ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA EKOLOGIE

Vliv kvality prostředí na imunitu vážky obecné v larválním stádiu

Effect of habitat quality on immunity of dragonfly larvae

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Mgr. Filip Harabiš, Ph. D.

Diplomant: Bc. Martina Valešová

2023

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Martina Valešová

Inženýrská ekologie
Ochrana přírody

Název práce

Vliv kvality prostředí na imunitu vážky obecné v larválním stádiu

Název anglicky

Effect of habitat quality on immunity of dragonfly larvae

Cíle práce

V poslední době dochází ke změně prostředí vlivem činnosti člověka. Jaké to má ale dopady na přírodu? Nejlepším „zrcadlem" je hmyz – vážky. Larvy vážek můžeme použít jako indikátory daného prostředí. Jelikož se ze své tůně nemohou přemístit, dochází u nich ke změnám fyziologických parametrů, které se neprojevují ani tak velikosti těla, jako spíš na zásobních látkách. Pokud je znečištění neúměrné, přestanou se tito predátoři v dané lokalitě vyskytovat.
Cílem práce je zjistit, jak se kvalita prostředí projeví na imunitě a kondici (paralelní výzkum) vážek v larválním stádiu. Konkrétně na rozdílu dvou různých typů stanovišť: rekultivovaných (post těžebních) a přírodních lokalit pomocí vážky obecné. A zda je možné posuzovat imunitu na základě počtu granulocytů v hemolymfě larev.

Metodika

Na začátku března 2022 se nachytají larvy vážky obecné (Sympetrum vulgatum) z jedné lokality pomocí síťky (z jednoho typu prostředí, aby nebyly rozdíly mezi larvami už na začátku). Vybrána byla přírodní lokalita mezi obcemi Lítov a Kaceřov. Tyto larvy se následně vloží do 20ti klícek po 24 jedincích a budou rozvezeny do deseti lokalit (pět rekultivovaných a pět přírodních). Zde budou larvy exponované cca 40 dnů, kde budou žít z toho, co mají k dispozici v daném prostředí. Následně bude odebrána jedna klícka z každé lokality ve dvou termínech a převezena do laboratoře. Zde se bude hodnotit mortalita (paralelní výzkum), kondice – pomocí zásobních látek/tuků (paralelní výzkum) a imunita – pomocí množství granulocytů v hemolymfě.

Doporučený rozsah práce

50 stran + přílohy

Klíčová slova

Odonata, Sympetrum vulgatum, imunita, kondice, rekultivované a přírodní prostředí, Karlovarsko

---

Doporučené zdroje informací

A. Córdoba- Aguilar (2008)- Dragonflies and Damselflies: Model Organisms for Ecological and Evolutionary Research

B. A. Robertson, J. S. Rehage, A. Sih (2013)- Ecological novelty and the emergence of evolutionary traps

J. Battin (2004)- When Good Animals Love Bad Habitats: Ecological Traps and the Conservation of Animal Populations

R. Hale, S. E. Swearer (2017)- When good animals love bad restored habitats: how maladaptive habitat selection can constrain restoration

---

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

Mgr. Filip Harabiš, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie

Konzultant

Anna-Marie Poskočilová
Ing. Anna-Marie Poskočilová

Elektronicky schváleno dne 24. 2. 2022

prof. Mgr. Bohumil Mandák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 25. 2. 2022

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 15. 03. 2023

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením Mgr. Filipa Harabiše, Ph.D. Další informace mi poskytli Ing. Anna-Marie Poskočilová a Ing. Michal Řeřicha. Uvedla jsme všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala informace.

Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

V Praze dne 31. 3. 2023

……

Poděkování

Především bych chtěla poděkovat mému vedoucímu Mgr. Filipovi Harabišovi Ph.D., za jeho ochotu, pomoc, podporu a množství času, který mi věnoval, i Ing. Anně-Marii Poskočilové a Ing. Michalu Řeřichovi za konzultace. Dále bych chtěla poděkovat své rodině, kamarádům a přátelům, kteří mě hodně psychicky podporovali.

V Praze dne 31. 3. 2023

…….

Abstrakt

V posledních letech člověk hodně mění krajinu (těžba, doly, stavění komunikací, obydlí, kancelářských budov atd.). Ale také se ji snaží rekultivovat do přírodně blízkého stavu. Ovšem některé rekultivace mohou být nebezpečné jak pro člověka, tak pro zvířata. Zabývala jsem se ve své práci, jak vliv nově vzniklého prostředí oproti přírodnímu může mít vliv na imunitu a kondici vážek.

Cílem práce bylo zjistit, jak se kvalita prostředí projeví na imunitě a kondici (paralelní výzkum) vážek v larválním stádiu. Výzkum probíhal ve dvou různých typech stanovišť: rekultivovaných (post těžebních) a přírodních lokalitách. Zkoumaným druhem byla vážka obecná. Experiment se zaměřil na posouzení imunity na základě počtu granulocytů v hemolymfě u larev.

Na jaře roku 2022 byly nachytány larvy vážky obecné z jedné přírodní lokality a umístěny po dvanácti jedincích do třiceti klícek se substrátem a síťkou navrchu. Poté byly rozvezeny do předem vybraných lokalit (pět rekultivovaných, pět přírodních) po třech klíckách. V prostředí se nechaly exponovat cca 14 dní, poté se jedna klícka z každé lokality převezla do laboratoře k pokusům. V první části byla hodnocena imunita – pomocí množství imunitních buněk (hemocytů a granulocytů v hemolymfě) u larev, následně kolegyně zkoumala jejich kondici (obsah tuku).

V rámci našeho týmu bylo zjištěno, že larvy mají jak větší obsah tuku, tak i počet imunitních buněk v přírodních lokalitách než na rekultivovaných. Je zajímavé pozorovat, že počet granulocytů koreluje s množstvím obsaženého tuku v jedincích, tudíž může být jedním z parametrů kondice. Zdatnější jedinci mají větší šanci na přežití. Čím víc informací o vážkách získáme, tím lépe pochopíme jejich nároky na prostředí a možnost obnovení vhodných lokalit.

Klíčová slova

Odonata, *Sympetrum vulgatum*, imunita, kondice, rekultivované a přírodní prostředí, Karlovarsko

Abstract

In recent years human activity has been changing the landscape a lot (with quarries, mines, roads, houses, office buildings, etc.). But there are also attempts at recultivating it towards a more natural-like state. However, some reclamation projects can be dangerous for both humans and animals. In this paper, I study how the influence of the newly created environment can affect the immunity and fitness of dragonflies as opposed to the natural environment.

The aim of the paper is to discover how the quality of environment affects the immune systems and fitness (parallel research) of dragonflies in the larval stage. The research was conducted in two different habitat types: reclaimed sites (post-mining) and natural sites. The species observed was the vagrant darter**.** The experiment focused on theassessment of immunity based on the number of granulocytes in the hemolymph of larvae.

In the spring of 2022, dragonfly larvae from one natural site were caught and placed in 30 cages each, with a substrate and a mesh on top. They were then taken to pre-selected habitat stations (five rehabilitated, five natural) in three cages. They were exposed to the environment for around 14 days, after which one cage from each location was transferred to the laboratory for experiments. In the first stage of the experiments, immunity was assessed – using a number of immune cells (hemocytes and granulocytes in hemolymph) in larvae – after which a colleague investigated their physical fitness (fat amount).

Our team found larvae to have both greater fat amounts and number of immune cells in natural locations than in reclaimed ones. It is interesting to observe that the number of granulocytes correlates with the amount of fat contained in individuals, therefore it can be one of the parameters of physical fitness. Fitter individuals have a better chance of survival. The more information we get about dragonflies, the better we can understand their environmental claims and the possibility of restoring suitable sites.

Keywords

Odonata, *Sympetrum vulgatum*, immunity, physical fitness, reclaimed and natural environment, Karlovarsko

OBSAH

1 Úvod 10

2 Cíl práce 11

3 Literární rešerše 12

3.1 Imunita hmyzu 12

3.1.1 Základní typy imunity 13

3.2 Vliv prostředí (stresorů) na živočichy 17

3.2.1 Vliv stresu na hmyz 18

3.2.2 Různé vlivy prostředí (stresorů) na hmyz se zaměřením na vážky 22

3.3 Ekologické pasti 24

3.4 Vážka obecná (*Sympetrum vulgatum*) 27

3.4.1 Charakteristika řádu vážek (*Odonata*) 27

3.4.2 Rozšíření 28

3.4.3 Fenologie 28

3.4.4 Nároky na prostředí 29

3.4.5 Biologie larev 30

3.4.6 Biologie dospělců 30

3.4.7 Parazité 31

4 Metodika 32

4.1 Charakteristika studijního území 32

4.1.1 Výběr lokality 33

4.2 Sběr dat 34

4.3 Laboratorní zpracování 36

4.3.1 Imunita 36

4.3.2 Kondice 37

4.4 Statistické analýzy 38

5 Výsledky práce 39
5.1 Rozdíly mezi přirozenými a rekultivovanými habitaty 39
5.2 Vztah mezi množstvím hemocytů, granulocytů a tuků 41
5.3 Vztahy mezi atraktivitou, přežitím a počtem granulocytů 43
6 Diskuse 45
7 Závěr 47
8 Seznam použitých zdrojů 48
8.1 Odborné publikace 48
8.2 Internetové zdroje 56
8.3 Ostatní zdroje 57
9 Seznam obrázků, tabulek a grafů 57
9.1 Seznam obrázků: 57
9.2 Seznam grafů: 57
10 Seznam příloh 58
10.1 Přílohy 59

1 Úvod

V posledních letech člověk hodně mění krajinu (těžba, doly, stavění komunikací, obydlí, kancelářských budov atd.). Jak na to ale reaguje příroda? Jaký to na ni může mít vliv? Člověk se sice snaží sám vracet zdevastovaná místa do přírodního nebo přírodně blízkého stavu. Ale na kolik je toto úsilí úspěšné? Jak se v rekultivovaném prostředí vyvíjejí jedinci? Daří se jim stejně jako v přírodních lokalitách?

Obecně bychom mohli říct, že si lidé všímají „hezkých“ zvířat, která jsou jim sympatická a zajímají se také o to, jak se jim daří. Jen malá část zasvětila svůj život hmyzu, jeho výzkumu a ochraně.

Uveďme si příklad vážek. Je to velmi prastará skupina, která má některé původní mechanismy od doby svého vzniku (cca před 300 miliony lety). Dnes se používá jako modelová skupina na různé studie (př. nervová soustava). Tento hmyz je i dobrým indikátorem prostředí. Fyziologicky vážky dobře reflektují změny místa. Zajímalo mě tedy, zda je rozdíl na imunitě a jaký (při strádání i při dostatku potravy) v rekultivovaných a přírodních stanovištích.

Na první pohled by se mohlo zdát, že rekultivovaná místa s tůňkami rozšíří životní prostor vážek a zvýší její populaci. Je tomu skutečně tak? Jsou stejně odolné jako v přírodních lokalitách nebo strádají? Nebo to pro ně může být dokonce ekologickou pastí? Tímto tématem se ve své práci zabývám.

HALE et SWEARER (2017) ve své práci uvádějí, že rekultivace by mohla selhat, protože se zvířata vyhýbají obnoveným biotopům nebo preferují obnovená stanoviště, ale je snížená jejich kondice (ekologická past). V důsledku toho může mít obnovené území neutrální dopad nebo i představovat dodatečné riziko pro přetrvání organismů. Proto mě zajímala odpověď, zda kondice může korelovat s imunitní reakcí vážek a zda je v imunitě patrná reakce na změnu prostředí.

2 Cíl práce

Cílem práce je zjistit, jak se kvalita prostředí projeví na imunitě a kondici (paralelní výzkum) vážek v larválním stádiu. Konkrétně na rozdílu dvou různých typů stanovišť: rekultivovaných (post těžebních) a přírodních lokalit pomocí vážky obecné. Zda je možné posuzovat imunitu na základě počtu granulocytů v hemolymfě larev. A jestli se vybraná rekultivovaná místa nestala lokální ekologickou pastí pro vybraný druh vážky.

3 Literární rešerše

3.1 Imunita hmyzu

Hmyz je velmi různorodá skupina zvířat a také velmi početná (odhadem několik milionů druhů), která se dokázala přizpůsobit extrémnímu prostředí. Největším extrémem je endoparazitální životní styl (př. uvnitř jednoho hmyzu se vyvíjí jiný hmyz). (SCHMIDT et al. 2008)

Schopnost organismu bránit se patogenům (z vnějšího i vnitřního prostředí) nazýváme imunitou. V určité míře jí disponují všechny organismy. Bezobratlí živočichové mají nespecifickou (vrozenou/inátní) imunitu. Obratlovci si dokážou kromě ní vytvořit i imunitu specifickou (adaptibilní). (SIVA-JOTHY et al. 2005)

HYRŠL (2018a) uvádí, že vrozená imunita bezobratlých je složena z tělních/vnějších bariér, buněčných a humorálních (látkových) mechanismů, které dohromady zajišťují stálost vnitřního prostředí a dobrou obranu proti patogenům. Dalším mechanismem může být behaviorální (obrana specifickým chováním). Například: vybírání si parazitů (u primátů); popelení ptáků; čištění hnízda; odklon nenapadeného jedince od ostatních; zvyšování tělesné teploty a tím vytvoření nevhodných podmínek pro parazita atd. (SCHMID-HEMPEL 2017; SIVA-JOTHY et al. 2005) Po funkční stránce se projevy imunity hmyzu (většinou) podobají obratlovcům, ale ve velké míře jde o originální způsob obrany proti patogenům. Je to dané vlastnostmi spojenými morfologií, anatomií a fyziologií (př. malou velikostí hmyzu, jednoduchostí nervové soustavy, pevnou kutikulou na povrchu těla atd.) Je možné rozlišit u obratlovců i bezobratlých imunitu, podle místa, kde se v těle nachází: imunita slizniční, pohlavních orgánů, dýchacího systému, střeva atd.

Důležité je vývojové stádium a stáří jedince pro určení a funkčnost imunitních buněk. (HYRŠL 2018a) Hmyz obsahuje embryonální hemolymfu (krvomíza) s volně plovoucími buňkami, které se mění na krevní buňky (hemocyty). Ty mají za úkol především pohlcovat cizorodé částice (jednoduchý imunitní systém) a hojit rány. (KODRÍK 2004) Hemocyty jsou tvarově proměnlivé a vznikají v hemopoetických (krvetvorných) orgánech. (SNODGRASS 1935) Jejich počet a typ je druhově specifický, lišící se s věkem a vývojovým stádiem hmyzu. Jednotlivé druhy

hemocytů jsou identifikovány podle morfologických, histochemických a funkčních vlastností. Nejvíce se v hmyzí hemolymfě nacházejí plasmatocyty a granulocyty (ty nejčastěji plní funkci fagocytózy = schopnost buněk pohlcovat cizorodé částice, mikroby a poškozené buňky). Hemocyty jsou polyfunkční (tzn. jsou schopny fagocytózy, enkapsulace, koagulace a podílejí se na distribuci živin). Mají i různé funkce jako je fagocytóza, koagulace; mohou být také sesilní (usedlé) nebo volné (cirkulující) atd. (KODRÍK 2004)

Stresové situace (organismus reaguje na podnět, který způsobí aktivaci imunitního systému) jsou dobré k poznání mechanismů imunity – např.: 1) mechanické (poranění nebo podvázání určité části těla nití); 2) parazitací; 3) působení hormonů; 4) působení chemických látek; 5) změna a typ potravy (i hladovění) atd. (HYRŠL 2018a)

Rozpoznání mikroorganismů je základ pro spuštění imunitních reakcí. U bezobratlých je založeno na nespecifických fyzikálně-chemických vlastnostech (př. povrchový náboj) anebo pomocí specifických senzorů – lektinových molekul a složek fenoloxidázové kaskády, které se váží na glycydy (cukry) bakteriálních buněčných stěn. Rozlišení vzorů („pattern recognition“) je pomocí receptorů nazývaných PRRs („Pattern Recognition Receptors“), které se vyskytují volně v tělní tekutině i na povrchu cirkulujících buněk (rozpoznají charakteristické struktury na povrchu patogenů). (schmidtHYRŠL 2018a)

3.1.1 Základní typy imunity

Každý živočich může chránit své tělo před cizorodými látkami vnějšími a vnitřními fyzickými bariérami. Mezi ně řadíme např.: kutikulu, sliz, různé typy schránek/ulit, stěnu střeva atd., které jsou první obrannou vrstvou bránící vstupu patogenů do těla živočicha. (HYRŠL 2018a) Pokud už cizorodý objekt pronikne do těla, následují různé typy imunity.

