka 1: Zatopení zkoumaných pastí

Past	Počet odběrů	Kategorie zaplavení (celkový počet)			Kategorie zaplavení (%)		
		1	2	3	1	2	3
12A4	982	42	55	869	4,3	5,6	88,5
22Z3	982	44	191	735	4,5	19,5	74,8
7A0	329	-	-	322	-	-	97,9
8B4	982	828	63	65	84,3	6,4	6,6

Past **22Z3** byla z celkových 982 měření 735x v kategorii 3, tedy zcela zatopena. Jde o 75 % všech měření. V 19,5 % případu byla zvodnělá.

Z pasti **7A0** bylo provedeno 329 odběrů a 322x byla zcela zatopena.

Past **8B4** byla umístěna na mělčině. Tomu odpovídá její 84% výskyt v kategorii 1 – suchá. Zcela zatopena byla ve výjimečných případech (povodních) – 6,6 % případů.

Past **12A4** byla v 88,5 % času zcela zaplavena.

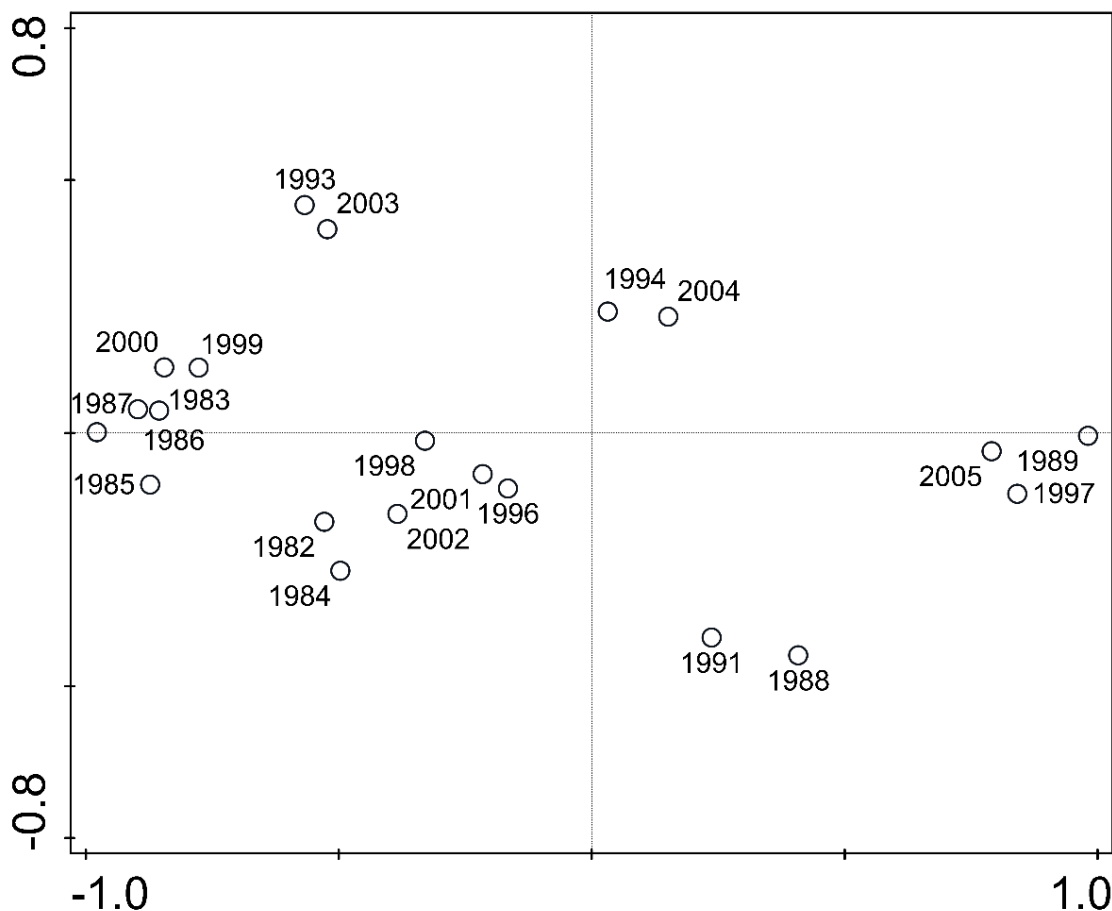
Při analýzách se počítalo tedy s hloubkou, která měla dva faktory: hloubku koryta v centimetrech, měřenou stále na jednom místě, a pak také již výše zmíněnou kategoriální hloubku na jednotlivých pastech. V průběhu let totiž docházelo k zanášení nebo naopak prohlubování koryta, a proto není možné vypočítat přesnou hloubku vody v centimetrech v místech, kde byly umístěny pasti. Oba výše zmíněné faktory jsou tudíž navzájem nezastupitelné. Statistické zpracování bylo provedeno v programech Canoco 5.01 a R 3.4.3.

6 Výsledky

Při vyhodnocování výsledků bylo nejdříve zkoumáno, zda si je podobné složení společenstev emergujících v jednotlivých letech. Dále byla analýzou zjištěna variabilita způsobena zjevnými vlivy (sezóna, čas od počátku měření a pasti), které bylo potřeba odrušit. Poté byly zkoumány nejzásadnější abiotické vlivy. Nejvíce vysvětlující vlivy byly dány do vztahu s emergencí jednotlivých čeledí. Nechybí graf emergence jednotlivých čeledí v průběhu roku.

6.1 Podobnost společenstev v jednotlivých letech

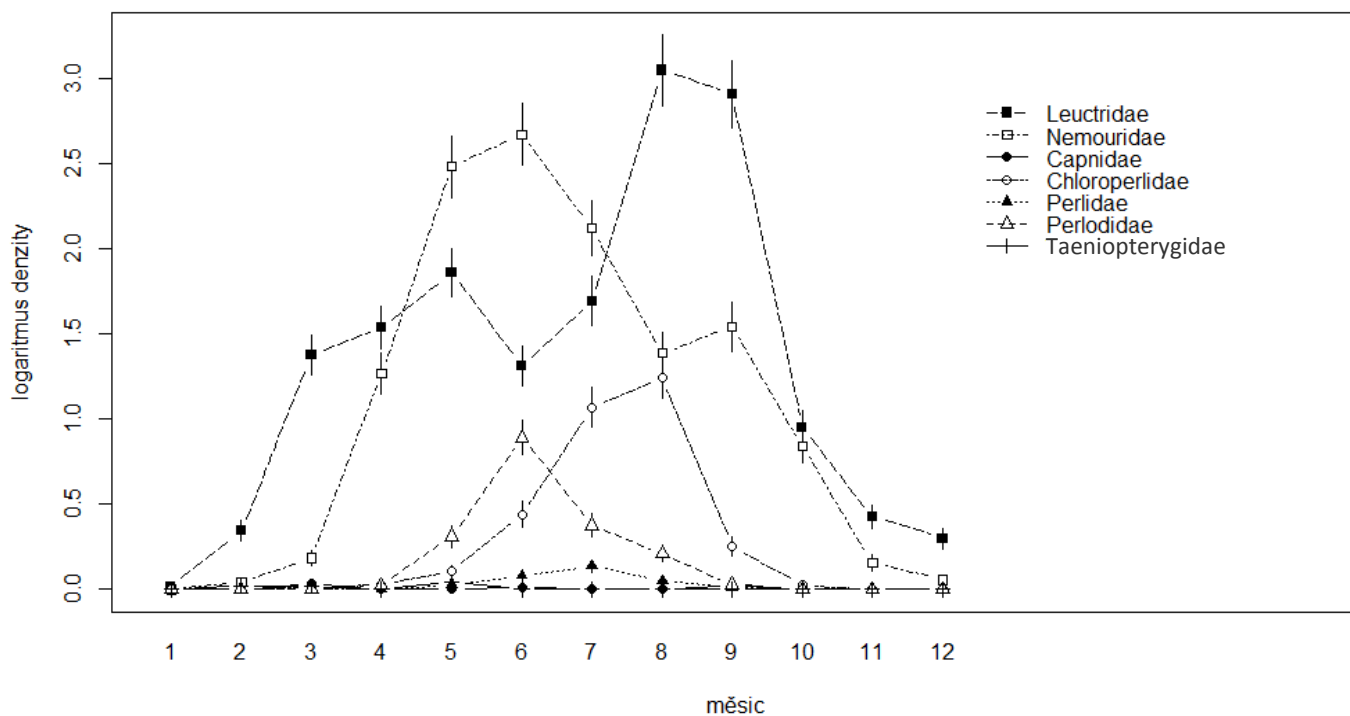
K první analýze byla použita metoda NMDS (mnohorozměrné nemetrické škálování). V Grafu 1 lze pozorovat, jak sledované roky tvoří skupinky dle podobnosti společenstev, tedy zastoupení emergujících čeledí a množství jedinců. Jednotlivá seskupení však nevykazují žádný trend. Roky 1990 a 1992 byly z této analýzy vyloučeny z důvodu nízkého počtu ulovených jedinců.



Graf 1: Podobnost společenstev v jednotlivých letech

6.2 Časový průběh emergence čeledí

Emergence čeledí v průběhu sezóny přes celé sledované období ze všech zkoumaných pastí je znázorněna v grafu 2. Čeď Nemouridae nejvíce emergovala v období od dubna do konce měsíce června. Poté docházelo k mírnému zvýšení emergence v září. V zimních měsících čeď Nemouridae neemergovala vůbec.



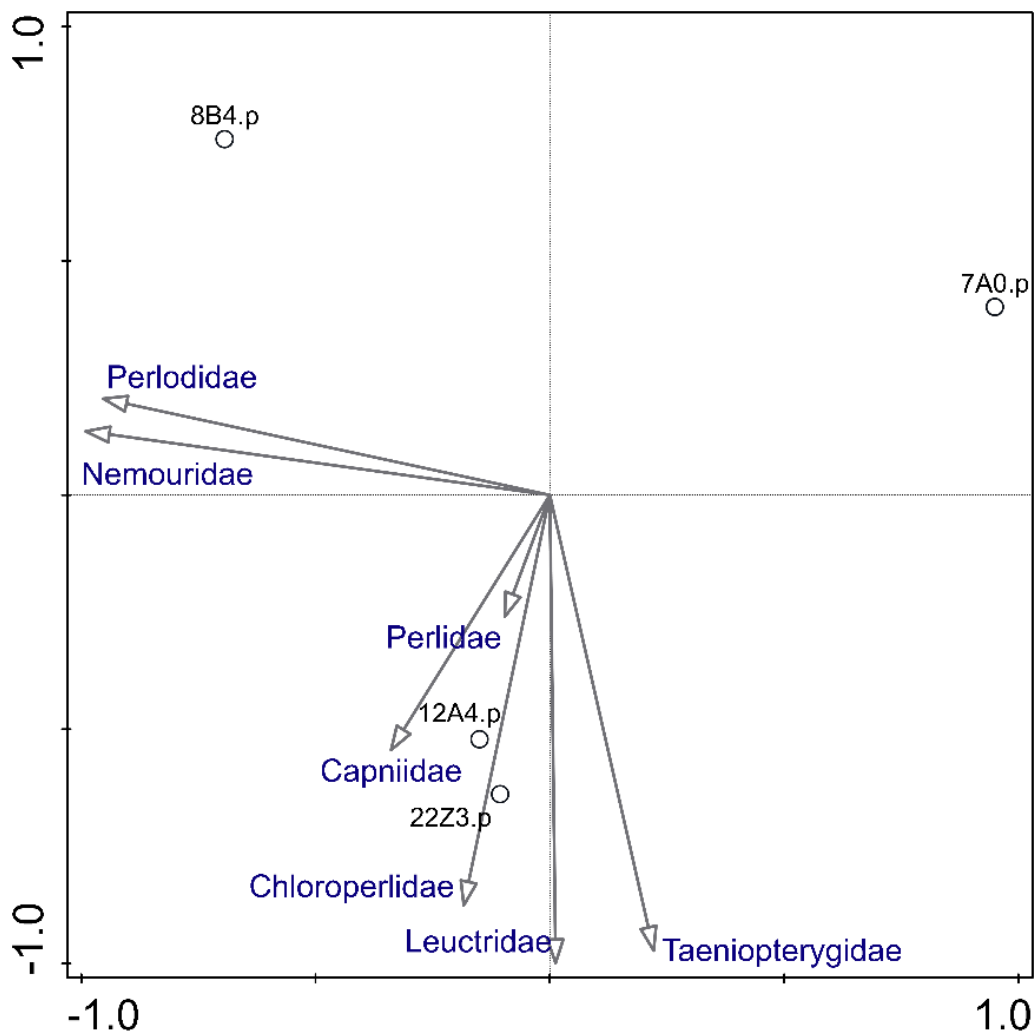
Graf 2: Emergence čeledí v průběhu roku (1982–2005)

Zástupci Leuctridae začínali výrazněji emergovat již na počátku února a v emergenci pokračovali celé jaro. V červnu docházelo k menším výkyvům v intenzitě, ale následovaly maximální hodnoty emergujících jedinců v srpnu a v září. Na konci září došlo k výraznému ústupu emergence, ale v zimě zcela neustala. Tato čeď emergovala v průběhu téměř celé sezóny. Chloroperlidae emergovali v letním období, s nástupem podzimu intenzita prudce klesla.

Čeď Perlodidae emergovala především v červnu, Perlidae o měsíc později. Čeledi Taeniopterygidae a Capniidae byly málo početné, jejich hlavní období emergence lze z Grafu 2 jen těžko vyzorovat.

6.3 Vztah čeledí k pastem

Vztah jednotlivých čeledí k pastem lze vidět v grafu 3. Každá past byla v průběhu sledovaného období do určité míry zaplavována. Pasti 12A4 a 22Z3 byly zatopeny (tedy v kategorii 3) po většinu sledovaného období, naopak 8B4 byla drtivou většinu času bez vody. Past 7A0 byla trvale zaplavena, žádná z čeledí na ní ale nevykazuje výraznější odpověď.

