

Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta
Katedra zoologie



Ondřej Mikulka

**Vliv environmentálních faktorů na životní cykly a emergenci
dospělců pošvatek**

Bakalářská práce

Studijní program: Biologie

Studijní obor: Systematická biologie a ekologie

Forma studia: prezenční

Vedoucí práce: RNDr. Vladimír Uvíra, Dr.

Termín odevzdání práce: 30. 4. 2013

Olomouc 2013

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci vypracoval samostatně za použití citované literatury.

V Olomouci 30. dubna 2013

.....

Podpis:

Poděkování:

Rád bych věnoval poděkování RNDr. Vladimíru Uvírovi, Dr. a Mgr. Bronislavě Janíčkové DiS. za cenné rady, konzultace a v neposlední řadě za podporu při psaní této bakalářské práce.

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora:	Ondřej Mikulka
Název práce:	Vliv environmentálních faktorů na životní cykly a emergenci dospělců pošvatek
Typ práce:	bakalářská práce
Pracoviště:	Katedra zoologie a ornitologická laboratoř
Vedoucí práce:	RNDr. Vladimír Uvíra, Dr.
Rok obhajoby práce:	2013

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá environmentálními vlivy v souvislosti s jejich změnami a vlivem na životní cykly vodního hmyzu. Pro studium byl vybrán řád pošvatky (Plecoptera) coby významná bioindikační skupina. Za hlavní environmentální faktory jsou považovány teplota, kyslík, sluneční záření, pH, přítomnost organických a anorganických látek a proudění vody. Shrnuté poznatky se zaměřují především na nástup procesu emergence, v širším pojetí pak na růst pošvatek, jejich abundanci, fekunditu či mortalitu. Do této rešerše byl zahrnut také efekt nepřímého působení faktorů na dostupnost potravy a vzájemné ovlivňování faktorů. Seběmenší změny vodního prostředí jsou velmi často spojeny s všeobecně negativním dopadem (opožďení emergence, pomalý růst, snížená fekundita, popř. vymizení populace). Tyto změny jsou také díky pošvatkám velmi citlivě indikovány.

Vzorky emergencí dospělých pošvatek byly odebrány v průběhu let 1981–2009 v rámci projektu „RITRODAT – LUNZ“ Biologické stanice Rakouské Akademie věd v Lunzu. Od roku 2012 jsou k dispozici na Univerzitě Palackého v Olomouci a budou vyhodnoceny v rámci zpracování navazující diplomové práce.

Klíčová slova: emergence, pošvatky, horský potok, životní cyklus, environmentální faktory

Bibliographical identification

Autor's first name and surname: Ondřej Mikulka
Title: Impact of environmental factors on life cycles and emergence of stoneflies
Type of thesis: bachelor thesis
Department: Department of Zoology and Laboratory of Ornithology
Supervisor: RNDr. Vladimír Uvíra, Dr.
The year of presentation: 2013

Abstract:

The bachelor thesis deals with changes of the environmental factors and their effects on the life cycles of aquatic insects. The order stoneflies (Plecoptera) was chosen for its bioassessment. The main environmental factors are: temperature, oxygen, sunlight, pH, organic and inorganic substances and flow rate. The results are focus mainly on the onset of the process of emergence, in a broader sense to the growth of stonefly abundance, fekundity or mortality. In the results there was included also the effect of indirect effects on food availability and interaction factors. The slightest changes in the water environment are very often associated with generally negative impact (delayed emergence, slow growth, reduced fekundity, respectively disappearance of the population). The stoneflies are also influenced and in this way we can find out these shifts.

Emergency adult stonefly specimens were collected for the period 1981–2009 under the project „RITRODAT – LUNZ“ Biology of the Austrian Academy of Sciences in Lunz. Since 2012 are available at Palacky University in Olomouc and will be evaluated in the subsequent processing in my Master thesis.

Keywords: emergence, stoneflies, mountain stream, life cycle, environmental factors

Obsah

Seznam obrázků.....	vi
1 Úvod.....	1
2 Pošvatky (Plecoptera).....	2
2.1 Taxonomické zařazení.....	2
2.1.1 Rozšíření pošvatek.....	3
2.2 Morfologie pošvatek.....	3
2.2.1 Morfologie larvy.....	3
2.2.2 Morfologie dospělce.....	5
2.3 Životní prostředí pošvatek.....	6
2.4 Potrava.....	6
2.5 Životní cyklus.....	7
2.5.1 Emergence.....	9
2.6 Pošvatky jako bioindikační skupina.....	10
3 Významné environmentální podmínky.....	11
3.1 Teplota.....	11
3.2 Sluneční záření.....	13
3.3 Břehová vegetace.....	14
3.4 Kyslík.....	14
3.5 pH.....	16
3.6 Anorganické a organické látky.....	17
3.7 Proudění vody a průtočnost toku.....	18
4 Popis lokality.....	20
5 Metodika.....	22
5.1 Terénní odběry vzorků.....	22
5.1.1 Emergenční pasti.....	22
5.1.2 Fixace a uchování vzorků.....	24
5.2 Laboratorní zpracování vzorků.....	24
6 Cíle navazující diplomové práce.....	26
7 Závěr.....	27
8 Seznam literatury.....	29

Seznam obrázků

Obrázek 1: Ventrální pohled na morfologii hlavy larvy pošvatky.....	4
Obrázek 2: Stavba a popis těla larvy pošvatky.....	5
Obrázek 3: Životní cykly pošvatek.....	8
Obrázek 4: Matting balls u druhu <i>Hemimelaena flaviventris</i>	9
Obrázek 5: Vztah mezi nástupem emergence <i>Perlesta placida</i> a světelností.....	13
Obrázek 6: Hladina koncentrace kyslíku pro 95% přežití <i>Taeniopteryx nebulosa</i>	15
Obrázek 7: Mapa oblasti s vyznačením potoka Oberer Seebach	21
Obrázek 8: Fotografie potoka Oberer Seebach.....	21
Obrázek 9: Typ emergenční pasti použité při výzkumu na potoce Oberer Seebach.....	24
Obrázek 10: Vyhotovené vzorky připravené k taxonomickému třídění (MIKULKA 2013)...	25

Úvod

Voda, včetně vodního prostředí, je jednou z nejdůležitějších složek ekosystémů na Zemi. V přírodě dochází k ovlivnění těchto vodních ekosystémů přirozeně nebo v důsledku lidské činnosti, kdy dochází ke změnám teploty, vodního stavu, koncentraci kyslíku, pH, dalších chemických parametrů či světelných podmínek.

Na měnící se podmínky ve vodním prostředí vždy reaguje přítomný hmyz různým způsobem. Jsou ovšem skupiny, které jsou tolerantní ke změnám (euryvalentní) a naopak druhy s úzkou valencí (stenovalentní). Prvotní reakcí na dané podmínky prostředí jsou velmi často výkyvy v životním cyklu, zejména pak nástup emergence (FLANNAGAN & COBB 1990).

Právě pošvatky zahrnující většinou stenovalentní druhy, jsou velmi citlivá skupina hmyzu. Jejich velmi vysoké nároky na životní prostředí a víceméně kosmopolitní rozšíření, je předurčuje pro využití jako bioindikátory kvality vodního prostředí. Společně se zástupci dalších řádů vodního hmyzu, chrostíky (Trichoptera) a jepicemi (Ephemeroptera) jsou považovány za jakési modelové organismy.

Cílem této bakalářské práce je zpracování rešerše literatury, která hodnotí vliv jednotlivých environmentálních faktorů na larvy a imága pošvatek, jejich reakce a přizpůsobení se na dané podmínky a v neposlední řadě také vytvoření podkladů pro navazující diplomovou práci.

2 Pošvatky (Plecoptera)

Pošvatky, a celkově vodní hmyz, plní důležitou úlohu v toku energie. Tvoří přechodník zprostředkovávající potravu z řas a detritu rybám (BENKE 1984).

Polovina všech známých druhů pošvatek, spojená s pramennými toky, byla popsána až v posledních třech desetiletích. Hlavním důvodem jsou nezmapované malé vodní toky, ale často i špatná dlouhodobá přístupnost toků, např. v severských oblastech (MEYER et al. 2007).

2.1 Taxonomické zařazení

Pošvatky patří mezi nejstarší linie neopterního hmyzu na planetě Zemi. Doposud bylo popsáno více než 3300 druhů (WEISS et al. 2012). Výskyt je častější především na severní polokouli, teplé oblasti jsou osídlené řidčeji (GRUBBS 2011). Přesto mluvíme, s výjimkou Antarktidy, o celosvětově rozšířeném kosmopolitním řádu (ZWICK 2000).

Zařazení do systému dle Zwick (2000):

Kmen	Arthropoda
Podkmen	Hexapoda
Třída	Insecta
Podtřída	Pterygota
Řád	Plecoptera
Čeledi	Eustheniidae
	Diamphipnoidae
	Austoperlidae
	Gripopterygidae
	Scopuridae
	Taeniopterygidae *
	Capniidae *
	Leuctridae *
	Nemouridae *
	Pteronarcyidae
	Styloperlidae

Peltoperlidae
Perlidae *
Chloroperlidae *
Perlodidae *

* Čeledi zastoupené v ČR

2.1.1 Rozšíření pošvatek

Mnoho druhů pošvatek vytvořilo v době ledové ostrůvky populací, které byly ovlivňovány tamními podmínkami. Izolované populace se pak dokázaly na dané podmínky adaptovat, přičemž se vytvořily zcela nové druhy. Důkazem jsou dodnes místně přítomné endemické druhy (ILIES 1978, WEISS et al. 2012), např. v Alpách se vyskytující *Siphonoperla ottomoogi* či *Leuctra astridae* (GRAF et al. 2008).