Buněčná imunita

Je část imunitního systému, ve kterém je reakce způsobená imunitními buňkami (imunocyty – dělící se na hemocyty a coelomocyty) (HYRŠL 2018a). Je těžké určit, zda je daná imunitní odpověď humorální nebo buněčná, protože oba typy na sobě velmi úzce funkčně závisí. (STRAND 2008)

KODRÍK (2004) ve své práci uvedl, že lze u hmyzu rozlišit následující buněčné typy: prohemocyty, plasmatocyty, granulocyty, cystocyty. sferulární buňky, adipocyty, oenocyty a nefrocyty. V pozdějších letech GUPTA (2009) rozlišuje u hmyzu jen prohemocyty, plasmatocyty, granulocyty, sférulocyty, adipohemocyty, oenocytoidy a koagulocyty. Morfologie imunocytů zahrnující hemocyty je velmi složitá, proto do dnešní doby není jednoznačná její klasifikace. (HYRŠL 2018a) Ve své práci se zaměřuji na granulocyty (patří mezi fagocyty, mají schopnost fagocytózy). (SIVA-JOTHY et al. 2005) Mají typicky zrnitou cytoplazmu, protože obsahují granule (vnitrobuněčné váčky), které mají schopnost povrchové výměny v souvislosti s obrannou funkcí organismu. Jsou důležité při tvorbě nodulí a koagulaci hemolymfy. (KODRÍK 2004) Fyziologické mechanismy jako jsou př. hormony (např. ekdyson – stimuluje buněčnou imunitu/reguluje svlékání kutikuly) ovlivňují buněčnou imunitu bezobratlých.

Buněčné imunitní reakce:

- fagocytóza – Je základní imunitní reakce u všech živočichů (bezobratlých i obratlovců). Jedná se o pohlcení cizorodé látky specializovanou buňkou – fagocytem. Na fagocytóze se u hmyzu podílejí hlavně plasmatocyty a granulocyty.
- nodulace – Při vniknutí většího množství patogenů do těla živočicha dochází k tvorbě nodulí (útvary vznikající shlukováním cirkulujících hemocytů/coelomocytů kolem bakterií/jiného cizorodého materiálu obdobné velikosti). Znemožňuje šíření patogenu dál do organismu, současně jsou z hemocytů uvolňované imunitní faktory s přímým cytotoxickým účinkem. Na nodulaci se podílejí i humorální složky př. fenoloxidázová kaskáda dává impulz k produkci pigmentu melaninu, který je pro patogeny toxický.

- enkapsulace – I zde probíhá tvorba buněčných valů bránících svým uzavřením vnitřní prostředí proti cizorodému objektu větších rozměrů (mnohobuněční parazité např. parazitičtí prvoci, hlísti, ale i nebiogenní látky jako sklo, latex atd.). (HYRŠL 2018a)
- koagulace (koagulační kaskáda) – Vede ke srážení tělní tekutiny, aktivující se po poranění a společně s fenoloxidázovou kaskádou utvoří bílkovinnou síť (podílející se na zastavení tekutin z těla a zabraňuje infekci) ze srážecích proteinů – coelomocytů a proteinů plazmy. Je zprostředkována (u hmyzu) různými typy hemocytů/coelomocytů, ty se po stimulaci během poranění rozpadají, uvolňují faktory koagulační kaskády a aktivují ji. Jedná se o propojení buněčné a humorální imunity. (HYRŠL 2018b)

Humorální (látková) imunita

Přichází na řadu úplně jako poslední, pokud se cizorodá látka (patogen) dostane přes mechanické bariéry a není odstraněna ani buněčnými složkami (fagocyty jsou schopné pohltit až 99,5% mikroorganismů během několika sekund). (HYRŠL 2018b) Tato imunita zahrnuje všechny buněčné produkty vyskytující se v organismu a mající imunitní funkci. TURNER (1994) uvádí následující hlavní složky: koagulační kaskádu (viz výše), fenoloxidázovou kaskádu, lysiny (lysozymy), lektiny a antimikrobiální peptidy/polypeptidy.

- fenoloxidázová kaskáda – Podílí se na tvorbě kutikulárních barviv, shlukování proniklých bakterií, opsonizaci (navázání se na povrch antigenu), seskupování antigenu, enkapsulaci (tvoření valů oddělujících cizorodý materiál) a tvorbě nodulí. Je aktivována složkami bakteriálních stěn, při poranění nebo při spuštění jiné imunitní reakce. Zajímavé je, že tento sled reakcí byl uveden jen u měkkýšů, korýšů, hmyzu ale u dalších skupin živočichů chybí (i u některých druhů klíšťat). (HYRŠL 2018b, KANOST et GORMAN 2008)
- lysozym – Nalézá se v tělních tekutinách a sekretech (slinách, žlázách, krevní plazmě), jak u bezobratlých, tak i obratlovců. Tento enzym tvoří základní humorální složkou přirozené imunity. Je to účinný litický, baktericidní faktor

(narušuje buněčnou stěnu grampozitivních bakterií, u gramnegativních působí bakteriostaticky – omezuje jejich růst a množení).

- lektiny – Spolu s dalšími receptory jsou schopny rozpoznávat patogeny i parazity; tvoří skupinu proteinů, které hydrofobně spojují specifické glycidy (sacharidy). Podílejí se na likvidaci patogenů/poškozených a rozpadajících se tkání, které se syntetizují v tukovém tělese po zranění/bakteriální infekci/v průběhu metamorfózy. Sem patří i některé aglutininy kolující v tělní tekutině (jedná se o dosud neprobádanou skupinu proteinů).
- antimikrobiální peptidy (AMP) – Nacházejí se u většiny živočichů, je jich velké množství a lze je dělit podle chemické stavby a struktury, nebo se označují podle taxonu, z kterého byly izolovány (př. diptericiny – z dvoukřídlých (*Diptera*)). Nejvíce je prozkoumán aktivizační systém syntézy AMP u hmyzu (dvě signální dráhy Toll a IMD – Immune Deficiency) kontrolující syntézu malých kladně nabitých AMP aktivních proti bakteriím, houbám a virům. Pro člověka má AMP velký potenciál (ve farmacii, medicíně), protože hodně přírodních látek ze skupiny AMP může sloužit jako antibiotikum a některé mají protinádorové vlastnosti. (HYRŠL 2018b)

Adaptivní imunita

Je typická pro obratlovce, ale u bezobratlých neexistuje. Bezobratlí nahrazují tento složitý systém specifickými adaptacemi (př. pro patogeny nepropustnou vnější chitinovou kostrou, rychlým rozmnožováním a krátkým životním cyklem, velkým počtem potomků atd.) a dobře fungujícím imunitním systémem, který se funkčně v některých případech přibližuje adaptivní imunitě (HYRŠL 2018b).

3.2 Vliv prostředí (stresorů) na živočichy

Stres je zásadní „proměnou“ ovlivňující náš vývoj. Je to nespecifická reakce organismu na zátěž, jejím cílem je zvládnutí stavu a vrácení organismu do vnitřní rovnováhy. (SEYLE 1950, CHROUSOS 2009) Kognitivní schopnosti (procesy/dovednosti/funkce) jsou poznávací mechanismy, pomocí kterých lidé a zvířata získávají, uchovávají, využívají a zpracovávají informace z prostředí. (SHETTLEWORTH 2010) Pojem stres zavedl na počátku 20. století lékař Hans Selye, jako zkratku pro generální adaptační syndrom. Během stresové reakce je zlepšena výkonnost organismu. Ale při dlouhodobém působení dochází k jeho vyčerpání. Stres se projevuje u všech živých organismů, ale jejich projevy se liší v rámci jednotlivých taxonomických skupin (tříd, druhů, rodů a jednotlivců). Současně na různé živočichy působí odlišené stresory jinak (např. s transportním stresem se vypořádá jinak zdravý jedinec než nemocný, březí samice než nebřezí, samec vůči samici, mládě vůči dospělci apod.). (SEYLE 1950, KOUDELA 2003)

Stresová reakce má duální efekt. Na jedné straně se jedná o eustres (prospěšný fyziologický kontrolovatelný stres), který jedince stimuluje k vyšším nebo lepším výkonům a pomáhá mu vyrovnat se s distresem. Na druhé straně je to distres (špatný patologický nekontrolovatelný stres), který příliš zatěžuje organismus, což vede k jeho vyčerpání až k smrti. (SEYLE 1976)

Celý systém reakce závisí na momentálním stavu organismu (psychickém a fyzickém). Vyrovnaný jedinec dokáže stresovou situaci zvládnout. Pro fyzicky oslabeného jedinec (př. hladovějícího, nemocného), který není schopen stres korigovat, představuje vyšší riziko smrti. (HUETHER 1998)

Každý druh i jednotlivec se s různými stresory (veškeré faktory vyvolávající stres) vypořádává jinak. Všechny organismy jsou však neustále vystavovány novým stresorům (teplota, vlhkost, proudění vzduchu, světlo, tma, vibrace, nedostatek prostoru, toxické látky, hlad, čas, bolest, parazité, nové prostředí, hustota zvířat, přeprava, nemoc atd.) a úspěšné zvládnutí stresu je nutné pro jejich přežití. Míra stresové reakce je individuální. (KOUDELA 2003)

3.2.1 Vliv stresu na hmyz

V současné době se mluví o změně klimatu, ta dokáže vystresovat čmeláky do takové míry, že jim narostou asymetrická křídla. (ARCE et al. 2021)

Jak se kořist vyrovnává se svým strachem z toho, že bude ulovena a snědena? Již samotná přítomnost predátora znamenala pro larvy vážek velkou dávku stresu. S tím zároveň klesaly životní šance zkoumaných larev. Kanadští vědci ROWE et al. (2011) došli k překvapujícímu zjištění. Larvy, které byly v přítomnosti predátora, měly 2,5 – 4,3krát nižší pravděpodobnost přežití, než larvy v prostředí bez predátora.

JAKOB et SUHLING (1999) ukázali, že silný vítr může při metamorfóze poškodit dospělce vážky. Deformace měkkých křídel odsuzuje vážku k smrti nebo snížení reprodukční úspěšnosti. Obecně vítr je důležitý faktor, který ovlivňuje disperzi, dostupnost potravy, možnost shánění potravy a reprodukční úspěchy živočišných druhů. KHELIFA et al. (2013) zjistili, že vážky jsou schopné využít heterogenního prostředí k zvládnutí silného větru. Při vysoké rychlosti větru larvy vylézaly do místa s hustou vegetací, kde se na ni nad vodní hladinou přichytly (nešplhaly po ní do výšky), aby je vítr neodfouknul.

STOKS et al. (2008) se zabývali vlivem „time stress“ (dále jen TS) u larev. Larvy, které jsou v časovém stresu, méně reagují na predátory, a proto trpí vyšší úmrtností predací. TS se projevuje také na ztrátě svalové hmoty (hladověním) a menší investicí do tvorby imunitních buněk. Tento stres se pak může promítnout do dospělců vážek.

Vlastnosti vývoje jsou úzce spojené s fitness (biologickou zdatností) jedince, to je důvod, proč se na toto téma začaly dělat jak teoretické, tak empirické práce. ROLFF (2002) dále tvrdí, že tyto vlastnosti souvisí s fenotypovou plasticitou na podmínky prostředí. Nejvíce studovaný je věk a velikost jedince, který je závislý na jeho vývoji do dospělce. NYLIN et GOTTHARD (1998) zjistili, že ne všechna zvířata dorostou do svého fyziologického maxima, záleží na množství potravy a teplotě. Vlastnosti vývoje („life history“ = průběh změn, které organismus podstupuje od svého početí do konce života) zahrnují flexibilní rychlost růstu měnící se vlivem různých faktorů (př. riziko predace).

WERNER (1986) uvádí, že jedním z široce rozšířených environmentálních stavů je TS vyvolaný sezónností. Zvířata musí dosáhnout určité fáze vývoje do konkrétního časového období (př. nástup zimy nebo vysychání tůněk). Je to hlavně u zvířat se složitým životním cyklem, kdy larva a dospělec obývají jiné stanoviště, v době, kdy metamorfují (larva se přeměňuje v dospělce). Proto většinou zvířata pod TS urychlují svůj vývoj. Jak SIH et al. (2004) uvádí, živočichové se během larválního stádia nepotýkají jen s TS, ale většinou čelí více stresorům současně (př. nedostatek potravy, predace a další biotické faktory). To vše může mít vliv na optimální věk a velikost dospělce.

Omezení adaptivní reakce na TS:

- Ekologické

Vývoj jedince je možný pouze za optimálních energetických podmínek. (STOKS et al. 2008) Pokud *Lestes sponsa* (šídlatka páskovaná) měla dostatek potravy, dosáhla vyššího věku a její vývoj byl rychlejší. (JOHANSSON et al. 2001) Naopak při malém množství potravy měly larvy tak málo energie, že se snažily oddálit vývoj na další rok. Jako u stresu z nedostatku potravy i adaptivní růstová reakce je možná pouze za optimálních tepelných podmínek. (GOTTHARD et al. 2000)

- Vnitřní

STOBBE et STOKS (2004) prokázali genetické omezení, která mohou brzdit předpokládanou optimální reakci ve vývoji na TS. To znamená snížení věku při vývinu a zvýšení tempa růstu s i bez přítomnosti TS. Příliš rychlý růst může být nákladný z hlediska rizika hladovění a vyššího rizika predace. Genetická korelace mezi různými vlastnostmi může ovlivnit adaptivní reakce na TS (např. věk a hmotnost při vývoji byly pozitivně geneticky korelované při TS). (STOBBE et STOKS 2004) Zajímavé je, že výše zmíněná genetická omezení byla přítomna pouze pro rychlost růstu založenou na hmotnosti, ale ne pro rychlost růstu založenou na velikosti. Larvy prokázaly, že v rámci genetického omezení v TS sice rychleji vyrostly, ale bez nárůstu hmotnosti (vyvíjely se při menší hmotnosti). (STOBBE et STOKS 2004)

- Mechanické

Vývojová reakce na TS má důležitou behaviorální i fyziologickou část. Tři studie (JOHANSSON et ROWE 1999; JOHANSSON et al. 2001; STOKS et al. 2005) prokázaly nárůst činnosti pod TS ovlivněnou fotoperiodou (délka doby denního světla za 24 hodin), která byla nasimulována v laboratoři. Studie JOHANSSON et ROWE (1999) poukazuje na to, že zvýšená aktivita, která se může promítnout do rychlejšího růstu, nemusí nutně vést k rychlejšímu vývinu. STOKS et al. (2005) prokázal fyziologický mechanismus, který je základní reakcí na vývoj v TS. Byla vyhodnocena efektivita růstu jako zdatnost, s níž se zkonzumovaná potrava přemění na tělesnou hmotnost. Larvy *Lestes sponsa* měly zvýšenou efektivitu růstu zapříčiněnou zvýšenou schopností přeměny asimilovaného (přeměněné živiny v živou tkáň) jídla do tělesné hmotnosti. To znamená, že larvy pod TS použijí omezené zdroje energie k rychlému růstu, ale ne na ostatní energeticky náročnější procesy. (STOKS et al. 2005)

Důsledky fitness reakce na TS

Typická reakce na TS u stejnokřídlic jako i u dalších zvířat má přímé kondiční důsledky (dřívější metamorfóza při menší velikosti). Nižší věk by při metamorfóze měl být výhodou u TS spojeného se sezónností (př. vysychání tůněk). Například dříve vyvinuté samice mohou mít lepší místa pro ovipozici. Také u druhů s vajíčky bez diapauzy (vývoj jedince pozastaven, umožňuje mu přežít vnější nepříznivé podmínky) se potomci líhnou dříve a mají výhodu ve velikosti – jsou méně zranitelní než později líhnutí jedinci, pokud se jedná o kanibalismus. (THOMPSON 1997; ANHOLT 1994) Pozdější vývin jedince se nemusí nutně projevit na fitness. Ale menší velikost je nevýhodná u metamorfózy v rámci sexuální a plodností selekce u stejnokřídlic. (SOKOLOVSKA et al. 2000) Larvální stresory vysvětlují jen část variancí ve zdatnosti dospělce. Úspěšnost páření v životě dospělců je nižší, když pociťují TS nebo stres z nedostatku potravy jako larvy. Ty mohou optimalizovat fyziologické dispozice i investici do imunitní reakce a akumulaci energie. (STOKS et al. 2008)

Fyziologické náklady

Následující studie identifikovaly několik fyziologických znaků u stejnokřídlic, díky kterým lze lépe vysvětlit přenos účinků larválního stresu na fitness dospělce. ROLFF et al. (2004) zjistili, že larvy při TS urychlily svůj vývin, ale ne rychlost růstu. Celkový obsah tuku i aktivita fenoloxidázy (klíčový enzym podílející se na imunitě hmyzu – viz kapitola Imunita hmyzu) byly negativně ovlivněny u nově metamorfovaných dospělců (jako larvy pod TS). STOKS et al. (2006) ukázali, že rychlejší tempo růstu vyvolané TS může vést k nižším investicím do krátkodobého (glykogenu) sacharidu a dlouhodobého (triglyceridu) tuku při skladování energie a aktivity fenoloxidázy, což má vliv na kondici dospělců. GOTTHARD et al. (1994) zjistili, že rychleji rostoucí jedinci obvykle ztrácí více hmotnosti, když několikrát po sobě hladoví než jedinci, kteří pomalu rostou. GOTTHARD (2001) vytvořil hypotézu dvou fyziologických mechanismů: A) rychlý růst může být spojen s rychlým metabolismem, což způsobuje rychlejší vyčerpání energetických zásob nebo vyhladovění; B) rychle rostoucí zvířata mohou vyčlenit více zdrojů na růst a méně na uchování energie, kterou by bylo možné využít v období při nedostatku potravy.