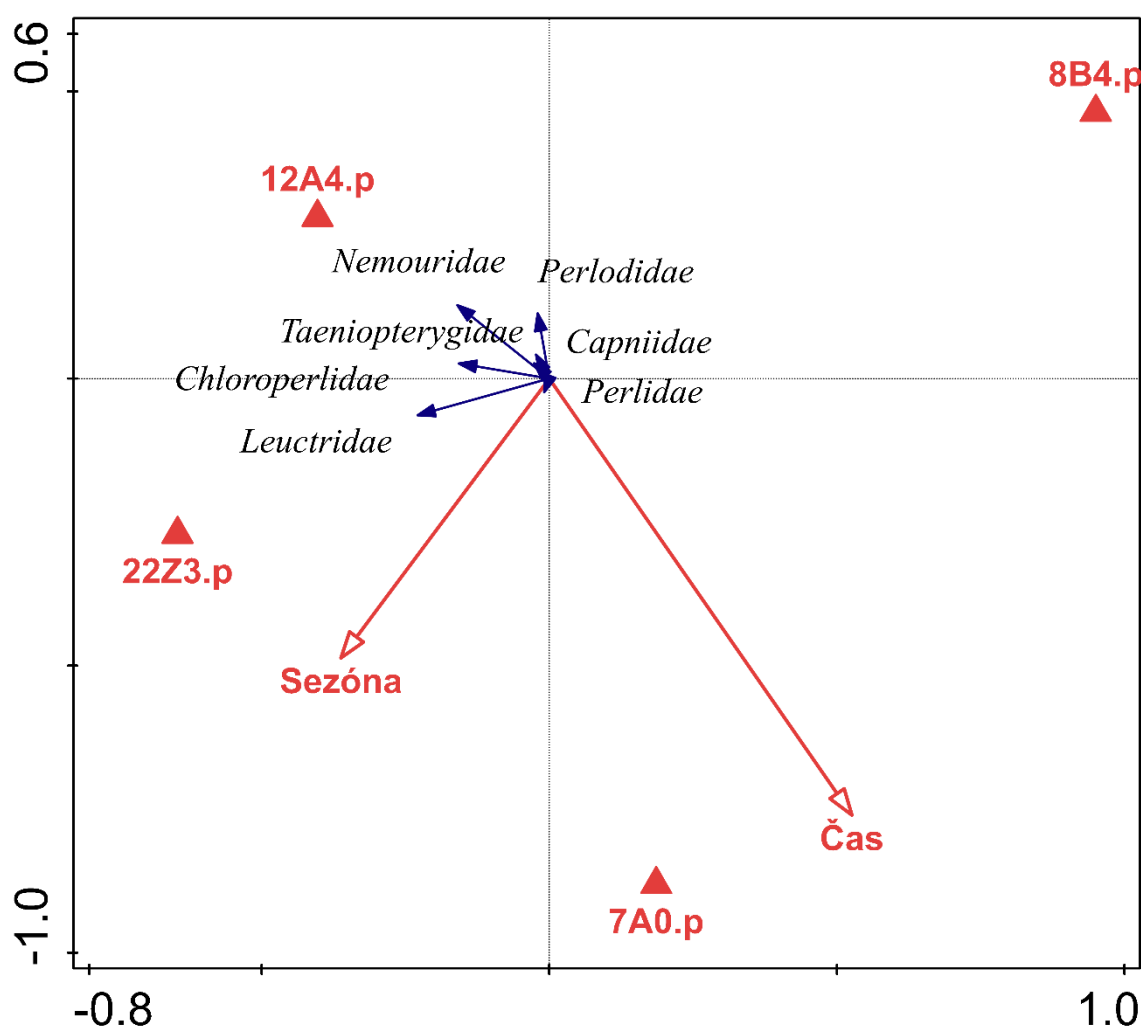


Graf 3: Vztah čeledí k pastem

Čeledi Perlidae, Capniidae, Chloroperlidae, Leuctridae a Taeniopterygidae byly nejvíce zachyceny v zaplavovaných pastech (12A4 a 22Z3) a dá se tedy předpokládat, že je pro ně výhodnější vyšší stav vody. Čeledi Perlodidae a Nemouridae nevykazovaly výrazný vztah k žádné pasti. Poměrné zastoupení Nemouridae v suché pasti 8B4 ale bylo největší ze všech zkoumaných pastí.

6.4 Výběr nejprůkaznějších faktorů

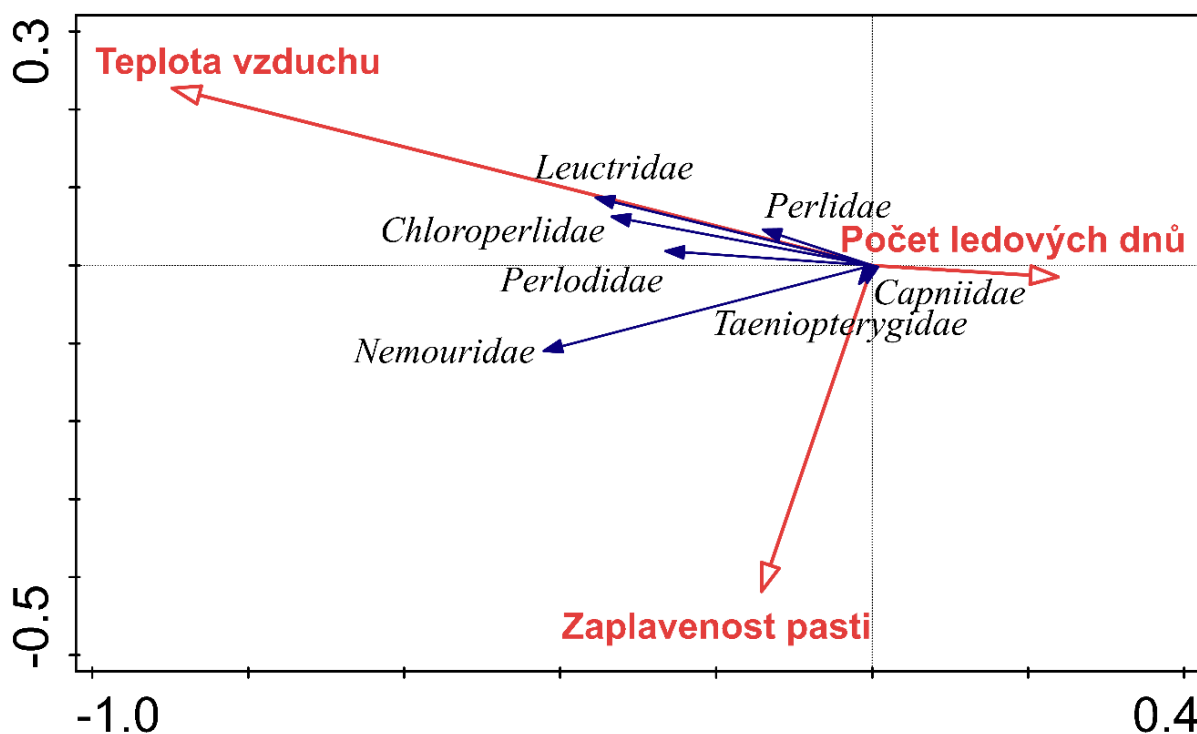
Výběr nejprůkaznějších faktorů byl proveden redundační analýzou (RDA). Použitými faktory byly: čas (časová řada od začátku sběru do konce), sezóna (období v roce) a pasti. Pro analýzu byla snížena váha vzácných druhů a samotná analýza byla otestována při 1999 permutacích. P-value bylo upraveno false discovery rate korekcí (FDR). Všechny tři sledované faktory měly průkazný vliv na emergenci čeledí. Nejprůkaznější byl vliv pastí (2,8 % vysvětlené variability, $F = 46,6$; $p < 0,001$). Dále čas (1,5 %, $F = 32,9$; $p < 0,001$) a sezóna (0,7 %, $F = 16,4$; $p < 0,001$). Jde ale o faktory, které nejsou předmětem výzkumu.



Graf 4: Redundační analýza faktorů čas, sezóna a pasti

Až po odrušení této variability mohl být testován vliv dalších proměnných, a to hydrologických a meteorologických faktorů. Výše zmíněné faktory do této analýzy vstupovaly jako kovariáty. Analýza byla provedena v modu interaktivní forward selekce, díky které došlo postupně k výběru průkazných faktorů. Byly vyselektovány tři nejvíce vysvětlující faktory – teplota vzduchu, „zaplavenost“ pastí a počet ledových dnů. Poslední zmíněný faktor není dále analyzován.

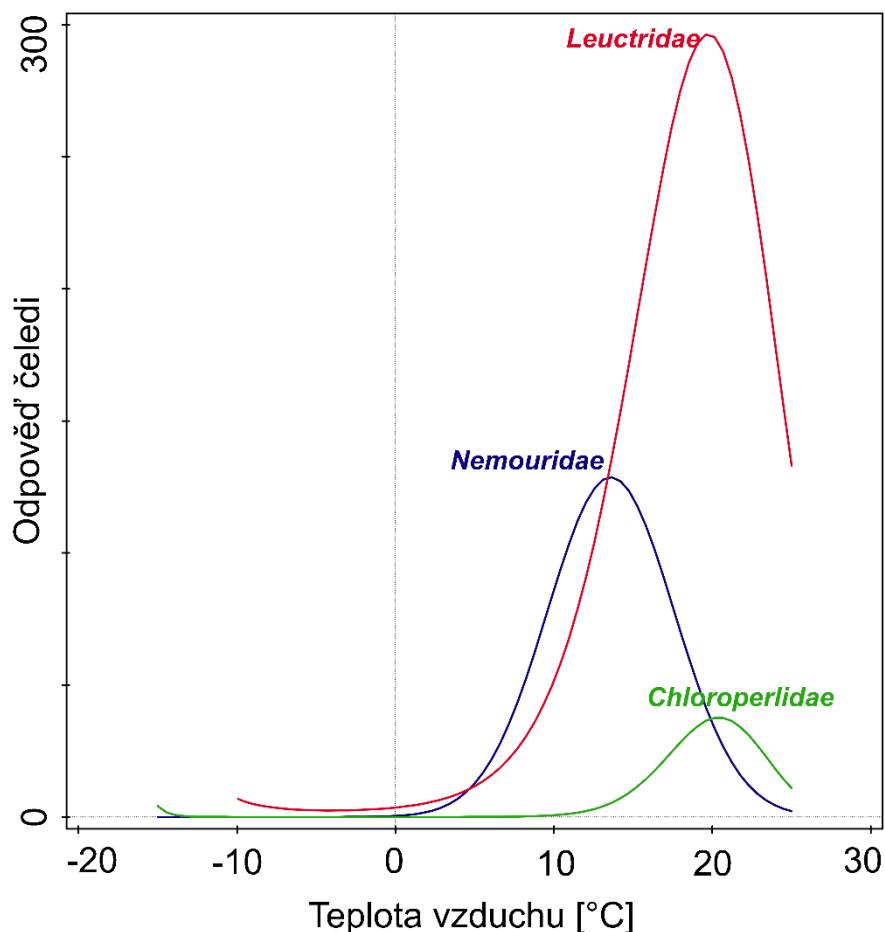
Znovu byla snížena váha vzácných druhů a testováno při 1999 permutacích. Jako nejvýraznější proměnná se projevila teplota vzduchu (13,3 % vysvětlené variability; $F = 327$, $p = 0,0025$). Dle Grafu 5 vykazovala nejtěsnější vazbu k teplotě vzduchu čeleď Leuctridae, která měla i nejsilnější odpověď. Velmi těsnou vazbu měly také čeledi Perlidae a Chloroperlidae a Perlodidae. Nemouridae zaznamenala silnou odpověď, ale bez silnější vazby na některý z výsledných faktorů. Capniidae a Taeniopterygidae byly nepočtené, jejich vztah k faktorům nebo intenzitu jejich odpovědi nelze s jistotou uvést.



Graf 5: Nejprůkaznější abiotické faktory ovlivňující emergenci (čím menší úhel, tím silnější vztah čeledi, délka šipky znázorňuje velikost odpovědi)

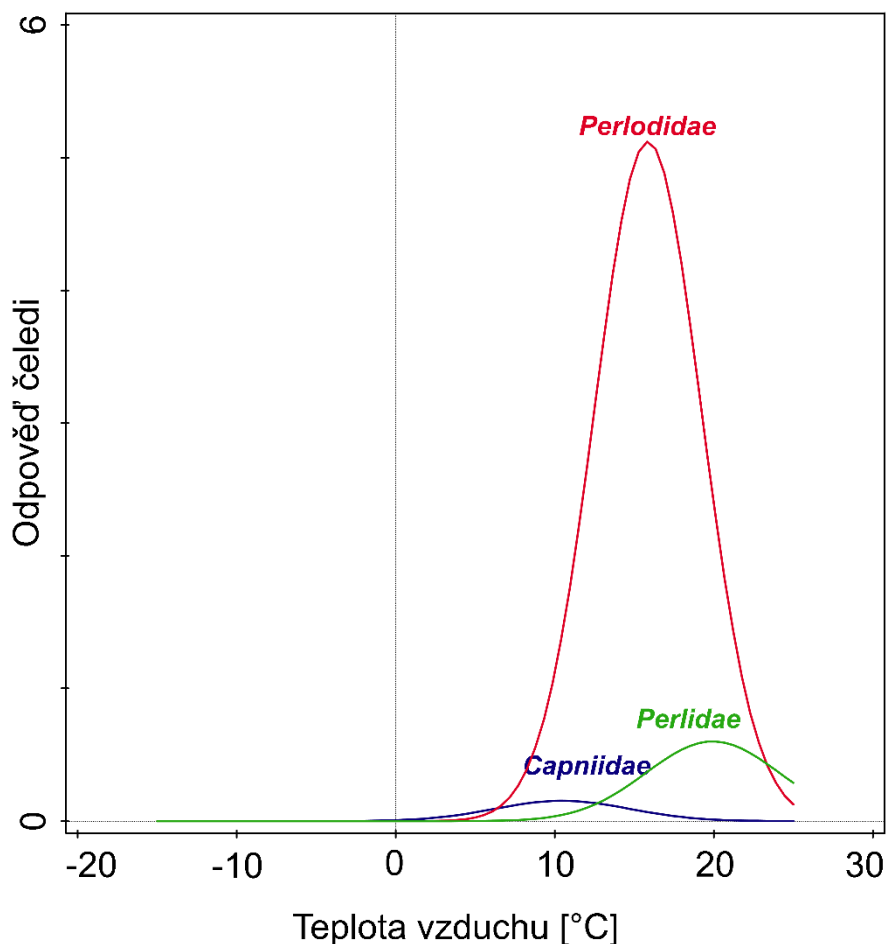
6.5 Abiotické faktory ovlivňující emergenci

Teplota vzduchu se ukázala jako nejvýraznější prediktor emergence (viz graf 5). Pro zobrazení odpovědi čeledí na tento abiotický faktor byl použit GLM model a quasi-Poissonovo rozdělení (grafy 6a a 6b). Výsledné grafy byly rozděleny do dvou, protože některé čeledi měly daleko menší počet jedinců než jiné a v celkovém grafu by byla jejich křivka sotva viditelná.



