



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Pedagogická fakulta
Katedra biologie

Diplomová práce

Zbarvení těla u potápníkovitých brouků: variabilita a možné funkce

Vypracovala: Monika Hokrová
Vedoucí práce: doc. Ing. MgA. David Boukal, Ph.D.

České Budějovice 2013

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce fakultou, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Monika Hokrová

V Českých Budějovicích dne

.....

Podpis studenta

Poděkování

Velice děkuji mému školiteli doc. Ing. MgA. Davidu S. Boukalovi, Ph.D., za odborné vedení a poskytnutí cenných rad, připomínek a konzultací. Děkuji také Mgr. Jiřímu Hájkovi, Ph.D., z Entomologického oddělení Národního muzea za zapůjčení potápníků. Dále děkuji Mgr. Petru Klimešovi, Ph.D., a RNDr. Jiřímu Nedomovi, CSc., za proškolení a pomoc s prací s počítačovými programy potřebnými ke zhotovení a analýze fotografií.

Mé vřelé dík patří rodičům (tatínkovi in memoriam) za neskonalou podporu při tvoření diplomové práce, jakož i při celém studiu. Též děkuju celé rodině za jejich morální podporu a ochotu kdykoliv pomoci.

Abstrakt

Hokrová M., 2014: Zbarvení těla u potápníkovitých brouků: variabilita a možné funkce. Diplomová práce. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta, 41 s.

Úkolem práce bylo vytvořit fotografickou databázi vybraných druhů potápníků (Coleoptera: Dytiscidae) a pomocí analýzy obrazu charakterizovat množství a velikost skvrn. Analyzováno bylo celkem 52 různých druhů potápníků zařazených do 4 skupin. Skupiny byly vytvořeny na základě ekologické charakteristiky jednotlivých potápníků dle Katalogu vodních brouků České republiky. Výsledky této práce potvrdily tvrzení, že zbarvení dospělých potápníků souvisí s habitatovými preferencemi v přírodě.

Abstract

Hokrová M., 2014: Color of the body by Dytiscidae: variability and possible function. Diploma thesis. České Budějovice: The University of South Bohemia, České Budějovice, Faculty of Education, 41 pp.

The aim of this thesis was to establish a photographic database of selected species of diving beetles (Coleoptera: Dytiscidae) and use image analysis to characterize the number and extent of colour spots. Altogether 52 species were analyzed. They were classified into four groups based on their environmental characteristics provided in the Catalogue of water beetles of Czech Republic. The results confirmed the hypothesis that the colour of adult diving beetles is correlated to their habitat preferences.

Obsah:

1 Úvod.....	1
2 Literární přehled.....	2
2.1 Povrch těla živočichů	2
2.2 Zbarvení hmyzu	2
2.3 Mimikry.....	3
2.3.1 Původ a význam slova mimikry	5
2.3.2 Mimikry a mimetismus v biologii.....	6
2.3.3 Dělení mimetických jevů dle viditelnosti	6
2.3.3.1 Kryptická zbarvení	7
2.3.3.2 Sémantická zbarvení	8
2.3.3.2 Epigamní zbarvení	10
2.3.4. Základní typy mimetických jevů.....	10
2.3.4.1 Batesovská mimese	10
2.3.4.2 Müllerovská mimese	11
2.3.4.3 Mertensovská mimese.....	11
2.3.4.4 Agresivní (Peckhamovská) mimese.....	12
2.3.5 Mimese dle modelu	12
2.3.6 Mimetické zvláštnosti	14
2.4 Vodní hmyz.....	14
2.4.1 Čeleď Dytiscidae.....	16
3 Metodika práce.....	19
3.1 Sběr dat.....	19
3.2 Zpracování dat.....	22
4 Výsledky	24
4.1. Základní popis hlavních typů zbarvení našich potápníků	24
4.2. Příklady zbarvení potápníků dle ekologických skupin	26
4.3. Kvantitativní analýza velikosti a zbarvení	29
5 Diskuze.....	35

6 Závěr	37
Seznam literatury	38

1 Úvod

Ve vodním prostředí existuje rozmanitý život včetně mnoha bezobratlých a hmyzu. Jednotlivé druhy jsou mezi sebou propojeny vzájemnými vztahy: jedinci si mohou konkurovat o potravu a prostředí k vývoji, případně mohou sloužit jako potrava ostatních (Begon, Harper, Townsend, 2010). Zejména v malých vodních nádržích mohou někteří zástupci vodního hmyzu patřit mezi významné vrcholové predátory a zároveň mohou být zdrojem potravy pro další živočichy, např. různé obratlovce.

Jednotlivé druhy jsou obvykle různými způsoby adaptovány na svou niku, kterou ve vodním prostředí zaujímají. Může to být chování, způsob života, výběr konkrétního stanoviště nebo zbarvení těla. U hmyzu a mnohobuněčných organismů obecně je zbarvení jedna z prvních charakteristik, které se při popisu druhu uvádí. Všimneme si jí jako z jedné z prvních vlastností zvířat a jevů vůbec. Organismům pomáhá splynout s pozadím nebo naopak varovat před svou jedovatostí v případě, že se chtějí vyhnout přímému střetu s predátorem. Preferenci určitých druhů zvířat k určitým typům stanoviště se také zabývá mnoho prací a někdy je užívána i zařazení jednotlivých druhů do kategorií.

Mým cílem bylo zjistit souvislost mezi zbarvením potápníkovitých brouků (Coleoptera: Dytiscidae) a jejich ekologickou charakteristikou danou typickým stanovištěm daného druhu. Předchozí studie ukázala, že alespoň někteří potápníci si vybírají prostředí, ve kterém jim jejich zbarvení umožňuje dobře splynout s okolím (Nyklíčková, 2009). Zatímco světlé druhy preferují světlý podklad, tmavé druhy dávají přednost tmavému prostředí. Dosud ale chybělo komplexní zhodnocení variability zbarvení u potápníkovitých brouků, které by umožnilo jednotlivé druhy exaktně charakterizovat. Úkolem této práce proto je vytvořit fotografickou dokumentaci vzhledu dospělců vybraných druhů potápníků vyskytujících se v České republice a pomocí počítačové analýzy obrazu následně určit, jaká je variabilita zbarvení jejich těla: charakterizovat množství a velikost skvrn, případně další jednoduché geometrické charakteristiky. Tyto výsledky umožní vyvodit, zda zbarvení souvisí s habitatovými preferencemi v přírodě a nakolik se může jednat o mimikry a další příbuzné jevy.

2 Literární přehled

2.1 Povrch těla živočichů

Povrch těla živočichů plní především ochrannou funkci a je též místem styku organismu s okolním prostředím. Mimo to umožňuje plnit ještě další funkce jako vylučovací a ochlazovací funkci (pot), dýchací, opornou, termoregulační či například i ochrannou funkci (žahavé buňky). Vnější vzhled je v přírodě kupříkladu důležitým prvkem při získávání partnera (vypovídá o fyzickém zdraví), dává informaci okolí o vnitřním rozpoložení jedince a dokonce umožňuje stát se téměř neviditelným (uniknutí dravci) nebo naopak nápadným a tímto varovat predátora před vlastní jedovatostí či nepoživatelností (Campbell, 2006).

Mezi jednotlivými skupinami obratlovců jsou v pokryvu těla značné rozdíly. Povrch můžeme charakterizovat např. jeho zbarvením, přítomností výrůstků (trny apod.), typem povrchu (peří, srst, šupiny, krunýř atd.) a tuhostí (kutikula). V této práci se zaměřuji na zbarvení a jeho základní funkce u potápníkovitých brouků. Následující části jsou proto věnovány především zbarvení a mimetismu u hmyzu a základním charakteristikám potápníkovitých brouků

2.2 Zbarvení hmyzu

Jak již bylo zmíněno, vnější vzhled jedince je důležitý pro jeho úspěšné přežití. Kromě tvaru těla je klíčové pro optický vjem i barevnost a její uspořádání. V případě hmyzu se vyskytují dva typy zbarvení, pigmentózní a strukturální, které jsou zpravidla kombinovány.

Pigmentózní typ zbarvení je způsoben chemickými látkami, jako jsou biochromy, tedy mikroskopické pigmenty. Dle typu biochromu jsou některé barvy buď absorbovány či odraženy. Hnědé až černé zbarvení je určeno melaninem. Pteriny jsou pak zodpovědné za bílé, žluté a červené zbarvení. A například flavony (vyskytující se v rostlinách) způsobují u některých druhů hmyzu slonovinové, tmavožluté, hnědé,

oranžové a dokonce i zelené zbarvení (Krizek, 2011). Kombinací vlnových délek světla, jež jsou odráženy pigmentem, je poté dána výsledná barva (Veselá, 2007).

Strukturální nebo také fyzikální zbarvení vzniká interakcí světla s velmi jemnými lamelami onestejném lomovém indexu (Krizek, 2011). Svému nositeli pak propůjčuje perleťové až kovové vzezření, které nezřídka určilo i jméno samotného nositele tohoto typu zbarvení. Příkladem budiž zlatohlávek zlatý (*Cetonia aurata*), jehož kovové zbarvení je dáno odrazem levotočivého kruhově polarizovaného světla od krovek. Pohledem na brouka přes kruhově polarizační filtr propouštějící jen pravotočivě polarizované světlo se bude jeho povrch jevit jako bezbarvý (Häusler, 2013).

2.3 Mimikry

V úvodu je důležité podotknout následující. Někteří autoři rozlišují mimikry a mimese. Mimikry užívají ve spojení s napodobením jednoho organismu jiným živým organismem, je zde tedy přítomen živoucí model. Mimese poté znázorňuje imitaci objektu jako například suchého listu, květu, výkalu apod.

Jak uvádí Komárek (2004), doposud nikdo komplexně nezpracoval dějiny výzkumu na poli mimetických jevů. Co se týče publikací, v nich je nejčastěji zmiňován subsaharský motýl *Papilio dardanus*. O mimetických jevech byla napsána celá řada publikací (přes 3000 publikovaných prací). Problémem je zde ne vždy jednotná terminologie, která bývá mnohdy velmi komplikovaná. Mimetické jevy se vyskytují v obecné rovině u všech skupin organismů včetně člověka. V prehistorickém období lidské civilizace nalezneme kořeny paradivadelních systémů, kdy byla mimese (nápodoba) využívána v rituálu paleolitického lovce, neolitického zemědělce či rodového léčitele-šamana (Silvestrová, 2008). Zde se jedná o napodobování v rovině chování. Dále existuje mimese akustická, hmatová či olfaktorická. Wasmannovská mimese je název pro dotykovou a olfaktorickou mimezi. Hmatovou mimezi pak využívají např. myrmekoidní druhy členovců, kteří žijí uvnitř mravenišť společně se slepými druhy mravenců (Komárek, 2004). Optické jevy jsou však člověku nejbližší, a proto je jim věnováno i nejvíce pozornosti. Nejen člověk se umí přetvářet a vytvářet

různé atrapy a napodobeniny. Velmi rafinované jsou mimeze ve světě vědy, umění a politiky.