Predační riziko

Behaviorální rizika spolu s TS mohou způsobovat vyšší úmrtnost. DE BLOCK et STOKS (2004) provedli pokus, při kterém chovali larvy (šídlatky – *Lestes congener*) ve dvou skupinách. U skupiny s TS byla prokázána vyšší míra kanibalismu než u skupiny bez TS. Dále podle JOHANSSON et al. (2001) v prostředí, kde bylo riziko predace ryb, snížily larvy potravní aktivitu. Larvy, které byly pod menším stresem, nesnížily potravní aktivitu, což vedlo k vyšší úmrtnosti v závislosti na predaci ryb.

Kvalitní studie týkající se reakcí na TS u larev stejnokřídlic by mohly poskytnout dobré studijní podklady pro mikro a makroevoluční plasticitu ve vývoji. Takové informace by měly být velmi cenné především v současné době, kdy je víc znát globální oteplování. To může vést k velkému poklesu fitness jedinců, pokud nebudou schopni se adaptovat (fotoperiodicita). (BRADSHAW et HOLZAPFEL 2006)

3.2.2 Různé vlivy prostředí (stresorů) na hmyz se zaměřením na vážky

Jednotlivé druhy vážek jsou často asociovány s charakteristickým stanovištěm či mikrostanovištěm v rámci vodního tělesa. Hledání nových stanovišť s sebou nese negativa (vysoký výdej energie, vyšší riziko predace, propásnuté příležitosti k páření či krmení) (JAKOB et al. 2001), ale také pozitiva například ve formě zvýšení fitness (CORBET 2004). Každé stanoviště má určité biotické a abiotické podmínky, podle kterých se organismus rozhoduje, zda je pro něj příznivé či nepříznivé (WELLBORN et al. 1996). Z pohledu vážky jsou abiotickými podmínkami prostor a jeho struktura (členitost břehu, výška vodního sloupce atd.), biotickými charakter vegetace, přítomnost predátorů a potravy. (CORBET 2004)

Při výběru stanoviště používají vážky jako hlavní smysl zrak, dokážou identifikovat vodní plochy primárně podle polarizovaného světla, které se odráží od vodní hladiny (některé druhy rozliší i tmavě zabarvené a čisté vody). (BERNATH et al. 2002)

Právě kvůli detekci vody za pomoci odražených paprsků světla se mohou vážky chytat do tzv. ekologických pastí, což jsou stanoviště, která se vážkám jeví jako vhodná, avšak jde o stanoviště pro život i rozmnožování naprosto nevhodné. Například evropské druhy rodu *Sympetrum* jsou silně přitahovány k černým leštěným náhrobkům. Chovají se na těchto místech stejně jako na vodním stanovišti. (HORVÁTH et al. 2007)

Vážky jsou heliofilní (slunomilné) organismy. Teplota ovlivňuje jejich metabolismus, má vliv nejen na vajíčka, ale i na vývoj larev, stejně jako na jejich chování, distribuci a kondici. (CORBET 2004) Pozitivním přímým vlivem může být např. zvýšení tělesné teploty, jelikož v určitém teplotním rozsahu umožňuje zrychlování metabolických procesů a tím dochází k rychlejšímu růstu jedinců a zároveň také k rychlejšímu populačnímu růstu (STACHOWICZ et al. 2002). Negativním vlivem může být přehřátí organismu při vysokých teplotách a jeho následný úhyn, či naopak snížení aktivity při nízkých teplotách nebo kanibalismus (START et al. 2017). Mezi hlavní nepřímé vlivy teploty patří např. ztráta nebo vznik nových vhodných stanovišť či změna interakcí s ostatními druhy ve společenstvu. Nedostatek srážek a následné vysychání vyvolané vyššími teplotami vede u ryb

ke ztrátě vhodného prostředí (TRAPE 2009). To samé platí i pro jiné organismy, např. pro obojživelníky nebo vážky (OTT 2010).

Reakce na teplotu v přírodě může záviset i na změně fotoperiody (prodloužení/zkrácení dne). Na zkrácení dne reagují larvální stádia pomalým růstem či jeho úplným pozastavením, čímž se připravují na přezimování. Teplota má vliv také na přežívání jednotlivých instarů a na délku vývoje (LUTZ 1974).

Ukázalo se, že dostupnost kyslíku je nižší ve studených vodách, a to navzdory jeho větší rozpustnosti. Změny v rychlosti hledání potravy a metabolismu se promítají do teplotně závislé energetické účinnosti (tj. množství přijaté potravy jednoho jedince v poměru k jeho metabolismu), které určují dostupnou energii pro růst a reprodukci, a proto jsou rozhodující pro individuální fyzickou kondici a populační dynamiku. (GILBERT et al., 2014)

V kulturní krajině jsou larvy vystaveny velkému množství znečištění jako jsou pesticidy a hnojiva. Pesticidy negativně ovlivňují imunitní systém. U vážek došlo v reakci na množství toxických látek k posunům v životním cyklu – zpomalení larválního vývoje, nepřítomnost diapauzy v životním cyklu a adaptování se na nižší množství kyslíku ve vodě. (SOLIMINI et al. 1997) Znečištění mění i druhovou skladbu, citlivější druhy nesnesou obsah toxických látek ve vodě, dominují tolerantnější druhy. Nadměrné uvolňování hnojiv do vody způsobuje eutrofizaci, která může vést k přemnožení mikroorganismů typu sinice a řasy na vodní hladině. Vzniká tak hypoxické prostředí, které škodí dalším ve vodě žijícím organismům.

Bylo by vhodné zmínit i pH vody. K okyselení jsou odolnější vážky (*Zygoptera*), pravděpodobně v důsledku absence rybích predátorů. Nejcitlivějším obdobím vodních bezobratlých k nízkému pH je perioda výletu imag.

3.3 Ekologické pasti

Krajina prochází v současnosti mnoha změnami, za které je většinou zodpovědný člověk. Jedná se o rychlé změny a organismy nemají dostatek času, aby se jim přizpůsobili (výstavba komunikací, sídel, kácení stromů, vysoušení mokřadů atd.). Bohužel platí pravidlo: „vyhrává ten, kdo se nejrychleji dokáže adaptovat na nové podmínky“.

Ve své práci se zabývám hnědouhelnými výsypkami, které vznikly při povrchové těžbě hnědého uhlí. Jedná se o pestrá místa se zvláštními klimatickými a stanovištními podmínkami (oligotrofní = chudé na živiny), která jsou velmi zajímavá z pohledu ochrany přírody. Výsypky jsou „vedlejší“ činností těžby. (BEJČEK 1981). I když ještě na některých místech není provedena technická rekultivace, organismy už využívají daný prostor. Nově vznikající společenstva interagují na sebe společně s půdou a vyvíjejí se. (FROUZ et al. 2008) Například obojživelníci osidlují spontánně a dynamicky se měnící tůně (VOJAR et al. 2016) spolu s vážkami i dokonce se vzácnými druhy ptáků (ŠÁLEK 2012). Ale taková netypická prostředí dlouho nevydrží (nejsou trvale udržitelná v krajině). Protože byly schváleny souhrnné plány sanací a rekultivací, a ty se striktně dodržují. Je velký tlak na navrácení zemědělské a lesní půdy do fondů (jako před těžbou). Mizí tak unikátní biotopy, protože půda je opětovně obohacena živinami a stanoviště jsou homogenizována. Díky druhové pestrosti bezobratlých a jich ekologickým nárokům na stanoviště jsou tito živočichové dobrými indikátory. (MAJER 1998) HENDRYCHOVÁ et al. (2008, 2016) se zabývali studií, zda bude více druhů živočichů na rekultivovaných plochách nebo na plochách nechaných ladem. Skoro polovina druhů (47%) obývala jak rekultivovaná místa, tak sukcesní stanoviště. Ale pouze 37% druhů bylo doloženo na sukcesních plochách a 16% druhů na zrekultivovaných plochách. Ze studie vyplývá, že nevhodnější by byla kombinace technické a biologické rekultivace s využitím přírodních obnovných procesů. Pro vysokou druhovou pestrost je důležitá přítomnost jemné mozaiky různých biotopů (křoviny, květnaté louky, remízky, úhor atd.) (ŠKORPÍK 2015).

Nové lokality na výsypkách lákají zpět živočichy, ale jsou pro ně opravdu vhodné? Nestanou se pro některé druhy ekologickou pastí?

Ekologická past znamená nevhodný výběr stanoviště pro vývoj živočichů. Ti si vybírají vhodný biotop podle určitých environmentálních charakteristik, které pro ně indukují výhodnost prostředí. V antropogenně ovlivněných typech prostředí (př. výsypky) mohou tyto indikační charakteristiky selhávat. Mohou být spojeny s faktory, které negativně ovlivňují početnost populace (př. faktor vysoké míry predace, parazitace, úmrtnost atd.). Tyto negativní faktory mohou ve svém vlivu na živočišné populace za určitých podmínek převážit. Následně dochází k početnímu poklesu populace, v extrémních případech až k lokální extinkci (vymírání/vyhynutí). V ekologické terminologii je tento jev nazýván „ekologickou pastí". Typickým příkladem jsou sloupy vysokého napětí (místo stromů) v zemědělské krajině, které dravci využívají jako oblíbená lovecká stanoviště. Bohužel po doteku elektrického vedení hynou nebo mají vážné zdravotní problémy. (MACHAR et POPRACH 2012)

Ke správnému výběru stanoviště (nejen aktuálního, ale i budoucího) používají organismy nepřímé „signály", které jsou zapsány do prostředí kolem nich. (SCHLAEPFER et al. 2002) Mohou jim pomoci např. při výběru místa na páření, vhodného teritoria, s dostatkem potravy atd. Jestliže chování organismu je formováno evolučním vývojem tak, že si zvolí méně vhodné podmínky, i v případě, že jsou ve stejný čas dostupné na jiném místě lepší, může nastat ekologická past. (SCHLAEPFER et al. 2002)

Příklady

Umělé osvětlení je nejvíce studovanou ekologickou pastí. Noční hmyz je jím přitahován a ztrácí schopnost orientace – př. jepice snáší vajíčka na „vodní hladinu" a přitom je to lesknoucí se asfalt na silnici. (KRISKA et al. 1998) Další nebezpečí lamp jsou: dehydratace, náraz, predace nebo přehřátí, které vedou k úhynu.

Polarizované osvětlení může zmást noční hmyz, který jinak používá měsíc (také má polarizované světlo) pro svou orientaci (BAKER 1987).

V rámci vlivu člověka se může stát i ekologickou pastí místo narození, protože se mohlo změnit a nemusí už být vhodné pro další generace. (DAVIS et STAMPS 2004)

HEDIN et al. (2008) prováděli výzkum s kmeny pokácených stromů, které zůstaly naskládané na sobě několik měsíců. Pro saprofytické brouky (rozkladači) byly ideálním místem k rozmnožování. V době, kdy dřevo odvezli k dalšímu zpracování, se staly klády ekologickou pastí. Celá populace brouků skončila smrtí.

I když se člověk snaží napravit své působení v přírodě a rekultivovat zničenou krajinu, ne vždy to udělá vhodným způsobem. HALE et SWEARER (2017) uvádí, že úspěšná rekultivace by neměla mít jakýkoliv negativní dopad na ekosystém a také změny by neměly ovlivnit ostatní organismy (např. zvýšená aktivita predátorů). Následně uvádím příklady nevhodně provedených rekultivací:

Asi nejznámějším a nejlepším příkladem je motýl měďák velký (*Lycaena xanthoides*), který kladl svá vajíčka na hostitelkou rostlinu (šťovík vrbolistý) v nezaplavované zóně. Po rekultivaci okolí mokřadů šťovík obrostl vyšší invazní rostlinou a přestal být pro motýla „spatřitelný“. Začal proto klást vajíčka v zaplavovaném území na šťovík, který se nacházel v nižším porostu, a byl pro něho lépe „spatřitelný“. Ale záplavová oblast způsobila sedmkrát větší úmrtnost vajec. (SEVERNS 2011)

Na území nefunkčních uhelných dolů, vznikly vodní plochy s vegetací, které si kolonizovaly vážky. Měly zde sekundární stanoviště, ale to bylo zničeno i s celou populací vážek, když byla lokalita zaplněna srážkovou a podzemní vodou, která způsobila nestabilitu a propad podloží (HARABIŠ et DOLNÝ 2012).

3.4 Vážka obecná (*Sympetrum vulgatum*)

Taxonomické zařazení: říše: *Animalia* (živočichové), kmen: *Arthropoda* (členovci), podkmen: *Hexapoda* (šestinozí), třída: *Insecta* (hmyz), podtřída: *Pterygota* (křídlatí), nadřád: *Odonatoptera* (vážkokřídlí), řád: *Odonata* (vážky), podřád: *Anisoptera* (různokřídlice), čeleď: *Libellulidae* (vážkovití), rod: *Sympetrum* (vážka) (biolib.cz).

3.4.1 Charakteristika řádu vážek (*Odonata*)

Je to velký hmyz s pestře zbarveným tělem a velkými křídly. Celosvětově jsou rozšířeni pouze zástupci dvou morfologicky snadno odlišitelných podřádů: 1) různokřídlice (*Anisoptera)*, do kterého patří čeledi: klínatka (*Gomphidea)*, vážka (*Libellulidae),* šídlo *(Aeschnidae*) a 2) stejnokřídlice (*Zygoptera),* kam se řadí čeledi: motýlice (*Calopteryx* sp) a šidélko *(Coenagrionidae*), (WALDHAUSER et ČERNÝ 2014). Z celkového počtu asi 6 000 druhů vážek (DIJKSTRA et al. 2013) jich v Evropě žije 138 (KALKMAN et al. 2010) a v České republice asi 73 druhů (DOLNÝ et al. 2008).