Díky tomu, že ledovec vytvořil pro pošvatky překážku ze severu na jih a druhy z jihu nedokázaly osídlit severní oblasti Evropy, mělo za následek větší počet druhů ve střední a jižní Evropě (ILIES 1978).

2.2 Morfologie pošvatek

2.2.1 Morfologie larvy

Larvy pošvatek mají dorzoventrálně zploštělé, silně chitinizované tělo, které dorůstá délky 6–50 mm, přičemž tělo samičky je zpravidla větší (ELLIOT 1984). Larvy svým vzhledem připomínají dospělé, ale přesto mají několik znaků, kterými se liší. Především se liší ve stavbě ústního ústrojí, které je u dospělého často zakrnělé a také genitálie u larev chybí (LELLÁK et al. 1982).

Prognátní hlava larvy pošvatky má pár tykadel a dobře vyvinuté oči. Ústní ústrojí obsahuje pár maxilárních palp, labium je složeno z páru paraglos, glos, labiálních palp, mentha a prementha (BOUCHARD 2004) (Obr. 1).

Hlava nasedá na tři volné hrudní články, tj. prothorax, mezothorax, metathorax. Každý článek nese pár končetin složených z femuru, tibie, tříčlánkového tarsu a dvou tarsálních drápků. Okraje končetin mají některé druhy opatřeny brvami či hřebínky trnů jako např. *Shipsa rotunda* (Nemouridae) nebo *Taeniopteryx matura* (Taeniopterygidae). Mezothorax a

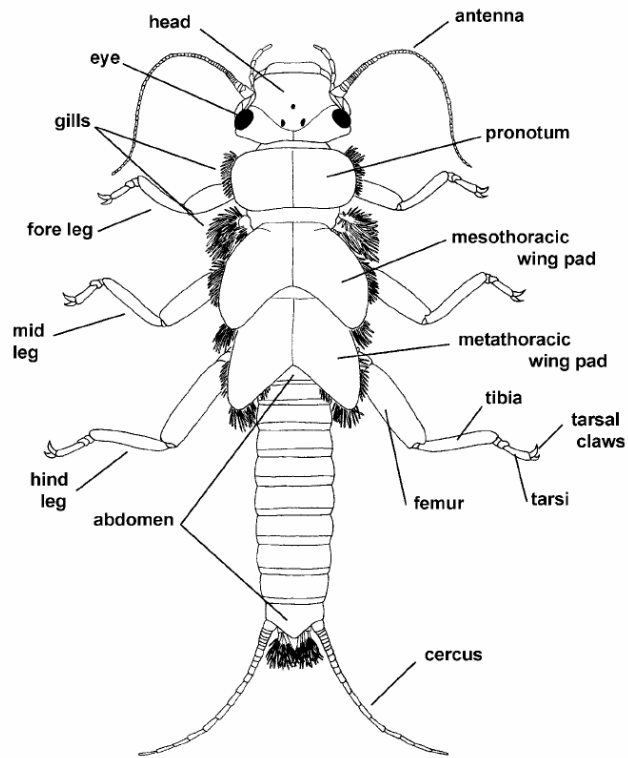
metathorax nese po páru zkrácených pochev křídel, které zpravidla odstávají do stran (BOUCHARD 2004).

Po stranách těchto třech volných článků mohou být chomáče tracheálních žaber, kterými dýchají nebo dýchají celým povrchem těla. Mladí jedinci, kteří nemají ještě zcela vyvinuté tracheální žábry, dýchají pomocí střeva, kdy je voda nasávána konečníkem a stahy vypuzována zpět do prostředí. Přes přítomný střevní epitel je pak přijímán kyslík (LELLÁK et al. 1982).

Tělo je zakončené abdomenem, který je pohyblivý a larvy si jeho pohybem přihánějí prokysličenou vodu a pomáhají při pohybu. Na konci abdomenu jsou dva štěty – cerci (obr. 2).



Obr. 1: Ventrální pohled na morfologii hlavy larvy pošvatky (převzato z: BOUCHARD 2004).



Obr. 2: Stavba a popis těla larvy pošvatek (převzato z: BOUCHARD 2004).

2.2.2 Morfologie dospělce

Morfologická stavba dospělců mezi druhy není natolik rozmanitá jako u larev, protože na suchozemskou, dospělou fázi není kladen takový selektivní tlak prostředí, jako na fázi vodní, kde došlo k různým adaptacím (BRITTAIN 1990).

Dospělci dosahují délky 5–30 mm. Hlava je orthognátní (je kolmo k ose těla a ústní ústrojí směřuje dolů) nebo prognátní (hlava v ose těla ústní ústrojí směřuje dopředu) s ústním ústrojím kousacím, které je často dosti redukované. Na hlavě jsou středně velké složené oči a mnohočlánková nitkovitá tykadla (LELLÁK et al. 1982).

Tělo tvoří tři volné hrudní články s třemi páry kráčivých nohou. Na konci je tříčlánkový tarsus se dvěma drápkami a empodiem. Mají dva páry velkých kožovitých křídel se zjednodušenou žilnatinou, z nichž je zadní pár vždy širší a zaujímá větší plochu. Křídla skládají ploše nad zadeček nebo jsou okraje zahnuté dolů a tvoří stříšku (LELLÁK et al. 1982).

U některých druhů se vyvinulo redukované nebo vestigiální (zakrnělé) křídlo. Jedna z hypotéz říká, že zde dochází k ušetření energie v podmínkách, které snižují nebo zabraňují schopnosti letu a pošvatky tak žijí v okolí vodního prostředí na zemi, pod kameny či vegetací.

Takové podmínky jsou v alpských a arktických oblastech, kde nízká teplota vzduchu snižuje možnost letu (BRITTAIN 1990). Ušetřená energie může být dále využita k utváření jiné části těla nebo k reprodukci (HYNES 1965). Druhá hypotéza popisuje souvislost s pohlavním dimorfismem, kdy samci mají zkrácená křídla a samice je mají v plné délce (BRITTAIN 1990).

Pošvatky mají dobře vyvinutý tracheální systém tvořený dvěma thorakálními (hrudními) a osmi abdominálními (zadečkovými) páry stigmat. U některých druhů se za hlavou nebo na člancích vyskytují rudimentální žábry (LELLÁK et al. 1982).

Tělo je zakončeno protáhlým desetičlánkovým zadečkem na konci s párem dlouhých štětů (BOUCHARD 2004).

2.3 Životní prostředí pošvatek

Pošvatky jsou dobře adaptovány na své prostředí. Až na pár výjimek je většina druhů vysoce specializována na vodní prostředí s chladnou vodou a vysokým obsahem kyslíku (WEISS et al. 2012). Právě díky tomu je větší počet druhů v tekoucích vodách než ve vodách stojatých (BRITTAIN 1990). Obvykle jsou zaměřené na alpské, zalesněné oblasti (HYNES 1965). Preferují především torentilní úseky horských a podhorských říček a potoků (LELLÁK et al. 1982), kde jsou kamenitá dna s vrstvou listů či kusy hnijícího dřeva (BRITTAIN 1990). Druhy žijící v chladných lenitických (stojatých) vodách, jako např. horská jezera, byly často původně druhy tekoucích vod, které se dokázali na tyto podmínky adaptovat, např. rody *Capnia* či *Amphinemura*. V teplých stojatých vodách pošvatky prakticky nežijí (BAUMANN 1979).

2.4 Potrava

Larvy jsou dravé i býložravé, jsou řazeny k predátorům (predators) nebo k drtičům (shredders) a sběračům (collectors). Zatímco dospělci buď potravu nepřijímají, nebo jsou býložravci (CRISCI–BISPO et al. 2007).

Dravé larvy se živí vodním hmyzem, červy, někdy loví i příslušníky svého rodu (kanibalismus). Uvádí se, že larvy Simuliidae a Chironomidae tvoří až 85 % potravy dravých pošvatek. Jsou upřednostňované vzhledem k tomu, že jsou snadno dostupné (IVLEV 1961).

Drtiči a sběrači se živí řasami, organickým detritem a různými živočišnými a rostlinnými zbytky (CRISCI-BISPO et al. 2007). Všežravost jim umožňuje získat potravu z různých zdrojů v různém ročním období. I v takových částech roku, kdy je primární produkce na minimu. Pošvatky se tak dokážou přizpůsobit množství a dostupnosti potravy v různých částech roku. Některé druhy přechází z býložravých forem prvních instarů do masožravých forem pozdějších instarů (OBERNDORFER 1977).

2.5 Životní cykly pošvatek

Svůj krátký život v podobě dospělého využívají především k reprodukci, ale na rozdíl od jepic dokážou některé dospělé pošvatky přijímat rostlinnou potravu a díky tomu přežít i několik týdnů. Délka adultního období se uvádí v rozmezí 1–4 týdnů (BRITAIN 1990).

K páření dochází na pevném substrátu v blízkosti vodního prostředí, nikoliv v letu. Díky tomuto dokázaly pošvatky, na rozdíl od jepic, osídlit arktické a alpské oblasti, kde je kvůli nízké teplotě let ztížen (BRITAIN 1990).

Mnoho dospělců provádí tzv. bubnování, kdy samci klepají břichem o substrát a vydávají zvuk, který samice vnímá a samečka vyhledává. Bubnování, které se u každého druhu liší, zajišťuje, že se mohou páry setkat (BOUCHARD 2004).

Při páření vytvářejí tzv. "matting balls" (pářící koule), kdy nasedá několik samců na samici a snaží se kopulovat (Obr. 4). Novější studie přicházejí s tím, že samci se snaží vytlačit právě kopulujícího samce (TIERNO DE FIGUEROA et al. 2006).