Následující text je věnován etymologii mimiker (viz část 2.3.1), podrobněji se zabývá mimetismem v biologii (viz část 2.3.2). Dělení mimetických jevů dle viditelnosti se zabývá část 2.3.3 a o základních typech mimetických jevů lze dočíst v kapitole 2.3.4. Není zde opomenuta ani mimeze dle modelu (viz část 2.3.5) a poslední část číslo 2.3.6 pojednává o mimetických zvláštích.

Pro optický mimetismus platí určitá základní pravidla, z nichž většinu ustanovil Wallace ke konci 19. století. Patří mezi ně například výskyt obou druhů, napodobovaného i napodobujícího, na stejné lokalitě. Dále to je fakt, že mimetik je méně obranyschopný a nápadně se odlišuje od svých nemimetických příbuzných. Dalším pravidlem je to, že mimetiků je méně než modelů. A konečně mimetismus se týká jen napodobení vnějších znaků a nevyužívá skryté znaky (Bogusch, 2008). Podobnost je naopak vykládána jako náhodná v případě, že nepřináší ani jedné straně prospěch. Pro napodobovaný a napodobující druh znamenají mimikry ochranu před predátory (více např. část 2.3.4.2).

Vnímání a pochopení mimetismu představuje odedávna problém. Například Andrew Murray (1860) hodnotil podobnosti v živé přírodě teisticky. Entomolog Murray patřil mezi přední antidarwinisty a uvažoval o podobnostech jako o jevu zapříčiněném jedním faktorem. Tím faktorem měl na mysli jakýsi božský zákon vzájemné přitažlivosti. Tato přitažlivost poté způsobí onu podobu. Podobně ve své době vysvětlovalo mimetismus více Darwinových odpůrců (například vévoda z Argylu, L. Berg) a spolu s myšlenkou jakéhosi Božího záměru patří jejich myšlení do oblasti přírodní teologie (Komárek, 2004). Z hlediska švýcarského biologa, geologa a lékaře Louise Agassize byla mimeze například jakýmsi pozůstatkem svého předchozího vzhledu. Tedy například pestřenka, která patří do řádu dvoukřídlých (Diptera), původně patřila mezi vosy (Hymenoptera). V průběhu času se sice přesunula do řádu dvoukřídlých, ale svůj vzhled vosy si nadále udržela (Komárek, 2004).

Mimeze ve všech svých podobách je však daleko mnohotvárnější a těžko jej vměstnáme do jednoduchých pouček. Přesto byla Wallaceho pravidlasvého času hojně citována v celé řadě prací, i když s určitými výhradami a často lze najít mnoho protipříkladů. Pro ilustraci stačí jen poznamenat, že je věcí definice, co bude mimezí

nazváno a co ne. A i za všech okolností hojnější výskyt modelů oproti mimetiků nemusí být podmínkou zcela nutnou, zejména pak při jejich výrazné nechutnosti či toxicitě (Komárek, 2004).

2.3.1 Původ a význam slova mimikry

Poprvé užili pojem mimikry (anglicky *mimicry*) Kirby a Spence v roce 1817 v jednom ze svazků díla *Introduction to Entomology* (1815-1826) pro připodobňování hmyzu k částem rostlin. Stalo se tak v souvislosti s překvapující podobností strašilky (Phasmatodea) rodu *Phasmia* se suchou větví. Dnešního významu však slovo mimikry nabylo až o 45 let později tedy roku 1862. Stalo se tak díky Batesově práci, která pojednávala o motýlech Amazonie. Dnes obvyklý rámeček dal Bates pojmu mimikry spojením s Darwinovým učením o přírodním výběru, které vysvětluje 'napodobení', např. jedovatých druhů nejedovatými, selekčním tlakem predátorů. V dnešní době je teorie mimetismu úzce spjata také s aposematismem (viz dále), t.j. „výstražným“ zbarvením (Komárek, 2004). Některé původní představy autorů Kirbyho a Spencera (1815-1826) o mimetismu se tak mezitím ukázaly jako nesprávné a z dnešního pohledu až úsměvné. Domnívali se například, že velké a hrůzu nahánějící mandibuly některých brouků (*Lucanus cervus*) či temné a odpudivé zbarvení dalších brouků (*Carabus*), slouží jako jakési „mimikry proti dětem“, kterým takto mají nahnat strach (Komárek, 2004).

Slovo mimese vzniklo odvozením z řeckých slov *mimesis*, *mimeisthai* (znázornění, napodobení). Odkazy na původní význam těchto pojmů lze nalézt např. v pracích antických filosofů Platóna a Aristotelaze Stageiry. V dílech jako *Ión*, *Ústava* a *Poetika* mimese vyjadřuje vzájemný vztah člověka, umění a reality (Bláhová, 2007).

2.3.2 Mimikry a mimetismus v biologii

Zřejmě první zmínka o organismu, který napodobuje jiný, pochází od kronikáře ve službách Fernãoa de Magalhãese, který ve své Zprávě o první cestě kolem světa z roku 1524 zmínil hmyz napodobující list. S jevem se setkal na ostrůvku poblíž Bornea a myslel si, že se jedná o součást prazvláštního stromu (Pigafetta, 2004). Tento „list“ pak uchovával v krabici s tím, že nepotřebuje přijímat potravu. Mylné domnění, že se jedná o prapodivný list s nožičkami, trvalo přes sto let. (Komárek, 2004).

Důkazy o první nápodobě rostlin hmyzem pocházejí ze severovýchodní Číny. Vědci zde z vykopávek odhalili, že první hmyzí napodobitelé se vyskytovali již před objevením kvetoucích rostlin. *Bellinympha filicifolia* a *B. dancei* jsou dva fosilní zástupci zlatooček, nesoucích na horních křídlech kresbu. Tato kresba nápadně připomíná listy tehdejších nahosemenných rostlin (Bromová, 2011). Zástupci těchto zlatooček žili ve střední Juře, tj. před 165 miliony let.

V evoluční biologii má mimetismus dnes význam podobnosti jednoho druhu k jinému druhu či ke svému okolí s cílem ochrany neboli pasivní obrany. Podobnost se může týkat nejen vzhledu, ale i chování, zvuku a pachu. Imituje se tudíž vnímaná vlastnost. Tato paralela není zapříčiněna příbuzností či nezávislým přizpůsobením se podobným životním podmínkám, tedy konvergentním vývojem. Její původ lze nalézt v selekčním tlaku ze strany predátorů (Grim, 2011).

2.3.3 Dělení mimetických jevů dle viditelnosti

Zbarvení živočichů lze rozdělit dle několika hledisek. První z nich je dle hlediska nápadnosti, respektive nenápadnosti. Proto můžeme zbarvení rozlišit na kryptické (nenápadné), sémantické (nápadné) a epigamní (kombinace obou možností). Jejich detailním popisem se zabývá následující část literární rešerše.

2.3.3.1 Kryptická zbarvení

Kryptické zbarvení (z řeckého *kryptos* – skrytý) neboli krycí zbarvení, někdy též kamufláž, má za úkol napodobujícího živočicha (dále mimetika) učinit vůči dravcům nenápadným tím, že splyne s okolím (Komárek, 2004). Živočich se tak stává nepostřehnutelným pro opticky se orientujícího pozorovatele. Takto chápe krypsi např. Wallace (1867) a užívá pro ni termín *concealing colouration*. Nejvíce příkladů kryptického zbarvení nalezneme u hmyzu. Všeobecně známy jsou tímto již zmiňované strašilky či housenky píďalek (Larentiinae), ty napodobují své okolí nejen vzhledem. Snaží se být nezpozorován i svým chováním. Pohyby například napodobují houpačící se větevku, píďalky dokonce po dopadu na zem na určitou dobu znehybní, aby vizáž suché větevky byla co nejvíce dokonalá.

Britský evoluční biolog E. B. Poulton, mimo jiné tvůrce termínu aposematismus, v knize *Colours of Animals* dělí kryptické zbarvení na tři typy: prokryptické, antikryptické a allokryptické (Poulton, 1890). Prokryptické zbarvení využívá kořist pro únik před predátorem. Antikrypse se vyskytuje naopak u predátora, aby nebyl viděn kořistí a ta mu nemohla uniknout. Posledním typem je allokrypse (z řeckého slova *allos* – jiný) představující maskování cizím předmětem, jev dobře známý u larev chrostíků (Trichoptera). Pro úplnost je třeba neopomenout kolektivní krypsi, která souvisí se zbarvením nepřímě. Například jedinci křísů z čeledi Flattidae utvoří kruhový obrazec na kmeni stromu nebo dokonce napodobí svými tělíčky i celé květenství rostlin *Ityraea gregoryi* či housenky přástevníka *Tyria jacobaeae* (Bogusch, 2008).

U rovnokřídlého hmyzu mohou jít kryptické adaptace až do extrémních detailů (tzv. hypertelie, pojem zavedený entomologem B. von Wattenwylem). Tento pojem objasňuje Komárek (2004): „Trochu potíží tu dělá pojem Brunnera von Wattenwyla hypertelie pro excesivní kypse, které do posledních detailů napodobují třeba rozmanitě ožrané listy s minami (chodbičkovitými útvary), výtrusy hub a spoustou dalších detailů, čímž zjevně přestřelují nutnou míru zamaskování. Většina ostatních kryptiků je dobře živa jen s krypsí „hrubou“. Protože však ze selekcionistického hlediska nic takového „přes nutnou míru“ přetaženo být nemůže, bývá zvykem nad celým problémem krčit rameny.“ Z pohledu klasické evoluční teorie to znamená, že ještě zřejmě neznáme všechny důvody, proč takto detailní kypse vzniká nebo proč je evolučně výhodná.

2.3.3.2 Sémantická zbarvení

Sémantické zbarvení (z řeckého *sémeion* – znamení, znak) označuje druhou kategorii mimetických jevů: „znápadňující“, zviditelňující zbarvení či povrchové struktury. Organismus, kterého řadíme mezi sémantické typy, se snaží na sebe upozornit a být viditelný už z dálky (Komárek, 2004). K tomu jsou využívány pestré barvy a jejich vzájemná kombinace, barvy k sobě kontrastní a kromě barev i některé tělní útvary. Velice časté je zbarvení černé v kombinaci se žlutou či červenou. Jako typicky aposematické je pak označována nejčastěji kombinace červená, oranžová, žlutá a zřídka bílá s černou, tmavě hnědou či modrou. Nejsou však výjimečné případy kombinací tří i čtyř barev (například červená, žlutá a bílá s černou barvou). Pro opticky orientující se predátory to je jasný signál: nejíst! Tomuto se naučí minimálně po jednom ochutnání takového exempláře, který je nedobrý a predátor se raději opakovanému požívání nechutné kořisti vyhne. Zastrasování nemusí být prováděno nejen zbarvením, ale i pózou a postojem daného jedince, který se tím snaží zastrašit či alespoň znejistit případného útočníka (Komárek, 2004).