Společnými znaky obou podřádů je amfibický (obojživelný) životní cyklus – pro vývoj alespoň jednoho vývojového stádia (obvykle larvy) je nezbytná přítomnost vody (WALDHAUSER et ČERNÝ 2014). Dospělci vážek jsou dravci, kteří loví veškerý hmyz (menší, než jsou sami). Larvy všech vážek jsou také dravé, živí se různými vodními živočichy (větší larvy jsou schopné ulovit i rybí plůdek a pulce žab). Kořist většinou aktivně nepronásledují, ale spíše na ni nehybně číhají. Potravu loví vymrštitelným spodním pyskem, tzv. maskou, která je typickým znakem larev všech vážek. (SUKOP 2006)

Pro zvýšení teploty se vážky vyhřívají na slunci, případně se ohřívají chvěním křídel. K termoregulaci hrudních svalů slouží u většiny druhů tmavé zabarvení báze křídel, nebo natáčení těla zadečkem ke slunci. Záleží na druhu, zda přezimuje vajíčko nebo larva. Přezimování je vázáno na vodu. Pouze rod *Sympecma* přezimuje bez účasti vody a ve stádiu dospělce. (WALDHAUSER et ČERNÝ 2014) Životní cyklus vážek trvá několik týdnů (šídla), většinou jeden rok (většina druhů podřádu *Zygoptera*), nebo 2 až 3 roky (většina druhů podřádu *Anisoptera*), nejdelší vývoj mají páskovci (3 až 5 roků) (DOLNÝ et al. 2016).

Larvální stádia, jsou úzce spjata se specifickým sladkovodním prostředím. Znečištění vodního prostředí na ně působí negativně, zatímco na dospělce působí zcela odlišné faktory. Tím je zajištěna bioindikace vážek – a to nejen s ohledem na vodní prostředí, ale i na celkový stav lokality a jejího blízkého okolí. Nepochybně nejdůležitějším faktorem je struktura pobřežní vegetace, protože její kvalitativní i kvantitativní změny mohou mít výrazný vliv na vyskytující se společenstva vážek. (DOLNÝ et al. 2016)

3.4.2 Rozšíření

Jak zmiňují HAMMOND (1977), PARR (1996) a PITTMANN (1996) je výskyt vážky obecné podobný s výskytem vážky žíhané (*Sympetrum striolatum*), ale nesahá tak daleko na jih a západ. Je běžně rozšířená ve střední a severovýchodní Evropě, ale západně od Rýna a na pobřeží Atlantiku se vyskytuje málo, v Anglii je dokonce považována za vzácnou. VALLE (1952) uvádí nálezy jedinců až za polárním kruhem. KOFLER (1972) dokládá nález vážky v Alpách až do nadmořské výšky 2 500 m n. m. Na východě – v Asii (Čína, Japonsko) je vážka obecná zastoupena některými poddruhy. V České republice je to všudypřítomný druh, vyskytující se na celém území, většinou byl nalezen do nadmořské výšky 700 m (DOLNÝ et al. 2016).

3.4.3 Fenologie

Období líhnutí trvá od začátku července (výjimečně již koncem června) do konce srpna (ojediněle do poloviny září). Hlavní doba líhnutí je červenec. (HOESS 1993) Hlavní sezóna pro dospělce (viz příloha č. 1) je od srpna do září. Poslední jedince lze pozorovat ještě v polovině října, s teplým podzimem i na začátku listopadu (nejpozdější pozorování bylo 13. listopadu). Poslední kladení vajec se datuje k druhému listopadu. (JÖDICKE 1991) Zimujícím stadiem je vajíčko, ze kterého se na jaře vylíhne larva (viz příloha č. 2) – její vývoj trvá tři až čtyři měsíce (DOLNÝ et al. 2016).

3.4.4 Nároky na prostředí

Krajina, s výskytem rákosových a ostřicových porostů kolem vodních ploch, mokřadů, mrtvých ramen bohatých na ryby, umožnila vážkám vyvinout si obranný mechanismus proti predátorům, a tím se zvýšily jejich šance na přežití. Do dnešních dob se stanoviště výskytu vážky obecné nezměnil – přibyly nové vodní plochy (rybníky, sádky, štěrkovny). (STERNBERG et BUCHWALD 2000) Je to euryekní druh (nacházející se v nejrůznějších podmínkách) vyskytující se na většině biotopů mírně tekoucích i stojatých vod. Preferuje menší vody s bohatou vegetací (rybníky, slepá ramena řek i rašeliniště). (DOLNÝ et al. 2016)

Výskyt larev

Larvy žijí na dně mělkých vodních ploch, nebo mezi vodními rostlinami, občas bývají zahrabané i v sedimentu (JURZITZA 1988). Jsou typické výskytem e stojatých vodách, ale snesou i mírně tekoucí vodu (př. luční příkopy). Nevadí jim i částečně zakalená voda, která má dno pokryté směsí (i několika centimetrovou vrstvou) štěrku, písku, jílu, hlíny. Larvy mohou být nalezeny v hloubce vodního sloupce 10–30 cm. V reprodukčním období potřebují vážky vodní plochu. Pouze ve stádiu vajíčka jsou schopny přežít i delší sucho. (STERNBERG et BUCHWALD 2000)

Larvy snesou koncentraci soli až 9,4‰ (pro srovnání: 36‰ je mořská voda) (MIELEWCZYK 1970) a pH do ≤ 4 (SCHEFFLER 1970). Larvy se nacházejí v mezotrofních, eutotrofních (vysoký obsah živin) a tolerují i hypertrofní podmínky ve vodě (STERNBERG et BUCHWALD 2000).

Výskyt imaga (dospělce)

Samci zřídka létají nad velkými vodními plochami, raději se zdržují blízko břehu, kde sedí na kamenech, štěrku, písku, obnažených stéblech (SCHMIDT 1990, KÖNIG 1990). Samice se přilétají k vodě jen pářit nebo klást vajíčka. Takže člověk nabývá dojmu, že se nejčastěji vyskytují daleko od vodních ploch (na cestách, lesních mýtinách, polích, skalách, vřesovištích atd.). Dospělci se zdržují převážně na slunných místech. (VALLE 1938)

Ovipozice

Vajíčka jsou kladena buď do větších vodních prosluněných ploch na rákosí daleko od břehu nebo do malých vodních ploch blízko břehu na ponořenou vegetaci (řasy, trávu) anebo do vlhkého prostředí nedaleko vodní plochy, jako jsou močály, tůňky, louže. (LÖSING 1988)

3.4.5 Biologie larev

Ve vodních plochách bez ryb žijí larvy často na substrátu nebo na vodních rostlinách. Ale v místech, kde je hodně ryb, jsou jejich snadnou kořistí. Proto se přizpůsobí podmínkám, schovávají se v substrátu nebo jsou aktivní v noci, aby mohly v obhospodařovaných rybnících přežít. Larvy mají schopnost se ukrýt (pokrývají se částečky bahna), toto chování je jak po přemístění do laboratorního „akvária“, tak i při ohrožení rybami, vodními ptáky. Larvy líhnoucí se z vajíček na přelomu dubna a května procházejí 9–11 instary, normálně plně dorostou po 3–4 měsících. Celkový počet stádií není znám, ale může být podobný jako u vážky žíhané. Přeměna larev na imago probíhá na vertikální vegetaci 5–30 cm nad hladinou vody. (STERNBERG et BUCHWALD 2000)

3.4.6 Biologie dospělců

Ihned po oddělení páru samice pokračuje v kladení vajíček. Samec ji krátkou dobu hlídá (tři sekundy až jednu minutu), než ji definitivně opustí. Pokud je samice vyrušena jinými samci, posadí se (na jednu minutu) a potom teprve pokračuje v kladení. (REHFELDT 1989) Samci se obvykle zdržují ve větším počtu blízko vodního biotopu, kde si hlídají své teritorium vhodné pro ovipozici. Samice se často vzdalují dál od vody (lesní mýtiny, louky, vřesoviště atd.). (DOLNÝ et al. 2016)

Intenzita červeného zbarvení samců se mění s teplotou – při teplotách menších jak 12 C jasně červená barva do deseti hodin ztmavne na ponurou černo – červenou, k obrácené změně barvy dojde během pouhých 20–30 minut (STERNBERG 1989). Délka těla dospělce se pohybuje v rozmezí 35–40 mm (DOLNÝ et al. 2016).

3.4.7 Parazité

Vážka obecná je méně napadána ektoparazitickými larvami roztoče přívěskovce jarního (*Arrenurus papillator*) než vážka žlutavá (*Sympetrum flaveolum*). Až 132 roztočů může být na jednom jedinci dospělce. Když se přichytí nejpozději do srpna, z vážky odpadnou. (MÜNCHBERG 1935)

Lokální úbytek vážek souvisí s klimatickými faktory, nedostatkem vodních ploch, jejich zasypáváním, rekultivací vytěžených ploch apod. Problém je také s vysazením amura, který by měl „spásat“ vodní vegetaci, ale vedle toho přispívá k likvidaci vážek. (OTT 1993) I přes to, že vážka obecná není chráněná, je vhodné zabezpečit existenci tohoto druhu např. zachováním rozsáhlých mělkých vodních ploch s bujnou vegetací, zploštěním strmých břehů a snížením rybí obsádky. Kromě vážky obecné to může pomoci i řadě vzácných a ohrožených druhů vážek. (STERNBERG et BUCHWALD 2000)

4 Metodika

4.1 Charakteristika studijního území

Karlovarský kraj

Nejzápadnější hornatý kraj našeho státu je ze 40 % porostlý lesy. Hlavním vodním tokem je řeka Ohře. Nachází se zde léčivé termální prameny v Karlových Varech a radioaktivní vody v Jáchymově. SOOS na Chebsku je mezinárodním významným územím, kde jsou rašeliniště a slatiniště s vývěry minerálních vod. Z pohledu geomorfologického patří oblast ke Krušnohorské soustavě. Nejvíce zastoupenými půdními typy jsou kambizemě a podzoly. Podnebí je chladné až mírně teplé s průměrnou roční teplotou 6,5°C a průměrným ročním úhrnem srážek v rozmezí 600 – 650 mm. Karlovarsko má mírné horské klima. Nejvyšším bodem v Krušných horách je Klínovec s nadmořskou výškou 1 244 m n. m., naproti tomu obec Stráž nad Ohří leží v nejnižší nadmořské výšce 328 m n. m. (ČSÚ (c) 2023a)

Sokolovsko

Okres Sokolov (viz obrázek 1) hraničí na severu se Spolkovou republikou Německo, na západě a jihu s okresem Cheb a na východě s okresem Karlovy Vary. Je třetím nejmenším okresem v Karlovarském kraji, zaujímá 22,75% plochy (tj. 754 km^2). Povrch je převážně kopcovitý, v severní části jsou Krušné hory a na jihu se rozkládá pahorkatina Slavkovského lesa. Nejvyšším bodem okresu je vrch Špičák (991 m n. m.) a nejnižší bod má 375 m n. m.

Všechny potoky a říčky se vlévají do řeky Ohře, její největší přítok je řeka Svatava. Větší vodní plochy se lze nalézt na Chodovsku a u Krásna. Převažuje zde drsné klima s nízkou průměrnou roční teplotou vzduchu a krátkou dobu slunečního svitu.

Území vyniká bohatstvím nerostných surovin (v minulosti užitkové rudy – cínové, dnes hlavně hnědé uhlí). Půdní fond je nesouvislý kvůli členitému terénu. Na území se nachází louky, pastviny, přírodní rezervace, ochranná pásma zdrojů pitné a minerální vody, bohužel jsou tu i oblasti postižené exhalacemi (odpadní látky vypouštěné do okolního prostředí). Více jak polovinu okresu zaujímá lesní půda,

která je hlavně v Krušnohoří a Slavkovském lese (chráněná krajinná oblast – bývalý vojenský prostor), převažuje smrk, ale značné zastoupení mají i listnaté stromy.

Sokolovský okres je převážně průmyslovou oblastí (strojírenský, chemický, textilní, průmysl skla, keramiky, porcelánu a paliv). Pro zemědělství není vhodný půdní fond vlivem důlní činnosti.

Životní prostředí je nejhorší v kraji vlivem průmyslové činnosti (hl. těžba a následné zpracování hnědého uhlí). Důlní činnost má negativní vliv i na okolní krajinu. Vytěžené lokality nelze uvést do původního stavu ihned po skončení důlní činnosti. (ČSÚ (c) 2023b)

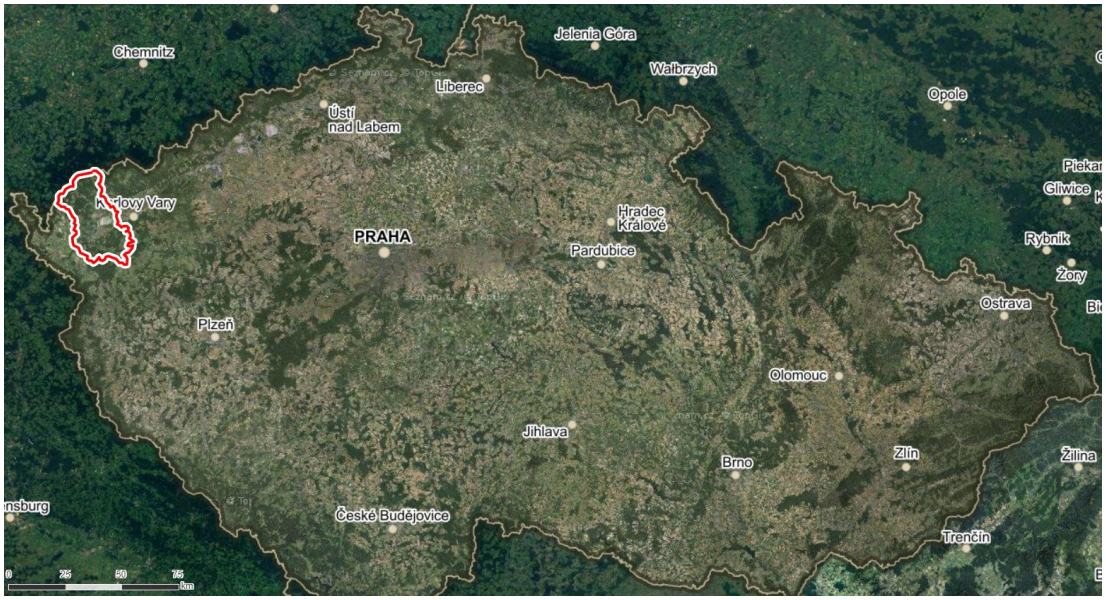
Fauna

Lokálně zde přežívají druhově pestrá společenstva vlhkých stanovišť: modrásci rodu *Maculinea*, ropuchy rodu *Bufo*, skokan ostronosý (*Rana arvalis*), chřástal polní (C*rex crex*), slavík modráček (*Luscinia svecica*), šídlatka páskovaná (*Lestes sponsa)*, vážka obecná (*Sympetrum vulgatum*), vážka rudá (*Sympetrum sanguineum*) atd.

Na uměle vytvořených biotopech stepního až polopouštního charakteru vzniklé odvaly a výsypkami povrchových dolů se nachází: bělořit šedý (*Oenanthe oenanthe*), střevlík (*Carabus nitens*), ropucha zelená *(Bufo viridis*), skřivan lesní (*Lullula arborea*) atd. (ANDĚL 2003)

4.1.1 Výběr lokality

Sokolovsko bylo vybráno jako oblast pro experimentální část výzkumu. Jsou zde blízko sebe jak rekultivovaná místa po těžbě (jedna z potenciálních ekologických pastí pro vážky), tak přírodní stanoviště (mezi ně řadíme i rybníky, které většinou v naší krajině nahrazují přírodní vodní plochy a jsou jedním z typických habitatů vážek). To je důležité zejména proto, aby byly na všech deseti vybraných místech stejné/podobné vlivy prostředí (podnebí, teplota, srážky, nadmořská výška atd.) a aby tak mohly vyniknout rozdíly pouze ve srovnávaných typech stanovišť. Konkrétní stanoviště byla vybrána již v roce 2021, kdy na nich probíhal výzkum atraktivity (tandemů *Lestes sponsa, Sympetrum vulgatum* a *Sympetrum sanguineum*) (viz příloha č. 5).