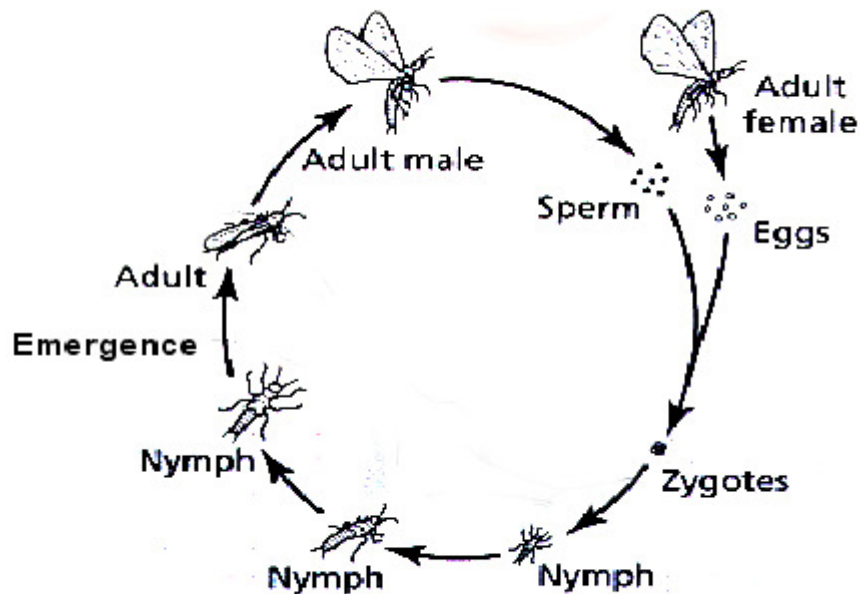
Po páření a oplodnění odhazuje samička kulovité snůšky vajíček na vodní hladinu a to buď za letu (ZWICK 2000), nebo při dosednutí na vodní hladinu (BRITAIN 1990). Druhy jako např. *Nemoura* a *Leuctra* se za účelem kladení vajec potápějí pod hladinu (LELLÁK et al. 1982).

U samiček pošvatek se vajíčka objevují již několik týdnů před kladením. Počet vajíček při jednom kladení se uvádí v rozmezí 100–2000, ovšem u rodu *Paragnetina* to může být až 3000 vajíček. Počet a kvalitu vajíček často ovlivňuje teplota vody (kap. 3.1 Teplota) (BRITAIN 1991).

Po vylíhnutí zůstává pošvatka ve stádiu larvy po dobu 6 měsíců až 3 let, kdy přijímá potravu a roste. Larvální růst a příjem potravy je velmi variabilní i v rámci jednoho rodu. Vždy zde závisí na podmínkách prostředí (tj. teplota, pH, potrava, světlo, kyslík) (BOUCHARD 2004).

V tomto období larva narůstá a prochází několika instary. Poslední vývojové stádium je typické tím, že má larva velké křídelní pochvy a nepřijímá potravu (Obr. 3). Při přechodu do fáze dospělosti vylézá z vody a ztrácí exoskelet (LELLÁK et al. 1982) (kap. 2.5.1 Emergence). Dospělé imago se pouze rozmnožuje po dobu max. 1 až 4 týdnů (DOBRIN & GIBERSON 2003).

Pošvatky mají velkou schopnost prodlužovat svůj životní cyklus a tak získávat energii pro stavbu velkého těla, které jim pak umožňuje lepší individuální plodnost. Jsou často především v chladných oblastech až na výjimky semivoltinní (*Sweltsa mediana*, *Sweltsa naica*) a univoltinní v mírnějších oblastech (*Paracapnia angulata*, *Nemoura trispinosa*) (DOBRIN & GIBERSON 2003).



Obr. 3: Životní cyklus pošvatek (převzato z: SNELLEN & STEWART 1979, upraveno: MIKULKA 2013).



Obr. 4: Matting balls u druhu *Hemimelaena flaviventris* (převzato z: TIerno DE FIGUEROA et al. 2006, upraveno: MIKULKA 2013).

2.5.1 Emergence

Emergence je speciální období života, kdy larva opouští vodu a přechází v dospělého jedince. Larva pošvatky prochází 12–14 instary (OBERNDORFER et al. 1977), někdy až 50 instary (RUFFIEUX et al. 1997). Počet instarů je ovlivněn podmínkami prostředí, především potravou, teplotou (BUTLER 1984) a také platí pravidlo, že čím menší druh, tím méně instarů a naopak čím větší druh, tím více instarů (LELLÁK et al. 1982).

Larvy několika druhů pošvatek prochází takzvanou diapauzou, která jim umožňuje přežít nepříznivé podmínky vnějšího prostředí (vysoké letní teploty, sucha) a posunout si tak vývojový cyklus s procesem emergence do ideálních podmínek (BRITAIN 1991).

Poté larva vylézá po skalách či vodní vegetaci z vody, kde se stává díky neschopnosti letu snadnou kořistí pro predátory a počet jedinců zde rapidně ubývá (OBERNDORFER et al. 1977). Na souši se svléká a poté přechází v dospělé imago. Při přechodu většinou zůstává na podkladě larvální kůže (exuvium) (LELLÁK et al. 1982). Tento proces emergence může nastávat kontinuálně, rytmicky, sezónně nebo sporadicky, kdy se vyskytuje v nepravidelných intervalech (CORBET 1964).

2.6 Pošvatky jako bioindikační skupina

Bioindikační druhy se využívají při sledování a hodnocení kvality vod. Jsou to živočichové s úzkou ekologickou valencí, kteří svými projevy, tj. přítomností nebo změnou životního cyklu, dokážou indikovat dané podmínky prostředí (DOHET et al. 2002).

Jako bioindikátor je vhodné použít organismus, který má dostatečně dlouhou dobu života, má vysoké nároky k danému faktoru, je fylogeneticky starý, ekologicky a taxonomicky dobře prozkoumaný. Využití bioindikačních druhů nám zajistí zmapování místních podmínek a také upozorní na měnící se podmínky, např. znečištění (NÉMETHOVÁ 2012).

Právě pošvatky spolu s jepicemi a chrostíky jsou patrně nejlepšími skupinami hmyzu, které je možné využít jako bioindikátory (WEISS et al. 2012). V praxi se pro tyto skupiny používá termín EPT taxony (zkratka Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) (BAUMANN 1979).

K hodnocení kvality vod na základě životních projevů, přítomnosti či absence, tempa růstu, posunutí doby líhnutí či emergence nebo úbytku populace, je třeba detailně znát charakteristiky daných bioindikačních druhů. Bioindikační druhy tedy musí být při výzkumu identifikovány až do druhu a musí být definovány jejich požadavky a reakce na vnější vlivy (CUMMINIS 1974).

Bioindikační druhy mají vysoké požadavky na nasycené, studené a rychle tekoucí vody. Jsou netolerantní ke znečištění, tzn., že v prostředí ovlivněném lidskou činností se tyto druhy mohou vyskytovat řídce nebo vůbec a to i přesto, že jsou ostatní podmínky pro jejich život splněny (CRISCI-BISPO et al. 2007).

Klasickým příkladem může být výzkum Richarda W. Baumanna, který studoval rozdílné reakce pošvatek v Severní Americe. BAUMANN (1979) rozdělil pošvatky podle výskytu v chladných tekoucích, teplých tekoucích, chladných stojatých a teplých stojatých vodách. Při porovnávání zastoupení rodů v těchto čtyřech kategoriích se některé rody, např. *Hesperoperla* nebo *Capnia* vyskytovaly široce od studených tekoucích po studené stojaté vody. Naopak zástupci rodů *Isocapnia*, *Megaleuctra* či *Paraleuctra* měli striktní závislost na chladných tekoucích vodách. Žádný druh se nevyskytoval v teplých stojatých vodách.

3 Významné environmentální podmínky

Časový nástup emergence je velmi citlivý na změny prostředí (FLANNAGAN & COBB 1990). Změny prostředí mohou mít vliv také na genetickou variabilitu (ROBINSON et al. 1992).

Abiotické i biotické faktory všeobecně ovlivňují životní prostředí ve vodách a tím také diverzitu vodních bezobratlých. Významnými abiotickými faktory máme na mysli zejména teplotu, kyslík, pH, dále množství odumřelé dřevní hmoty, množství a typ sedimentu, vegetaci, dostupnost slunečního záření či rychlost proudu, na které organismy reagují mnohdy i při sebemenší změně. Biotické faktory představují významné působení v rámci populace, společenstev či ekosystému (MAZZACANO & BLACK 2007).

Následující text se zaměřuje na významné abiotické faktory prostředí, které svým působením mohou mít pozitivní či negativní vliv na načasování vlastní emergence. Důležité je vzít v potaz, že ne všechny druhy preferují stejné podmínky, stejně jako fakt, že jednotlivé faktory mohou vzájemně prolínat.

3.1 Teplota vody

Teplota vody zásadním způsobem ovlivňuje růst larev (NOWINSZKY et al. 2010), stejně tak se stává hlavním faktorem ovlivňující sezónní načasování životního cyklu, zejména nástup emergencí vodního hmyzu, líhnutí, embryonální vývoj, rychlost metabolických procesů poikilotermního hmyzu (SWEENEY 1984). Obvykle platí pravidlo: čím vyšší teplota, tím rychlejší růst. Nepřímo pak může ovlivnit také množství dostupné potravy ve vodách (NOWINSZKY et al. 2010).

S měnící se teplotou vzduchu se mění i teplotní režim vod (VINCENT & PIENITZ 1996). Ovlivnění vzduchem není ovšem vždy pravidlem. Existují silné faktory jako prameny nebo ledovce, které způsobují minimální výkyvy (LELLÁK & KUBÍČEK 1991). Na změny teplot v průběhu roku je většina pošvatek adaptovaná. V různých obdobích roku vznikají také místní atypické výkyvy, které mohou způsobovat problémy a to jak se správným načasováním růstu, nástupu emergence, ale také s přístupností potravy (VINCENT & PIENITZ 1996).