Mnohé experimenty však prokázaly, že řada predátorů se nemusí učit vyvarovat se takto zbarvené kořisti, protože vyhýbání se kořisti se sémantickým zbarvením (zejména černo-červené kombinaci) je mnohdy vrozeno. Zvláště ptáci přicházejí s touto vlastností na svět již vybaveni. Například mladým jedincům velké ptačí čeledi tyranovití (Tyrannidae) je vlastní odpor a nedůvěra vůči hadům s „korálovcovitou“ kresbou. Dále například předhození moučných červů pomalovaných černo-červenými ornamenty mladým, právě vylíhlým bažantům kuřatům vyvolá u nich obdobnou reakci. V jiných pokusech se však naivní ptáci na aposematiky zprvu vrhali a teprve následně je odmítali (Komárek, 2004).

Výstražné zbarvení označujeme slovem aposematismus. Lze jej nalézt u živočichů, kteří takto dávají najevo nepoživatelnost a (nebo) jedovatost. Podobné varovné zbarvení u poživatelných (palatabilních) živočichů někdy označuje pseudosématické (Bláhová, 2007). U palatabilních živočichů se tedy s aposematismem setkáme v případě, že klamou zbarvením své okolí. Využívají přitom právě skutečnost, že řada predátorů aposematicky zbarvené jedince nepovažuje za vhodnou kořist a rovnou se jim vyhne.

Sémantické zbarvení není zcela nahodilé. Zmínit lze například tzv. Peterichovo biochromatické pravidlo, které hovoří o kombinovatelnosti barev v přírodě. Tvrdí, že v přírodě se nikdy nevyskytují teplé barvy, jakými jsou žlutá, červená hned v návaznosti na barvy studené, kterými jsou tmavě zelená, modrá, fialová. Odděluje je vždy pruh nebo plochabarvy neutrální. Neutrální barvy jsou hnědá, bílá, černá, šedá. Někteří estéti jsou toho názoru, že Peterichovo biochromatické pravidlo patří i pro lidské výrobky, které lze považovat za vkusné (Náhlíková, 2008).

Oudemansův jev (též holotypický ornament, *Oudemans'principle* a totální kresba) pak popisuje jev, kdy nápadné zbarvení je v místech, která jsou skrytá, vystřídáno zbarvením neutrálním, nejčastěji do šeda zbarveným. Vyskytuje se u živočichů s přetržitými povrchy. Navenek působí kresba jako smysluplný grafický celek, jako celostní kresba. Navenek jsou tedy nápadně barevny jen ty části těla, které jsou opticky vnímatelné a většinou smysluplně se jeví v případě, že je to žádoucí. Jako příklad Oudemansovajevo poslouží dobře otakárek ovocný (*Iphiclides podalirius*). Jeho přední a zadní křídla jsou anatomicky i morfologicky na sobě nezávislá a v určité poloze je toto i patrné na první pohled. Při jednom konkrétním složení křídel se však kresba opticky složí do jednoho ornamentu, který plynule přechází z předního páru na zadní pár křídel. Podmínkou pro uplatnění ornamentu je tedy dědičně fixované chování. S Oudemansovým jevem se setkáme zejména u motýlů, ale i u žab, ptáků a plazů. Tento fenomén na vědeckém poli vyvolává stále diskuse a někteří autoři dokonce zpochybňují, že lze tento jev vysvětlit pomocí teorie přírodního výběru (Komárek, 2004).

Nakonec lze uvést episematické zbarvení jako typ sémantického zbarvení, které funguje v rámci vlastního druhu k rozeznávání jedinců. Britský přírodopisec, badatel, geograf, antropolog a biolog Alfred Russel Wallace ustanovil ve své práci z roku 1878 kategorii takzvaných typických zbarvení (*typical colouration*). Tato zvláštní kategorie zahrnuje optické, olfaktorické, zvukové a jiné jevy, které slouží k vnitrodruhové komunikaci a vzájemnému rozeznávání druhů žijících ne-li sociálně, tak alespoň ne zcela osaměle (Komárek, 2004). Příkladem může být racek západní (*Larus occidentalis*) se žlutým zobákem s červenou skvrnou.

2.3.3.2 Epigamní zbarvení

Kombinace sémantického a kryptického zbarvení v rámci jednoho druhu vytváří tzv. epigamní zbarvení. Charakteristické je pro druhy s výrazně odlišným zbarvením u jedinců opačného pohlaví. Samci jsou obvykle zbarveni nápadně a jsou vybaveni tzv. luxusními orgány. Samice, jakožto pečovatelky o potomstvo a s nimi i jejich mláďata, nesou zbarvení kryptické (Biomach, 2013). V případě, kdy se o potomstvo stará samec, je toto zbarvení obráceno (samice zbarvena nápadně, samec krypticky, např. lyskonoh ploskozobý- *Phalaropus fulicarius*(čeled'slukovití- *Scolopacidae*)). Názory na původ tohoto jevu, jak popisuje Komárek (2004), se již historicky lišily. Například britský přírodovědec a zakladatel evoluční biologie Charles Robert Darwin viděl nenápadné zbarvení jako archaické a vývojově původnější. Odvozenější (a tedy jaksi „pokročilejší“) zbarvení je dle jeho názoru výrazné a kontrastní. Je zde patrna jeho svérázná myšlenka o cestě od nevzhledného ke krásnému. Naproti tomu již zmíněný Darwinův současník Wallace chápal věc tak, že kryptické zbarvení samic bylo vynuceno přírodním výběrem.

2.3.4. Základní typy mimetických jevů

2.3.4.1 Batesovská mimese

Jako první se vážněji zabýval mimikry u zvířat Henry Walter Bates, anglický přírodovědec a objevitel. Jeho jméno je spojeno s batesiánskými mimikry (Batesovo a někdy též batesovské mimikry; 1862). Batesovo mimikry jsou užívány v případě napodobení nebezpečné (jedovaté i nejedlé) formy zbarvení neškodným druhem. Z tohoto důvodu bývají Batesovská mimese přezdívány i „beránek v rouše vlčím“ (Virtuální skripta, 2013). Mimetik tedy přijímá výstražné znaky vzoru. S batesovskými mimikry se lze setkat zejména u hmyzu. Například zástupci much z čeledi pestřenkovitých (Syrphidae) se nápadně podobají jiným zástupcům hmyzu, zejména dravým vosám, čmelákům, včelám a též bodavým mouchám, ač sami nepředstavují žádné nebezpečí (Komárek, 2004).

2.3.4.2 Müllerovská mimese

Podle německého biologa Johanna Friedricha Theodora Müllera byl pojmenován druhý typ: mülleriánské (müllerovské) mimikry. Jedná se o snahu několika nepříbuzných druhů nevhodné kořisti vzájemně se podobat (Komárek, 2004). Jinými slovy jeden nebezpečný druh napodobuje jiný nebezpečný a tím pádem dva nebo více jedovatých druhů sdílí stejné zbarvení či barevný vzor. Müllerovská mimese se vyskytuje zejména u hmyzu (Biomach, 2013). Predátor má tak usnadněné rozlišování, musí se učit méně výstražných vzorů, čímž udělá i méně chyb. Mimetici se tím vzájemně chrání. V tomto případě se stěží určuje vzor a mimetik a mluví se spíše o tzv. müllerovském komplexu (Komárek, 2004). Müllerovské mimikry využívají například motýli rodu *Heliconius*, motýli monarcha stěhovavý *Danaus plexippus* a bělopásek *Limnitis archippus*. Na principu Müllerovských mimiker jsou chráneni i včely, vosy, sršně mají obdobné žlutočerné pruhy.

2.3.4.3 Mertensovská mimese

Batesovské mimikry a müllerovské mimikry patří mezi teorické koncepty pocházející již z první poloviny 19. století. Během posledních desetiletí bylo započato mnoho experimentů, jež umožnily odhalit daleko větší složitost mimetických vztahů. Například quasi-batesovské mimikry, či batesovsko-mülleriánské kontinuum popisuje případ napodobení různě velkého komplexu druhů s různou mírou nevhodnosti pro predátora (Center of Cognitive Ethology, 2013). Více nevýhodné pak tedy chrání méně nevýhodné druhy. Příkladem lze uvést středně jedovatého korálovcovitého hada (např. rod *Lampropeltis*), jež je napodobován méně jedovatými (např. rod *Simophis*), nýbrž i jedovatějšími (např. rod *Micrurus*). Je znám i poměrně úzký okruh barev a vzorů, které hlásají nevhodnost potravy (zejména červená, černá, žlutá). I na tomto podkladě byl vytvořen koncept tzv. Mimicry rings, neboli seskupení druhů navzájem si silně podobných (Center of Cognitive Ethology, 2013). V jejich rámci mohou fungovat základní principy jak Müllerovských, tak Batesovských mimiker.

2.3.4.4 Agresivní (Peckhamovská) mimese

Peckhamovské (agresivní) mimikry jsou z lidského hlediska poněkud zákeřným typem mimese. Zde se jedná o jev, kdy predátor (či též parazit) napodobuje svou kořist (hostitele), aby mohl ve vhodné chvíli zaútočit (parazitovat). Nejjasněji je toto vidět u hnízdního parazitismu kukačky obecné (*Cuculus canorus*). Nakladené vajíčko je podobné svým zbarvením vajíčkům hostitele. Zde však viditelně funguje síto přírodního výběru: snůšce, která je podobná snůšce pěstounské, je umožněno přežít (Komárek, 2004).

Dalším jasným příkladem je napodobování mravenců (myrmekoidie). Paraziti či predátoři z řad hmyzu žijících v mraveništi nebo v jejich blízkosti napodobují mravence (Biomach, 2013). Jedná se např. o plošnice druhu *Himacerus mirmicoides* a jejich nymfy, nymfy kobylek, brouky, nebo pavouky rodu *Heliophanus*. Jako příklad klasického predátora s Peckhamovskými mimikry může posloužit bornejský pavouk *Ornithoscatoides decipiens*, který svým tělem a pomocí slabého povlaku pavučin napodobuje ptačí výkal na listu. Tímto láká mouchy a motýly, kteří následně uvíznou na lepkavém povrchu pavučiny a stanou se tak kořistí pavouka.

Tento typ mimese je pojmenován po americké entomoložce pracovníci muzea Elizabeth Marii Gifford Peckham. Jak uvádí Komárek (2004), agresivní mimese se věnoval i Alfred Russel Wallace v 80. letech 19. století. Vyčlenil je z kryptického zbarvení jako samostatnou kategorii až extrémní případ jako lákající zbarvení („*alluring colouration*“).