Graf 6a: Odpověď čeledí Leuctridae, Nemouridae a Chloroperlidae na teplotu vzduchu

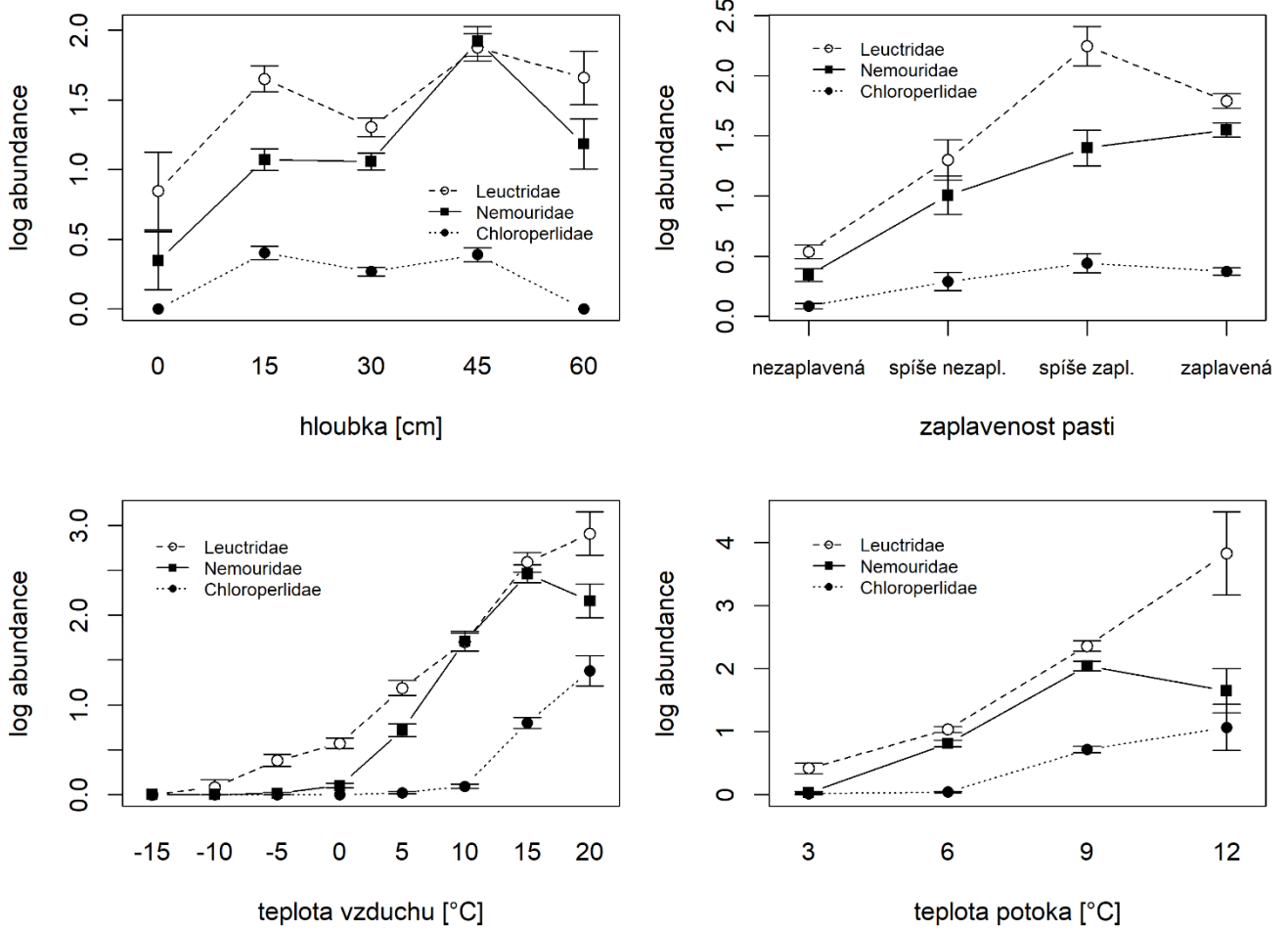
Čeď Nemouridae reagovala již při nižších teplotách, optimum pro emergenci činí přibližně 13,6 °C ($F = 81,7$; $P < 0,001$). Při vyšších teplotách intenzita klesala. Leuctridae vykazovala ideální podmínky pro emergenci při teplotách kolem 20 °C ($F = 133,4$; $P < 0,001$), někteří zástupci ale začínali emergovat již při velmi nízkých teplotách blízcích se nule. Druhy z této čeledi emergovaly v průběhu celého roku (viz graf 2). Zástupci čeledi Chloroperlidae vyčkávali na příznivější teplotu, počátek jejich emergence lze sledovat až poté, co teplota přesáhne 10 °C, jejich optimum pak činí asi 20,1 °C ($F = 130,6$; $P < 0,001$), čemuž odpovídají i výsledky z grafu 2.



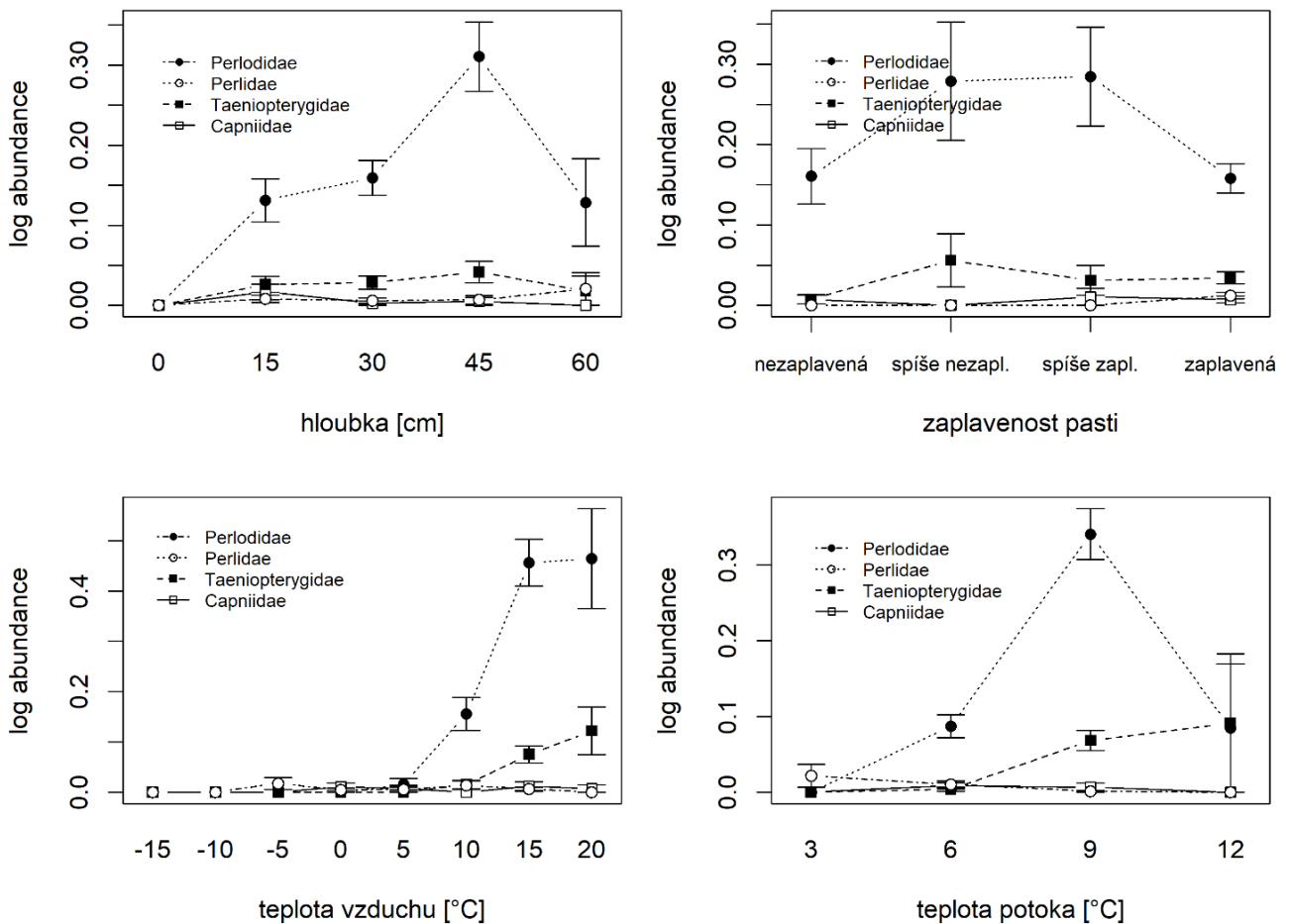
Graf 6b: Odpověď čeledí Perlodidae, Perlidae a Capniidae na teplotu vzduchu

Křivka čeledi Perlodidae ukazuje, že tato čeleď nejintenzivněji emergovala při mírných teplotách, optimum má kolem 15,9 °C ($F = 66,6$; $p < 0,001$), což odpovídá začátku léta (viz graf 2). Zástupci čeledi Perlidae měli optimum pro emergenci při vyšších teplotách: 19,9 °C ($F = 44,1$; $p < 0,001$). Z důvodu nižšího počtu jedinců nejsou výsledky pro čeleď Capniidae průkazné ($F = 1,4$; $p < 0,25509$). Čeleď Taeniopterygidae nebyla ze stejného důvodu do této analýzy vůbec zahrnuta.

Na grafech 7a a 7b jsou zobrazeny vlivy vybraných abiotických faktorů a abundance (počet jedinců na past) pro jednotlivé čeledi. Jaké hodnoty měly největší vliv na emergenci jednotlivých čeledí, bylo testováno pomocí smíšeného lineárního modelu. Náhodnými efekty, jejichž vliv bylo potřeba odrušit v tomto smíšeném modelu byly: konkrétní past, sezóna a časová řada měření. Kromě nejprůkaznější teploty vzduchu byla analyzována celková hloubka toku, zaplavenost pastí a teplota potoka. Tyto faktory se ukázaly pro emergenci jako klíčové. Grafy byly rozděleny podle početnosti čeledí tak, aby byly vlivy viditelné.



Graf 7a: Vliv vybraných abiotických faktorů na emergenci čeledí pošvatek



Graf 7b: Vliv vybraných abiotických faktorů na emergenci čeledí pošvatek

Mezi čeleděmi je velmi průkazný rozdíl v abundanci ($X^2 = 5491,64$; $p < 0,001$). Zatímco hloubka sama o sobě na emergenci vliv neměla ($X^2 = 1,31$; $p = 0,520$), byla zde vysoce průkazná interakce jednotlivých čeledí s hloubkou ($X^2 = 58,58$; $p < 0,001$). Zatímco u méně početných čeledí (Capniidae, Taeniopterygidae či Perlidae) se vliv hloubky nijak silně neprojevil, u početnějších čeledí (Perlodidae, Nemouridae či Leuctridae) byla emergence nejintenzivnější zhruba při hloubce kolem 45 cm. U zástupců čeledi Chloroperlidae zůstávala emergence v hloubkách od 15 do 45 cm vcelku stejná, při velkých nebo naopak malých hloubkách k ní téměř nedocházelo.

Naopak zaplavenost pastí hrála velmi významnou roli i na úrovni celkové ($X^2 = 57,73$; $p < 0,001$). Bylo prokázáno, že k nejintenzivnější emergenci docházelo na pastech „spíše zaplavených“ – tedy takových, které nebyly zaplaveny pořád, ale po většinu času ano. Vliv tohoto faktoru se ale průkazně lišil mezi čeleděmi ($X^2 = 799,81$; $p < 0,001$), kdy zatímco Leuctridae a Chloroperlidae odpovídaly obecnému trendu, že k nejvýraznější emergenci docházelo ze „spíše zaplavených“ pastí, čeleď Nemouridae emergovala více v déle zaplavených pastech. Taeniopterygidae se objevovala naopak v pastech „spíše nezaplavených“. U čeledi Perlodidae docházelo k emergenci v pastech zaplavených i nezaplavených.

Vliv teploty vzduchu byl opět vysoce průkazný, a to jak na obecné úrovni pro všechny čeledi dohromady (s rostoucí teplotou rostla emergence) ($X^2 = 151,45$; $p < 0,001$), tak zde byl také velký rozdíl mezi čeleděmi ($X^2 = 736,04$; $p < 0,001$). Zástupci čeledi Leuctridae začínali emergovat dokonce už při záporných teplotách, Nemouridae od teplot těsně nad nulou, Perlodidae od 5 °C, Chloroperlidae přibližně od 10 °C stejně jako Taeniopterygidae. U Nemouridae už naopak při teplotách nad 20 °C docházelo k omezení emergence.

Podobný vliv vykazovala i teplota potoka, i když poněkud menší. Vliv tohoto faktoru se projevil na úrovni celého řádu ($X^2 = 7,79$; $p < 0,02$), ale především velkým rozdílem mezi čeleděmi ($X^2 = 214,11$; $p < 0,001$). Zatímco Leuctridae emergovali i při nízkých teplotách a pak s přibývajícím teplotou jejich emergence narůstala, tak u Perlodidae a Nemouridae docházelo k emergenci až při teplotách kolem 6 °C. Obě skupiny shodně při teplotách vody kolem 12 °C omezily emergenci. Čeledi Chloroperlidae a Taeniopterygidae pak potřebovaly pro zahájení emergence teploty ještě vyšší a s rostoucí teplotou jejich emergence narůstala.