Obrázek č. 1: Satelitní mapa České republiky s červeně vyznačeným okresem Sokolov (Zdroj: mapy.cz, a)

4.2 Sběr dat

Původně se měly nachytat larvy vážky obecné (*Sympetrum vulgatum*) na začátku března 2022, aby byly na vybraných stanovištích exponované 40 – 50 dní, ale bohužel vlivem chladné vody byly ještě hodně malé, proto se nachytání larev konalo až koncem (24.) května 2022. To je také důvod, proč se nedávaly do 20 klícek po 24 jedincích, jak tomu je v zadání práce, ale do 30 klícek po 12 jedincích. Sběr probíhal na jedné lokalitě pomocí síťky (z jednoho typu prostředí, aby nebyly rozdíly mezi larvami už na začátku). Vybrána byla přírodní lokalita mezi obcemi Lítov (SV) a Kaceřov (JZ) (viz obr. 2 lokalita 8). Do 30 klícek (plastové koše s přidělanou nylonovou sítí) bylo vloženo vždy po 12 larvách a to tak, aby v prostoru mezi košem a ssítí neuvázl žádný organismus. Velikost ok byla zvolena 2 mm, aby se do košů dostala potrava pro larvy vážek (drobní sladkovodní bezobratlí) a zároveň aby larvy nemohly vylézt ven nebo se k nim nedostal jiný predátor. Na dno koše byl umístěn substrát a vegetace, aby prostředí bylo co nejpodobnější okolnímu a na vrch koše byla pomocí drátu přidělána stejná síť jako z boku koše (viz příloha č. 8). Následně byly klícky s larvami rozvezeny

do deseti lokalit (pět rekultivovaných a pět přírodních) (viz obrázek 2). Na každém stanovišti byly tedy tři koše po 12 larvách s jedním dataloggrem, který měřil teplotu vody. Larvy zde byly exponované cca 14 dnů, kde žily z toho, co mají k dispozici v daném prostředí. Následně byla odebrána jedna klícka z každé lokality ve dvou termínech (12. 6. a 27. 6.) a převezena do laboratoře. Zde se hodnotila mortalita (paralelní výzkum), kondice – pomocí zásobních látek/tuků (paralelní výzkum) a imunita – pomocí množství granulocytů v hemolymfě. Původně tři klícky na každé lokalitě byly pro tři termíny odebrání po cca 14 dnech, ale překvapila nás skutečnost, že se již na některých lokalitách jedinci začínají líhnout v dospělce. Proto na druhý termín byly už odvezeny všechny klícky z lokalit (dvě z jednoho stanoviště).

Obrázek č. 2: Satelitní mapa vybrané lokality s vyznačenými deseti vodními plochami (zeleně jsou přírodní a červeně jsou rekultivovaná místa) (Zdroj: mapy.cz, b)

(přírodní: 1 Citice, 4 Josefov/U Jilmu, 5 Annenská ves, 8 Lítov, 10 slepé rameno Kynšperk; umělé: 2 Medard, 3 Týn, 6 „inline“ Habartov, 7 Lítov, 9 Libocké mokřady) (foto některých lokalit viz přílohy č.: 3, 4, 6, 7)

4.3 Laboratorní zpracování

Výsledky v podkapitole 5.1 (Rozdíly mezi přirozenými a rekultivovanými habitaty) vznikly společným úsilím s kolegyní Kateřinou Bártovou.

4.3.1 Imunita

Zpracování materiálu z terénu trvalo vždy dva dny (13. – 14. 6. a 28. – 29. 6. 2022). Experiment byl prováděn v laboratoři D414 (MCEVII) na Fakultě životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze. Z prvního zpracování bylo získáno 45 vzorků a ze druhého termínu 87 vzorků. Po přinesení klícek do laboratoře byly larvy vážek postupně po jedné opatrně vysypány na stůl s ochranným igelitem (viz. příloha č. 8). Ze substrátu se vytřídily larvy (viz. příloha č. 9), které se odložily na papírový ubrousek, aby se snížila přebytečná voda při pozdějším odběru hemolymfy (viz. příloha č. 10) a nezkreslovaly se výsledky.

Následně se připravily mikrozkumavky typu Eppendorf a pufr (fyziologický roztok PBS), které se v dalších krocích využívaly. Do Petriho misky se položila larva (někteří jedinci byly pro lepší fixaci přilepeni oboustrannou lepicí páskou na otočenou Petriho misku), kde byla přidržena entomologickou pinzetou a pomocí speciálních nůžek bylo postupně odstřiženo všech šest nožiček u těla (hrudi).

Poté se za pomoci skleněné mikrokapiláry odebrala hemolymfa z míst odstřižených končetin. Hemolymfa, která se díky kapilárním silám nasála do trubičky, byla dále za pomoci rysek změřena. Díky tomu se zjistil objem odebrané hemolymfy. Následně se opatrně hemolymfa foukla do připravené mikrozkumavky typu Eppendorf a pomocí mikropipety se přidal pufr (fyziologický roztok PBS) na doředění, aby buňky udržely svůj tvar a byly dobře viditelné. Mikrozkumavka byla popsána kódem, který byl předem vymyšlen, stejným kódem byla popsána i plastová zkumavka, kam se vložilo tělo larvy bez nožiček k dalšímu zkoumání. Pro experiment se využívalo ředění v poměru 1:10 (1 µl hemolymfy na 10 µl pufru).

V dalším kroku se mikropipetou odebrala naředěná hemolymfa a opatrně se aplikovala mezi Bürkerovu komůrku a krycí sklíčko, aby tekutina byla po celém velkém skleněném čtverci (viz příloha č. 11). Následně se komůrka vložila pod mikroskop při celkovém zvětšení 400x a osvítila se zeleným světlem (viz přílohy

č. 12, 13). Pak se počítaly granulocyty (specifické imunitní buňky) a všechny hemocyty (veškeré imunitní buňky) ve sloupcích (prvních 50 velkých čtverců) – postup pro počítání buněk v komůrce je v příloze č. 14. Nakonec se vše zapsalo do zápisových archů. Tento postup byl stejný u všech larev. Arch s daty byl přepsán do programu excel a byla vypočítána koncentrace hemocytů a granulocytů v 1 µl čisté hemolymfy (podle následujícího vztahu), která byla následně statisticky zpracována.

$$\mathbf{K} = \mathbf{R}\left(\frac{\boldsymbol{N}}{\mathbf{0,2}}\right)$$

(K = koncentrace hemocytů nebo granulocytů v 1 µl čisté hemolymfy, R = ředění 10 : 1 => 11, N = počet hemocytů nebo granulocytů, 0,2 µl konstanta = objem vzorku v jednom „bazénku“/ objem Bürkerovy komůrky)

4.3.2 Kondice

Dalším zkoumáním z tělíčka bez nožiček byla zjištěna kondice larev podle množství zásobního tuku a velikosti masky. Testování opět probíhalo v laboratořích, které se nacházejí v budově Fakulty životního prostředí České zemědělské univerzity. Jedinci byli označeni stejným kódem jako v předchozí kapitole (Imunita) pro zachování identity jedince (tzn. kód obsahoval: identitu jedince, stanoviště, první/druhý termín odběru), označení bylo umístěno na epruvetu, do které byl jedinec vložen. Poté byly larvy v epruvetách s otevřeným víčkem přeneseny do sušičky v laboratoři Z019 (FŽP, ČZU). Zde probíhalo po dobu 48 hodin sušení při teplotě 50^{o}C. Po vysušení byla každá larva zvážena pomocí analytické váhy značky Kern s přesností 10^{-4} g umístěné v ekofyziologické laboratoři D414 (Mezifakultní centrum enviromentálních věd, FŽP, ČZU) a zjistily se tak hodnoty suché váhy larev vážek („dry mass“).

Následným krokem bylo odtučnění larev, které opět probíhalo v D414. Nejprve byl připraven roztok k rozpuštění tuků. Jednalo se o diethylether a chloroform v poměru 50:50. Roztok byl následně nalit do epruvet s larvami tak, aby v něm byly celé ponořené a nechaly se v něm louhovat opět po dobu 48 hodin.

U posledního kroku se z epruvet roztok vylil a larvy se opět umístily do sušičky v Z019 a nechaly se zde sušit po dobu 48 hodin při teplotě 50°C. Po vysušení se každá larva zvážila analytickou váhou v D414 a zjistila se tak suchá libová hmotnost („lean dry mass“). Obsah tuku, jako jeden z ukazatelů kondice larev, se vypočítal jako rozdíl suché hmotnosti a suché libové hmotnosti. Druhým ukazatelem kondice byla velikost masky larev vážek. Každé larvě se změřila délka a šířka masky prostřednictvím binokulární lupy Zeiss, jež měla digitální kameru a byla napojena na počítač s nástrojem Zeiss Zen Lite, ve kterém se měření provedlo. (JOSKOVÁ 2023)

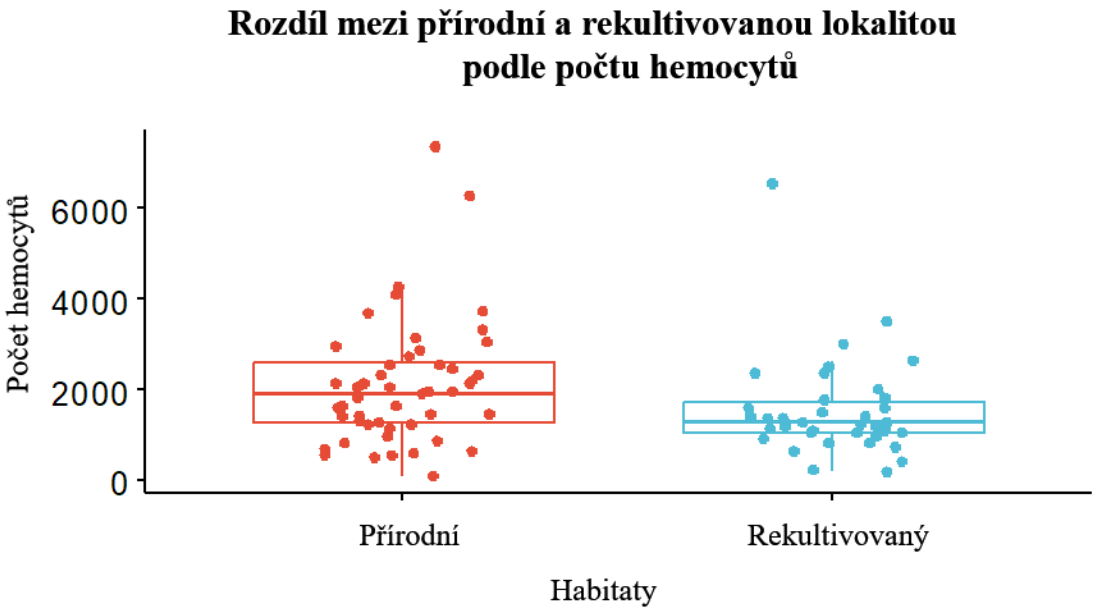
4.4 Statistické analýzy

K porovnání rozdílů v počtech hemocytů a granulocytů mezi jednotlivými typy lokalit byl zvolen zobecněný smíšený model (GLMM) s poissonovským rozdělením chyb. Pro každé opakování byl vytvořen samostatný model, kde vysvětlovanou proměnnou byl počet buněk a vysvětlujícími proměnnými typ lokality (rekultivované/přirozené). Abychom zohlednili rozdíly mezi lokalitami, jejich efekt byl zohledněn jako náhodný faktor. Pro porovnání vztahu mezi množstvím granulocytů/hemocytů a tuků byla použita korelace. Podobně byl hodnoceno i průměrné množství granulocytů/hemocytů ve vztahu k míře přežívání. Hodnoty signifikance byly testovány na hladině významnosti 0,05. Všechny analýzy byly provedeny v programu R verze 4.2.2., package lme4 verze 1.7. (BATES et al 2015, CRAWLEY 2007)

5 Výsledky práce

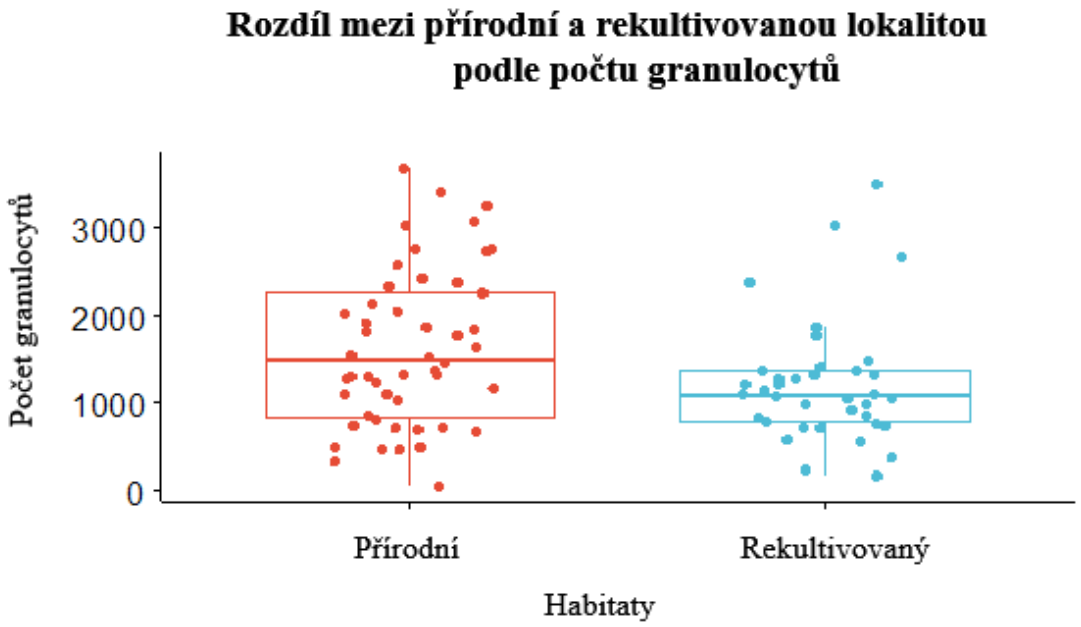
Celkem bylo z lokalit odebráno 132 jedinců – 45 z prvního termínu a 87 z druhého termínu. Bylo zjištěno, že v post těžebních (rekultivovaných) místech není o tolik větší aktivita než u přírodních lokalit, ale byla zde větší úmrtnost a jedinci měli méně zásobních látek. V následujících grafech se počítalo se 132 jedinci. Stanovená hladina pravděpodobnosti byla pro všechny stejná ($\alpha = 0{,}05$), tzn. pravděpodobnost, při které bude nulová hypotéza zamítnuta nesprávně.

5.1 Rozdíly mezi přirozenými a rekultivovanými habitaty



Graf č. 1: Rozdíl mezi přírodní a rekultivovanou lokalitou podle počtu hemocytů

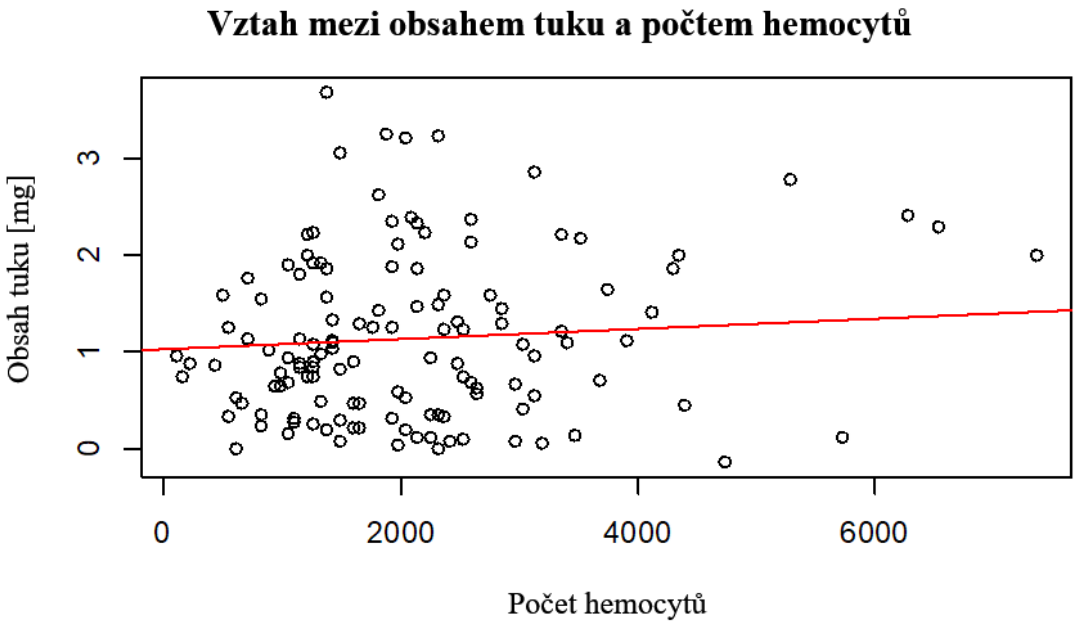
Dosažená hladina pravděpodobnosti (p hodnota) = 0,06733. Hodnota Chisq = 3,3468. Je zde marginální rozdíl v počtu hemocytů mezi habitaty, ale není signifikantní.