2.3.5 Mimese dle modelu

Mimetiky lze také dělit podle předlohy vzoru, respektive modelu, který napodobují (Biomach, 2013). Všeobecně je uznáváno dělení na fytomimetiky, zoomimetiky a allomimetiky. S tím, co bylo řečeno výše, by někteří autoři za mimikry označili zoomimese a za mimetismus pak fytomimese a allomimese.

Fytomimese je napodobování rostlin a jejich částí (z řeckého *fytón* – rostlina). Vzorem jsou rostliny, na kterých se imitátor vyskytuje nejčastěji. Příkladem budiž již

zmiňované a notoricky známé strašilky (Phasmatodea) a dále v České republice se vyskytující ploštice (Heteroptera) z řádu polokřídli (Hemiptera), kněžice trávozelená (*Palomena prasina*), jejím hojným výskytem je oblast teplého Středomoří.

Imituje-li mimetik živočicha a vybrané úseky jeho těla, jedná se o zoomomesi. Tvarová a barevné falzifikace celého těla se vyskytuje poměrně méně často. Na tomto místě si připomeňme myrmekoidie (viz část 2.3.4.4). Lze uvést i nesytku sršňovou (*Sesia apiformis*). Tento neškodný motýl z čeledi nesytkovití (Sesiidae), jak napovídá české druhové jméno, připomíná svým tvarem a zbarvením sršeň obecnou (*Vespa crabro*). Původně však nesytky nesla české druhové jméno včelová, jež bylo odvozeno z jejího latinského pojmenování (Zahradník, 2007).

Častěji se setkáme s méně či více zdařilou kopií určité části zvířecího těla (tzv. parciální mimese). Není-li napodobován celý živočich, ale jen jeho signálně významná část pro predátory zvláště podstatná jde o případ tzv. parciální mimese, které si všiml již zde několikrát zmiňovaný Poulton. Parciální mimese jsou, notoricky známe oční skvrny na jejich zadních křídlech, které zřejmě ukazují po svém odhalení drobným ptákům „upřený pseudopohled“, upomínající na nějakého jejich predátora. Pověštině se jedná o napodobení oka (v některých případech i více než jednoho páru) za účelem zmatení predátora. Příkladem poslouží mnoho motýlů (Lepidoptera) konkrétně třeba babočka paví oko (*Inachis io*) či lišaj paví oko (*Smerinthus ocellatus*), samci pávkorunkatého (*Pavo cristatus*) a paryba (Chondrichthyes) ze západního Pacifiku žralůček okatý (*Hemiscyllium ocellatum*). Parciální miméze přecházejí plynule k atrápám, např. k falešným hlavám některých motýlů (rod *Thecla*) a ryb (např. *Cichlasoma festivum*) (Dvořák & Bogusch, 2005).

Naposledy zbývá zmínit allomimetismus, což je napodobování neživého předmětu. Jako klasický příklad lze zmínit sukulentynapodobující kameny, tzv. živé a kvetoucí kameny (*Lithops*). Tyto rostliny z jihu Afriky si lze velmi snadno splést s oblázky. Skutečně propracované allomimetické maskování má mnoho žab (Anura) např. mramorovaná pokožka ropuchy obecné (*Bufo bufo*), plazů (Reptilia) pro příklad chřestýš západní (*Crotalus atrox*) splývající s kamenitým podkladem a ryb (Osteichthyes) např. pakambala velká (*Scophthalmus maximus*) napodobující písčité dno.

2.3.6 Mimetické zvláštnosti

Imitátor nemusí napodobovat jen jeden druh. Napodobení dvou i více jedovatých vzorů se označuje jako mimetický polymorfismus (Virtuální skripta, 2013). Pro příklad mimetického polymorfismu budiž uveden rod *Dilophotes*, kterým se ve své práci zabývá Kámpová (2013).

Dalším antipredačním mechanismem za požití barevnosti vyskytujícím se zejména u hmyzu je jev nazvaný jako fulgurace (z lat. *fulgor* což je blesk). Výrazně zbarvená část těla se objeví náhle až při útěku (roztažení křídel a let, skok apod.) a po dosednutí je opět zrakům pozorujícího ukryta. Účelem je šokovat a překvapit predátora. Ten se buď zalekne a přestane kořist pronásledovat, nebo ji po náhlé změně barvy opět na kryptickou tedy nenápadnou již nenajde (Košťálová, 2012).

I rostlinám slouží hmyz jako model pro nápodobu. Jev zvaný jako Pouyannovská mimese či popisně "sexuální" mimese vznikla například uvstavačů rodu *Ophrys*. Jejich květy nejsou jen hmyzí atrapou, co se vzhledu týče, ale i olfaktorickou, napodobují feromony hmyzích samiček svých opylovačů (čeled' kutilkovitých, včelovitých, pískorypky apod.). Opylení probíhá tak, že samečci daného druhu se líhnou první a svými pokusy o páření s květy orchidejí narážejí hlavičkou do konců brylek, které se jim přelepí na čelo. Po zopakování tohoto pokusu u dalšího květ dochází k jeho opylení (Bellmann, 2009).

2.4 Vodní hmyz

Hmyz (Insecta) představuje druhově nejpočetnější třídu kmene členovců (Arthropoda), který je největším kmenem živočišné říše vůbec. Zhruba 80% doposud známých živočichů patří právě mezi hmyz. I přes mnohé dohady o celkovém počtu druhů, které se řádově liší, lze předpokládat, že je zjištěno a popsáno až milión druhů, přičemž další zhruba jeden milión čeká na své objevení a popsání (Zahradník, 2004). Hmyz osidluje převážně souš, do vodního prostředí přesídlily některé skupiny až druhotně. Mezi vodní hmyz jsou řazeny takové druhy, u kterých alespoň jedno

vývojové stádium žije pod vodní hladinou, případně na vodní hladině či jsou na vodní prostředí vázány po celou dobu svého života (Reichholf, 1998). Život ve vodě má pro hmyz mnohé výhody, například je napadán poměrně málo parazity ve srovnání se souší. Významný je zde však predanční tlak ryb.

Vodní hmyz obývá většinu typů sladkých vod, kde využívá téměř všech ekologických nik. Podzemní vody obývá málo druhů vodního hmyzu. Většina z nich se vyskytuje v hyporealu (což je podříční dno, hlubší vrstva dna s infiltrovanou říční vodou pod aktivním tokem až do hloubky několika metrů) (Štěrba, 1986). Žijí zde larvy jepic (Ephemeroptera), chrostíků (Trichoptera), pošvatek (Plecoptera), dvoukřídých (Diptera) i dalšího hmyzu. Co se týče pramenů, jsou na počet vodního hmyzu též chudší. I krenobionti (druhy žijící v pramenitých vodách se vyskytují pod vodou převážně v instaru larvy (např. *Culex torrentium*, *Crunoecia irrorata*, *Ptilocolepus granulatus*), z brouků pak lze v prameništích na území České republiky nalézt zejména potápníky *Hydroporus ferrugineus* a *Agabus guttatus* (Enviroexperiment, 2013). Další skupiny druhů žijí dále po proudu. Specializované reofilní druhy žijí v horských tocích, zatímco druhy tekoucích vod, jež jsou rozšířené i ve stojatých vodách s tolerancí k mírnému proudění, se vyskytují v tocích spíše nížinných.

Ve stojatých vodách dosahuje vodní hmyz největší druhové bohatosti (Rozkošný, 1980). V pelagiálu (oblast volné vody) lze nalézt larvy vodního hmyzu jen zřídka nebo je jejich výskyt časově omezen. V pelagiálu mělkých nádrží lze zastihnout větší druhy vodních brouků z čeledi Dytiscidae či vodní ploštice (např. znakoplavky rodu *Notonecta*) a larvy šídel čeledi Aeschnidae (Odonata). Mezi dnem a hladinou migrují často larvy koreter (rod *Chaoborus*). Druhově nejbohatší je litorál, kde podíl hmyzu může mít velké rozpětí, v optimálních případech přesahuje až 75% všech žijících taxonů. Z jepic jsou to ve střední Evropě hlavně druhy rodů *Caenis*, *Cloeon* a *Siphonurus*, z pošvatek *Nemoura cinerea*, z vážek zejména rody *Coenagrion*, *Lestes*, *Sympetrum*, *Libellula*, *Aeschna* a *Anax*. Je možno se zde setkat také s larvami chrostíků čeledi Limnephilidae, se střechatkami (např. *Sialis lutaria*), larvami různých pakomárů (Diptera: Chironomidae), plošticemi (např. rody *Ilyocoris* nebo *Nepa*) a četnými druhy vodních brouků čeledi Dytiscidae a Hydrophilidae. Pleustonní společenstvo zahrnuje převážně vodní ploštice (např. bruslařky *Gerris*, *Velia*, *Hydrometra*). Neuston je tvořen většinou organismy mikroskopických rozměrů. Někteří autoři do něj zařazují i larvy

přichycené na vodní blance zesponu např. larvy hmyzu *Anopheles*, *Dixella*, *Pericoma* aj. (Rozkošný, 1980).

Periodické tůně kromě druhů hmyzu s dobrými disperzními vlastnostmi obývají také bezobratlí s krátkou dobou vývoje nebo schopností přetrvat ve formě klidových stádií nebo ve vajíčkách nepříznivé období sucha, mrazu apod. Z jepic to bývají některé druhy rodu *Siphonurus* a *Cloeon*, z chrostíků některé druhy rodu *Limnephilus*. Rovněž larvy některých druhů vážek (např. rod *Libellula*) jsou schopné přečkat suché období zahrabané v substrátu dna (Hanel, 2000). Pro periodické vody jsou z hmyzu charakteristické také larvy komárů rodů *Aedes* a *Culex* (Rozkošný, 1980).

Ve slaných vodách žije vodního hmyzu ze všech povrchových vod nejméně. Jsou to především brouci (např. zástupci vodanovitých (Hydraenidae) z rodu *Ochthebius* a vodomilové z rodu *Paracymus*) a to díky jejich silně chitinizovanému tělnímu pokryvu. Jako halobiontní jsou také uváděni někteří zástupci dvoukřídlých (*Chironomus*, *Crictopus*) (Rozkošný, 1980).

Důležitou adaptací vodních bezobratlých je způsob dýchání, neboť koncentrace kyslíku rozpuštěného ve vodě je nižší než ve vzduchu. Drobné larvy (např. rod *Laccophilus*) některých skupin přijímají kyslík rozpuštěný ve vodě celým povrchem těla. Další larvy vodního hmyzu jsou vybaveny tracheálními žábry, které umožňují efektivní výměnu plynů s prostředím bez nutnosti přímého kontaktu se vzduchem (Reichholf, 1998). Tracheální žábry lze nalézt např. u vážek. Dospělci vodních brouků a ploštíc žijící ve vodě se musí v pravidelných vymořit a nabrat vzduch podobně jako larvy většiny druhů.