7 Diskuze

7.1 Podobnost společenstev v jednotlivých letech

Skupiny, do kterých se jednotlivé roky seskupily, nevykazují žádný trend. Na Grafu 1 je patrné, že společenstva ze začátku sledovaného období byla podobná těm, která se utvářela ke konci měření. Seskupené roky si nebyly nijak výrazně podobné naměřenými environmentálními faktory. Abiotické faktory tedy v podobnosti společenstev v jednotlivých letech nehrají v tomto případě roli. DINAKARAN & ANBALAGAN (2007) potvrzují svým výzkumem logický předpoklad, že daleko významnější roli v ovlivnění obecném složení společenstev mají antropogenní zásahy (úprava koryta, znečištění), kdy se každým lidským přičiněním při úpravě nebo znečištění toku složení společenstva mění.

Porovnání složení společenstev z jiných vodních toků nebylo provedeno. Je nutné brát v potaz, že každý vodní tok má unikátní kombinaci mnoha faktorů (svou „individualitu“), které jsou vhodné pro určitou skupinu organismů (HYNES, 1975) a porovnávat jednotlivé toky by vyžadovalo detailní analýzu těchto faktorů a ekologických preferencí všech zkoumaných druhů živočichů.

7.2 Emergence čeledí v průběhu sezóny

Výsledky celkové emergence v průběhu sezóny (kapitola 6.2) se jeví, při porovnávání s dostupnými literárními zdroji, jako unikátní. Drtivá většina dostupných prací je zaměřena na jednotlivé druhy, maximálně rody, ale komplexní analýzu emergence celých čeledí v průběhu sezóny nelze dohledat. Porovnávání s literárními zdroji tedy probíhalo ve vztahu čeledě – vybrané druhy.

Leuctridae

Výsledky z Grafu 2 ukazují, že zástupci čeledi Leuctridae emergují od jara až do podzimu a vykazují dřívější nástup vylétávání než ostatní zkoumané čeledi a končí nejpozději. Jedinci se vyskytli i v zimních měsících. FEHÉROVÁ (2015) uvádí, že některé druhy (*Leuctra major* či *L. aurita*) emergují na stejné lokalitě během jara při vyšším stavu vody, zatímco například *Leuctra hippopus* či *L. inermis* emergují v létě. *Leuctra albida* nebo *L. fusca* jsou pak podzimními druhy (REISINGER 2006; PRYCE *et al.* 2007). Emergenci druhů z této čeledi od jara až do podzimu uvádí i HELLEKSON (2005) a RAVIZZA (2002). Tato čeleď je, co se týče sezóny, značně variabilní, což mohlo být způsobeno největší sumou nachytaných jedinců i druhů oproti ostatním skupinám.

Nemouridae

Doba vylétávání druhů z této čeledi odpovídá jarním měsícům a začátku léta. To uvádí i MIKULKA (2015), který u zkoumaných druhů (*Amphinemura sulcicollis* a *Nemoura minima*) pozoroval počátek vylétávání od dubna do května a pokračování emergence po následující dva měsíce. Konec emergence je datován na konec července. To potvrzují i GRAF *et al.* (2009). BRITAIN (1991) uvádí, že dřívější doba emergence může být přizpůsobením k přečkání sušších období v létě. To by odpovídalo i mým výsledkům z, které ukazují, že čeleď Nemouridae emerguje více při nižších teplotách. Růst larev této čeledi je přímo závislý na teplotním režimu dané lokality (LILLEHAMMER *et al.* 1989).

Chloroperlidae

Tato čeleď je teplomilná a její emergence se omezuje především na letní měsíce. S počátkem podzimu emergence prudce klesá. Nástup vylétávání je u většiny druhů uváděn od dubna do května (PRYCE *et al.* 2007; REISINGER 2006; HELLEKSON 2005) a vylétávají po celé léto. Například DERKA *et al.* (2004) uvádí u druhu *Isoptena serricornis*, zkoumaném v řece Moravě na jihozápadě Slovenska, dobu začátku emergence v druhé polovině května a její pokračování až do července.

Perlodidae

Skupina Perlodidae dle výsledků emerguje hlavně v červnu. Vylétávání začíná až na přelomu dubna a května. PRYCE *et al.* (2007) ale uvádějí dobu počátku emergence některých druhů z této čeledi již na březen. Stejně tak REISINGER (2006), který ale uvádí pokračování emergence až do pozdního léta, což odpovídá výsledkům naší analýzy.

Perlidae

Perlidae byli nepočtení. Jejich hlavní období výskytu bylo v červenci. To odpovídá době emergence rodů *Dinocras* i *Perla* dle REISINGERA (2006), nikoliv však dle PRYCE *et al.* (2007), kteří u těchto rodů dobu výskytu v červenci ani později neuvádějí. HELLEKSON (2005) dobu emergence u většiny druhů datuje do června a července, maximálně srpna.

Zástupci čeledí Capniidae a Taeniopterygidae se ve všech pastech v průběhu sledovaného období objevili jen v počtu několika málo jedinců. Druhy čeledi Taeniopterygidae emergují dle HELLEKSONA (2005) od března do května. Capniidae je čeleď známá svým zimním výskytem. Její emergenci začínající již v lednu a pokračující v jarních měsících potvrzuje většina autorů (REISINGER 2006; HELLEKSON 2005; HARPER *et al.* 1991).

7.3 Nejprůkaznější faktory ovlivňující emergenci

Z výzkumu vyplývá, že většina čeledí pošvatek nejvíce reaguje na teplotu vzduchu a zaplavenost pastí (hodnota vodního stavu v místě pasti, nikoliv obecně hladina vody v potoce). GIBERSON & GARNETT (2011) uvádějí, že v jimi zkoumaných letech byla zaznamenána větší emergence v letech, kdy byla vyšší teplota vzduchu a vyskytovalo se více povodňových situací, což odpovídá našim výsledkům. Stejně jako další autoři, například MASTELLER (1993), který uvádí, že v zeměpisných šířkách odpovídajících mírnému pásmu, je teplota vzduchu dominantním faktorem ovlivňující emergenci zástupců vodního hmyzu, včetně pošvatek.

Naopak LILLEHAMMER (1988), WARD & STANFORD (1982) a BANKS *et al.* (2007) uvádějí, že nejdůležitějším faktorem pro emergenci nymf pošvatek je teplota vody a dodávají i důležitost fotoperiody. To potvrzují i FLANNAGAN & COBB (1991). Vliv délky doby denního světla na emergenci však této práci nebyl hodnocen a mohl by být námětem pro další zkoumání. Efekt teploty vody se v analýze projevil jako vedlejší. Pravděpodobně je to ale dáno tím, že teplota vody byla měřena pouze na jednom místě ve zkoumané lokalitě a v rámci koryta se mohla lišit kvůli většímu lokálnímu prohřívání substrátu slunečním zářením či z důvodu zastínění okolní vegetací. A teprve tyto lokální změny v teplotě vody stojí za prokázanou variabilitou. Tudíž se v analýzách projevuje teplota vzduchu jako průkaznější. To je ale pouze domněnka a analýzy prokazatelně odsunují důležitost teploty vody, coby faktoru ovlivňující emergenci, do pozadí.

Teplota vzduchu však nemá pouze pozitivní vliv na emergenci. U některých druhů pošvatek byl prokázán vliv zvyšující se teploty na úmrtnost larev i dospělců, což s sebou neslo sníženou produkci vajíček (SWEENEY *et al.* 1986; ELLIOT 1987). DURANCE & ORMEROD (2007) ve svém dlouholetém výzkumu (zahrnujícím více řádů hmyzu) zaznamenali snížení abundance vodních bezobratlých v korelaci se vzrůstající teplotou vzduchu v souvislosti se Severoatlantickou oscilací (NAO).

7.4 Vliv abiotických faktorů na emergenci

Čeledi Perlidae, Taeniopterygidae a Capniidae nejsou v dalších kapitolách diskuze rozebírány z důvodu jejich malé početnosti a z toho pramenících nejasností ve výsledcích při porovnání s dostupnou literaturou.

7.4.1 Teplota vzduchu

Většina dostupných prací se zabývá tím, jak emergenci ovlivňuje teplota vody, která je obecně brána jako nejvíce určující. O problematice měření teploty vody v projektu RITRODAT více v kapitole 7.3. Efekt teploty vzduchu na evropské zástupce pošvatek detailněji nepopsal žádný z vyhledávaných autorů. Provedená analýzy je tedy dobrým základem pro další práce, zabývající se konkrétními teplotami vzduchu a jejich přímým vlivem na emergenci pošvatek.

7.4.2 Zaplavenost pastí

U zaplavenosti (či zatopenosti) pastí je třeba zmínit, že přítomnost samotné pasti ve vodním toku jistým způsobem ovlivňuje emergenci. Samotná past v toku totiž může fungovat jako substrát a jedinci po ní mohou vylézat „na souš“, místo toho, aby se dostali ke břehu nebo na mělčinu, ze které by v normálním případě vylétávali. Analýzy ale ukázaly, že zaplavenost pastí, tedy výška vodní hladiny u jednotlivých pastí, průkazně ovlivňuje emergenci celých čeledí, a vykazuje také rozdílnost mezi zkoumanými skupinami.

Leuctridae a Nemouridae

Vliv zaplavenosti pastí na emergenci čeledí Leuctridae a Nemouridae zkoumala FEHÉROVÁ (2015). Ta uvádí rozdíly v dobách emergence na zaplavené pasti (12A4) a na pasti suché (8B4), kdy suchá past vykazovala nejvyšší intenzitu v květnu a zaplavovaná v červenci, tedy o celé tři měsíce později. Vztah těchto dvou čeledí byl takový, že Nemouridae vylétávaly především v květnu právě na suché pasti a Leuctridae hlavně v červenci na pasti zaplavené.

Vztah druhů k pastem z čeledi Nemouridae zkoumal také MIKULKA (2015). Jeden ze zkoumaných druhů, vyskytujících se na lokalitě, konkrétně *Amphinemura sulcicollis*, nevykazoval k zaplavenosti téměř žádný vztah. Naopak druh *Nemoura minima* vykazoval větší intenzitu emergence z jen občasné zatopené pasti. Dle absolutního výskytu tohoto druhu byl skutečně počet jedinců nejvyšší v suché pasti 8B4 (v poměru k ostatním pastem). Nicméně dle grafu 7a se ale celková emergence očividně zvyšuje se zaplaveností pastí, i když méně než například u čeledi Leuctridae. Při nejvyšších hodnotách zaplavenosti je ale u této čeledi patrný pokles intenzity emergence. Podle výsledků této práce nelze tedy konstatovat, že Nemouridae preferují pro emergenci místa s nižším stavem vody, ale preferují podobný vodní stav jako ostatní čeledi (což potvrzuje i graf s reakcemi čeledí na celkovou hloubku vody). Tomu ale odporuje výzkum BANKSE *et al.* (2007), kteří naměřili větší výskyt těchto dvou čeledí na periodickém toku než na toku trvale zaplaveném.

Chloroperlidae

Chloroperlidae, stejně jako Leuctridae, vykazují největší abundanci na „spíše zaplavených“ pastech, tedy v případě, že past občasně vysychá, ale v malé míře. Pravděpodobně nejhojnější druh této čeledi na lokalitě (*Chloroperla susemicheli*) se ze zkoumaných pastí vyskytoval nejvíce na pasti 12A4, tedy zaplavené (STUMMER 1982).

Perlodidae

Perlodidae dle grafu 7a vykazují emergence jak z pastí „spíše nezaplavených“ tak „spíše zaplavených“. To odpovídá i grafu 3, dle kterého nemá tato čeleď pravděpodobně téměř žádnou vazbu k míře zaplavenosti pastí. Tato nevyhraněnost může pramenit z velikosti nymf, která je větší než u většiny ostatních čeledí (kromě Perlidae). Velikost jim může dopomáhat k překonávání jak vysychající mělčiny, tak silnějšího proudu při větším stavu vody.

7.4.3 Teplota vody

Teplota vody souvisí především s růstem larev, kdy při vyšších teplotách většinou roste larva rychleji. To je dáno větším množstvím potravy (LILLEHAMMER 1988). Bylo ale zjištěno, že na emergenci má větší vliv teplota vzduchu. Larvy tedy mohou při optimálních teplotách vody rychle růst, a když dorostou do ideální velikosti, která jim zaručí přežití ve fázi dospělosti, stává se pro ně důležitějším faktorem teplota vzduchu. Nymfy si poté mohou vybírat dobu, kdy je teplota vzduchu ideální pro jejich emergenci.

Leuctridae

Tato čeleď vykazuje trend zvyšující se hodnoty emergence s rostoucí teplotou vody v potoku. Spodní hranici pro emergenci této čeledi uvádějí SÆTTEM & BRITAIN (1985) v rozmezí 5–10 °C. V této studii však někteří jedinci vylétávali i při nižších teplotách. Intenzita jejich emergence dosahuje nejvyšších hodnot kolem 12 °C. To neodpovídá výsledkům FEHÉROVÉ (2015), která u druhů *Leuctra alba*, *L. aurita*, *L. cingulata*, *L. hippopus*, *L. major* a *L. mortoni*, vyskytujících se na zkoumané lokalitě, uvádí nejvyšší emergenci při teplotách vody v průměru kolem 8 °C. LILLEHAMMER (1988) pro druh *Leuctra hippopus* určil optimum pro růst larvy kolem 13 °C, což koresponduje s mými výsledky nejvyšších hodnot emergence.

Nemouridae

WOLF & ZWICK (1989) uvádějí pro druh *Nemourella pictetii*, běžný středoevropský druh, 8 °C jako nejnižší možnou teplotu pro počátek emergence. Průměrná teplota začátku emergence pro druhy, které se na zkoumané lokalitě prokazatelně vyskytují, tedy *Amphinemura sulcicollis* a *Nemoura minima*, byla dokonce ještě nižší – činila 6,5 °C, respektive 6 °C. *N. minima* emergovala při 5,5–8,0 °C (MIKULKA 2015), což částečně odpovídá výsledkům, kdy se maximum emergence této čeledi pohybuje okolo 9 °C (k této hodnotě byly průměrovány hodnoty od 7,5 °C), poté došlo k jejímu omezení.