Při vyhodnocování závislosti teploty na nástup emergence literární zdroje uvádějí, že se jednotlivé druhy v požadavcích liší. Je tedy nemožné stanovit jednotnou teplotu ve °C a

odhadnut nástupu emergence v průběhu roku pro celý řád Plecoptera. Např. druhy *Nemoura avicularis*, *Capnia atra* či *Leuctra nigra* dosahují vrcholu emergence při 7 °C (SETTEM & BRITAIN 1985). Naopak vrchol procesu emergence u *Isogrenoides zionensis* přichází až při teplotě vody kolem 13 °C (SANDBERG & STEWART 2005) a u *Pteronarcys dorsata* při 15 °C (NEBEKER 1971).

Optimální teplota pro vysokou úspěšnost líhnutí se uvádí v rozmezí 5–10 °C. Ovšem některé druhy pošvatek mají až 90% úspěšnost líhnutí na hranici 2 °C. Při překročení teploty nad 20 °C u většiny druhů rapidně klesá úspěšnost líhnutí (HARPER & PILON 1970). Pouze zřídka se vyskytují ve vodách s teplotou nad 25 °C (BAUMANN 1979).

Embryonální vývoj, a inkubační doba, je také ovlivněn teplotou. U mnoha druhů je inkubační doba nepřímo úměrná teplotě vody. Tyto vztahy byly studovány v laboratoři při konstantní teplotě. Při vychýlení teploty se vývoj liší druh od druhu, např. *Capnia atra* má inkubační dobu až 30 dní v rozmezí teplot od 5 do 25 °C nebo *Mesocapnia oenone* má inkubační dobu více jak 70 dní při teplotách od 2 do 15 °C. Pošvatky nemají takové tepelné požadavky jako jepice a tudíž mohli osídlit arktické a alpské oblasti (BRITAIN 1990). Naopak znevýhodněny jsou v oblasti tropů, kde se prodlužuje generační doba a rozšíření druhů je tak omezeno. Dobře osídlit tropické oblasti dokázal např. *Dinocras cephalotes*, což je druh, který má jedny z nejvyšších teplotních požadavků (15 až 25 °C), (LILLEHAMMER 1987).

Nejvyšší tempo růstu se vyskytuje v jarních a letních měsících, kdy teplota dosahuje nad 13 °C. Např. *Amphineura standfussi* dosahující denního přírůstku 3–3,6 % hmotnosti těla. Zatímco v podzimních a zimních měsících, kdy teplota klesá k 0,5 °C, larvy přirůstají jen 1,2–1,8 % (SANDBERG & STEWART 2005). Podzimní a zimní druhy pošvatek díky svým adaptacím na nízkou teplotu, nedokážou plně využít vyšších letních teplot ke svému růstu. Růstové rozdíly se ale také přisuzují dostupnosti množství potravy v jednotlivých částech roku (ELLIOT 1984).

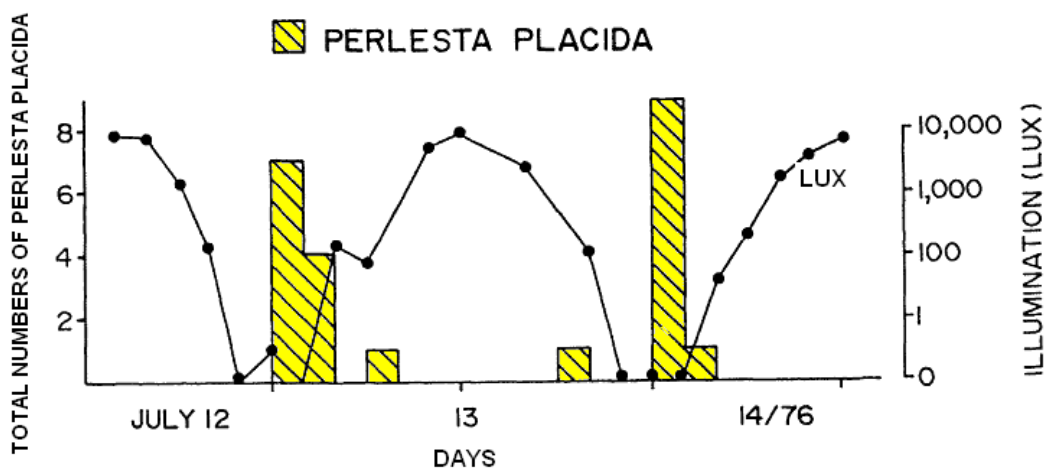
3.2 Sluneční záření

Světlo ovlivňuje životní cyklus vodního hmyzu přímo z hlediska periodicity (tj. načasování emergence, líhnutí, atd.) (DANTHANARAYANA 1986), ale také nepřímo z hlediska ovlivnění dostupnosti potravy či teploty (PROGAR & MOLDENKE 2009). Zatímco by se dalo čekat, že zvýšené záření a teplota bude pro larvy pošvatek nepříznivá, tak právě naopak populace často narůstají. Důvodem je náhlé zvýšení primární produkce (CUMMINIS & KLUG 1979). Sluneční záření díky zvýšené teplotě podpoří růst řas či hub a umožní jiným druhům hmyzu vyšší nárůst populace, které pak slouží dravým larvám pošvatek jako bohatý potravní zdroj. V tomto případě se jedná o tzv. „autochtonní“ zdroj potravy. Díky tomu může být hustota populace vyšší v bezlesí či sukcesních stanovištích než v oblasti vzrostlého lesa (PROGAR & MOLDENKE 2009).

Jedním z hlavních faktorů řídících životní cyklus a vznik dospělých generací pošvatek je lunární fáze (NOWINSZKY et al. 2010). Tato periodicita měsíce může umožňovat migraci a přispívá k shledání pohlaví ve prospěch páření a reprodukce (DANTHANARAYANA 1986).

Nejhojnější nástup emergence přichází za nízké světelné intenzity nebo úplné tmy v noci, kdy často masově vylétávají noví dospělci z vody, např. emergence druhu *Perlesta placida* probíhá za absolutní tmy (FLANNAGAN & COBB 1990) (Obr. 5).

Stejně jako jiné faktory i vliv světla může být zastíněn teplotním vlivem. Z tohoto důvodu jsou prováděny výzkumy v stabilní oblasti rovníku, aby hodnoty nebyly nijak zkreslené právě teplotou popř. tlakem (NOWINSZKY et al. 2010).



Obr. 5: Vztah mezi nástupem emergence *Perlesta placida* a světelností (převzato z: FLANNAGAN & COBB 1990, upraveno: MIKULKA 2013).

3.3 Břehová vegetace

Důležitou součástí ovlivňující vodní a ekotonální ekosystémy toků je okolní vegetace, která ovlivňuje světelný režim těchto vod, vytváří mikroklima, poskytuje energii v podobě vstupu allochtonních zdrojů potravy a stín (CUMMINIS & KLUG 1979). Zastínění vegetací snižuje teplotu vody, což zvyšuje nasycenost kyslíkem a to je pozitivní pro populace pošvatek (PROGAR & MOLDENKE 2009). Pokud dojde k odstranění rostlinného krytu v okolí vod, tak se intenzita slunečního záření zvýší, sníží se dostupnost organického materiálu a především se zvýší teplota vody (ALBARIÑO et al. 2008).

U pošvatek bylo zjištěno, že růst larev je ovlivněn podle preference potravy, která se vytváří buď ve stínu či světle, ovšem nijak výrazně nepreferují jedno či druhé prostředí. Např. *Klapopteryx kuscheli* je andský druh, jehož larvy jsou škrabači, kteří se živí řasami. Jejich růst je díky preferenci potravy (řas a hub) ze stinného prostředí, asi dvakrát rychlejší, než když se živí potravou narostlou na světle. I přesto tento druh výrazně nepreferuje stín (ALBARIÑO et al. 2008).

3.4 Kyslík

Kyslík se dostává do vody fotosyntetickou činností vodní vegetace nebo difúzí ze vzduchu. Vzhledem k tomu, že fotosyntéza nepobíhá neustále, je zřejmé kolísání v různých obdobích roku a také v částech dne (LELLÁK & KUBÍČEK 1991).

Koncentrace kyslíku ve vodě je jedním z hlavních faktorů ovlivňujících vodní bezobratlé, protože zásadně ovlivňuje metabolismus a rozšíření druhů (CONNOLLY et al. 2004). Dostatečné množství kyslíku je zajištěno v rychle proudících chladných vodách. Ve vodách takového charakteru neklesá množství kyslíku pod hodnotu 7 mg/l (LELLÁK et al. 1982).

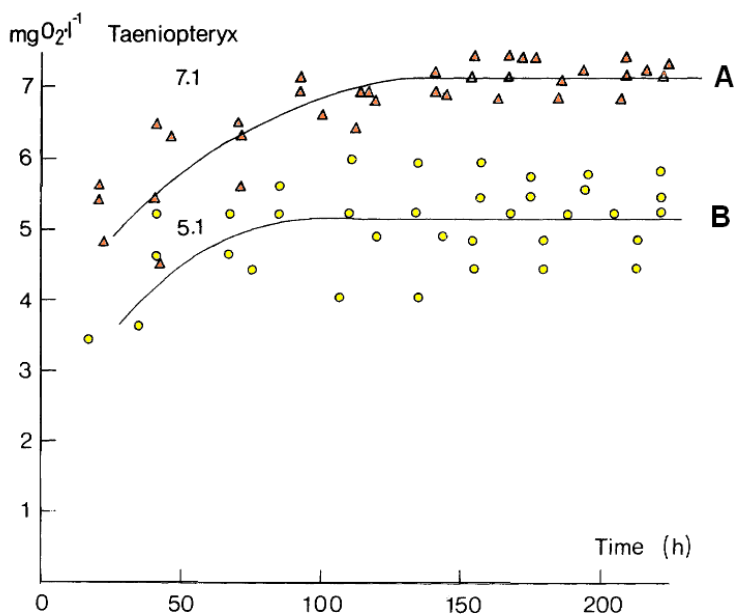
Jeho množství je ovlivňováno jednak vodními organismy, fotosyntézou rostlin, ztrátou a příjmem z atmosféry, změnou tlaku a teploty, počasím a také antropogenními vlivy. Antropogenní vlivy zvyšují frekvenci a trvání hypoxie v mnoha vodních systémech, což způsobuje ztrátu rozmanitosti a změny ve složitosti společenstva (CONNOLLY et al. 2004).