2.4.1 Čeleď Dytiscidae

Čeleď Dytiscidae je jednou z 18 čeledí vodních brouků žijících na našem území (Boukal et al. 2007). Český název čeledi potápníkovití i latinské označení Dytiscidae (z řec. *dytikos*) vypovídá o schopnosti jejích zástupců potápnout se, ponořit se. Celosvětově do ní patří zhruba 4000 popsáných druhů. Nemají však (jak tomu povětšinou u hmyzu bývá) své hlavní centrum rozšíření v tropech, ale v Evropě, Severní Americe a na Sibiři. Dytiscidae tak patří mezi nejpočetnější čeledi vodních brouků ve

střední Evropě. V České republice je v současné době známo 132 druhů potápníků (Boukal et al. 2007).

Většinou jsou tyto brouci uzpůsobeni životu ve vodním prostředí tvarem těla (člunkovitý tvar, dorzoventrální zploštění) a zadní pár nohou je alespoň částečně zploštělý a opatřený dlouhými plovacími brvami. Všechny naše druhy ve vodě kromě stádia kukly či v případě migrace setrvávají po celý život, v tropech je však známo několik druhů alespoň částečně suchozemských (Boukal et al. 2007). Dospělci dýchají vzdušný kyslík, který je uchovávan v prostoru mezi zadečkem a krovkami. Brouci s takovouto ne příliš objemnou zásobou kyslíku vydrží ve vodě dlouho díky fyzikální výměně mezi bublinou a kyslíkem rozpuštěným ve vodě. Imaga většiny druhů mají dobře vyvinutý druhý pár křídel a mohou se tedy poměrně rychle přemístit do jiného biotopu a kolonizovat jej (Boukal et al. 2007). Nalezneme je v kalužích, mokřadech, rašeliništích, ve stojatých prohřátých vodách i v tekoucích chladnějších bystřinách.

Na našem území převažují druhy s univoltinním (to je organismus vyvíjící se a rozmnožující se jen jednou během roku), popřípadě semivoltinním (vývoj trvá dva roky) životním cyklem (Boukal et al. 2007). Vajíčka jsou samičkami kladena do rostlinných pletiv, na povrch rostlin, kameny ve vodě či do půdy na vodním břehu. Larvální stádium poté prochází třemi instary, přičemž poslední instar se kuklí na vlhkém vodním břehu (Wesenberg-Lund, 1943).

Velikost dospělců potápníků se pohybuje v rozmezí od 1,7 mm až po 44 mm (Wesenberg-Lund, 1943). Průměrná velikost je 45 mm. Barevně nejsou příliš výrazní, převládají tmavé barvy od načernalé přes různé odstíny hnědé, tmavě olivové až po žlutou či žlutohnědou barvu. Významný je pohlavní dimorfismus. Samice některých druhů mají podélně rýhované krovky, zatímco samci hladké. Samci se zpravidla vyznačují různě prodlouženými nebo zahnutými předními drápkami a rozšířenými předními a případně také středními chodidly a přítomností přísavky nebo zvětšených chloupků na předních a někdy také na středních chodidlech, kdežto samice mají oba páry končetin bez podobných změn. Tyto modifikace slouží samcům k lepšímu uchopení samice během páření, které probíhá vždy pod vodou a samec se „veze“ na samici.

Potápníci jsou draví jako dospělci i larvy, které mají schopnost částečně natrávit potravu mimotělně (Veličková, 2013). Mají ostrá kusadla s kanálkem, kterým po

zakousnutí se do kořisti ihned vypouští trávicí enzymy a následně jimi nasávají zpět natráené tělní tekutiny oběti. Troufnou si i na kořist, která je větší než oni samotní (např. malá rybka, pulec). Dospělci jsou příležitostně i mrchožrouty (Boukal et al. 2007). V biotopu, kde nejsou ryby, jsou spolu s vážkami a dravými vodními plošticemi jedněmi z hlavních predátorů a není proto divu, že bývají přezdívaní vodními tygry (Wesenberg-Lund, 1943).

3 Metodika práce

3.1 Sběr dat

K analýze zbarvení potápníků bylo třeba jednotlivé brouky nejprve vyfotografovat. V rámci práce bylo zpracováno více než 1100 kusů potápníků, z nichž větší část bude vyhodnocena později a nebylo je proto možné zařadit do této diplomové práce. Studování jedinci byli zapůjčeni ze sbírek Entomologického oddělení Národního muzea v Praze. Ze sbírkových krabic byli vybráni náhodně a to vždy v minimálním množství 10 kusů (maximálně však 20 kusů) od každého druhu.

Pro účely této práce bylo analyzováno celkem 52 druhů potápníků, za každý druh jeden jedinec (tab. I). V tabulce jsou uvedena současná platná jména a, byly-li k dispozici, i údaje o roku sběru a současný stát, kde byli brouci odchyceni. Poslední sloupec udává zkratku místa preferovaného výskytu daného druhu.

Druhy pro analýzu byly zvoleny tak, aby byly pokryty všechny základní typy zbarvení v daných ekologických skupinách. Více druhů a jedinců nebylo možno v rámci této práce z technických důvodů zpracovat.

Tab. I. Přehled analyzovaných druhů potápníků.

Současné jméno	Rok	Stát	EK
<i>Acilius sulcatus</i> (Linné, 1758)		ČR	eu
<i>Agabus affinis</i> (Paykull, 1798)	1995	ČR	ac
<i>Agabus biguttatus</i> (Olivier, 1795)		Bulharsko	eu
<i>Agabus bipustulatus</i> (Linné, 1767)		Francie	eu
<i>Agabus congener</i> (Thunberg, 1794)	1939	Německo	ac
<i>Agabus guttatus guttatus</i> (Paykull, 1798)		ČR	eu
<i>Agabus labiatus</i> (Brahm, 1790)	1909	ČR	dt
<i>Agabus melanarius</i> (Aubé, 1837)	1945	ČR	ac
<i>Agabus paludosus</i> (Fabricius, 1801)	1925	ČR	po
<i>Agabus sturmii</i> (Gyllenhal, 1808)	1986	Vietnam	ac
<i>Agabus uliginosus</i> (Linné, 1761)		ČR	dt

<i>Agabus undulatus</i> (Schrank, 1776)	1985	Ukrajina	eu
<i>Deronectes latus</i> (Stephens, 1829)		ČR	po, rh
<i>Deronectes platynotus platynotus</i> (Germar, 1836)		ČR	rh
<i>Agabus fuscipennis</i> (Paykull, 1792)		Rusko	pt
<i>Graphoderus bilineatus</i> (DeGeer, 1774)	1915	ČR	dt
<i>Graphoderus cinereus</i> (Linné, 1758)	1946	ČR	dt
<i>Graptodytes bilineatus</i> (Sturm, 1835)		Polsko	dt
<i>Graptodytes pictus</i> (Fabricius, 1787)		ČR	eu
<i>Hydaticus seminiger</i> (DeGeer, 1774)	1933	ČR	eu
<i>Hydaticus continentalis</i> (J. Balfour-Browne, 1944)			dt
<i>Hydaticus transversalis transversalis</i> (Pontoppidan, 1763)			eu
<i>Hydroporus ferrugineus</i> (Stephens, 1828)		ČR	ac, cr
<i>Porhydrus lineatus</i> (Fabricius, 1775)		Německo	dt
<i>Hydroporus palustris</i> (Linné, 1761)	1936	ČR	eu
<i>Hygrotus confluens</i> (Fabricius, 1787)	1913	ČR	si
<i>Hygrotus inaequalis</i> (Fabricius, 1777)	2007	ČR	eu
<i>Hygrotus versicolor</i> (Schaller, 1783)	1905	Německo	eu
<i>Ilybius aenescens</i> (Thomson, 1870)		ČR	ty
<i>Ilybius ater</i> (DeGeer, 1774)	1943	Německo	dt
<i>Ilybius crassus</i> (Thomson, 1856)			ty
<i>Ilybius fuliginosus fuliginosus</i> (Fabricius, 1792)			eu
<i>Ilybius similis</i> (Thomson, 1856)			ty
<i>Ilybius subaeneus</i> (Erichson, 1837)		ČR	eu
<i>Laccophilus hyalinus</i> (DeGeer, 1774)	1988		po
<i>Laccophilus poecilus</i> (Klug, 1834)		Bulharsko	dt
<i>Rhantus grapii</i> (Gyllenhal, 1808)		Německo	dt
<i>Oreodytes sanmarkii sanmarkii</i> (C. R. Sahlberg, 1826)		Rakousko	rh
<i>Oreodytes davisii davisii</i> (Curtis, 1831)			rh
<i>Oreodytes septentrionalis</i> (Gyllenhal, 1827)			rh
<i>Porhydrus lineatus</i> (Fabricius, 1775)		Slovensko	dt
<i>Porhydrus obliquesignatus</i> (Bielz, 1852)	1897	Maďarsko	dt
<i>Nebrioporus canaliculatus</i> (Lacordaire, 1835)	1987	ČR	si
<i>Rhantus bistratus</i> (Bergsträsser, 1778)		ČR	dt

<i>Rhantus consputus</i> (Sturm, 1834)	1982	ČR	dt
<i>Rhantus exsoletus</i> (Forster, 1771)			eu
<i>Rhantus latitans</i> (Sharp, 1882)		Slovensko	dt
<i>Rhantus frontalis</i> (Marsham, 1802)		ČR	eu
<i>Rhantus suturalis</i> (MacLeay, 1825)		Slovensko	eu
<i>Scarodytes halensis halensis</i> (Fabricius, 1787)	1930	Francie	si, po
<i>Stictotarsus duodecimpustulatus</i> (Fabricius, 1792)			po
<i>Suphrodytes dorsalis</i> (Fabricius, 1787)	1932	ČR	dt

Legenda: ČR = Česká republika. EK- ekologická charakteristika dle Katalogu vodních brouků České republiky (Boukal et al., 2007). ac- acidofilní (druhy preferující převážně kyselou vodu); dt- detritofilní (druhy vyhledávající vody s velkým množstvím rozkládajících se organických látek); eu - euryekní (druhy s širokou ekologickou valencí nemající vyhraněných nároků na biotop);po- potamální (druhy vyhledávající především dolní toky řek s pomalu tekoucí vodou);pt -periodické tůně (druhy osidlující pravidelně zaplavované tůně, podél vodních toků av mokřadech);rh -ritrální (druhy osidlující rychleji tekoucí vody s dostatkem kyslíku, převážně potoky a horní toky řek);si- silikofilní (druhy preferující mělké prohráté vody s písčitém nebo štěrkovitým dnem);ty - tyrfofilní, druhy tyrfobiontní (druhy obývající slatinné a rašelinné vody).