Chloroperlidae

Zástupci Chloroperlidae jsou teplomilní. Vyšší teplota vody pravděpodobně stimuluje fyziologickou odpověď v podobě rychlejšího růstu nymfy (DERKA *et al.* 2004; HYNES 1976; SWEENEY 1984; KRNO 1996). Kromě rychlejšího růstu vykazují při vyšší teplotě vody také vyšší intenzitu emergence.

Perlodidae

Tato čeleď vykazuje poměrně malou variabilitu emergence při výkyvech teplot vody. Největší intenzita emergence byla zaznamenána kolem 9 °C a v případě nižších i vyšších teplot prudce klesala. Pro rod *Isoperla*, který je z této čeledi nejpočetnějším na zkoumané lokalitě (STUMMER 1982), platí, že je stenotermní, tedy náchylný na výkyvy teplot (LILLEHAMMER *et al.* 1989).

8 Didaktická část

Tato kapitola diplomové práce je rozdělena do dvou částí. V první části je vytvořena didaktická analýza tématu, která je ale vzhledem k úzce profilovanému tématu diplomové práce zobecněna na celou skupinu vodního hmyzu. V Příloze 1 je pak návrh pracovního listu. V druhé části této kapitoly je vypracován metodický list a scénář výukového programu pro žáky 5. třídy ZŠ, určený pro terénní výuku. Tento program byl ověřen ve Středisku ekologické výchovy Švagrov a lze ho modifikovat pro starší žáky či jinou časovou dotaci.

8.1 Didaktická analýza tématu

Didaktická analýza učiva je hlubší myšlenková činnost učitele, při které má učitel zájem o proniknutí do učební látky. Učitel provádí rozbor obsahu příslušné látky a snaží se vystihnout její výchovnou a vzdělávací hodnotu. Je potřeba vymezit základní pojmy a vztahy v učivu, základní činnosti žáka i učitele, přínos pro další učení a v neposlední řadě také mezipředmětové vztahy (SKALKOVÁ 1978).

Didaktická analýza tématu: Vodní hmyz

Očekávaný výstup: Žák poznává vodu v přírodě. Je obeznámen s faunou, florou a ekologií sladkovodního toku, rybníku či vodní nádrže. Dokáže v přírodě určit základní druhy vyskytující se na těchto stanovištích. Chápe vlivy jednotlivých abiotických faktorů na život v toku. Chrání ekosystém místního vodního toku a napomáhá tak obecně k vyšší kvalitě vody.

- Toto téma pomůže žákům uvědomit si důležitost ekosystému vodního toku a jeho místní význam. Žák získá vztah k vodě, bude znát hmyz, který je svým životem vázaný na vodu (alespoň jedno z jeho životních stádií), dokáže určit vybrané zástupce a případně je odlovit pro studijní účely s použitím jednoduchých metod odchytu.
- Zařazení tématu *Vodní hmyz*, tedy několik řádů hmyzu obývajících stejné prostředí, napomáhá žákům k lepšímu uvedení teorie do praxe. Žáci se učí zástupce, kteří se vyskytují ve stejném prostředí. Žák poté v praxi (při exkurzi, ve volném čase) pracuje s uceleným tématem a nemusí skládat charakteristiku fauny rybníka či vodního toku z několika neucelených a zvláště probíraných témat (například probírá-li zvláště holometabolní a hemimetabolní hmyz).

- Je vhodné problematiku představit žákům nejprve teoreticky a poté rozvinout a upevnit jejich vědomosti během terénního cvičení, ve kterém by měly být zahrnuta i dříve probíraná témata.

Didaktická analýza tématu

- **Didaktické téma:** Vodní hmyz
- **Třída:** 2. ročník SŠ nebo gymnázia/sexta víceletého gymnázia a výše (ZŠ: 7. třída)
- **Zařazení do širšího rámce:**
 - Vzdělávací oblast: Člověk a příroda
 - Širší téma: Biologie živočichů (Členovci)
 - Předchozí témata: Korýši, Ostnokožci
 - Následující téma: Biologie obratlovců
- **Časová dotace na téma:** 2 hodiny + 2 hodiny terénního cvičení
- **Obsah učiva:**
 - Základní taxonomie, charakteristika, životní cykly, zajímavosti:
 - vodního hmyzu s proměnou nedokonalou
 - jepice
 - pošvatky
 - vážky
 - vážky, motýlice, šídla
 - ploštice
 - bruslařky, vodoměrky, znakoplavky, jehlanky, splešťule
 - vodního hmyzu s proměnou dokonalou
 - chrostíci
 - dvoukřídlí
 - komáři, pakomáři
 - brouci
 - potápníci, vírníci
 - střechatky
 - Ekologie vodního toku, ekologie stojatých vod, zoobentos
 - Metody odchytu vodního hmyzu
- **Cíle výuky:**
 - Žák vyjmenuje řády a některé zástupce vodního hmyzu v ČR.
 - Žák dokáže stručně charakterizovat jednotlivé řády (výskyt, přibližnou velikost, životní cykly, potravu...).

- Žák dokáže určit zástupce jednotlivých řádů (dospělce a larvy).
- Žák definuje pojem emergence.
- Žák definuje pojem zoobentos
- Žák definuje pojem bioindikátor a uvede příklad.
- Žák určí environmentální a ekologická rizika, která ohrožují vodní toky a stojaté vody v ČR.
- Žák dokáže pomocí jednoduché odchytné metody získat vzorky dna z potoku, případně odchytné poletující hmyz a zařadit nalezené zástupce s pomocí atlasu či klíče. Dokáže tak použít dříve znalosti z předcházejících témat (koryši, měkkýši).
- **Základní pojmy:** chrostíci, pošvatky, jepice, bioindikátoři, emergence, ekosystém
- **Mezipředmětové vztahy:**
 - Ekologie – vztahy ve vodním ekosystému, ochrana krajiny, environmentální problémy
 - Chemie – vlastnosti vody (pH), chemické znečištění
 - Zeměpis – rybníkářství
 - Český jazyk a literatura – práce s literaturou
- **Rozvíjené klíčové kompetence**
 - **k učení**
 - žák se učí pracovat s atlasy a klíči
 - vytváří si ucelenou představu o životním prostředí v okolí svého bydliště a školy
 - učí se novým odchytným technikám
 - propojuje nové učivo s již známou látkou
 - **k řešení problému**
 - žák se učí logicky uvažovat nad příčinami a důsledky antropogenního znečištění a navrhnout řešení
 - propojuje jednotlivé části v celek
 - snaží se pochopit význam jednotlivých přírodních ekosystémů a jejich vzájemnou provázanost
 - **občanské**
 - žák je veden k odpovědnosti za životní prostředí
 - dochází k propojení naučené teorie v praxi
 - **pracovní**
 - žák zlepšuje svou manuální zručnost

- učí se používat nástroje vhodné pro sběr biologického materiálu a pozorování
- poznává práci hydrobiologů, systematiků a ekologů
- **Organizační forma:**
 - frontální výuka, terénní cvičení, skupinová výuka
- **Metody výuky:**
 - výklad, problémový výklad, rozhovor, terénní cvičení, skupinová práce
- **Didaktické pomůcky:**
 - vzorky hmyzu v ethanolu, tematické nástěnné obrazy, epruvety, síto, smýkací síť, táč na přebírání substrátu, 80% etanol, pinzeta, atlasy přírody či klíče
- **Průřezová témata:**
 - Environmentální výchova – Lidské aktivity a problémy životního prostředí, Ekosystémy, Vztah člověka k prostředí
- **Další využití tématu:**

Téma *Vodní hmyz* má využití při výuce dalších biologických témat, dotýkajících se vodního ekosystému. Žák se neučí zvlášť jednotlivé taxony, ale učí se komplexně pohlízet na konkrétní stanoviště a ekosystém, propojuje již získané znalosti s novými a dokáže je aplikovat v praxi. Je potřeba, aby se podobným způsobem učil i o dalších zástupcích těchto ekosystému – rybách, měkkýších, koryšících a dalších členovcích, a také o rostlinách vázaných na vodní prostředí. Poté nejenže dokáže správně rozeznat a určit zástupce fauny a flóry ve vodním toku nebo stojatých vodách, ale chápe také vzájemnou provázanost celého ekosystému, potravní řetězec, důležitost udržení a zlepšování kvality vody v přírodě.

- **Návrh terénního cvičení:**

Název tématu:	Fauna vodního toku
Tematický celek:	Vodní bezobratlí
Ročník:	II. ročník SŠ / 7. ročník ZŠ a výše
Předmět:	Biologie / přírodopis
Čas:	2 a více vyučovacích hodin
Cíle:	<ul style="list-style-type: none"> - žák dokáže pomocí jednoduchých metod odchyty sesbírat vzorky vodních bezobratlých - žák samostatně určí odchycené živočichy do řádu - žáci ve skupině s pomocí atlasu nebo klíče určí živočichy do čeledí (pro SŠ) - žák charakterizuje vodní tok z hlediska kvality vody na základě výskytu bioindikačních skupin živočichů (pro SŠ) - žák popíše potravní řetězec ve vodním toku a jeho okolí, uvede jeho články od primárního producenta až k vrcholovému predátorovi (pro SŠ)
Struktura terénního cvičení:	<ul style="list-style-type: none"> • motivace: <ul style="list-style-type: none"> - Učitel žákům ukáže jednoduché metody odchyty. Dokáže jim tak, že se i ve zdánlivě neživém toku vyskytuje velké množství různých živočichů, a to především v substrátu, pod kameny a na okolní vegetaci. Žáci si to mohou vyzkoušet kdykoliv a kdekoliv během pobytu v přírodě i mimo vyučování. • úkoly pro žáky: <ul style="list-style-type: none"> - pozorně sledovat instruktáž učitele - naučit se jednoduché metody odchyty - naučit se pracovat s živým biologickým materiálem - naučit se pracovat s klíčem a atlasem - určit nachytané živočichy • výstupy: <ul style="list-style-type: none"> - zápis o nachytaných vzorcích - zakonzervování některých živočichů pro další výukové účely
Pracovní pomůcky:	Smýkácí síť, odběrová síť na substrát (tzv. bentoska) (lze nahradit pevným sítem s malým průměrem ok), velký bílý táč, táček s přihrádkami (např. forma na led), pinzety, epruvety nebo jiné nádoby na vzorky, 80% etanol,

	<p>sešit, psací potřeby, fotoaparát, gumáky nebo boty do vody, atlasy a klíče na určování hmyzu (např.: Hudec: <i>Příroda České republiky – průvodce faunou</i>; Rozkošný: <i>Klíč vodních larev hmyzu</i>; M. Greenhalgh, D. Ovenden: <i>Freshwater life</i> aj.).</p>
<p>Pracovní návod:</p>	<p>Je potřeba si zájmovou lokalitu předem vyhlédnout a najít místa vhodná k odchytu. Ideální je potok v lese nebo pod vegetací. Létající hmyz lze odchytit v okolí toku nebo stojaté vody, například rybníku. V průběhu cvičení je třeba dodržovat bezpečnost práce. Ideální dobou k realizaci je duben–červen.</p> <p>Po příchodu na lokalitu učitel provede instruktáž odlovu. Odběrovou síť umístí kolmo ke směru toku, stoupne před síť směrem proti proudu a nohou provede tzv. kicking sampling. Jde o nejzákladnější metodu odchytu. Učitel před sítí ponoří nohu několik centimetrů do substrátu a pohyby nohou (kopáním) jím naplňuje síť. Je třeba dát pozor na velké kameny a ostré předměty. Substrát poté v síti opatrně propláchně, aby ho zbavil části písku a bahna. Zbytek substrátu vysype na táč. Odběr lze několikrát opakovat.</p> <p>Žáci se poté rozdělí do skupin a provedou odběr dle instruktáže. Každá skupina by měla mít svůj táč, odběrovou síť (nebo síto) a pinzety. Po několika odběrech se nacytané vzorky z tácu vytrídí do táčku s přihrádkami, naplněných vodou. Je potřeba dát pozor, aby pohyblivější jedinci neutekli. Míst odchytu je potřeba vystřídat více, aby byla různorodost zástupců co nejvyšší.</p> <p>Smýkání entomologickou sítkou probíhá na pobřežní vegetaci a v blízkosti vody. Učitel nejprve provede instruktáž. Smýkání je potřeba provést jemně, aby nedošlo k poškození vegetace. Hmyz ze sítky je pak umístěn do epruvet nebo zkumavek.</p> <p>Žáci ve skupině poté určí nacytané jedince. Učitel pomáhá s určováním. Skupiny si mohou nacytané vzorky vyměnit nebo si vzájemně pomoci s určováním. Žáci zapisují nacytané a pozorované taxony, kreslí nákresy a píší si poznámky.</p> <p>Pár vzorových jedinců je možné uchovat v ethanolu pro další výukové potřeby.</p> <p>Učitel by neměl zapomenout na výklad nebo diskuzi týkající se kvality vody, ekologie a ekosystémů ve vodě a okolí. Měl by uvést příklady bioindikátorů, zhodnotit kvalitu vody, ze které dochází k odběru, případně upozornit na některá rizika, která mohou tento konkrétní tok nebo rybník poškodit.</p>
<p>Zpětná vazba:</p>	<p>Učitel hodnotí žáky pozorováním jejich práce a aktivity ve skupině. Může zhodnotit jejich zápisy nebo vytvoří pracovní listy (Příloha 1). Znalosti lze také ověřit poznávkou nebo krátkým testem.</p>

8.2 Metodický list

Výukový program

Širší téma: *Zrození jara*

Název: *Voda a život v ní*

Časová dotace: 3 hodiny

Určeno pro: 5. třídu ZŠ

Místo realizace: Centrum ekologické výchovy Švagrov

Stručná charakteristika programu:

Voda a život v ní je výukový program, který propojuje získávání znalostí a informací o vodních ekosystémech a o vodě jako takové se zábavnou formou výuky. Kombinuje přírodovědu, tělesnou a výtvarnou výchovu. Je složen z několika bodů (aktivit), které jsou orientovány na poznání života ve vodě a zkoumání vlastností vody. Zahrnuje jak teoretické seznámení s vodním prostředím, tak praktickou ukázkou vodních živočichů a tvořivou činnost. Uvedené časy jsou orientační a lze je přizpůsobit zájmu a aktivitě žáků.