Pošvatky jsou pravděpodobně nejcitlivější řád vodního hmyzu s vysokými nároky na množství rozpuštěného kyslíku ve vodě. Neexistuje stejná optimální hodnota pro všechny druhy pošvatek, každý druh má různé nároky (NAGELL & LARSHAMMAR 1981). Podle

výsledků CONNOLLY et al. (2004) je minimální hranice saturace vody kyslíkem pro přítomnost a přežití pošvatek čeledi Gripopterigidae kolem 3,5 mg/l. NEBEKER (1972) uvádí u druhu *Acroneuria lycorias* letální hranici již 3,6 mg/l kyslíku a pro *Pteronarcys dorsata* 2,2 mg/l.

Dostatečné množství kyslíku je důležité především v době emergence. V tomto období se pro nástup emergence všeobecně uvádí zvýšená potřeba množství kyslíku ve vodě. Např. pro druh *Taeniopteryx nebulosa* se pro 95% úspěšnost emergence uvádí ideální množství 5,1 mg/l asi měsíc před emergencí a 7,1 mg/l při samotném procesu (Obr. 6) nebo pro *Diura nanseni* hodnota 3,1 mg/l měsíc před emergencí a 5,3 mg/l kyslíku při emergenci. Z těchto hodnot je patrné, že poptávka po kyslíku vždy stoupá před procesem emergence (NAGELL & LARSHAMMAR 1981). Velmi vysoké nároky na množství kyslíku má *Protonemura hrabei*, *Leuctra braueri* či *Isoperla sudetica* (KRNO 2003).

U různých druhů hmyzu existuje spousta rozmanitých adaptací na hypoxii (ERIKSEN et al. 1984). Larvy pošvatek provádí tzv. klikování nebo houpání. Tyto pohyby zajišťují rychlou výměnu vody v blízkém okolí jedince a efektivnější příjem kyslíku (BOUCHARD 2004).



Obr. 6: Hladina kyslíku pro 95% přežití *Taeniopteryx nebulosa*. Křivka A znázorňuje hodnoty množství kyslíku potřebné těsně před emergencí (průměrná hodnota 7,1 mg/O₂/l). Křivka B znázorňuje množství kyslíku cca měsíc před emergencí (Průměrná hodnota 5,1 mg/O₂/l). (převzato z: NAGELL & LARSHAMMAR 1981, upraveno: MIKULKA 2013).

3.5 pH

Stav pH je chemický jev, který vypovídá o množství disociovaných částic (kationtů) ve vodě, který ovlivňuje život přítomných organismů. Řada experimentů prokázala nepříznivé účinky především vlivem nízkého pH, které způsobuje negativní dopad na vývoj vodního hmyzu. Pošvatky v tomto ohledu nejsou výjimkou (SASAKI et al. 2005).

Kyselost má za následek všeobecné ochuzení vodních ekosystémů. Může mít silně negativní účinky jak přímé, tzn. citlivost organismů na vysoké množství kationtů (fyziologický stres, nedostupnost vápníku pro stavbu exoskeletu), tak účinky nepřímé, např. kvalita a dostupnost potravy (nároky řasových nárostů na různé pH) (LEDGER & HILDREW 2008). Velmi aktuálním tématem je vliv kyselých srážek, který má vliv jak na půdní vrstvy, tak na povrchové vody, přesto, že se množství srážek neutralizuje již v atmosféře (TIMM 1997). Patrnou míru okyselení vod způsobují také břehové porosty jedle bělokoré (*Abies alba*), smrku ztepilého (*Picea abies*) a buku lesního (*Fagus sylvaticus*) (GUEROLD et al. 1991).

Průměrná hodnota pH evropských řek se uvádí v rozmezí hodnot od 7–8,5, tedy neutrální až zásadité (GUEROLD et al. 1991). Jsou ovšem lokality, kde je pH ovlivněno často těžbou nerostných surovin, kdy se do vody dostává hliník (Al), železo (Fe), arsen (Ar), zinek (Zn) či jiné kovy, díky kterým je kyselé (SASAKI et al. 2005). Dále jsou vody ovlivňovány vypouštěním odpadních vod, postřiky ze zemědělství či nevhodnou výsadbou v břehových porostech (TIMM 1997).

Většina pošvatek dává přednost neutrálnímu až slabě zásaditému pH, ovšem některé druhy jsou schopny tolerovat i kyselé prostředí (TIMM 1997). Takovými druhy jsou např. *Taeniopteryx nebulosa* – 6,9 pH, *Nemoura cinerea* – 6,3 pH či *Protonemura meyeri* – 6,3 pH. Zásadité vody obývají např. *Amphinemura standfussi* – 7,1 pH, *Leuctra digitata* – 7,0 pH. Čeledi jako Taeniopterygidae, Perlidae a Perlodidae jsou striktně závislé na zásaditých vodách. Zvláště poslední dvě zmiňované čeledi se uvádějí jako vysoce citlivé vůči snížení pH. Jejich druhy z prostředí s nízkým pH prakticky okamžitě mizí (GUEROLD et al. 1991).

Pošvatky také dávají přednost neutrální vodě v procesu emergence. THOMSEN & FRIBERG (2002) uvádějí, že nástup emergence se v kyselé vodě prodlužuje. Např. u *Leuctra nigra* se emergence objevuje při pH 4,5 o několik dní později než při pH 7,3 (za teploty 7–13 °C) a také počet jedinců je vyšší v neutrální vodě než v kyselé i přesto, že

právě *Leuctra nigra* je druhem, který snáší nižší pH, na rozdíl od většiny pošvatek. Je ovšem patrné, že často dochází k silnějšímu ovlivnění spíše teplotou než pH.

Bylo zjištěno, že většina pošvatek na nižší (kyselé) pH reaguje vytvořením menšího těla, nižší reprodukcí a pravděpodobně rychlejším životním cyklem (PETRIN 2011). Nízký růst larev v kyselém prostředí byl prokázán např. u druhu *Paracapnia angulata* (THOMSEN & FRIBERG 2002). Počet nakladených vajíček ovšem stoupá se snižujícím se pH v úseku hodnot asi 5,5–8 (PETRIN 2011).

3.6 Vliv anorganických a organických látek

Horní toky poskytují jedinečné a velmi různorodé fyzikálně chemické prostředí (MEYER et al. 2007). Ovšem většina malých toků v Evropě je neustále pod hrozbou lidské činnosti. Především těžební, zemědělská a lesnická činnost a ve spodnějších částech toků to může být odpadní voda (MEYER & WALLACE 2001). Negativní ovlivnění horních úseků toků se poté kumuluje ve spodních úsecích řek a dochází k ovlivnění celého lotického systému (MEYER et al. 2007).

Chemické složení je vždy závislé na půdních podmínkách, geologickém podloží a antropogenním narušení režimu (WILLIAMS et al. 1997). Chemismus vody se pak odráží v biologické rozmanitosti a přítomnosti daných druhů hmyzu na stanovišti (MEYER et al. 2007).

Ve vodách je rozpuštěná řada organických i anorganických látek, mezi které patří vápenaté, hořečnaté, sodíkové a draselné ionty. Dále rovněž dusičnany (NO_3^-), dusitany (NO_2^-), chloridy (Cl^-), sírany (SO_4^{2-}), fosforečnany (PO_4^{3-}), ionty železa (Fe_3^+ , Fe_2^+) a amoniak (NH_4) (LELLÁK & KUBÍČEK 1991). Ionty železa společně s ostatními kovy mají podstatný vliv na změnu pH (SASAKI et al. 2005), tak jak je popsáno v předchozí kapitole o pH. Těžké kovy, které se do vody dostávají těžbou nerostných surovin, z výfukových plynů či z průmyslu (měď, olovo, rtuť) způsobují nebezpečnou toxicitu (PESACRETA 1997).

Standardní hodnoty chemismu vod evropských poměrů se uvádějí pro fosforečnany (PO_4^{3-}) < 0,03 mg/l, amonné ionty (NH_3^+) < 0,4 mg/l, dusitany (NO_2^-) < 0,02 mg/l a dusičnany (NO_3^-) < 1,2 mg/l. Tyto hodnoty se přirozeně v průběhu ročních období mění.

Právě fosforečnany (PO_4^{3-}), dusičnany (NO_3^-) a dusitany (NO_2^-) jsou v současnosti nejčastěji uváděnými chemickými látkami, jejichž nadbytečné množství způsobuje eutrofizaci tekoucích vod a ovlivňuje oživení (TIMM 1997). Eutrofizace způsobuje v letních měsících

růst řas a sinic, což by se mohlo zdát pro pošvatky výhodné z hlediska potravního zdroje a uvolnění kyslíku do vody, ovšem nadměrný růst a následný rozklad nakumulované biomasy má právě zcela opačný efekt, kdy dochází k razantnímu úbytku kyslíku a tím pádem i snížení abundance larev a úspěšnosti emergence. Tento proces postihuje spíše nižší úseky toků a řek nebo toky s kolísajícím průtokem (MARQUES et al. 2003).

Vůči eutrofizaci jsou některé pošvatky tolerantnější, jako např. *Hemimalena flaviventris* a *Perlodes intricata*. Převážná většina larev ovšem preferuje vody eutrofizací méně zatížené. Příkladem nejméně tolerantních pošvatek jsou např. *Amphinemura sulcicollis* a *Taeniopteryx schoenemundi* (PRESA et al. 1990).