Před vlastním fotografováním bylo nutné všechny brouky přepreparovat a nalepit na malý černý klínový štítek, aby jejich končetiny (včetně tykadla, makadla apod.) nevyčnívaly a nepřekážely při fotografování (byly by jinak zachyceny jako tmavé stíny či odlesky na kresbě krovek brouka) a aby světlý štítek nevrhal světlé odlesky na obrys brouka.

Jednotliví brouci byli nejprve navlhčeni v umělohmotné Petriho misce, ve které byl umístěn navlhčený ubrousek. Po cca 12 hodinách se stali měkkými a bylo možno s nimi manipulovat, aniž by došlo k jejich poškození. Část jedinců bylo rozvlhčeno pomocí injekční stříkačky. Tímto způsobem byl brouk připraven pro další manipulaci již asi po pěti minutách. Postup byl následující: do injekční stříkačky o objemu 60 ml byla napuštěna destilovaná voda a na spodní otvor stříkačky našroubován uzávěr. Do komory byl vložen brouk na původním nalepovacím štítku. Poté byl několikrát za sebou

s větší silou zatlačien píst. Vznikl tak přetlak, při kterém do těla brouka vnikla voda. Po té se již mohli brouci dobře sejmout z nalepovacího štítku a přepraparovat.

Vlastní fotografování probíhalo pomocí digitální kamery a programů Archimed Pro (Microvision Instruments) a Leica Application Suite V4 (Leica Microsystems). Jednotliví brouci byli umístěni na tmavou podložku (černý samet) a očištěni od jemného prachu, který se mohl během manipulace na krovkách brouka usadit. Pro co nejrovnoměrnější difúzní osvětlení brouka byl použit rozptylný stan válcovitého tvaru zhotovený z pauzovacího papíru a ponechávající pouze otvor nahoře pro objektiv kamery. Tento rozptylný stan byl ze čtyř stran rovnoměrně nasvícen zářivkovými světly. Pro každého jedince bylo zhotoveno od 8 do 20 dílčích snímků s různou rovinou zaostření. Do posledního snímku bylo vloženo měřítko o velikosti zpravidla 1 mm (u velmi malých druhů byla velikost měřítka 0,5 mm). Skládání dílčích fotografií brouka probíhalo v programu Helicon Focus (HeliconSoft).

Po vyfotografování byl brouk před vrácením zpět do sbírek Národního muzea přepraparována zpět na nový štítek a upraven do původní polohy. I při sebelepší snaze se výjimečně stalo, že potápník přišel o některou končetinu nebo část tykadla (zvláště u exemplářů starých 100 a více let). V tomto případě byla odlomená část nalepena na nový štítek, který byl umístěn pod štítek s broukem.

3.2 Zpracování dat

Analýza fotografií spočívala v převodu fotografického zobrazení povrchu těla potápníka v binární obraz světlých a tmavých ploch pomocí programu NIS-Elements (Laboratory Imaging s.r.o.) na základě subjektivně zvoleného prahu světlého zbarvení (viz níže). Následně byl ve fotografii určen pomocí automatických funkcí programu NIS-Elements a částečně pomocí ruční editace obrys brouka. Pro analýzu se používala jen jedna polovina těla brouka (zpravidla pravá, ale přednost se případně dávala méně poškozené polovině těla). Kontura brouka (hlava, štít a krovky) se musela vyhladit a odstranit z kresby oči, které do analýzy nebyly zahrnuty. Následně byl původní plnobarevný RGB obraz převeden pouze do červeného kanálu s 256 stupni šedi, který se ukázal pro detekci kontrastu světlých a tmavých ploch jako nejvhodnější vzhledem

k tomu, že světlé plochy byly buď načervenalé, nebo žluté, a použita předdefinovaná funkce programu NIS-Elements pro zvýšení lokálního kontrastu (stejná pro všechny jedince).

Před první analýzou jednotlivé fotografie pobíhalo prahování (nastavení hodnoty hraničního stupně šedi na hodnotu mezi 0-255) tak, aby rozložení světlých a tmavých skvrn (t.j. světlejších a tmavších než zvolená prahová úroveň) odpovídalo co nejvíce skutečnosti. Bylo nezbytné porovnávat analyzovaný obraz s analyzovanou fotografií otevřenou v obrázkovém editoru a případně ještě s pohledem na brouka ve vodním prostředí (fotografie hledané na internetu, např. na stránkách www.biolib.cz či www.zin.ru/animalia/coleoptera). Při následném editování výsledné kresby byly v případě potřeby odstraněny nesrovnalosti jako např. zbývající nečistoty na krovkách. Kresba byla naopak dokreslena v případě, že chloupky na ní překážely (kupříkladu u rodu *Agabus* nejsou chloupky ve vodě vidět, byly tedy v analýze odstraněny). U některých druhů, např. z rodu *Deronectes*, byl rozbor barevnosti pro úplnost proveden bez chloupků a s chloupky. Zde byla opět nutná předloha obrazu pro přesnost zeditování segmentace kresby.

V takto upravené fotografii byly následně pomocí stejného programu identifikovány všechny jednotlivé světlé a tmavé plochy a spočítána celková velikost brouka a velikost jednotlivých světlých a tmavých skvrn. Z těchto údajů byla pak v tabulkovém procesoru Microsoft Excel spočítána poměrná plocha světlé a tmavé kresby, celkový počet velkých a tmavých skvrn, jejich průměrnou velikost a variabilitu velikosti udávanou jako koeficient variance t.j. podíl směrodatné odchylky a průměrné velikosti daného typu skvrn. Následně byl zjištěn, nakolik závisí jednotlivé měřené veličiny na ekologické skupině, do které byly zařazené dané druhy. Protože rozdělení všech měřených veličin (kromě procentuálního zastoupení světlých ploch) se výrazně odlišovalo od normálního rozdělení, před analýzou byly transformovány pomocí dekadického logaritmu. Transformovaná data pak měla až na výjimky přibližně normální rozdělení.

Nejprve bylo zjištěno, zda průměrná hodnota dané veličiny závisí na ekologické skupině pomocí analýzy variance (ANOVA). Pokud byla tato závislost průkazná na hladině významnosti 0,05, jednotlivé skupiny byly porovnány pomocí Tukeyho testu rozdílů. Tyto analýzy byly provedeny v programu R (verze 2.15.3).

4 Výsledky

4.1. Základní popis hlavních typů zbarvení našich potápníků

Za základní zbarvení potápníků lze považovat černou, různé odstíny hnědé, temně žlutou, okrovou až světlou se zažloutlým či oranžovým nádechem. V následující části textu nejprve uvádím základní barevné charakteristiky vybraných druhů zastupujících jednotlivé ekologické skupiny a nejdůležitější rody zkoumané v rámci této práce.

Acilius sulcatus je euryekní druh, pro něhož je typické okrově žluté až tmavě hnědé zbarvení. Hlava i štít jsou význačně tmavě hnědými až černými pruhy na světlém (okrovém) podkladě. Na hlavě je za tenkým tmavým pruhem tmavě zbarvený ornament ve tvaru písmene V. Štít nese dva tenké světlé a dva silné tmavé pruhy, které jsou obvykle po stranách spojeny. Hnědé zrnité jsou krovky, jejich zadní část (zhruba ve druhé třetině délky) je protnuta nepravidelně ohraničenou tmavou stuhou. Samice mají krovky se třemi podélnými rýhami s hustými chlupy.

Do jisté míry obdobně zbarvený jako *Acilius sulcatus* je rod *Graphoderus* (pro účely této práce byly vybrány druhy *G. bilineatus* a *G. cinereus*). Krovky jsou však černé se žlutým postranním okrajem, bez tmavé stuhy v zadní části krovek. Okrový příčný pruh na štítu je lemován dvěma tmavými pruhy na předním a zadním okraji. Jistou podobnost lze spatřit i u rodu *Rhantus*. Ti však postrádají výrazné tmavé pruhy na hlavě i štítu a jejich krovky jsou obvykle zbarvené jako „pepř a sůl“, tj. nesou velký počet vzájemně propojených tmavých skvrn na světlém podkladu.

Druhy rodu *Agabus* jsou tmavé, sytě hnědé až černé s téměř žádnými či malými skvrnami na zadní části krovek, po jejich stranách a na zadní části hlavy. Typickým příkladem je zde analyzovaný *Agabus affinis*, *A. bipustulatus*, *A. guttatus guttatus* nebo *A. biguttatus*. Více světlých skvrn na krovkách a to i v jejich přední části, které mohou tvořit až nepravidelné pruhy, se vyskytuje u druhu *Agabus undulatus*. Tmavá hlava, štít a kaštanově hnědé krovky bez ornamentů a skvrn je typické pro druhy *Agabus congener*, *Agabus paludosus*, *Agabus sturmii*, *Agabus uliginosus* a *Agabus fuscipennis*.

Celé tělo tmavé až černé charakterizuje druhy *Agabus labiatus* a *Agabus melanarius* (na temeni mohou jemně prosvítat dvě světlé skvrny).

Ilybius je tmavý rod potápníku s menší světlou skvrnou po stranách zadní části krovek. *Ilybius fuliginosus fuliginosus* tvoří v této skupině výjimku, neboť má štít a krovky s postranním žlutým lemem podobně jako u rodu *Graphoderus*.

Graptodytes bilineatus a *Graptodytes pictus* jsou potápníci s výraznými světlými skvrny na krovkách (u *Graptodytes bilineatus* spíše pásy). Jinak jsou tyto drobní brouci zbarveni kaštanově hnědou barvou (temně hnědou na krovkách).

Poměrně barevně proměnlivý je rod *Hydaticus*. Tito potápníci jsou tmaví s různě uspořádanými světlejšími skvrnami. U druhu *Hydaticus seminiger* začínají světlé pruhy na štítu (ve středu štítu se mohou až téměř propojit) a pokračují po stranách krovek až do jejich první třetiny. S napůl tmavou a napůl světlou hlavou a štítem se světlými, různě širokými pásy se lze setkat u druhu *Hydaticus continentalis*. Nejvíce je členěna kresba u *Hydaticus transversalis transversalis*. Hlava i štít je vykreslena obdobně jako u předchozího druhu, v předním segmentu krovek je však žlutavá příčná skvrna rovnoběžná se zadním okrajem štítu.