I. VODA A JEJÍ VLASTNOSTI

Tato část se může odehrát v interiéru i venku. Jde o motivační část, realizovanou povídáním o vodě, vodním prostředí, vodních živočiších a rostlinách, a jednoduchými pokusy. Vedoucí programu může využít dataprojektoru k promítání obrázků nebo videí nebo atlasy, encyklopedie či vytisknuté obrázky.

a) Diskuze

Vedoucí programu klade různé otázky týkající se vody – Kde se bere? K čemu je potřeba? Co v ní žije? Co v ní roste? Je potřeba jí chránit? Jak můžu zmenšit spotřebu vody? apod.

- potřebný čas: 10 minut

b) Pokusy

Žáky lze rozdělit do menších skupin. Každá skupina by prováděla pokus dle instruktáže.

- potřebný čas: do 30 minut

1) Co je „lehčí“?

- pomůcky: voda, olej, med, hrozen, mince, kukuřičný lupínek, rovná sklenice
- postup: Sklenici si rozdělíme na třetiny. Do první třetiny nalijeme med, do druhé poté olej (prostředkem sklenice) a nakonec vodu. Měly by se rozvrstvit v pořadí med-voda-olej. Poté vhodíme hrozen, minci a nakonec lupínek. Předměty by se postupně měly usadit ve spodní (mince), prostřední (hrozen) a horní vrstvě (lupínek). Jednotliví žáci se mohou střídat při nalévání tekutin, či vhadzování předmětů.
- princip: Pokus poukazuje na odlišné hustoty různých tekutin. Nejlehčí (nejtěžší při daném objemu) klesne na dno a ostatní se skládají podle snižující se hustoty. Předměty se usadí tam, kde je hustota tekutiny vyšší než jejich vlastní hustota (hustota hroznu je tedy nižší, než hustota medu ale vyšší než hustota oleje). To je spojeno s důvodem, proč některé věci či tekutiny plavou na vodě a některé ne (například polystyrén, ale i některé znečišťující látky – vytekly olej z auta, ropa apod.).

2) Povrchové napětí vody

- pomůcky: tvrdý papír, prostředek na nádobí, lavor (vana, ták, větší hrnec)
- postup: Z tvrdého papíru vystříhnete trojúhelník („lodka“), uprostřed základny trojúhelníku udělejte čtvercový výkrojek (v délce asi 1/3 základny). Lodku umístěte na vodní hladinu do lavoru. Do výkrojku nakapejte tekutý mýdlo. Lodka by se měla rozjet.
- princip: Vodní hladinu drží pohromadě neviditelné elektrické a chemické síly. Ty vytvářejí povrchové napětí. Díky tomuto efektu se některé předměty drží na hladině. Když přidáme pár kapek prostředku na nádobí, tyto síly se naruší a povrchové napětí v oblasti výkrojku přestane fungovat. Zbytek vody to ale neovlivní, takže tam přitažlivé síly stále fungují. Proto k sobě přitáhly i lodku.

3) Má voda kůži?

- pomůcky: voda, kancelářská sponka, prostředek na nádobí, nádoba
- postup: Kancelářskou sponku vhodíme do vody. Potopí se. Poté jinou sponku ohneme tak, aby část tvořila pravý úhel s částí druhou – vytvoříme tak jakýsi držák či poličku. Na tuto „poličku“ položíme další sponku a opatrně ji umístíme na vodní hladinu. Tato sponka zůstane plavat. Poté přidáme kapku prostředku na nádobí. Sponka se potopí.

- princip: Pokus, podobně jako ten předchozí, demonstruje povrchové napětí vody. To využívají například bruslařky nebo vodoměrky či jiná zvířata (bazilišek). Prostředek na nádobí napětí vody vyruší a sponka se potopí.

c) Stručný výklad

Pomocí obrázků a dotazování se žáci seznamují s životem ve vodě. Využit se dají již dříve nachytní živočichové (živé vzorky nebo preparáty). Výklad může být uskutečněn z části vevnitř a pokračovat v exteriéru.

- potřebný čas: 20 minut

II. ŽIVOT VE VODĚ

Tato část se skládá z didaktické hry, při které si žáci osvojí vlastnosti vybraných živočichů, kteří jsou svým životem vázáni na vodu.

- pomůcky: kartičky s obrázky a vlastnostmi vybraných živočichů (dle počtu žáků), židle (dle počtu žáků)
- postup: Každý žák dostane kartičku. Na jedné straně je fotka zvířete, na druhé straně jsou jeho vybrané charakteristiky – potrava, prostředí, larva, způsob života apod. Obrázek a obsah kartičky si žák během pár minut důkladně nastuduje – jak živočich na jeho kartičce vypadá, čím se živí, kde žije apod. Židle se rozestaví do kruhu. Židlí je o jednu méně, než je žáků. Doprostřed kruhu je vybrán či vylosován jeden žák, který pokládá otázky. Při tvorbě otázek vychází z informací ve svém textu a z informací, které se dozvěděl v první části programu. Vedoucí programu může uvést příklady otázek – Kdo má šupiny? Kdo má peří? Kdo je dravý? Kdo je býložravec? Kdo létá? Kdo plave? Kdo žije na souši? Kdo má larvu? Kdo patří mezi obojživelníky? Kdo je menší než 5 centimetrů? Kdo patří mezi ryby? Kdo žije ve stojatých vodách? Kdo žije v potoce? Kdo patří mezi hmyz? apod. Po položení otázky se zvednou ze židlí ti žáci, jejichž zvíře na kartičce odpovídá dotazované charakteristice, a musí si vyměnit místo. Žák uprostřed se snaží dostat na jedno z uvolněných míst. Kdo na konci výměny nemá místo, zůstává uprostřed a ptá se. Po chvíli si žáci mohou kartičky vyměnit mezi sebou nebo za nové.

- potřebný čas: 30 minut, dle zájmu

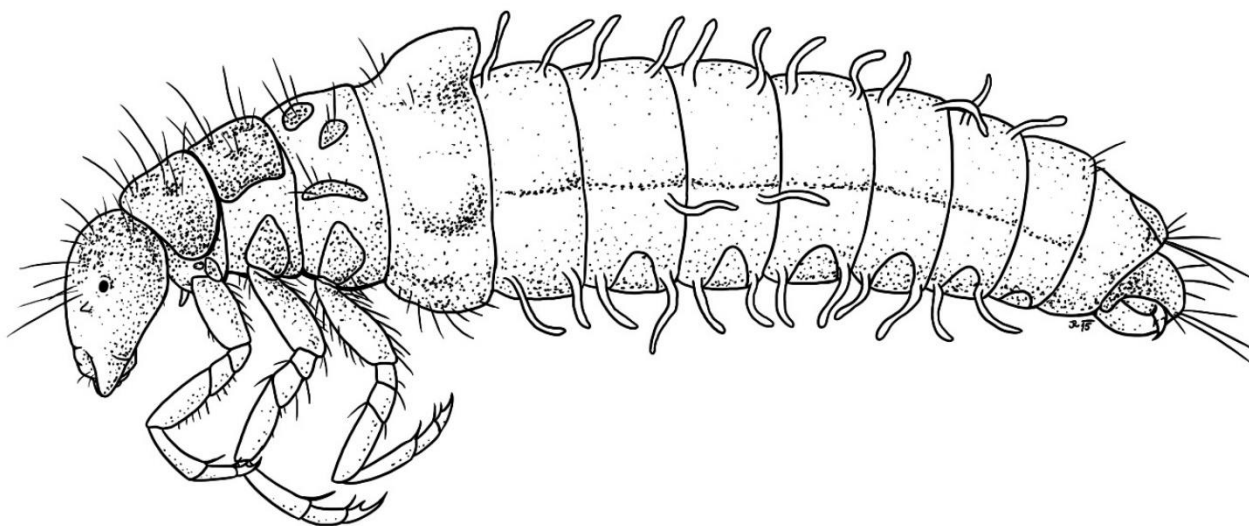
III. LOV VODNÍCH ŽIVOČICHŮ

V této části programu se žáci naučí jak jednoduše a šetrně odlovovat vodní živočichy. Žáci to mohou využít kdykoliv i mimo školu.

- pomůcky: gumáky, odběrová síť na substrát (tzv. bentoska, lze nahradit sítím s malým průměrem ok), smýkací síťka, lupy (krabičkové lupy), pinzety, misky, určovací klíče nebo atlasy živočichů (např. Hudec: *Příroda České republiky – průvodce faunou*), poznámkový blok, psací potřeby
- postup: Žáci se mohou rozdělit do menších skupin. Vedoucí vybere vhodné místo na odlov. S pomocí sítěky žáci naloví hmyz, který se nachází u vody nebo na vodní hladině. Dále ve vodním toku odkrývají kameny, pod kterými se mohou živočichové nacházet. Vedoucí dbá na to, aby si jednotlivé skupinky nepřekážely a nekalily si vodu. Vedoucí pomocí bentosky a metody kicking sampling nasbírání živočichy žijící v bentosu. Sesbírání živočichové se shromažďují v miskách a žáci je pozorují pomocí lupy. Mohou se pokusit o jejich určení pomocí atlasu nebo klíče. Vedoucí nakonec zrekapituluje všechny nalovené živočichy a uvede základní poznávací znaky. Některé živočichy si mohou žáci nakreslit.
- potřebný čas: 30 minut

IV. SCHRÁNKA PRO CHROSTÍKA

- pomůcky: ruličky od toaletního papíru (dle počtu žáků), přírodní materiál (kamínky, klacíky, lístky, ulitky), lepidlo Herkules, štětec na lepidlo, kresbu chrostíka, nůžky
- postup: Každý žák dostane ruličku od toaletního papíru. K dispozici je tekuté lepidlo Herkules a nůžky. Žák potře ruličku lepidlem a nalepuje materiál dle uvážení. Nakonec vystříhne kresbu larvy chrostíka (Obr. 8) a vloží do hotové schránky.
- potřebný čas: 30 minut



Obr. 8: Kresba larvy chrostíka

V. PRACOVNÍ LIST

Pracovní list (Příloha 2) zčásti plní evaluační funkci. Žáci vypisují živočichy a jejich vlastnosti, které si z programu zapamatovali.

VI. DALŠÍ DIDAKTICKÉ HRY

Lze využít v případě časové rezervy.

a) BINGO

- pomůcky: tabule, papír, psací potřeby
- postup: Vedoucí programu na tabuli napíše 12 pojmů, které se týkají tématu (chrostík, bruslařka, komár, najáda, čolek, skokan, vážka, ulita, splešťule, blešivec, ledňáček, pstruh apod.). Žáci si na papír od ruky načrtnou tabulku (9 políček, 3 x 3). Do jednotlivých políček si vyberou z tabule 9 pojmů a napíší je v libovolném pořadí. Vedoucí poté popisuje jednotlivé pojmy (např.: „Vodní hmyz, jehož larva si staví schránky, dospělec létá a má chlupatá křídla.“, „Vodní ploštice, která využívá povrchového napětí vody.“ apod.). Žáci si zaškrťávají své pojmy, na které pasují charakteristiky. Žák, který jako první vytvoří řadu (vodorovnou, příčnou nebo úhlopříčnou) zakřičí BINGO! a stává se vítězem. Pro kontrolu přečte pojmy a zopakuje jejich charakteristiku (vlastními slovy). Poté se pokračuje až do té doby, kdy se prvním žákům podaří zaškrtnat celou tabulku.

b) RONDO

- pomůcky: krabička, 20 tematických otázek (obrázků)

- postup: Vedoucí si předpřipraví 20 otázek týkajících se probíraného tématu, sepíše je na kartičky a vloží je do krabičky. Místo otázky je možné umístit obrázek živočicha, kterého by měli žáci umět poznat.

Žáci se rozestaví do kruhu a domluví se všeobecně známá písnička, kterou znají všichni. Začne se zpívat v rychlém tempu a žáci si v kruhu předávají krabičku s otázkami. Ve chvíli kdy píseň skončí, žák, u kterého zůstala krabička, si tahá otázku a pokusí se jí zodpovědět. Za špatnou odpověď udělá žák 10 dřepů („trest“ za špatnou odpověď lze modifikovat).

c) ZÁLUDNÝ MÍČ

- pomůcky: míč

- postup: Žáci se rozdělí do dvou skupinek a postaví se naproti sobě. Vedoucí určí, které družstvo začne, a to dostane míč. Žák z jednoho družstva hodí míč svému spolužákovi z druhého družstva a přitom vykřikne název nějakého zvířete. Žák, který míč chytá, musí bez prodlení (např. do dvou vteřin) říct, do jaké skupiny daný živočich patří (ptáci, savci, hmyz, korýši, obojživelníci, ryby, plazi). Pokud je odpověď správná, žák chytající míč zůstává ve svém družstvu a pokračuje. Pokud odpoví špatně nebo nechytí míč, přechází do druhého družstva a pokračuje ve hře proti svému původnímu družstvu. Vítězí to družstvo, které má na konci časového limitu více hráčů.

8.3 Ověření ve výuce

Ověření v praxi proběhlo 24. a 25. dubna ve Středisku ekologické výchovy Švagrov. Žáky 5. třídy ze ZŠ Dub nad Moravou dle jejich hodnocení bavil program jako celek, především ale dílčí část, ve které probíhal sběr a odchyt hmyzu v místním potoce a jeho okolí. Zajímavé pro ně byly i motivační pokusy na úvodu, pro mnoho z nich to byl jejich první pokus v životě. Žáci aktivně odpovídali na otázky zjišťující prekoncepty ohledně vody a života v ní, hlavně zmiňovali důležitost vody pro život, sladkovodní a mořské živočichy, ale především obratlovce. Z vodního hmyzu znali zejména vážky, někteří vodoměrky. Dobré znalosti vodního hmyzu a celkově vodní bioty měli žáci, kteří se zabývají rybářstvím. Následné didaktické hry Život ve vodě, případně Rondo, sklidily úspěch a zcela využily plánovanou časovou dotaci. Odlov ve vodě začal instruktáží a poté žáci pracovali v celku samostatně za občasně pomoci lektora či pedagogického dozoru a aktivně určovali nalovený hmyzu. Odpočinková výtvarná činnost byla správně zařazena na konci programu.