Pošvatky jsou citlivější více na organické znečištění než k eutrofizaci (KRNO 2003). Negativní vliv organických látek také navyšuje častá vazba toxinů právě na organické materiály (BENKE & WALLACE 1997). Znečištění může z populace odstranit většinu nebo i všechny jedince, důležitou schopností je pak rychlá opětovná kolonizace, která, jak ukazují studie, není u pošvatek zdaleka natolik dokonalá jako u jepic vykazující vyšší fekunditu (plodnost) a lepší let dospělců (BRITAIN 1991). Druhy *Nemoura cinerea*, *Nemurella pictetii* nebo americká *Isoperla quinquipunctata* dobře snášejí organické znečištění (BRITAIN 1991). Opakem je *Pteronarcys dorsata* (PESACRETA 1997).

3.7 Proudění vody a průtočnost toku

Průtočnost se uvádí jako schopnost koryta vést maximální objem vody. Změny v průtočnosti, rychlosti proudu a výšce vodní hladiny mohou být způsobeny přirozeně letním suchem, jarním táním či náhlou změnou počasí atd. Uměle jsou změny vytvářeny především regulací vodních toků prostřednictvím jezů či vodních elektráren a způsobují každodenní výkyvy ve výšce vodní hladiny a průtoku (LELLÁK & KUBÍČEK 1991).

Právě změna výšky hladiny může být prvotním stresujícím faktorem pro pošvatky, který sám o sobě pošvatky neovlivňuje, ale vede ke komplexním změnám fyzikálně-chemických parametrů. Záplavy a vysychání doprovázejí změny pH, teploty, množství kyslíku, koncentrace iontů, toxinů a znečišťujících látek či nárůst jiné vegetace (potrava) (MAZZACANO & BLACK 2007).

Jak uvádějí studie, tak sezónní průtok je často důležitým faktorem pro načasování počátku emergence. FLANNAGAN & COBB (1990) zjistili, že počátek procesu emergence většinou nastává s vysokým průtokem na jaře, kdy je ideální teplota vody a dobrá nasycenost

kyslíkem. Nízký průtok naopak negativně ovlivňuje tento proces. Příkladem je zjištění, že v toku s průtokem 1,4 m³/s začínal proces emergence u *Hesperoperla pacifica* o měsíc dříve než v toku s hodnotou 0,7 m³/s (ROBINSON et al. 1992).

Vyloženě ohroženi nízkým průtokem jsou druhy *Isoperla bilineata* a *Haploperla brevis*, které se líhnou na počátku podzimu. V této době není velký průtok, vznikají tak vyschlé úseky toku a nedochází k vylíhnutí vajec (FLANNAGAN & COBB 1990).

Na růst larev nemá průtok pravděpodobně žádný vliv. Studie dokazují, že *Hesperoperla pacifica* měla podobnou rychlost růstu jak v tocích s velkým, tak s malým průtokem (ROBINSON et al. 1992).

4 Popis lokality

Potok Oberer Seebach pramení v oblasti jezera Obersee poblíž obce Lunz am See ve středním Rakousku (47°51'N, 15°04'E). Potok napájí jezero Mittersee a Lunzer See a po asi 10 km ústí do říčky Ybbs a stává se tak jejím levostranným přítokem (Obr. 7).

Tato lokalita je součástí severovýchodní části alpského pohoří. Území leží na vápencovém podloží s průměrnou nadmořskou výškou kolem 950 m n.m. Nejvyšší vrchol území G. Hetzkogel měří 1582 m n.m, avšak samotný potok Seebach při ústí leží ve výšce 601 m n.m (WHITEMAN et al. 2004).

Meteorologické parametry odpovídají zeměpisné poloze. Průměrná roční teplota vzduchu této oblasti je 6,6 °C a průměrný roční úhrn srážek kolem 2200 mm (WHITEMAN et al. 2004).

Potok vyhloubil v průměru 2 metry hluboké koryto, které je tvořeno aluviálními štěrky a písky, podloženo vrstvou jemných jezerních sedimentů (Obr. 8) (WAGNER & BRETSCHKO 2002).

Průměrná roční teplota vody v toku Seebach je 6,7 °C. Je ovlivňována spodní vodou, tudíž nedochází k velkým sezónním výkyvům (WAGNER & BRETSCHKO 2002). Chemické složení vod je ovlivněno právě vápencovým podložím (zásadité pH). V důsledku prakticky neobydlené oblasti nedochází k ovlivnění toku lidskou činností (WAGNER & LEICHTFRIED 2003).

85 % plochy povodí je tvořeno lesními porosty se smrkem ztepilým (*Picea abies*), bukem lesním (*Fagus sylvatica*) a modřínem opadavým (*Larix decidua*). V příbřežních porostech jsou navíc zastoupeny vrba jíva (*Salix caprea*), jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior*), javor klen (*Acer pseudoplatanus*), a líska obecná (*Corylus avellana*) (SCHMID-ARAYA 1994).

Oživení vod představuje množství vodních bezobratlých (Crustacea, Chironomidae, Trichoptera, Ephemeroptera, Plecoptera, Nematoda aj.) a také pro takovou oblast několik typických druhů ryb, např. *Cottus gobio* a *Salmo trutta fario* (WAGNER & LEICHTFRIED 2003).



Obr. 7: Mapa oblasti s vyznačením potoka Oberer Seebach (převzato z: Amap online, upraveno: MIKULKA 2013).



Obr. 8: Fotografie potoka Oberer Seebach

5 Metodika

Tato bakalářská práce je dílčí částí, navazující na dlouhodobý výzkum Ritrodat, což je výzkumný program biologické stanice Lunz v Rakousku, který byl založen v roce 1976 profesorem Gernotem Bretschkem. Smyslem vytvoření projektu bylo popsat strukturální a funkční vztahy v říčním ekosystému s výstupem dat, které budou dlouhodobě sloužit jako podklady pro další studie (WAGNER & LEICHTFRIED 2003).

Dlouhodobý monitoring a odběr vzorků byl prováděn v letech 1978–2005 na potoce Oberer Seebach. Hlavní pozornost byla věnována 100metrovému úseku potoka, kde byly prováděny odběry vzorků hmyzu, průzkumu sedimentů, měření hydrologických parametrů, studium morfologie koryta atd. (WAGNER & LEICHTFRIED 2003).

Vzorky odebraných emergencí byly v rakouském Limnologickém institutu AV zpracovány pouze výjimečně a po vzájemné dohodě Dr. V. Uvíry s Dr. M. Leichtfried byly předány ke zpracování na Katedru zoologie PřF Univerzity Palackého v Olomouci.

5.1 Terénní odběry vzorků

Po dobu let 1981–2005 bylo ve 100metrovém úseku potoka nainstalováno stabilně 12, v některých obdobích až 30 emergenčních pastí, umístěných na zaplaveném či nezaplaveném substrátu. Od roku 2005 byly v toku umístěny pouze 3 pasti.

Pro odchyt emergencí byly použity pyramidové pasti (WAGNER & LEICHTFRIED 2003). Vzhledem k celkově velkému objemu vzorků jsme k počátečnímu zpracování vybrali prozatím vzorky ze 2 pastí, které byly umístěny v potoce po celou dobu sledování a mohou tak poskytnout obraz o dlouhodobých změnách emergence hmyzu v kontinuální časové řadě 25 let.

5.1.1 Emergenční pasti

Past se skládá z upevňovacího ocelového podkladu, síťové kopule s otevřeným dnem a nádoby na zachycení vylétajícího hmyzu (Obr. 9) (FLANNAGAN & COBB 1994). Je velmi důležité, zvláště v tekoucích vodách, aby past byla robustní a dobře upevněna ke dnu (ANDERSON & LARSON 1968). Velikost pastí bývá různá, od záběru plochy 0,25 m² do

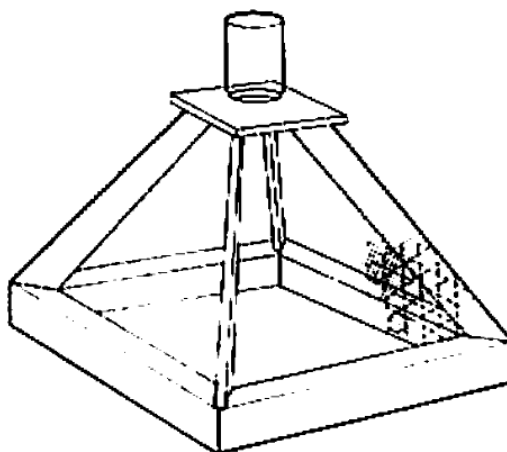
1 m² (FLANNAGAN & COBB 1994). Díky síťovité kopuli voda volně protéká pastí, což umožňuje vytvářet neměnné podmínky uvnitř (ANDERSON & LARSON 1968).

Pro emergenční pasti se uvádí několik základních pravidel (DAVIES 1984):

- Musí být definovány požadavky pro daný experiment (velikost vzorku, pokrytí stanovišť a snadné použití).
- Neexistuje zcela univerzální typ. Volba pasti je omezena návyky jednotlivých taxonů, např. vážky, většina druhů pošvatek a některé jepice potřebují vegetaci či substrát nad hladinou, po kterém larvy vylezou a až poté dochází k procesu emergence, proto je důležité past tomuto faktu přizpůsobit.
- Výběr pasti omezuje fyzické prostředí (výška hladiny, rychlost proudu, množství vodní vegetace). Naopak pasti by měly co nejméně měnit vzorkovací prostředí.
- Měly by být přenosné, se snadnou manipulací, údržbou a finančně dostupné.

Funkcí pasti je zachytit vývojové fáze přechodu mezi larvou a dospělcem, tedy mezi fází vodní a suchozemskou. Nově vzniklí dospělci pak vlétávají otvorem do nádoby, která je zčásti naplněná vodou, a jsou zde zachyceni (DAVIES 1984).