Graf č. 2: Rozdíl mezi přírodní a rekultivovanou lokalitou podle počtu granulocytů

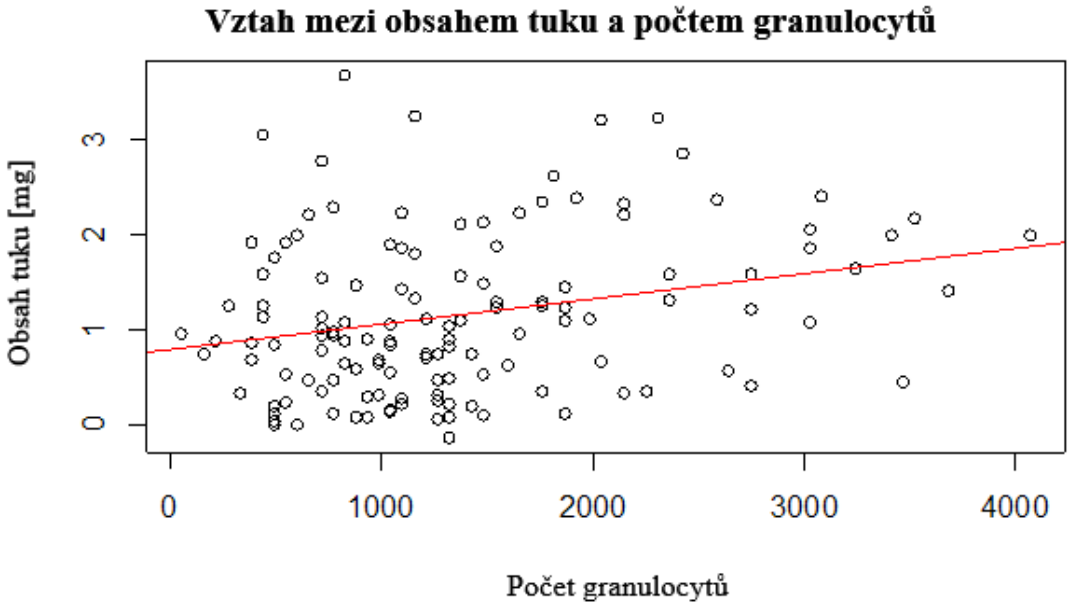
Dosažená hladina pravděpodobnosti (p hodnota) = 0,02997. Hodnota Chisq = 4,7111. Je zde signifikantní rozdíl v počtu granulocytů mezi habitaty. Lze říct, že lze porovnávat podmínky prostředí pomocí počtu granulocytů.

5.2 Vztah mezi množstvím hemocytů, granulocytů a tuků



Graf č. 3: Vztah mezi obsahem tuku a počtem hemocytů

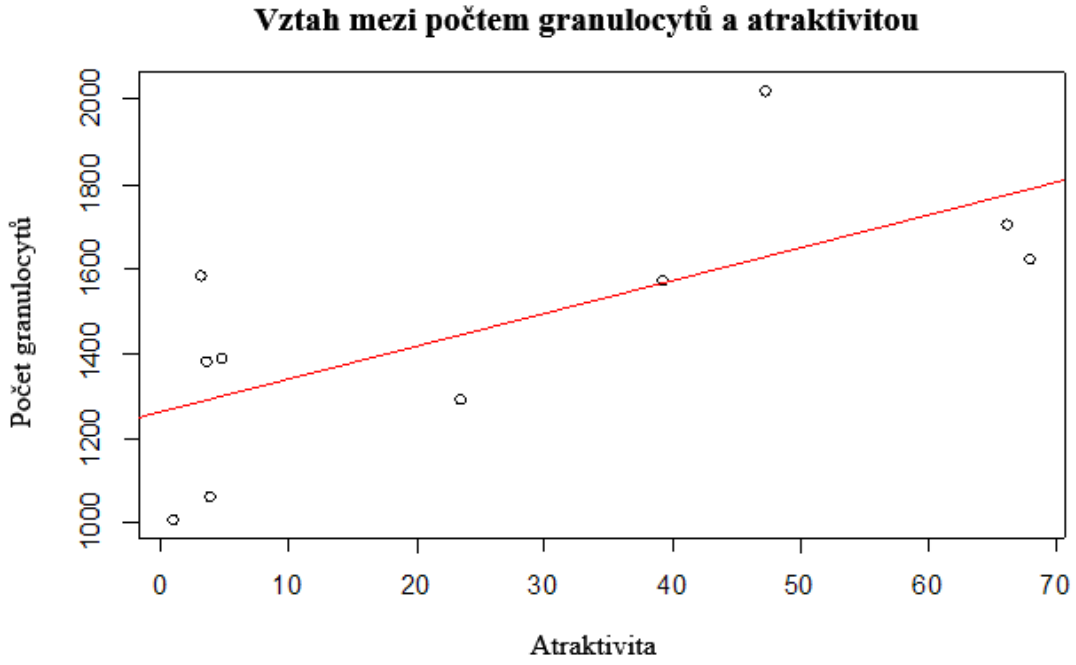
Dosažená hladina pravděpodobnosti (p hodnota) = 0,08841. Korelační koeficient/koeficient determinace (R^2) = 0,02216742. Tudíž vztah mezi obsahem tuku a počtem hemocytů není.



Graf č. 4: Vztah mezi obsahem tuku a počtem granulocytů

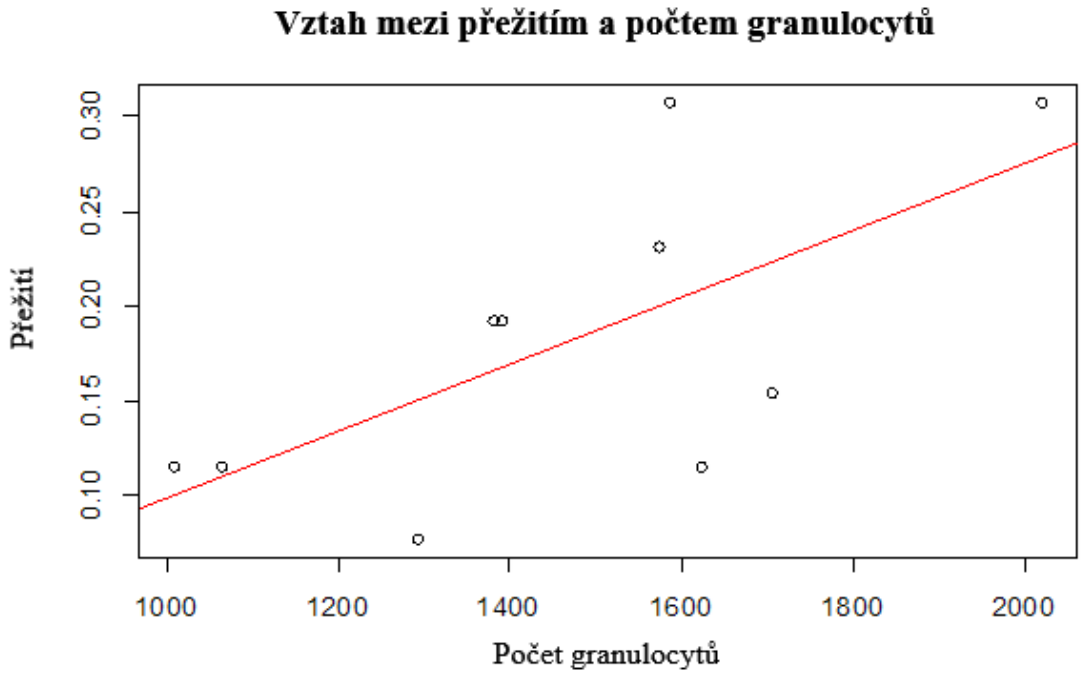
Dosažená hladina pravděpodobnosti (p hodnota) = 0,001887. Korelační koeficient/koeficient determinace (R^2) = 0,07185003. Tudíž je vztah mezi obsahem tuku a počtem granulocytů signifikantní. Z toho lze usoudit, že množství granulocytů koreluje s obsahem tuků.

5.3 Vztahy mezi atraktivitou, přežitím a počtem granulocytů



Graf č. 5: Vztah mezi počtem granulocytů a atraktivitou

Dosažená hladina pravděpodobnosti (p hodnota) = 0,02779. Korelační koeficient/koeficient determinace (R^2) = 0,47368. Tudíž je vztah mezi počtem granulocytů a atraktivitou. To svědčí o tom, že jedinci vyskytující se na více atraktivních lokalitách měli průměrně větší počet granulocytů.



Graf č. 6: Vztah mezi přežitím a počtem granulocytů

Dosažená hladina pravděpodobnosti (p hodnota) = 0,03717. Korelační koeficient/koeficient determinace (R^2) = 0,4378065. Tudíž je vztah mezi počtem granulocytů a přežitím.

6 Diskuse

Vážka obecná byl velmi dobře zvolený druh, vykytuje se jak na rekultivovaných (výsypkách) i přírodních stanovištích a má velmi rychlý životní cyklus. (Takový vývoj nemají všechny vážky, většina má dvouletý vývoj, kde přezimují larvy.) Během jedné sezóny se z přezimujících vajíček vylíhnou larvy, které se už koncem července metamorfují na dospělce. Za krátký čas proběhne larvální vývoj a lze na něm pozorovat i změny kondice a imunity (počty imunitních buněk a obsah tuku).

Vážky se považují za dobré indikátory prostředí (jsou druhově pestré a mají specifické nároky na stanoviště). (MAJER 1998) Vliv lokality a času (jak dlouho byly larvy na daných místech exponované, př. jak dlouho hladověly) je důležitý aspekt pro tento výzkum (BÁRTOVÁ 2023, JOSKOVÁ 2023). V rámci experimentu hrál důležitou úlohu i časový aspekt. Na začátku u larev nebyl žádný rozdíl v počtech imunitních buněk, ale těsně před metamorfózou byl vidět podstatný rozdíl v počtu hemocytů a hlavně granulocytů (BÁRTOVÁ 2023). Také byl vidět rozdíl v počtu granulocytů na přírodních (kde jich bylo víc) a rekultivovaných (kde jich bylo méně) lokalitách. To může být způsobeno strádáním (nedostatkem potravy), stresem, rizikem predace, nízkou teplotou vody nebo kanibalismem (THOMPSON 1997), proto pak larvy již neinvestovaly energii do imunitních buněk.

Překvapivé bylo zjištění, že u některých jedinců na stejné lokalitě bylo velké množství granulocytů, oproti jiným jedincům ze stejné lokality. Podle mého názoru to mohlo být způsobeno: imunitní reakcí na parazita, nebo stresem z převozu a malého prostoru v klícce, kde bylo víc jedinců. U mé části výzkumu je vidět korelace mezi imunitními buňkami a obsahem tuků. Obě zkoumané veličiny reagovaly na prostředí podobně. Nejdůležitější z výsledků je zjištění, že množství granulocytů může být jeden z parametrů kondice, stejně jako množství zásobních látek (obsah tuku). Naopak u hemocytů se tento vztah nepotvrdil. Může to být dáno tím, že se buňky postupem času specializují – v rámci vývoje jedince (z některých hemocytů u prvního sběru se mohly stát do druhého sběru granulocyty) (HYRŠL 2018a). Ne vždy lze říct, že počet granulocytů odpovídá hodnocení stavu imunity. Atraktivita prostředí mírně korelovala s průměrným počtem granulocytů.

U přírodních lokalit z dalšího termínu výzkumu nebyl takový rozdíl v počtu tandemů a granulocytů. Ale na rekultivovaných místech, kde tandemů bylo hodně, byl naopak počet granulocytů malý. Jedno z možných vysvětlení mohou být lokální ekologické pasti, kdy zdánlivě lákavá lokalita pro dospělce nemusí být prospěšná pro vývoj larev.

V rámci příštích pokusů by bylo dobré si larvy „vychovat“ v laboratorních podmínkách, aby se tak zamezilo faktorům, které je by je mohly ovlivňovat již před experimentem (př. predace, teplota vody atd).

7 Závěr

Závěrem bych chtěla shrnout své poznatky. Cíle práce byly splněny, výzkum potvrdil, že kvalita prostředí se projeví na kondici a imunitě vážek v larválním stádiu. Díky signifikantnímu rozdílu v počtu granulocytů mezi habitaty, lze říct, že je možné porovnávat podmínky prostředí pomocí počtu granulocytů. Imunitu lze posuzovat na základě počtu granulocytů v hemolymfě larev. Signifikantní je také vztah mezi obsahem tuku a počtu granulocytů, tzn. že množství granulocytů koreluje s obsahem tuků. Z toho vyplývá, že množství granulocytů může být jeden z parametrů kondice, jako je obsah tuku. Další je vztah mezi počtem granulocytů a atraktivitou – jedinci, kteří se vyskytovali na více atraktivních lokalitách, měly průměrně větší počet granulocytů. Byl potvrzen i vztah mezi počtem granulocytů a přežitím. Je marginální rozdíl v počtu hemocytů mezi habitaty, ale není signifikantní. Vztah mezi obsahem tuků a počtem hemocytů není.

Podle mého názoru, více informací o vážkách vede k lepšímu pochopení jejich nároků na prostředí a k dalším možnostem na obnovení vhodných lokalit.

8 Seznam použitých zdrojů

8.1 Odborné publikace

ANHOLT, B.R., 1994: Cannibalism and early instar survival in a larval damselfly. Oecologia 99, 60–65.

ARCE, N., Cantwell-Jones A., Tansley, M., et al., 2023: Signatures of increasing environmental stress in bumblebee wings over the past century: Insights from museum specimens. Journal of Animal Ecology. 92(2), 297-309. ISSN 0021-8790. Dostupné z: doi:10.1111/1365-2656.13788.

BAKER, R., 1987: Integrated use of moon and magnetic compasses by the heart-and- 38 dart moth, Agrotis exclamationis. *Animal Behaviour*, *35*(1), 94-101. https://doi.org/10.1016/S0003-3472(87)80214-2

BEJČEK, V. 1981: Vliv lesnické rekultivace výsypek po povrchové hnědouhelné těžbě na společenstva drobných savců. *Sborník Okresního muzea v Mostě, řada přírodovědná, 3*, 117-131.

BERNATH, B., Szedenics G., Wildermuth H. et Horvath G., 2002. How can dragonflies discern bright and dark waters from a distance? The degree of polarisation of reflected light as a possible cue for dragonfly habitat selection. *Freshwater Biology*. 9., roč. 47, č. 9, s. 1707–1719.

BRADSHAW, W. et HOLZAPFEL, C.M., 2006: Climate change – evolutionary response to rapid climate change. Science 312, 1477–1478.

CORBET, Philip S., 2004: *Dragonflies: Behaviour and Ecology of Odonata*. Essex: Harley Books. ISBN 0946589771.

DAVIS, J. M. et STAMPS, J. A., 2004: The effect of natal experience on habitat preferences. *Trends in Ecology and Evolution*, *19*(8), 411-416. https://doi.org/10.1016/j.tree.2004.04.006

DE BLOCK, M. et STOKS, R., 2004: Cannibalism-mediated life history plasticity to combined time and food stress. Oikos 106, 587–597.

DIJKSTRA K., Bechly G., Bybee S. M., Dow R. A., Dumont H. J., Fleck G., Garrison R. W., Hämäläinen M., Kalkman V. J., Karube H., May M. L., Orr A. G., Paulson D. R., Reh A. C., Theischinger G., Trueman J. W. H., Tol J., Ellenrieder N., Ware J., 2013:. The classification and diversity of dragonflies and damselflies (Odonata). Auckland : Zootaxa, 36-45.