Realizaci výukového programu přihlíželi někteří lektoři a pedagogičtí pracovníci, kterým bych chtěl poděkovat za pomoc. Ve svých hodnoceních zmiňovali dobrou provázanost programu a vyváženost vzdělávací a odpočinkové části. Použité hry podle nich byly poučné a zábavné zároveň. Ocenili, že se žáci dozvěděli informace z hydrobiologie, v praxi se seznámili s terénními pomůckami i s prací s nimi přímo v potoce. Program nebyl statický a měl spád a odpovídal konceptu ekologického centra Švagrov.

Dle mého vlastního hodnocení program splnil svůj účel. Žáci aktivně reagovali na pokládané otázky na začátku a pozorně sledovali prováděné pokusy. V terénu se nenechali strhnout k nežádoucím činnostem a cíleně lovíli živočichy, pečlivě otáčeli kameny, případně využívali k odlovu síť a odebírali vzorky, které jsme následně společně určili. Vyrobené schránky chrostíku předčily má očekávání. A potvrdila se skutečnost, že žáci ocení jakýkoliv odklon od klasického vyučování. Výukou v terénu získávají vztah k vodě a přírodě a učí se poznávat své okolí.



Obr. 9: Výsledná práce žáků (foto Bronislava Janíčková, 2018)



Obr. 10: Určování nachytaného hmyzu (foto Bronislava Janíčková, 2018)

9 Závěr

Tato diplomová práce byla zaměřena na vyhodnocení vlivu abiotických faktorů na čeledi pošvatek (Plecoptera), významného bioindikačního řádu. Analýzou bylo zjištěno, že nejdůležitějším abiotickým faktorem, který prokazatelně ovlivňoval emergenci celého řádu, byla teplota vzduchu. Dalším významným faktorem byla hloubka vody, se kterou souviselo, zda byly jednotlivé pasti zaplaveny či nikoliv. Teplota vody v potoce se ukázala jako méně průkazný faktor.

Čeď Leuctridae emergovala ze všech zkoumaných čeledí nejdéle v průběhu celé sezóny. K začátku vylétávání docházelo již na počátku roku a někteří jedinci pokračovali ještě v zimních měsících ke konci sezóny. Společně s Chloroperlidae vykazovala optimum při nejvyšší teplotě vzduchu (20, respektive 20,1 °C) a ze všech čeledí k ní měla nejtěsnější vztah. Preferovala spíše zaplavené pasti.

Nemouridae se projeví jako čeď s největší intenzitou emergence v jarních měsících a na počátku léta, v zimě pak emergence nebyla zjištěna vůbec. Nemouridae nevykazovali významný vztah k zaplavenosti pastí ani k teplotě vzduchu. Se zaplaveností však intenzita emergence stoupala. Teplotní optimum pro tuto čeď bylo nejnižší. Při vyšších teplotách vody či vzduchu docházelo k poklesu intenzity emergence.

Čeď Chloroperlidae je teplomilná. To se projevilo jak jejím silným vztahem k teplotě vzduchu a její nejvyšší optimální hodnotou i výskytem především v létě. Vylétávala hlavně z pastí spíše zatopených. Perlodidae podobně jako Nemouridae nevykazovali vztah k zaplaveným ani nezaplaveným pastem, k teplotě vzduchu však ano. K vylétávání docházelo až při teplotách nad 5 °C, optima mají kolem 16 °C. Larvy jsou stenotermní, k emergenci dochází při teplotě vody kolem 9 °C. Bližší charakteristiky nároků čeledí Perlidae, Capniidae a Taeniopterygidae nebyly zcela zjištěny a nejsou vypovídající z důvodu velmi malého zastoupení odlovených jedinců.

Didaktická část diplomové práce by při správném použití měla přispět k většímu zájmu o vodní ekosystémy a vytvořit vztah k vodě jako takové. S přihlédnutím na praktické ověření výukového programu lze konstatovat, že žáky obecně baví organizovaná práce v terénu, které by mělo být věnováno ve školách více času. Vhodné je zařazování ekologicky zaměřených pobytů ve specializovaných střediscích.

10 Seznam použité literatury

- BANKS, J. L., JUDITH LI & TERLIHY, A. T. (2007): Influence of clearcut logging, flow duration, and season on emergent aquatic insects in headwater streams of the Central Oregon Coast Range. *Journal of the North American Benthological Society* 26 (4): 620–632.
- BOTTOVÁ, K., DERKA, T., BERACKO, P., & TIerno DE FIGUEROA, J. M. (2013): Life cycle, feeding and secondary production of Plecoptera community in a constant temperature stream in Central Europe. *Limnologica* 43 (1): 27–33.
- BOUCHARD R.W. (2004): Guide to aquatic macroinvertebrates of the upper midwest. St. Paul: Water Resources Center, University of Minnesota. 208 pp.
- BRETSCJKO, G. & LEICHTFRIED, M. (1988): Distribution of organic matter and fauna in a second order, alpine gravel stream (Ritrodat-Lunz study area, Austria). *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 23: 1333–1339.
- BRITAIN, J. E. (1990): Life history strategies in Ephemeroptera and Plecoptera. In: CAMPBELL, I. C. (ed.): *Mayflies and stoneflies: life histories and biology: Proceedings of the 5th International Ephemeroptera Conference and the 9th International Plecoptera Conference*. Editor: Boston: Kluwer Academic Publishers. pp 1–12.
- BRITAIN, J. (1991): Life history characteristics as a determinant of the response of mayflies and stoneflies to man-made environmental disturbance (Ephemeroptera and Plecoptera). In: ALBATERCEDOR, J. & ORTEGA, A. S. (ed.): *Overview and strategies of Ephemeroptera and Plecoptera*. Proc. VIth Int. Conf. Ephemeroptera & Plecoptera. Granada: Sandhill Crane Press. pp 539–545.
- DERKA, T., TIerno DE FIGUEROA, J. M. & KRNO, I. (2004): Life Cycle, Feeding and Production of *Isoptena serricornis* (Pictet, 1841) (Plecoptera, Chloroperlidae). *Internat. Rev. Hydrobiol.* 89: 165–174.
- DINARKAN, S. & ANBALAGAN, S. (2007): Anthropogenic impacts on aquatic insects in six streams of south Western Ghats. *Journal of Insect Science* 7 (37): 1–9.
- DURANCE, I. & ORMEROD, S. J. (2007): Climate change effects on upland stream macroinvertebrates over a 25-year period. *Global Change Biology* 13 (5): 942–957.

- ELLIOTT, J. M. (1987): Temperature-induced changes in the life cycle of *Leuctra nigra* (Plecoptera: Leuctridae). *Freshwater Biology* 18: 177–184.
- FEHÉROVÁ, J. (2015): Zhodnocení emergence vybraných druhů čeledi Leuctridae (Plecoptera). Diplomová práce. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. Vedoucí práce RNDr. Vladimír Uvíra, Dr. 60 pp.
- FLANNAGAN, J. F. & COBB, D. G. (1991): Emergence of Stoneflies (Plecoptera) from the Roseau River, Manitoba. *The American Midland Naturalist* 125 (1): 47–54.
- GIBERSON, D. J. & GARNETT, H. L. (2011): Species composition, distribution, and summer emergence phenology of stoneflies (Insecta: Plecoptera) from Catamaran Brook, New Brunswick. *Canadian Journal of Zoology* 74 (7): 1260–1267.
- GRAF, W., LORENZ, A. W. & TIerno DE FIGUEROA, J. M. (2009): Distribution and Ecological Preferences of European Freshwater Organisms. Volume 2. Plecoptera. Sofia: Pensoft. 262 pp.
- HARPER, P. P., LAUZON, M. & HARPER, F. (1991): Life cycles of 12 species of winter stoneflies from Quebec (Plecoptera; Capniidae and Taeniopterygidae). *Canadian Journal of Zoology* 69 (3): 787–796.
- HELLEKSON, T. (2005): *Fish Flies: The Encyclopedia of the Fly Tier's Art*. Salt Lake City: Gibbs Smith. 719 pp.
- HERZIG, A. & SCHIEMER, F. (2002): In memoriam Gernot Bretschko (1938-2002). *Limnologica—Ecology and Management of Inland Waters* 32 (4): 289–292.
- HYNES, H. B. N. (1967): *A Key to the Adults and Nymphs of the British Stoneflies (Plecoptera) with notes on their Ecology and Distribution*. Ambleside: Freshwater Biological Association. 3. vydání. 92 pp.
- HYNES, H. B. N. (1975): The stream and its valley. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie* 19: 1–15.
- HYNES, H. B. N. (1976): Biology of Plecoptera. *Annual Review of Entomology* 21(1): 135–153.

- KOESE, B. (2008): De Nederlandse steenvliegen (Plecoptera). Nederlandse Entomologische Verenigin: Museum Naturalis en EIS-Nederland. 158 pp.
- KRNO, I. (1996): Stoneflies (Plecoptera). Limnology of the Turiec river basin (West Carpathians, Slovakia). *Biologia* 51/Suppl. 2: 42–57.
- LELLÁK, J., KOŘÍNEK, V., FOTT, J., KOŘÍNKOVÁ, J. & PUNČOCHÁŘ, P. (1982): *Biologie vodních živočichů*. Praha: Univerzita Karlova. 220 pp.
- LILLEHAMMER, A. (1988): Stoneflies (Plecoptera) of Fennoscandia and Denmark. New York: E.J. Brill/Scandinavian Science Press. 165 pp.
- LILLEHAMMER, A., BRITTAIN, J. E., SALTVEIT, S. J. & NIELSEN, P. S. (1989): Egg Development, Nymphal Growth and Life Cycle Strategies in Plecoptera. *Holarctic Ecology* 12 (2): 173–186.
- MASTELLER, E. C. (1993): Comparison of Tropical and Temperate Emergence Phenology of Aquatic Insects from Puerto Rico and Pennsylvania. *Journal of the Kansas Entomological Society* 66 (2): 192–199.
- MATHOOKO, J. M. & SCHMID, P. E. (1993): Spatial heterogeneity and gradients of organic matter resources (OMR) in a second-order alpine gravel stream (the Oberer Seebach, Lunz, Austria). *Jahresbericht der Biologischen Station Lunz* 14: 58–74.
- MIKULKA, O. (2015): Vyhodnocení emergence vybraných druhů čeledi Nemouridae (Plecoptera). Diplomová práce. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. Vedoucí práce RNDr. Vladimír Uvíra, Dr., 57 pp.
- PETERSEN I., WINTERBOTTOM J. H., ORTON S., FRIBERG N., HILDREW A. G., SPIERS D. C. & GURNEY W. S. C. (1999): Emergence and lateral dispersal of adult Plecoptera and Trichoptera from Broadstone Stream. U.K. *Freshwater Biology* 42: 401–416.
- PETERSEN, I., MASTERS, Z., HILDREW, A. G. & ORMEROD, S. J. (2004): Dispersal of adult aquatic insects in catchments of differing land use. *Journal of Applied Ecology* 41: 934–950.
- PRYCE, D., MACADAM, C. & BROOKS, S. (2007): Guide to the British Stonefly (Plecoptera) families: adults and larvae. Shrewsbury: FSC Publications. 12 pp.

- RAUŠER, J. (1980): Řád Pošvatky – Plecoptera. In: ROZKOŠNÝ, R. (ed.): Klíč larev vodního hmyzu. Praha: Academia. 524 pp.
- RAVIZZA, C. (2002): Atlas of the Italian Leuctridae (Insecta, Plecoptera) with an appendix including Central European species. *Lauterbornia* 44: 1–42.
- REISINGER, W., BAUERNFEIND, E. & LOIDL, E. (2006): Entomologie pro muškaře: od přírodního vzoru k napodobenině. Plzeň: Fraus. 282 pp.
- SÆTTEM, L. M. & BRITTAIN, J. E. (1985): Life cycles and emergence of Ephemeroptera and Plecoptera from Myrkdalsvatn, an oligotrophic Lake in Western Norway. *Aquatic Insects* 7 (4): 229–241.
- SKALKOVÁ, J. (1983): Od teorie k praxi vyučování na střední všeobecně vzdělávací škole. Praha: Státní pedagogické nakladatelství. 2. vydání. 206 pp.
- STEWART, K. W. & SANDBERG, J. B. (2006): Vibrational Communication and Mate Searching Behavior in Stoneflies. [online]. College of Science, University of North Texas. [cit. 2018-10-02]. Dostupné na: 1url.cz/ntcuE
- STEWART, K. W. (2009): Plecoptera (Stoneflies) In: RESH, V. H. & CARDÉ, R. T. (eds.): *Encyclopedia of insects*. Amsterdam: Elsevier/Academic Press. 2. vydání. 1266 pp.
- STUMMER, C. (1982): Emergenzuntersuchungen im Ritrodat-Areal. *Jahresbericht der Biologischen Station Lunz* 5: 77–97.
- SWEENEY, B. W. (1984): Factor influencing life-history patterns of aquatic insects. RESH, V. H. & ROSENBERG, D. M. (eds.): *The Ecology of Aquatic Insects*. New York: Praeger Publishers. pp 56–100.
- SWEENEY, B. W., VANNOTE, R. L & DOODS, P. J. (1986): The relative importance of temperature and diet to larval development and adult size of the winter stonefly, *Soyedina carolinensis* (Plecoptera, Nemouridae). *Freshwater Biology* 16: 39–48.
- TIerno DE FIGUEROA, J. M. & DERKA, T. (2003): Egg description of *Isoptena serricornis* (Plecoptera: Chloroperlidae). *Entomological Problems* 33 (1–2): 55–57.
- WAGNER, F. H. & LEICHTFRIED, M. (2003): Endbericht des Langzeit Forschungsprogramms RITRODAT. Mondsee: Institute for Limnology. Austrian Academy of Science. 132 pp.