Tyto nádoby byly pravidelně po 7–10 dnech vybírány a z obsahu následně vytvářeny vzorky. Při každém odběru byl vytvořen jeden protokol s uvedením času, výšky vodního stavu, teploty vody a umístěním pasti (zaplavený/nezaplavený úsek). Pouze v roce 1992 bylo prováděno častější vybírání pastí, v některých obdobích intenzivní emergence i každý druhý den.



Obr. 9: Typ emergenční pasti použité při výzkumu na potoce Seebach (převzato z: DAVIES 1984).

5.1.2 Fixace a uchování vzorků

Po vyprázdnění pasti byl materiál vždy upraven tak, aby mohl být převezen do laboratoře. Z každé očíslované pasti byl tedy hmyz přenesen do uzavíratelných nádob a fixován 4% formaldehydem, přičemž každá nádoba nese datum a označení dané pasti, ve které byl materiál odchycen.

5.2 Laboratorní zpracování vzorků

V laboratoři byly vzorky za účelem delšího skladování převedeny ze 4% formaldehydu do 70% etanolu.

Poté byl materiál roztríděn a uložen do skleněných uzavíratelných epruvet, přičemž každá nese štítek s označením pasti a s datem odchycení ve tvaru např.: 15D3/3-1995-07-26 (Obr. 10). Dále byly vzorky uloženy do papírových boxů s označením roku odběru. Takto uložené vzorky musely být kvůli vysychání průběžně doplňovány 70% etanolem.

V roce 2012, již na Univerzitě Palackého, byly vzorky opět doplněny a roztríděny. Nedílnou součástí bylo vytvoření databázové tabulky, která spočívala v přepsání všech dostupných protokolů v papírové podobě do elektronické verze. Takto připravené vzorky se budou později vyhodnocovat pod lupou a následně třídit.



Obr. 10: Vyrobené vzorky připravené k taxonomickému třídění (MIKULKA 2013)

6 Cíle navazující diplomové práce

Hlavním cílem navazující diplomové práce bude vyhodnotit případné změny v emergenci pošvatek v průběhu let 1981–2005 v závislosti na environmentálních faktorech.

V návaznosti na bakalářskou práci dojde k rozšíření problematiky s ohledem na jednotlivé čeledi a faktory ovlivňující životní cykly a emergenci pošvatek.

Bude provedena determinace pošvatek na druhovou úroveň. Konzultace je předběžně domluvena s prof. RNDr. Tomášem Soldánem, DrSc. (vedoucím Laboratoře ekologie vodního hmyzu, Entomologického ústavu AV, České Budějovice). Dále bude vykonána studijní cesta na zájmovou lokalitu (Lunz, Rakousko) za účelem konzultace s Dr. Leichtfried, podrobného seznámení se s lokalitou a vytvoření příslušné fotodokumentace.

7 Závěr

Z výše citovaných literárních zdrojů je patrné, že pošvatky mají většinou úzkou valenci a vysoké požadavky na kvalitu vod. Právě z toho důvodu se využívají jako jedna z hlavních bioindikačních skupin. Náhlé změny mohou zásadně ovlivnit jejich životní cyklus, v extrémním případě pak dochází ke snížení abundance na lokalitě a k vyhynutí. Není ovšem možné hodnotit celou skupinu paušálně, protože i zde jsou druhy, které se ve svých požadavcích více či méně liší.

Za hlavní ekologické faktory ovlivňující životní cykly pošvatek považujeme teplotu, sluneční záření, chemické látky, saturaci kyslíkem, proudění vody a pH. Teplota vody hraje významnou roli v růstu larev a načasování emergence. Zrovna tak ovlivňuje saturaci vody kyslíkem, na což jsou pošvatky citlivé zvláště pak v období před nástupem emergence.

Je zřejmé, že svou roli hraje také intenzita slunečního záření. Primárně působí na časový nástup emergence. Sekundárně může, společně s břehovou vegetací, ovlivnit teplotní režim vod a dostupnost potravy.

Velmi aktuálním tématem, často zmiňováno v souvislosti s lidskou činností je množství chemických látek ve vodách. Jejich zvýšené množství, zejména fosforu a dusíku způsobuje eutrofizaci, následovanou úbytkem kyslíku až vznikem hypoxie. Takovýto stav je pro většinu vodních bezobratlých zvláště pro pošvatky velmi nepříznivý až smrtící. Díky vazbě pošvatek na tekoucí vody se ovšem eutrofizace nemusí vůbec projevit. Daleko větší hrozbou je patrně znečištění organické, jehož účinek může být násoben vazbou různých toxinů. Jeho vlivem dochází k rapidnímu snížení abundance na lokalitě.

Některé chemické látky, bez ohledu na zdroj, způsobují ve vodě svými disociovanými částicemi změny pH. Zejména pak nízké pH má vliv na pomalejší růst larev, reprodukci a prodloužení doby emergence.

Zcela odlišným způsobem ovlivňuje pošvatky proudění vody a průtok. Při kolísání totiž dochází k náhlým komplexním změnám vodního prostředí a většina výše uvedených faktorů i různých ekologických vztahů se mění. Je však evidentní, že rychlé proudění vody vytváří příznivé podmínky pro život pošvatek.

Emergence je klíčovou fází životního cyklu pošvatek. Představuje začátek imaginální, terestrické fáze, v rámci které dochází k pohlavnímu rozmnožování jednotlivých druhů a tedy předání genů do další generace. Je velmi často prvotním ukazatelem změn prostředí.

Častým problémem, se kterým se vědecké studie tohoto typu setkávají, je fakt, že jednotlivé faktory se v projevu na životní cyklus pošvatek podmiňují a výsledné hodnoty mohou být zkresleny, např. teplota více působí na růst než pH. Z toho důvodu se velmi často některé experimenty provádí laboratorně.

V této literární rešerši jsem shrnul vliv základních environmentálních faktorů na životní cyklus pošvatek s ohledem na emergenci. Rovněž byly popsány metody odchyty, vzorkování emergencí a popis lokality. Tyto údaje budou použity při zpracování magisterské diplomové práce.

8 Seznam literatury

- ALBARIÑO, R., VILLANUEVA, V.D. & CANHOTO, C. (2008): The effect of sunlight on leaf litter quality reduces growth of the shredder *Klapopteryx kuscheli*, *Freshwater biology*. 53: 1881–1889.
- ANDERSON, D.W. & LARSON, D.W. (1968): A Bottom-Type Emergence Trap for Rough Water Conditions, *Limnology and Oceanography*. 13(1): 181–182.
- BAUMANN, R.W. (1979): Nearctic stonefly genera as indicators of ecological parameters (Plecoptera: Insecta), *Western North American Naturalist*. 39: 336–354.
- BENKE, A.C. & WALLACE, J.B. (1997): Trophic basis of production among riverine caddisflies: implications for food web analysis, *Ecology*. 78(4): 1132–1145.
- BENKE, A.C. (1984): Secondary production of aquatic insects, *The ecology of aquatic insects*. 289–322.
- BOUCHARD R.W. (2004): Guide to aquatic macroinvertebrates of the upper midwest. St. Paul: Water Resources Center, University of Minnesota. 208 p.
- BRITAIN, J.E. (1990): Life history strategies in Ephemeroptera and Plecoptera, *Mayflies and stoneflies: life histories and biology*. 1–12.
- BRITAIN, J., ALBA-TERCEDOR, J. & SANCHEZ-ORTEGA, A. (1991): Life history characteristics as a determinant of the response of mayflies and stoneflies to man-made environmental disturbance (Ephemeroptera and Plecoptera), In *Proc. Vth Int. Conf. Ephemeroptera & Plecoptera*, Granada. 539–545.
- BUTLER, M.G. (1984): *Life histories of aquatic insects*. New York: Praeger.
- CINNOLY, N.M., CROSSLAND, M.R. & PEARSON, R.G. (2004): Effect of low dissolved oxygen on survival, emergence, and drift of tropical stream macroinvertebrates, *Journal of the North American Benthological Society*. 23(2): 251–270.
- CORBET, P.S. (1964): Temporal patterns of emergence in aquatic insects, *The Canadian Entomologist*. 96: 264–279.
- CRISCI-BISPO, V.L., BISPO, C.P. & FROEHLICH, C.G. (2007): Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera assemblages in two Atlantic Rainforest streams, Southeastern Brazil, *Revista Brasileira de Zoologia*. 24(2): 312–318.

- CUMMINS, K.W. & KLUG, M.J. (1979): Feeding ecology of stream invertebrates, Annual review of ecology and systematics. 10: 147–172.
- CUMMINS, K.W. (1974): Structure and function of stream ecosystems, Bioscience. 24(11): 631–641.
- DANTHANARAYANA, W. (1986): Insects flight – Dispersal and migration. Berlin: Springer verlag. 283 p.
- DAVIES, I.J. (1984): Sampling aquatic insect emergence. A Manual on Methods for the Assessment of Secondary Productivity in Fresh Waters. 2nd ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications. 161–227.
- DOBRIN, M. & GIBERSON, D.J. (2003): Life history and production of mayflies, stoneflies, and caddisflies (Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera) in a spring-fed stream in Prince Edward Island, Canada: evidence for population asynchrony in spring habitats?, Canadian Journal of Zoology. 81: 1083–1095.
- DOHET, A., DOLISY, D., HOFFMANN, L. & DUFRÊNE, M. (2002): Identification of bioindicator species among Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera in a survey of streams belonging to the rhithral classification in the Grand Duchy of Luxembourg, Animal biology. 58(4): 507–520.
- ELLIOTT, J.M. (1984): Hatching time and growth of *Nemurella pictetii* (Plecoptera: Nemouridae) in the laboratory and a Lake District stream, Freshwater biology. 14: 491–499.
- ERIKSEN, C.H., RESH, V.H., BALLING, S.S. & LAMBERTI, G.A. (1984): Aquatic insect respiration, An introduction to the aquatic insects of North America, Kendall Hunt Publishing Company. 27–37.
- FLANNAGAN, J.F. & COBB, D.G. (1990): Emergence of Stoneflies (Plecoptera) from the Roseau River, Manitoba, American Midland Naturalist. 125(1): 47–54.
- FLANNAGAN, J.F. & COBB, D.G. (1994): Studies on some riverine insect emergence traps: Effects of sampling frequency and trap design. Manitoba: Department of Fisheries and Oceans. 10p.
- GRAF, W., STRADNER, D. & WEISS, S. (2008): A new *Siphonoperla* species from the Eastern Alps (Plecoptera: Chloroperlidae), with comments on the genus, Zootaxa. 1891: 31–38.
- GRUBBS, S.A. (2011): A review of stonefly (Insecta; Plecoptera) taxonomic research in Alabama, with new state records and an updated checklist, Illiesia. 7(2): 24–30.