DOLNÝ A., Bárta D., Waldhauser M., Holuša O., Hanel L., 2008:. *Vážky České republiky*. Hradec Králové : Taita Publishers s. r. o., 184 p. ISBN 978-80-86327-66-2.

DOLNÝ A., Harabiš F., Bárta, D., 2016:. *Vážky (Insecta: Odonata) České republiky.* Praha : Academia, 344 p. ISBN 978-80-200-2503-6.

FROUZ, J., Prach, K., Pižl, V., Háněl, L., Starý, J., Tajovský, K., Materna J., Balík V., Kalcík J. & Řehounková, K., 2008: Interactions between soil development, vegetation and soil fauna during spontaneous succession in post mining sites. *European journal of soil biology*, *44*(1), 109-121.

GILBERT, B., Tunney, T.D., McCann, K.S., DeLong, J.P., Vasseur, D.A., Savage, V., *et al.*, 2014: A bioenergetic framework for the temperature dependence of trophic interactions.

GOTTHARD, K., Nylin, S., et Wiklund, C., 1994: Adaptive variation in growth rate: life history costs and consequences in the speckled wood butterfl y, Pararge aegeria. Oecologia 99, 281–289.

GOTTHARD, K., Nylin, S., et Wiklund, C., 2000: Individual state controls temperature dependence in a butterfly (Lasiommata maera). Proceedings of the Royal Society London Series B Biological Sciences 267, 589–593.

GOTTHARD, K., 2001: Growth strategies of ectothermic animals in temperate environments. In Atkinson, D. and Thorndyke, M. (eds), Environment and Animal Development: Genes, Life Histories and Plasticity, pp. 287–303. BIOS Scientific, Oxford.

GUPTA, A. P. 2009: Insect Hemocytes. New York: Cambridge University Press

HALE, R. et SWEARER, S. E., 2017: When good animals love bad restored habitats: how maladaptive habitat selection can constrain restoration. *Journal of Applied Ecology*, *54*(5), 1478-1486. https://doi.org/10.1111/1365-2664.12829.

HAMMOND, C., 1977: The dragonflies of Great Britain and Ireland. Curwen, London, s. 115.

HARABIŠ, F. et DOLNÝ, A., 2012: Human altered ecosystems: Suitable habitats as well as ecological traps for dragonflies (Odonata): The matter of scale. *Journal of Insect Conservation, 16*(1), 121-130. https://doi.org/10.1007/s10841-011-9400-0

HEDIN, J., Isacsson, G., Jonsell, M. et Komonen, A., 2008: Forest fuel piles as ecological traps for saproxylic beetles in oak. *Scandinavian Journal of Forest Research, 23*(4), 348-357. https://doi.org/10.1080/02827580802269991

HENDRYCHOVÁ, M., Šálek, M., et Červenková, A., 2008: Invertebrate communities in man-made and spontaneously developed forests on spoil heaps after coal mining. *Journal of Landscape Studies*, *1*, 169-187.

HENDRYCHOVÁ, M., et Bogusch, P., 2016: Combination of reclaimed and unreclaimed sites is the best practice for protection of aculeate Hymenoptera species on brown coal spoil heaps. *Journal of insect conservation*, *20*(5), 807-820.

HOESS, R., 1993: Die aquatische Invertebratenfauna im Naturschutzgebiet Auried (Kleinbösingen, FR). – Lizentiatsarbeit, Zoologisches Institut, Abteilung Populationsökologie, Universität Bern, Schweiz. s. 105.

HORVÁTH, G., Malik P., Kriska G. et Hansruedi Wildermuth H., 2007: Ecological traps for dragonflies in a cemetery: the attraction of *Sympetrum* species (Odonata: Libellulidae) by horizontally polarizing black gravestones. *Freshwater Biology*. 9., roč. 52, č. 9, s. 1700–1709.

HÜTHER, G. 1998: Stress and the adaptive self-organization of neuronal connectivity during early childhood. International Journal of Developmental Neuroscience, 16(3), 297-306.

HYRŠL, P., 2018a: Imunita hmyzu a dalších bezobratlých živočichů 1. *ŽIVA*. Nakladatelství Academia, 2018(1.), 32-34.

HYRŠL, P., 2018b: Imunita hmyzu a dalších bezobratlých živočichů 1. *ŽIVA*. Nakladatelství Academia, 2018(1.), 32-34.

CHROUSOS, G. P. 2009: Stress and disorders of the stress system. Nature Reviews Endocrinology, 5(7), 374-381.

JAKOB, C. et SÜHLING, F. 1999: Risky times? Mortality during emergence in two species of dragonflies (Odonata: Gomphidae, Libellulidae). Aquatic Insects 21: 1–10.

JAKOB, M., Porter H. et Uetz W., 2001: Site fidelity and the costs of movement among territories: an example from colonial web-building spiders. *Canadian Journal of Zoology*. s. 2094–2100.

JÖDICKE, R., 1991: Herbstphänologie mitteleuropäischer Odonaten. 1. Beobachtungen in Oberbayern, Bundesrepublik Deutschland. – Opusc. Zool. Flumin., 62: 1. – 11

JOHANSSON, F. et ROWE, L., 1999: Life history theory and behavioral responses to time constraints in a damselfly. Ecology 80, 1242–1252.

JOHANSSON, F., Stoks, R., Rowe, L., et De Block, M., 2001: Life history plasticity in a damselfl y: effects of combined time and biotic constraints. Ecology 82, 1857–1869.

JURZITZA, G., 1988: Welche Libelle ist das? Franckh, Stuttgart, s. 191.

KALKMAN V. J., Boudot J.–P., Bernard R., Conze K.–J., Knijf G., Dyatlova E., Ferreira S., Jović M., Ott J., Riservato E., Sahlen G., 2010:. European Red List of Dragonflies. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 38 p.

KANOST R., et GORMAN J., (C. AGUILAR), 2008: Dragonflies and Damselflies: Phenoloxidases in Insect Immunity. New York: Oxford University Press. ISBN 978–0–19–923069–3. ISSN 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1.

KHELIFA, R., Zebsa, H. Amari a M.K. Mellal, 2013: Does Wind Affect Emergence Site Selection in Odonata?. African Entomology. 21(2), 383-387. ISSN 1021-3589. Dostupné z: doi:10.4001/003.021.0213.

KODRÍK, D. 2004: Fyziologie hmyzu. České Budějovice: Entomologický ústav Akademie věd České republiky, Biologická fakulta, Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích. 220 s.

KOFLER, A., 1972: Die Libellenfauna Osttirols (Insecta, Odonata). – Mitt. Zool. Ges. Braunau, 1: 331 – 338

KÖNIG, A., 1990: Ökologische Einnichtungsstrategien von vier Arten der Gattung Sympetrum (Anisoptera: Libellulidae). – Libellula, 9: 1 – 11

KOUDELA, K., 2003: Adaptace a stres. In: JELÍNEK, P., KOUDELA, K. et al. Fyziologie hospodářských zvířat. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. ISBN 80-7157-644-1.

KRISKA, G., Horváth, G., Andrikovics, S., 1998: Why do mayflies lay their eggs en masse on dry asphalt roads? Water-imitating polarized light reflected from asphalt attracts ephemeroptera. Journal of Experimental Biology, 201(15), 2273-2286.

LÖSING, U., 1988: Auswertung faunistisch-ökologischer Bestandsaufnahmen im NSG „Achmer Grasmoor“ und der geplanten Erweiterungsfläche im Hinblick auf Pflege und Entwicklung. Diplomarbeit, Universität-GH Paderborn, Abt., s. 163

LUTZ, P., 1974: Effects of temperature and photoperiod on larval development in *Tetragoneuria cynosura* (Odonata: Libellulidae). *Ecology*, 55, 370–377.

MACHAR, I. et POPRACH K., 2012. Nádrže na melasu v zemědělských podnicích jako ekologické pasti. *LCaŘ*. 128(11), 347-349.

MAJER, J. D., 1989: *Animals in primary succession-The role of fauna in reclaimed lands*. Cambridge University Press.

MIELEWCZYK, S., 1970: Odonata und Heteroptera aus dem Naturschutzgebiet Ptasi Raj bei Gdansk mit besonderer Berücksichtung des Brackwassersees. – Fragm. Faun., 15: 343 – 363

MÜNCHBERG, P., 1935: Zur Kenntnis der Odonatenparasiten, mit ganz besonderer Berücksichtigung der Ökologie der in Europa an Libellen schmarotzenden Wassermilbenlarven. – Arch. Hydrobiol., 29: 1 – 120

NYLIN, S. et GOTTHARD, K., 1998: Plasticity in life-history traits. Annual Review of Entomology 43, 63–83.

OTT, J., 1993: Auswirkungen des Besatzes mit Graskarpfen auf die Libellenfauna einer Kiesgrube bei Ludwigshafen. – Artenschutzreport, 3: 6 – 11

OTT, J., 2010: Dragonflies and climatic change - recent trends in Germany and Europe. *BioRisk*, 5, 253–286.

PARR, A., 1996: Dragonfly movement and migration in Britain and Ireland. – J. Br. Dragonfly Soc., 12: 33 – 50, 64

PITTMANN, S., 1996: Migrant species of Sympetrum in Norfolk, 1995. – J. Br. Dragonfly Soc., 12: 1

REHFELDT, G., 1989: The influence of male interference on female perching behaviour before and during oviposition in libellulid dragonflies (Anisoptera). – Odonatologica, 18: 365 – 372

ROFF, D.A., 2002: Life History Evolution. Sinauer Associates, Sunderland, MA.

ROLFF, J., Van de Meutter, F., et Stoks, R., 2004: Time constraints decouple age and size at maturity and physiological traits. American Naturalist 164, 559–565.

ROWE L., McCauley J., Fortin M.-J., 2011: The deadly effects of "nonlethal" predators. Ecology; 92 (11): 2043 DOI: 10.1890/11-0455.1.

SELYE, H. 1950: The physiology and pathology of exposure to stress.

SEYLE, H. 1976: Stress in Health and Disease. Butterworths, Boston.

SHETTLEWORTH, S. J., 2010: Cognition, evolution, and behavior. 2. vydani. Oxford: Oxford University Press, xiii, 700 s. ISBN 978-0-19-531984-2.

SCHEFFLER, W., 1970: Die Odonatenfauna der Waldmoore des Stechlin-See-Gebietes. – Limnologica, 7: 339 – 369

SCHLAEPFER, M. A. et al., 2002: Ecological and evolutionary traps. Trends in ecology and evolution, 17, (10), s. 474–480.

SCHMIDT, B., 1990: Faunistisch-ökologische Untersuchungen zur Libellenfauna (Odonata) der Streuwiesen im NSG Wollmatinger Ried bei Konstanz. Auswirkungen und Bedeutung der Streuwiesenmahd und Überschwemmungen auf die Libellenbesiedlung. – Naturschutzforum, 1989/90: 39 – 80

SCHMID, M. R., A. Brockmann, C. W. W. Pirk, D. W. Stanley et J. Tautz, 2008: Adult honeybees {Apis mellifera L.) abandon hemocytic, but not phenoloxidase-based immunity. Journal of Insect Physiology, 54, 439-444.

SCHMID-HEMPEL, P., 2017: Parasites and Their Social Hosts. Trends in Parasitology. 33(6), 453-462. ISSN 14714922. Dostupné z: doi:10.1016/j.pt.2017.01.003.

SIH, A., Bell, A., et Kerby, J., 2004: Two stressors are far deadlier than one. Trends in Ecology and Evolution 19, 274–276.

SIVA-JOTHY, T., MORET Y. et ROLFF J., 2005: Insect Immunity: An Evolutionary Ecology Perspective. Advances in Insect Physiology Volume 32. Elsevier, 2005, 1-48. Advances in Insect Physiology. ISBN 9780120242320. Dostupné z: doi:10.1016/S0065-2806(05)32001-7.

SNODGRASS, R. E. 1935: Principles of insect morphology. United States of America: McGraw- Hill Book Company, inc.

SOKOLOVSKA, N., Rowe, L., et Johansson, F., 2000: Fitness and body size in mature odonates. Ecological Entomology 25, 239–248.

SOLIMINI A. G., Tarallo, G. A. and Carchini, G., 1997: 'Life history and species composition of the damselfly assemblage along the urban tract of a river in central Italy', Hydrobiologia, 356(1), pp. 21–32. doi: 10.1023/A:1003123129478.

STACHOWICZ, J.J., Terwin, J.R., Whitlatch, R.B., Richard, W., Stachowiczt, J.J., Terwin, J.R., *et al.* 2002: Linking climate change and biological invasions: ocean warming facilitates nonindigenous species invasions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99, 15497–15500.

START, D., Kirk, D., Shea, D. et Gilbert, B., 2017: Cannibalism by damselflies increases with rising temperature. *Biology Letters*, 13, 20170175.

STERNBERG, K., 1989: Reversibler, temperaturabhängiger Farbwechsel bei einigen Sympetrum-Arten (Odonata, Libellulidae). – Dtsch. Ent. Z., N. F. 36: 103 – 106

STERNBERG, K. et BUCHWALD, R., 2000: Die Libellen. Eugen Ulmer, Stuttgart, s. 712. ISBN 3-8001-3514-0

STOKS, R., De Block, M., Van de Meutter, F., et Johansson,F., 2005: Predation cost of rapid growth: behavioural coupling and physiological decoupling. Journal of Animal Ecology 74, 708–715.

STOKS, R., De Block, M., et McPeek, M.A., 2006: Physiological costs of compensatory growth in a damselfly. Ecology 87, 1566–1574.

STOKS, R., F. Johansson, M. De Block a (C. Aguilar), 2008: Dragonflies and Damselflies: Insect and Vertebrate Immunity: Key Similarities versus Differences. New York: Oxford University Press. ISBN 978–0–19–923069–3. ISSN 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1.

STRAND, M., (C. Aguilar), 2008: Dragonflies and Damselflies: Insect Hemocytes and Their Role in Immunity. New York: Oxford University Press. ISBN 978–0–19–923069–3. ISSN 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1.

STROBBE, F. et STOKS, R., 2004: Life history reaction norms to time constraints in a damselfl y: differential effects on size and mass. Biological Journal of the Linnean Society 83, 187–196.

SUKOP I., 2006:. *Ekologie vodního prostředí.* Brno : Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 199 p. ISBN 80-7157-923-8.

ŠÁLEK, M., 2012: Spontaneous succession on opencast mining sites: implications for bird biodiversity. *Journal of Applied Ecology*, *49*(6), 1417-1425.

ŠKORPÍK, M., 2015: Zemědělská krajina a praktické problémy ochrany hmyzu. *ŽIVA*. 2015(4), 173-178.

THOMPSON, D.J., 1997: Lifetime reproductive success, weather, and fitness in dragonfl ies. Odonatologica 26, 89–94.

TRAPE, S., 2009: Impact of climate change on the relict tropical fish fauna of central Sahara: threat for the survival of Adrar mountains fishes, Mauritania. *Plos ONE*, 4, 1–10.

TURNER R.J., 1994: Immunology - A Comparative Approach. John Wiley and Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore.

VALLE, K., 1938: Zur Ökologie der finnischen Odonaten. – Annls Univ. Turku., (A) 6: 1 – 76

VALLE, K., 1952: Die Verbreitungsverhältnisse ostfennoskandischer Odonaten (Zur Kenntnis der Odonatenfauna Finnlands VI). – Acta Ent. Fenn., 10: 1 - 87

VOJAR J., Doležalová, J., Solský, M., Smolová, D., Kopecký, O., Kadlec, T., et Knapp, M., 2016: Spontaneous succession on spoil banks supports amphibian diversity and abundance. *Ecological Engineering*, *90*, 278-284.

WALDHAUSER M. et ČERNÝ M., 2014:. *Vážky České republiky - Příručka pro určování našich druhů a jejich larev.* Vlašim : Český svaz ochránců přírody, 184 p. ISBN 978-80-87964-00-2.

WELLBORN, G., Skelly K. et Werner E., 1996: Mechanisms Creating Community Structure Across a Freshwater Habitat Gradient. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 11., roč. 27, č. 1, s. 337–363

WERNER, E.E., 1986: Amphibian metamorphosis: growth rate, predation risk, and the optimal size at transformation. American Naturalist 128, 319–341.