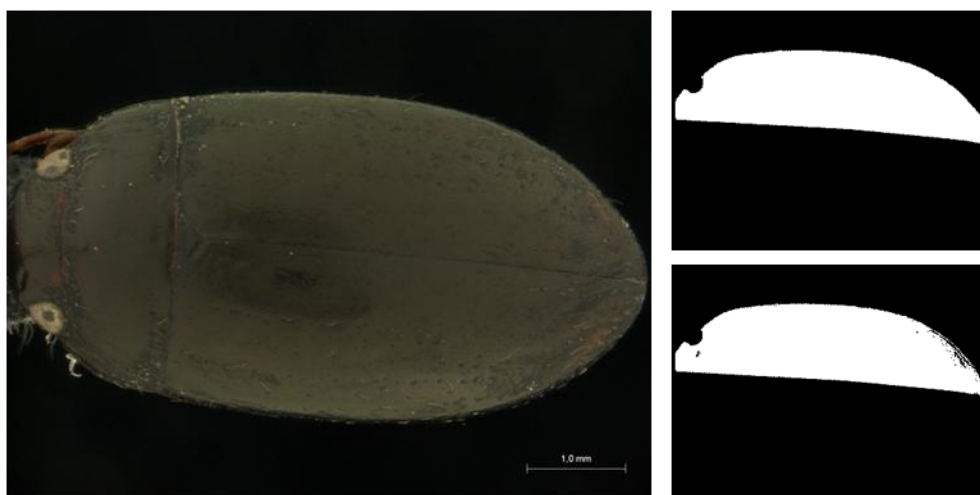
Malé temně hnědé druhy potápníků s tělem pokrytým jemnými chloupky zastupují v této práci *Deronectes latus* a *Deronectes platynotus platynotus*. *Hygrotus* je též rod malých potápníků, avšak vyskytují se u něho okrové skvrny jak na hlavě, štítu tak zejména na krovkách (obzvláště *Hygrotus versicolor* se může jevit spíše s převahou světlé nad tmavou barvou).

Mezi světlejší druhy lze zařadit druh *Laccophilushyalinus*. Jeho krovky nesou na okrovém podkladě nejasně ohraničené hnědé až světle hnědé skvrny. Mezi další světlé potápníky patří zástupci rodu *Oreodytes* vázaného na tekoucí vody v horských polohách: *O. sanmarkii sanmarkii*, *O. davisii davisii* a *O. septentrionalis*. Jejich žlutavé tělo je poseto hnědými skvrnami a krovky jsou s úzkými podélnými černými pásky. Podobně je zbarven i druh *Scarodytes halensis halensis*. Další druh vázaný převážně na tekoucí vody, *Stictotarsus duodecimpustulatus*, se vyznačuje 12 světlými „puntíky“ na krovkách, jak již napovídá jeho latinské jméno. Hlava je žlutavá a štít nese hnědý pruh v přední části a dvě hnědé skvrny v zadní části.

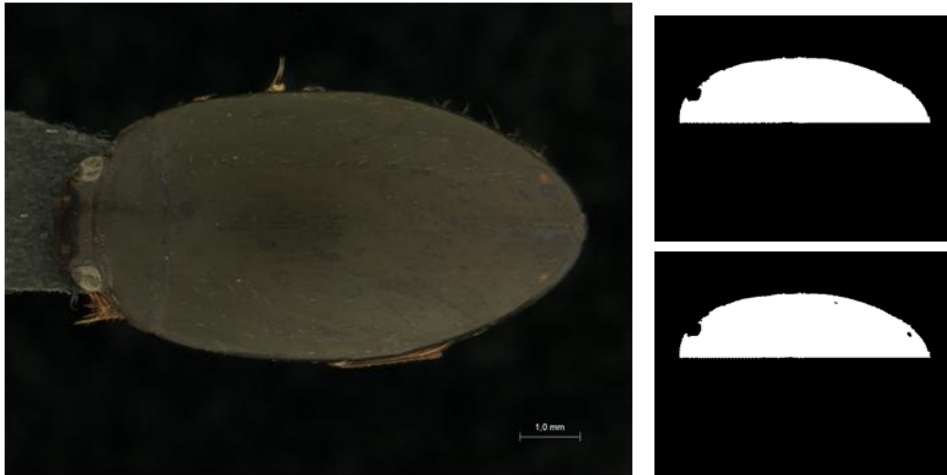
4.2. Příklady zbarvení potápníků dle ekologických skupin

Jak již bylo zmíněno výše, zkoumaní potápníci byli rozděleni do osmi skupin na základě jejich ekologických preferencí (ac; ty; dt; pt; eu;po;rh; si). Některé druhy jsou v katalogu (Boukal et al., 2007) uvedeny se dvěma ekologickými charakteristikami. Zařazení se pak uskutečnilo dle pořadí skupiny a byla použita charakteristika, která byla uvedena na prvním místě. Z důvodu malého počtu druhů v některých skupinách byly vybrané skupiny s podobnými habitatovými nároky sloučeny.

Z osmi skupin tak vznikly čtyři: ac+ty (druhy vyskytující se v kyselých až rašelinných vodách); dt+pt (druhy vyskytující se v nádržích s výrazným zastoupením detritu na dně včetně jarních tůní); eu (eurybionti) apo+rh+si (druhy vyskytující se v tekoucích vodách a stojatých vodách s písčítým dnem). Níže jsou uvedeny příklady základních typů zbarvení (obr.1–8).



Obr. 1. Skupina ac: potápník *Agabus affinis*. Pravý sloupec ukazuje obrys potápníka v binárním zobrazení (nahore) a analyzovaný obraz (světlé skvrny zobrazeny jako tmavé plochy, dole).



Obr. 2. Skupina ty: potápník *Ilybius aenescens*. Detaily viz obr. 1.



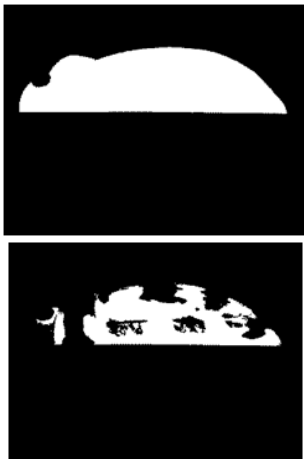
Obr. 3. Skupina dt: potápník *Rhantus bistriatus*. Detaily viz obr. 1.



Obr. 4. Skupina pt: potápník *Agabus fuscipennis*. Detaily viz obr. 1.



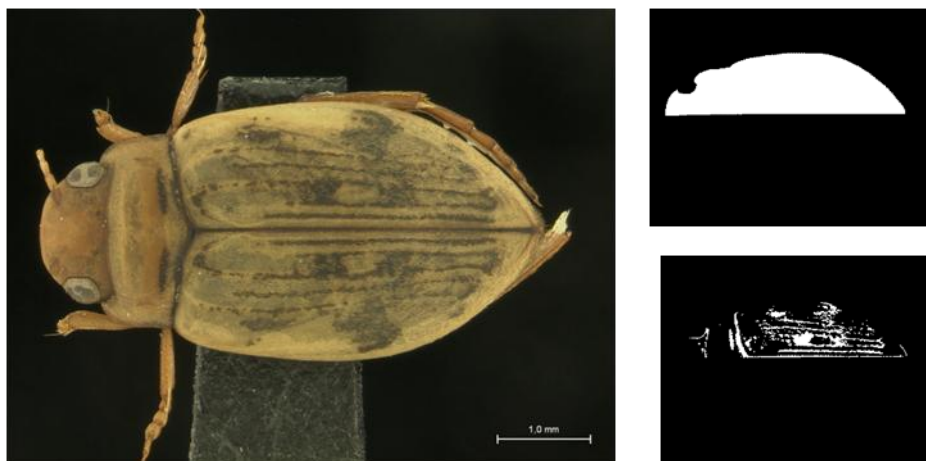
Obr. 5. Skupina eu: potápník *Graptodytes pictus*. Detaily viz obr. 1.



Obr. 6. Skupina po, potápník *Stictotarsus duodecimpustulatus*. Detaily viz obr. 1.



Obr. 7. Skupina rh: potápník *Oreodytes sanmarkii sanmarkii*. Detaily viz obr. 1.

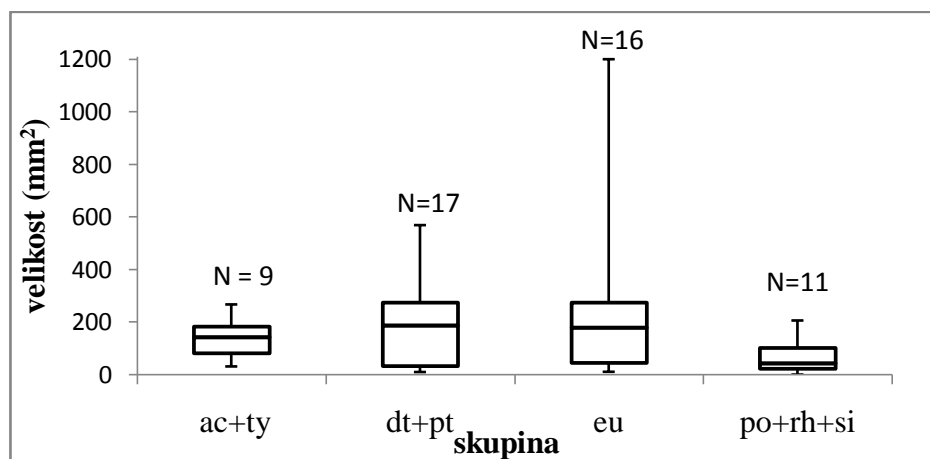


Obr. 8. Skupina si, potápník *Nebrioporus canaliculatus*. Detaily viz obr. 1.

4.3. Kvantitativní analýza velikosti a zbarvení

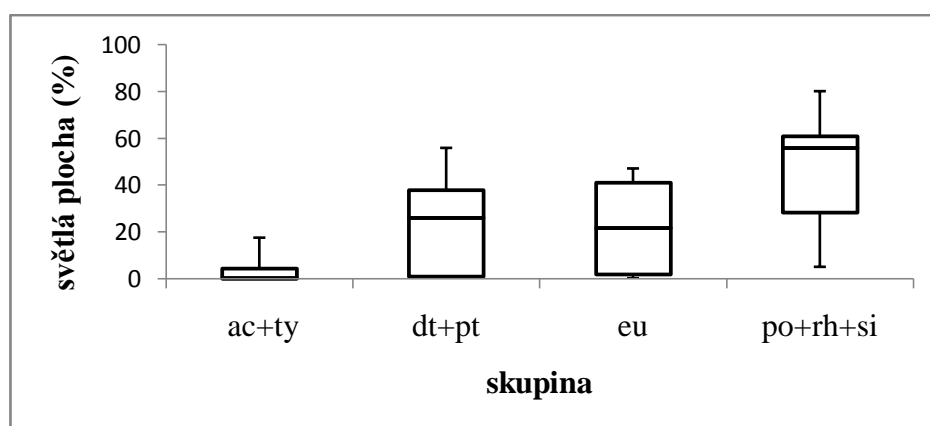
Hodnoty získané z počítačové analýzy obrazů potápníků byly zpracovávány pomocí základních statistických postupů. Ty poskytly výsledky pro obrys, relativní plochu, celkový počet a variabilitu velikosti světlých a tmavých skvrn (vyjádřenou jako koeficient variance, tj. podíl směrodatné odchylky a průměrné velikosti skvrn) u jednotlivých skupin potápníků. Počet druhů v jednotlivých skupinách je uveden v grafu zobrazujícím velikosti potápníků, v ostatních grafech jen v případě změn. Vodorovné osy grafů uvádějí čtyři skupiny, do nichž byli potápníci řazeni (viz výše).