- GUEROLD, F., VEIN, D. & JACQUEMIN, G. (1991): Ephemeroptera, plecoptera, trichoptera communities of acidic streams in the vosges mountains (northeastern France): a preliminary study, *Revue des sciences de L'eau*. 4(3): 299–314.
- HARPER, P.P. & PILON, J.G. (1970): Annual patterns of emergence of some Quebec stoneflies (Insecta: Plecoptera), *Canadian Journal of Zoology*. 48: 681–694.
- HYNES, H.B. (1965): Biology of Plecoptera, *Ann. Rev. Entomology*. 21: 135–153.
- ILLIES, J. (1978): *Limnofauna europaica*. Stuttgart: Fischer verlag. 521 p.
- IVLEV, V.S. (1961): *Experimental ecology of the feeding of fishes*. New Haven: Yale university press. 302 p.
- KRNO, I.L.J.A. (2003): Stoneflies (Plecoptera) of the Gidra River Basin (Malé Karpaty Mts., Slovakia). *Acta Zoologica Universitatis Comenianae*. 45: 53–67.
- LEDGER, M.E. & HILDREW, A.G. (2008): Growth of an acid-tolerant stonefly on epilithic biofilms from streams of contrasting Ph, *Freshwater biology*. 46(11): 1457–1470.
- LELLÁK, J. & KUBÍČEK, F. (1991): *Hydrobiologie*. Praha: Univerzita Karlova. 256 p.
- LELLÁK, J., KOŘÍNEK, V., FOTT, J., KOŘÍNKOVÁ, J. & PUNČOCHÁŘ, P. (1982): *Biologie vodních živočichů*. Praha: Univerzita Karlova. 220 p.
- LILLEHAMMER, A. (1987): Egg development in the stoneflies *Siphonoperla burmeisteri* (Chloroperlidae) and *Dinocras cephalotes* (Perlidae), *Freshwater biology*. 17: 35–39.
- MARGUES, J.C., NIELSEN, S.N., PARDAL, M.A. & JØRGENSEN, S.E. (2003): Impact of eutrophication and river management within a framework of ecosystem theories, *Ecological Modelling*. 166(1): 147–168.
- MAZZACANO, C. & BLACK, S.H. (2007): *Using Aquatic Macroinvertebrates as Indicators of Stream Flow Duration*. The Xerces Society for Invertebrate Conservation. 33 p.
- MEYER, J.L. & WALLACE J.B. (2001): *Lost Linkages and Lotic Ecology: Rediscovering Small Streams*, Blackwell Science. 295–317.
- MEYER, J.L., STRAYER, D.L., WALLACE, J.B., EGGERT, S.L., HELFMAN, G.S. & LEONARD, N.E. (2007): The contribution of headwater streams to biodiversity in river networks, *Journal of the American Water Resources Association*. 43(1): 86–103.

- NAGELL, B. & LARSHAMMAR, P. (1981): Critical oxygen demand in Plecoptera and Ephemeroptera nymphs as determined by two methods, *Oikos*. 36(1): 75–82.
- NEBEKER, A.V. (1971): Effect of water temperature on nymphal feeding rate, emergence, and adult longevity of the stonefly *Pteronarcys dorsata*, *Journal of the Kansas Entomological Society*. 44(1): 21–26.
- NEBEKER, A.V. (1972): Effect of low oxygen concentration on survival and emergence of aquatic insects, *Transactions of the American Fisheries Society*. 4: 675–679.
- NÉMETHOVÁ, S. (2012): Bioindikace toxického znečištění tekoucích vod na základě citlivosti jednotlivých taxonů a společenstev vodních bezobratlých: Diplomová práce. Brno: Masarykova univerzita. 115 p.
- NOWINSZKY, L., PETRÁNYI, G. & PUSKÁS, J. (2010): The relationship between lunar phases and the emergence of the adult brood of insects, *Applied ecology and environmental research*. 8(1): 51–62.
- OBERNDORFER, R.Y. & STEWARD, K.W. (1977): The life cycle of *Hydroperla crosbyi* (Plecoptera: Perlodidae), *Western North American Naturalist*. 37(2): 260–277.
- PESACRETA, G.J. (1997): Response of the stonefly *Pteronarcys dorsata* in enclosures from an urban North Carolina stream, *Bulletin of environmental contamination and toxicology*. 59: 948–55.
- PETRIN, Z. (2011): Species traits predict assembly of mayfly and stonefly communities along pH gradients, *Oecologia*. 167(1): 513–524.
- PRESA, Y., POSTIGO, M., SOTO, J. & LUIS, E. (1990): Charakterization of stoneflies (Plecoptera) and mayflies (Ephemeroptera) in the Orbigo basin (Leon, NW Spain). 415–423.
- PROGAR, R.A. & MOLDENKE, A.R. (2009): Aquatic insect emergence from headwater streams flowing through regeneration and mature forests in western Oregon, *Journal of Freshwater Ecology*. 24(1): 53–66.
- ROBINSON, C.T., REED, L.M. & MINSHALL, G.W. (1992): Influence of flow regime on life history, production, and genetic structure of *Baetis tricaudatus* (Ephemeroptera) and *Hesperoperla pacifica* (Plecoptera), *Journal of the North American benthological Society*. 11(3): 278–289.
- RUFFIEUX, L., SARTORI M. & L'EPLATTENIER, G. (1997): Numbers of instars in mayfly larvae: a Palmen body method applied to *Siphonurus aestivalis*

- (Siphonuridae), *International Journal of Insect Morphology & Embryology*. 25(3): 341–344.
- SÆTTEM, L.M. & BRITAIN, 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.
 - SANDBERG, J.B. & STEWARD, K.W. (2005): Life history of the stonefly *Isogenoides zionensis* (Plecoptera: Perlodidae) from the San Miguel River, Colorado, *Illiesia*. 1(4): 21–32.
 - SASAKI, A., ITO, A., AIZAWA, J. & UMITA, T. (2005): Influence of water and sediment quality on benthic biota in an acidified river, *Water Research*. 39(12): 2517–2526.
 - SCHMID-ARAYA, J.M. (1994): Temporal and spatial distribution of benthic microfauna in sediments of a gravel streambed, *Limnology and Oceanography*. 39(8): 1813–1821.
 - SNELLEN, R.K. & STEWART, K.W. (1979): The life cycle and drumming behavior of *Zealeuctra claasseni* (Frison) and *Zealeuctra hitei* Ricker and Ross (Plecoptera: Leuctridae) in Texas, USA, *International Journal of Freshwater Entomology*. 1(2): 65–89.
 - SWEENEY, B.W. (1984): Factors influencing life-history patterns of aquatic insects. New York: Praeger. 56–100 p.
 - THOMSEN, A.G. & FRIBERG, N. (2002): Growth and emergence of the stonefly *Leuctra nigra* in coniferous forest streams with contrasting pH, *Freshwater Biology*. 47: 1159–1172.
 - TIerno de Figueroa, J.M., Luzón-Ortega, J.M. & López-Rodríguez, M.J. (2006): Mating balls in stoneflies (Insecta, Plecoptera), *Zoologica Baetica*. 17: 93–96.
 - TIMM, H. (1997): Ephemeroptera and Plecoptera larvae as environmental indicators in running waters of Estonia, *MTL*. 247–253.
 - VINCENT, W.F. & PIENITZ, R. (1996): Sensitivity of high-latitude freshwater ecosystems to global change: Temperature and solar ultraviolet radiation, *Geoscience Canada*. 23(4): 231–236.

- WAGNER, F.H. & BRETSCHKO, G. (2002): Interstitial flow through preferential flow paths in the hyporheic zone of the Oberer Seebach, Austria, *Aquatic Sciences-Research Across Boundaries*. 64(3): 307–316.
- WAGNER, F.H. & LEICHTFRIED, M. (2003): Endbericht des Langzeit-Forschungsprogramms RITRODAT. Mondsee: Institute for Limnology, Austrian Academy of Science. 132 p.
- 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.
- WHITEMAN, C.D., HAIDEN, T., POSPICHAL, B., EISENBACH, S. & STEINACKER, R. (2004): Minimum temperatures, diurnal temperature ranges, and temperature inversions in limestone sinkholes of different sizes and shapes, *Journal of applied meteorology*. 43(8): 1224–1236.
- WILLIAMS, D.D., WILLIAMS, N.E. & CAO, Y. (1997): Spatial differences in macroinvertebrate community structure in springs in southeastern Ontario in relation to their chemical and physical environments, *Canadian Journal of Zoology*. 75: 1404–1414.
- ZWICK, P. (2000): Phylogenetic system and zoogeography of the Plecoptera, *Annual Review of Entomology*. 45(1): 709–746.

Elektronické zdroje:

- Austrian Map online [on-line]. URL: <<http://www.boldis.cz/citace/citace.html>> [cit. 2013-03-18].