- WARINGER, J. A. (1986): The abundance and distribution of caddisflies (Insecta: Trichoptera) caught by emergence traps in the 'Ritrodat' research area of the Lunzer Seebach (Lower Austria) from 1980 to 1982. *Freshwater Biology* 16 (1): 49–59.
- WEISS, S., STRADNER, D. & GRAF, W. (2012): Molecular systematics, evolution and zoogeography of the stonefly genus *Siphonoperla* (Insecta: Plecoptera, Chloroperlidae). *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research* 50 (1): 19–29.
- WILLIAMS, D. D. & FELTMATE, B. W. (1992): *Aquatic insects*. Wallingford: CAB International. 358 pp.
- WOLF, B. & ZWICK, P. (1989): Plurimodal Emergence and Plurivoltinism of Central European Populations of *Nemurella pictetii* (Plecoptera: Nemouridae). *Oecologia* 79 (4): 431–438.
- ZWICK, P. & HOHMANN, M. (2003): Direct development, no diapause, in *Taeniopteryx nebulosa* (Plecoptera, Taeniopterygidae). *Lauterbornia* 47: 141–151.
- ZWICK, P. (1973): Insecta: Plecoptera. Phylogenetisches System und Katalog. In: MERTENS, R. & HENNIG, W. (eds.): *Das Tierreich. Eine Zusammenfassung und Kennzeichnung der rezenten Tierformen*. Berlin: Walter de Gruyter. pp 1–465.

Elektronické zdroje:

- UNH Center of freshwater biology (2018): EPT Index. [online]. Durham: University of New Hampshire, Department of Biological Sciences. [cit. 2018-10-02]. Dostupné na: http://cfb.unh.edu/StreamKey/html/biotic_indicators/indices/EPT.html
- WasserCluster Lunz (2018): History of aquatic research in Lunz am See. [online]. Lunz am See: WasserCluster Lunz. [cit. 2018-02-19]. Dostupné na: <http://www.wasserkluster-lunz.ac.at/index.php/en/about-us/history>

11 Přílohy

1 Návrh pracovního listu k terénnímu cvičení

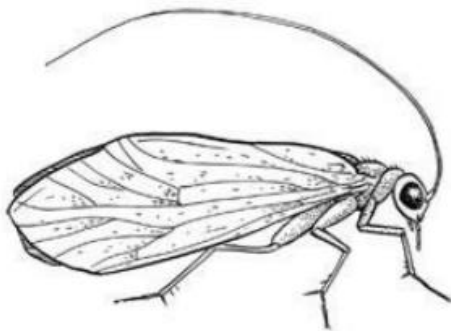
Pracovní list – vodní bezobratlí

17. 10. 2017

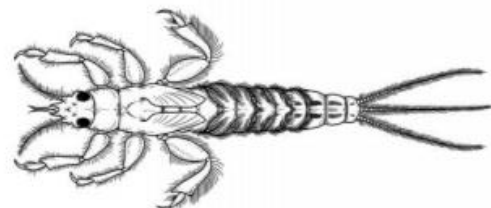
1. Chrostíci patří mezi hmyz s proměnou(.....METABOLA), jepice a pošvatky pak mezi hmyz s proměnou (.....METABOLA)
2. Spolehlivý bioindikátor se vyznačuje těmito vlastnostmi:
 - a.
 - b.
 - c.
3. Bioindikátory jsou organismy euryvalentní / stenovalentní. Na jejich životní cyklus má vliv kvalita vody, která je dána těmito faktory (*pospojete dvojice*):

<i>obsah</i>	<i>vody</i>
<i>hodnota</i>	<i>živin</i>
<i>teplota</i>	<i>kyslíku</i>
<i>obsah</i>	<i>pH</i>

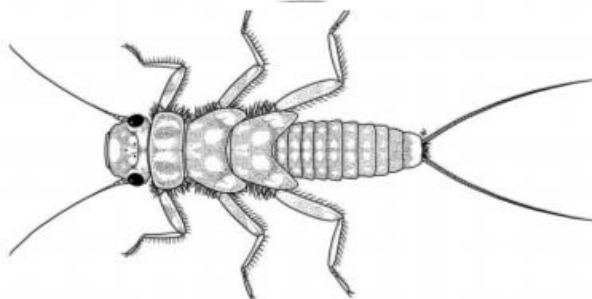
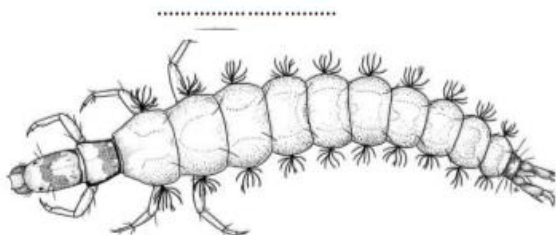
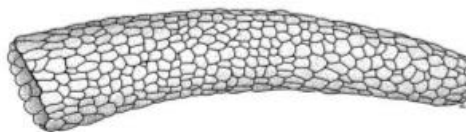
4. Důležitou a velmi citlivou fází života vodního hmyzu je R N E E E C M E G =, což je fáze, při které dochází k přeměně larvy na dospělé a přitom ke změně obývaného prostředí (z vodního do vzdušného).
5. Jakou roli hrají vodní bezobratlí v potravním řetězci?
6. Blešivec (*Gammarus*) patří do skupiny (podmenu):
7. Šídla patří mezi anisopterní / zygopterní vážky a jejich najáda je malá a robustní.
8. Zařaďte do řádu:



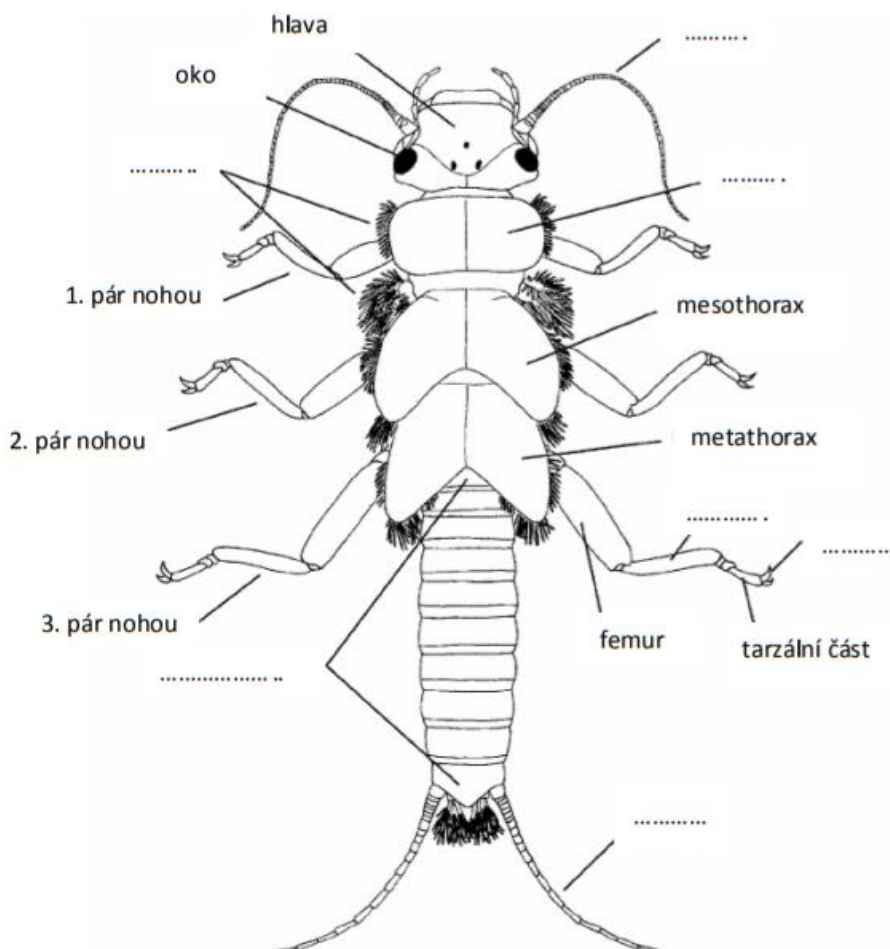
.....



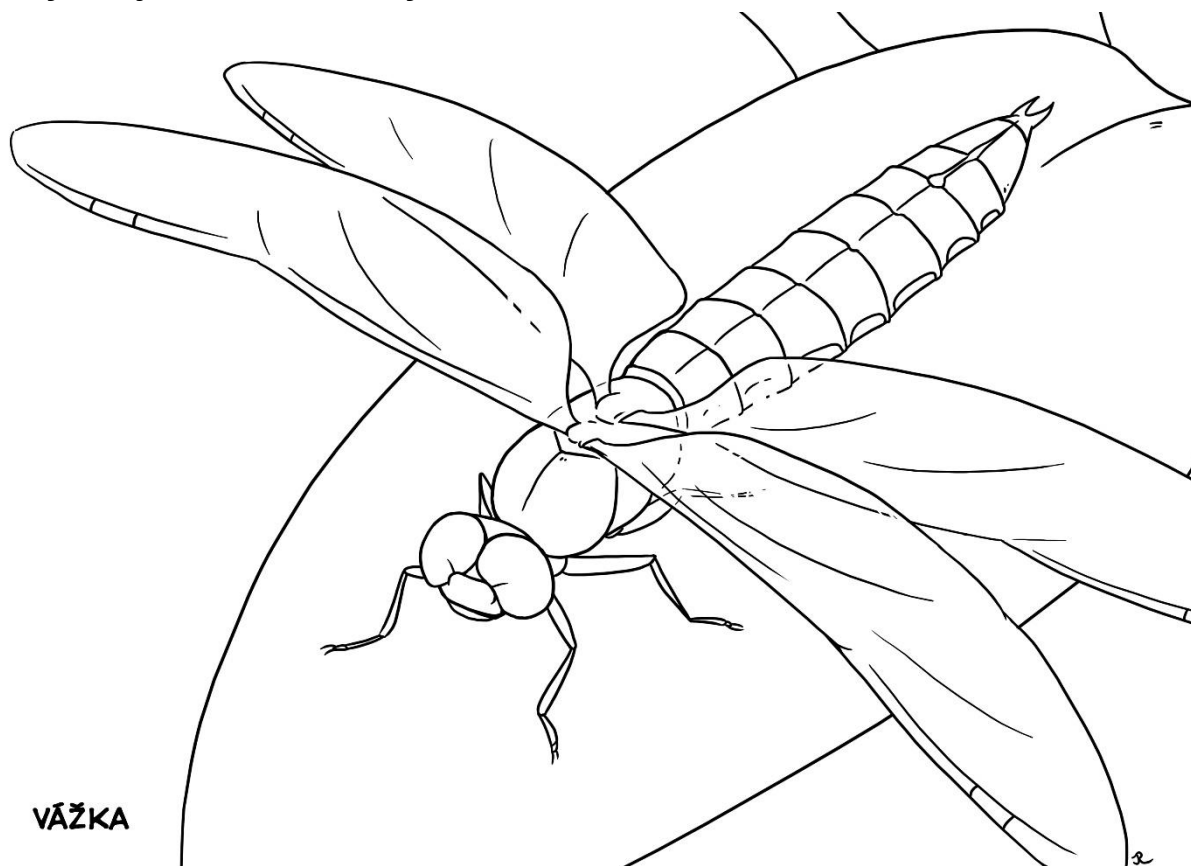
.....



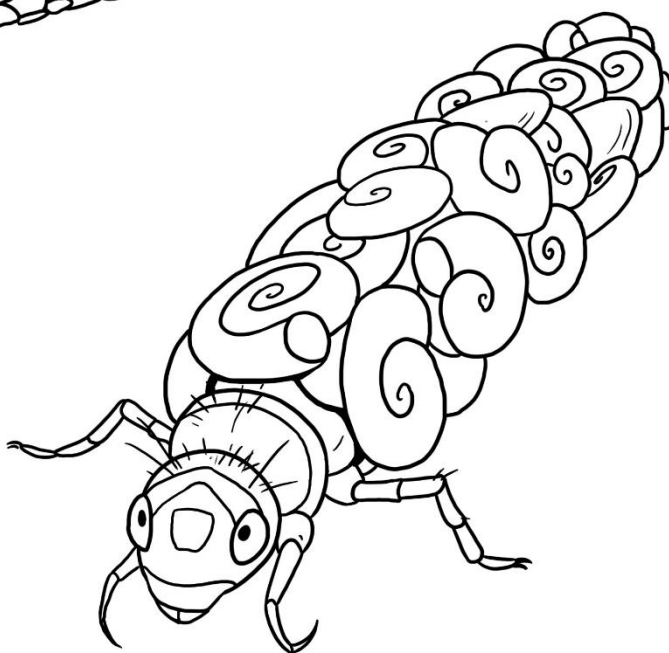
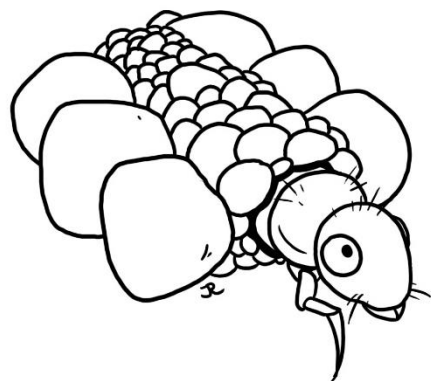
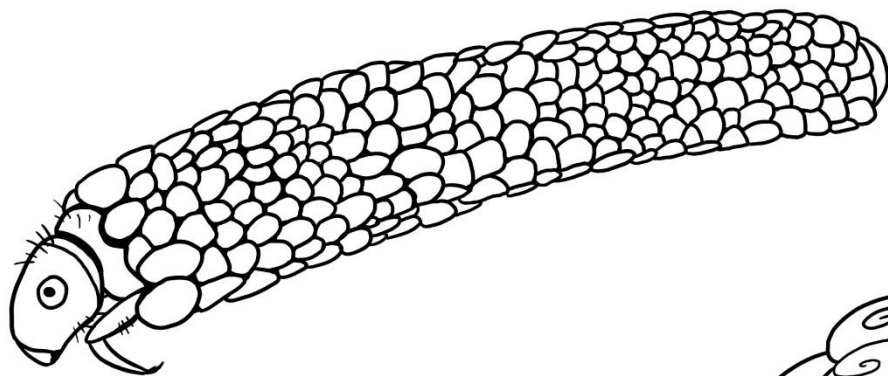
9. Doplňte popis (čeho?):



3. Vymaluj vážku a chrostíky. Fantazii se meze nekladou 😊.



VÁŽKA



CHROSTÍCI