8.2 Internetové zdroje

ANDĚL, P, (2003): Vyhodnocení vlivů zásad územního rozvoje Karlovarského kraje na životní prostředí, Příloha č.3 Přehled lokalit vybraných nadregionálně významných druhů rostlin a živočichů. Evernia s.r.o., [on-line shlédnuto dne 1. 3. 2023], Dostupné z:https://www.kr-karlovarsky.cz/region/uzem_plan/Stranky/dokum-kraj/up_vuc_kk.aspx

biolib.cz (c) 2019-2023: vážka obecná [[on-line shlédnuto 1. 3. 2023], Dostupné z: https://www.biolib.cz/cz/taxon/id1670/

ČSÚ ©2023a: Charakteristika okresu Karlovy Vary [on-line shlédnuto 1. 3. 2023], Dostupné z: https://www.czso.cz/csu/xk/charakteristika_okresu_karlovy_vary

ČSÚ ©2023b: Charakteristika okresu Sokolov [on-line shlédnuto 20. 2. 2023], Dostupné z: https://www.czso.cz/csu/xk/charakteristika_okresu_sokolov?fbclid=IwAR3pfR9Wvo8ouM4j9O63AqfFUHkgyA0046LBSi2jgdTj3ajIr8Yk-sY-nd4

mapy.cz, 2019a, upraveno autorkou

mapy.cz, 2019b, upraveno autorkou

8.3 Ostatní zdroje

BÁRTOVÁ K., 2023: Vliv kvality prostředí na kondici larev vážek, s. 35

BATES D, Mächler M, Bolker B, Walker S., 2015: "Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4." Journal of Statistical Software, 67(1), 1–48. doi:10.18637/jss.v067.i01.

CRAWLEY M. J, 2007: The R Book. John Wiley and Sons, Chichester.

JOSKOVÁ A., 2023: Posttěžební oblasti jako ekologické pasti pro vážky, s. 55.

ŘEŘICHA M., 2015: Vliv teploty během preimaginálního vývoje na imunitní systém dospělců hmyzu, s. 51

9 Seznam obrázků, tabulek a grafů

9.1 Seznam obrázků:

Obrázek č. 1: Satelitní mapa České republiky s červeně vyznačeným okresem Sokolov (Zdroj: mapy.cz) str. 34

Obrázek č. 2: Satelitní mapa vybrané lokality s vyznačenými deseti vodními plochami (zeleně jsou přírodní a červeně jsou rekultivovaná místa) (Zdroj: mapy.cz) str. 35

9.2 Seznam grafů:

Graf č. 1: Rozdíl mezi přírodní a rekultivovanou lokalitou podle počtu hemocytů str. 39

Graf č. 2: Rozdíl mezi přírodní a rekultivovanou lokalitou podle počtu granulocytů str. 40

Graf č. 3: Vztah mezi obsahem tuku a počtem hemocytů str. 41

Graf č. 4: Vztah mezi obsahem tuku a počtem granulocytů str. 42

Graf č. 5: Vztah mezi počtem granulocytů a atraktivitou str. 43

Graf č. 6: Vztah mezi přežitím a počtem granulocytů str. 44

10 Seznam příloh

Příloha č. 1: Fotografie vážky obecné (nahoře samec, dole pod ním je samice) (zdroj: DOLNÝ et al. 2016) str. 59

Příloha č. 2: Velikosti larev, šipkou je označena čeleď *Libellulidae*, kam patří vážka obecná (zdroj: DOLNÝ et al. 2016) str. 60

Příloha č. 3: Fotografie rekultivované lokality Medard str. 60

Příloha č. 4: Fotografie přírodní lokality Citice str. 61

Příloha č. 5: Fotografie tandemu vážky obecné z lokality Citice str. 61

Příloha č. 6: Fotografie rekultivované lokality Libocké mokřady (Autor: Adam Tetaur) str. 62

Příloha č. 7: Fotografie přírodní lokality slepého ramene Kynšperk str. 62

Příloha č. 8: Vyndávání larev a substrátu z klícky str. 63

Příloha č. 9: Larva v substrátu str. 63

Příloha č. 10: Vysoušení larev před odstřižením nožiček pro získání hemolymfy str. 64

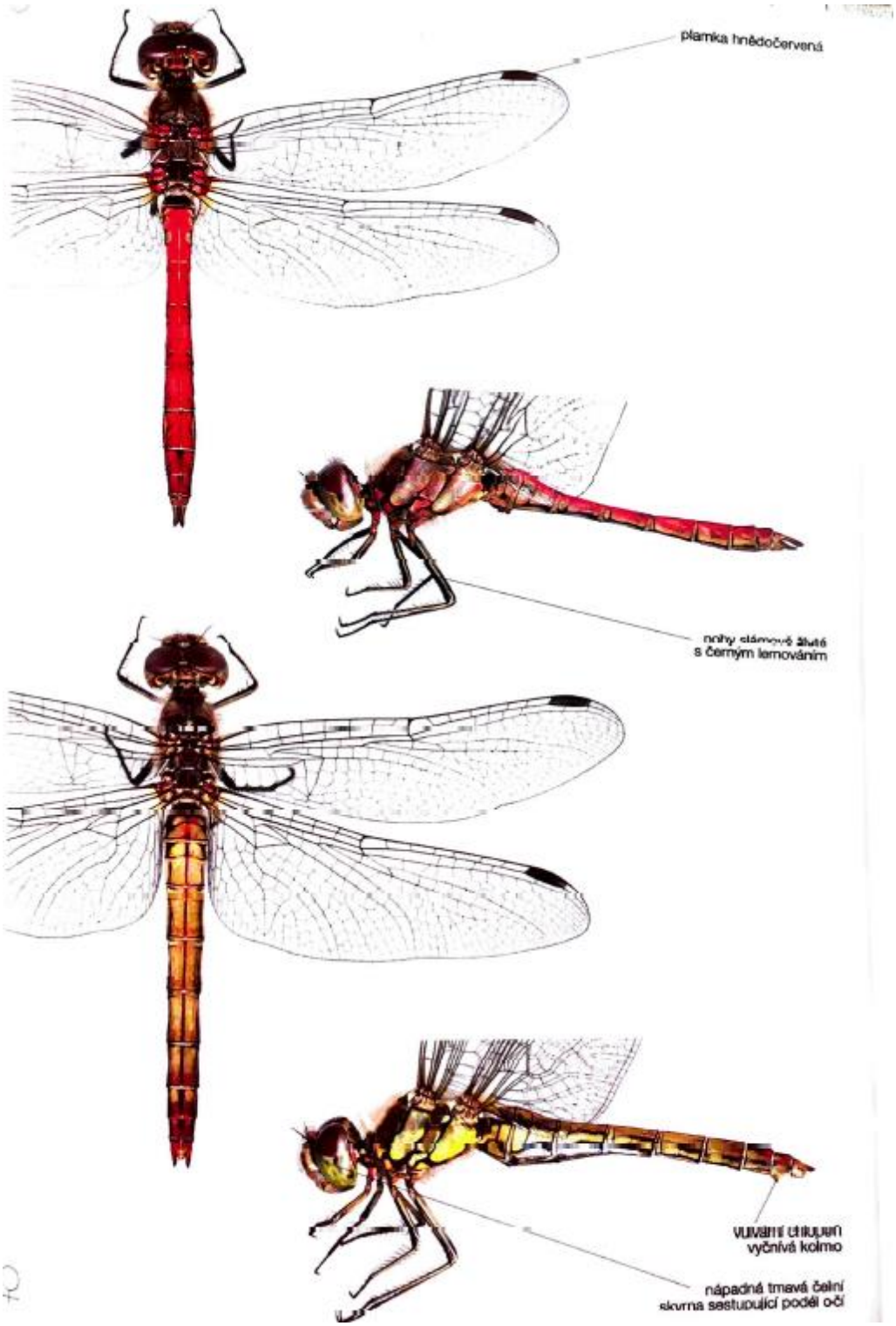
Příloha č. 11: Bürkerova komůrka s krycím sklíčkem pod které je laboratorní pipetou dáván vzorek z larvy str. 64

Příloha č. 12: Hledání granulocytů v Bürkerově komůrce pod mikroskopem str. 65

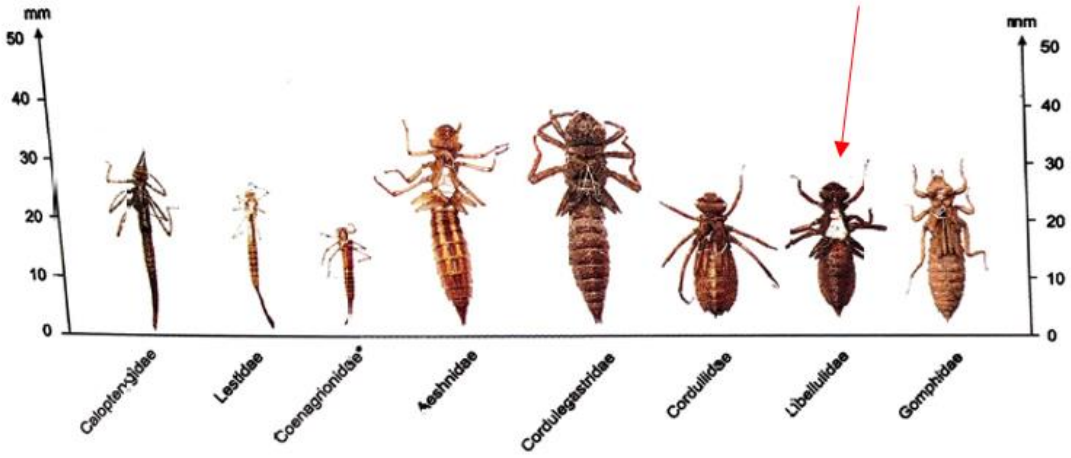
Příloha č. 13: Granulocyt pod mikroskopem (Z: 40x10) v Bürkerově komůrce str. 65

Příloha č. 14: Postup při počítání hemocytů v Bürkerově komůrce (Zdroj: ŘEŘICHA 2015) str. 66

10.1 Přílohy



Příloha č. 1: Fotografie vážky obecné (nahoře samec, dole pod ním je samice) (zdroj: DOLNÝ et al. 2016)



Příloha č. 2: Velikosti larev, šipkou je označena čeleď *Libellulidae*, kam patří vážka obecná (zdroj: DOLNÝ et al. 2016)

Příloha č. 3: Fotografie rekultivované lokality Medard

Příloha č. 4: Fotografie přírodní lokality Citice

Příloha č. 5: Fotografie tandemu vážky obecné z lokality Citice

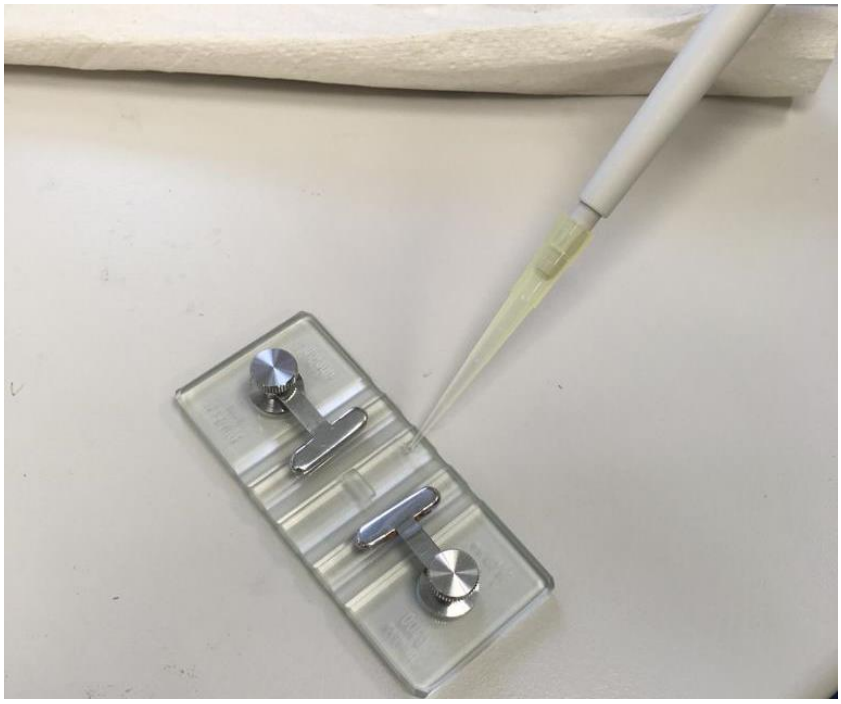
Příloha č. 6: Fotografie rekultivované lokality Libocké mokřady (Autor: Adam Tetaur)

Příloha č. 7: Fotografie přírodní lokality slepého ramene Kynšperk

Příloha č. 8: Vyndávání larev a substrátu z klícky

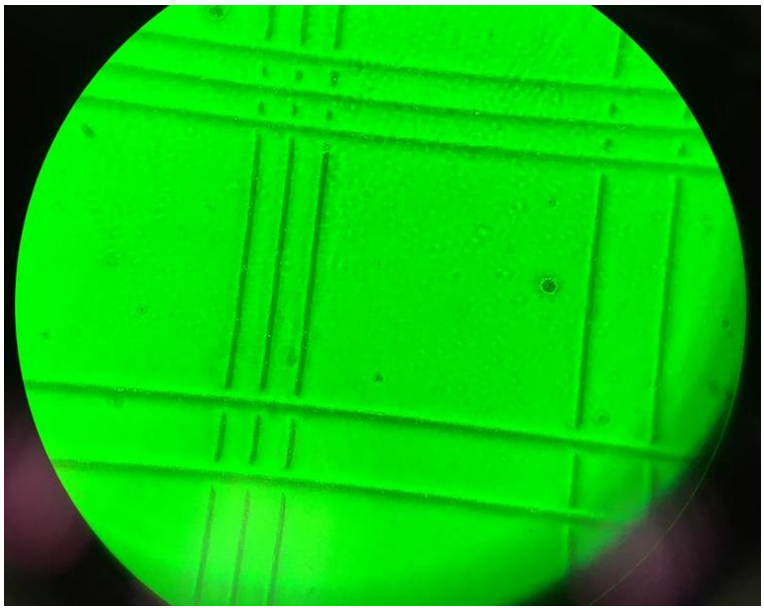
Příloha č. 9: Larva v substrátu

Příloha č. 10: Vysoušení larev před odstřižením nožiček pro získání hemolymfy

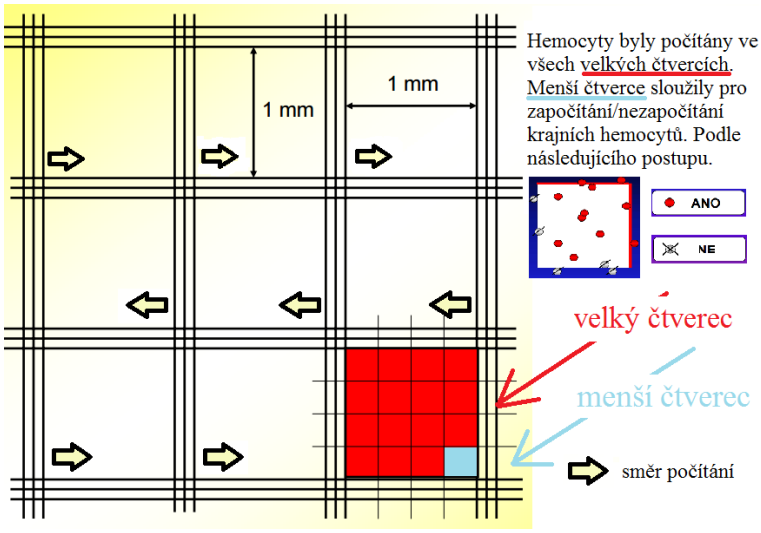


Příloha č. 11: Bürkerova komůrka s krycím sklíčkem, pod které je laboratorní pipetou dáván vzorek z larvy

Příloha č. 12: Hledání granulocytů v Bürkerově komůrce pod mikroskopem



Příloha č. 13: Granulocyt pod mikroskopem (Z: 40x10) v Bürkerově komůrce



Příloha č. 14: Postup při počítání hemocytů v Bürkerově komůrce (Zdroj: ŘEŘICHA 2015)