Velikost potápníků zahrnutých do analýzy kolísala v rozmezí 1,3-570 mm² (měřeno jako polovina velikosti těla). Potápníci skupiny po+rh+si patří mezi nejmenší (obr. 1). Průměrná velikost ostatních skupin byla (po logaritmické transformaci) srovnatelná, i když u skupiny druhů s širokou ekologickou valencí (eu) byl největší rozptyl velikostí díky zastoupení velkých druhů z rodů *Acilius*, *Hydaticus* a *Graphoderus*. Statistická analýza prokázala, že velikost druhů v jednotlivých skupinách je významně odlišná (ANOVA: $df = 3,49$; $F = 2,84$; $P = 0,048$), i když následný Tukeyho test neodhalil žádné průkazné rozdíly mezi jednotlivými skupinami (výsledné hodnoty $P > 0,06$ pro srovnání skupiny po+rh+si s ostatními skupinami a $P > 0,99$ pro ostatní skupiny).



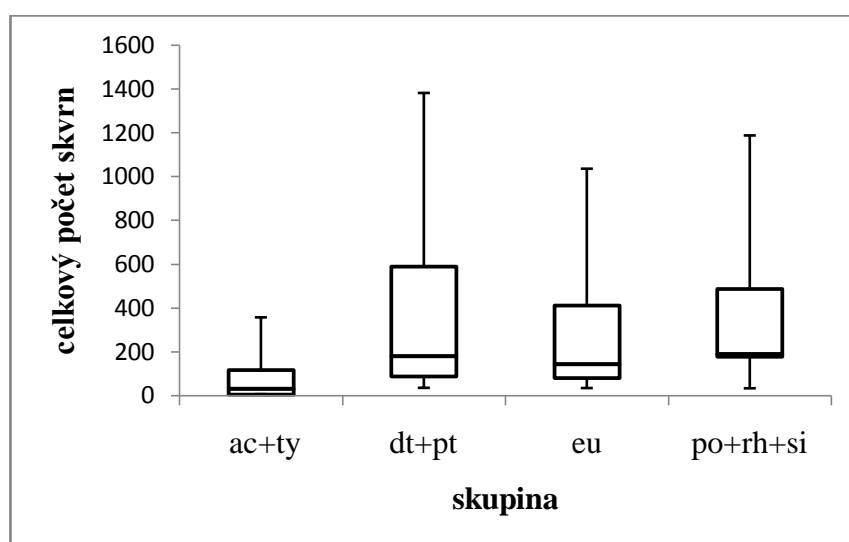
Graf č. 1. Velikost potápníků jednotlivých ekologických skupinách (měřeno jako polovina plochy těla, bez očí). N = počty druhů v jednotlivých skupinách.

Nejsvětlejší je skupina po+rh+si (graf2). Nejtmavší zástupci jsou mezi druhy ze skupiny ac+ty. Rozdíl ve velikosti světlé plochy těchto dvou skupin je velmi výrazný. Potápníci ze skupiny eua druhy žijící ve stojatých vodách bohatých na detrit společně s druhem *Agabus fuscipennis* (skupina dt+pt) byly podobně tmavé, o něco tmavší než skupina po+rh+si a o něco světlejší než skupina ac+ty. Statistická analýza v tomto případě ukázala, že relativní plocha světlého zbarvení v jednotlivých skupinách je velmi odlišná (ANOVA: $df = 3,49$; $F = 8,51$; $P = 0,0001$) a následný Tukeyho test odhalil průkazné rozdíly mezi skupinou po+rh+si a ostatními skupinami ($P < 0,023$), mírně neprůkazné rozdíly mezi skupinou ac+ty a skupinami dt+pt ($P = 0,055$) a eu ($P = 0,13$) a žádný rozdíl mezi posledními dvěma jmenovanými ($P = 0,97$).



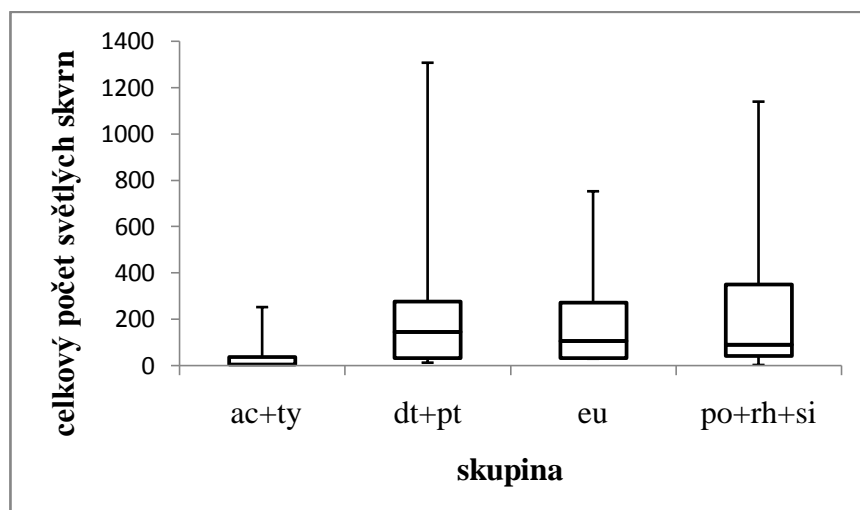
Graf č. 2. Relativní světlý povrch dorzální strany těla (bez očí) v jednotlivých ekologických skupinách. Velikost skupin stejná jako v grafu č. 1.

Skupina ac+ty vykazuje nejmenší celkový počet skvrn (tmavých a světlých) dohromady, graf 3). Ostatní tři skupiny mají celkový počet skvrn větší. Statistická analýza v tomto případě opět ukázala, že celkový počet skvrn (po logaritmické transformaci) v jednotlivých skupinách je velmi odlišný (ANOVA: $df = 3,49$; $F = 5,37$; $P = 0,003$) a následný Tukeyho test odhalil průkazné rozdíly mezi skupinou ac+ty a ostatními skupinami (dt+pt: $P = 0,008$, po+rh+si: $P = 0,002$, eu: $P = 0,048$). Rozdíly mezi zbývajícími skupinami byly neprůkazné ($P > 0,45$).



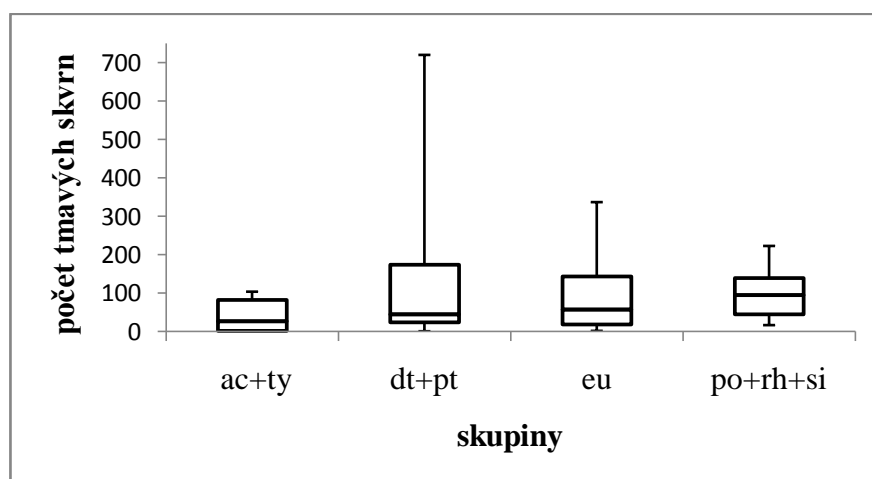
Graf č. 3. Celkový početskvrvn jednotlivých ekologických skupinách (měřeno napolovině plochy těla, bez očí). Velikost skupin stejná jako v grafu č. 1.

Nejméně světlých skvrn mají druhy žijící v kyselých nebo rašelinných vodách, tj. skupina ac+ty (graf 4). Velmi vysoký počet světlých skvrn byl pozorován u druhů ze skupiny dt+pt a také skupiny po+rh+si, tedy druhy s největší relativní světlou plochou. Výsledky statistické analýzy byly obdobné jako u celkového počtu skvrn. Celkový počet skvrn (po logaritmické transformaci) v jednotlivých skupinách je velmi odlišný (ANOVA: $df = 3,49$; $F = 4,29$; $P = 0,009$) a následný Tukeyho test odhalil průkazné rozdíly mezi skupinou ac+ty a ostatními skupinami ($P < 0,012$) s výjimkou skupiny eu ($P = 0,08$). Rozdíly mezi zbývajícími skupinami byly neprůkazné ($P > 0,72$).



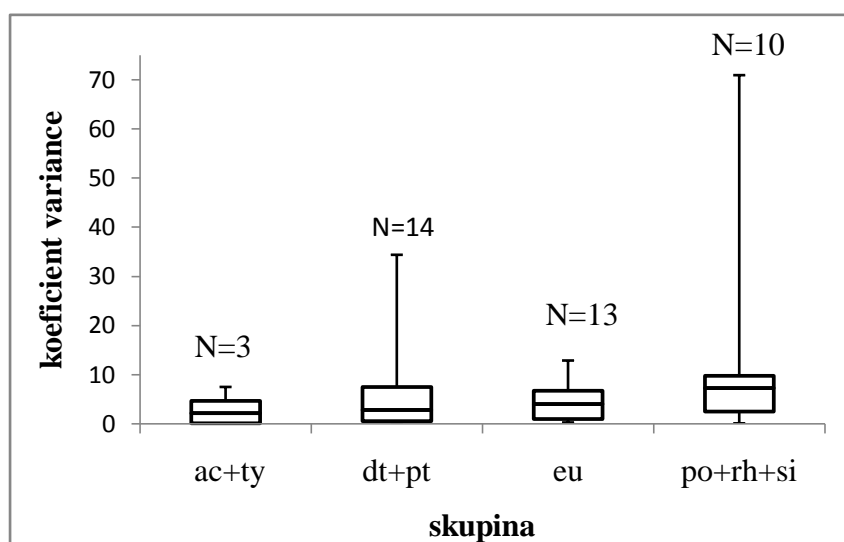
Graf č. 4. Celkový počet světlých skvrn jednotlivých ekologických skupinách (měřeno napolovině plochy těla, bez očí). Velikost skupin stejná jako v grafu č. 1.

Nejmenší počet tmavých skvrn je opět u skupiny ac+ty (graf 5). Druhy skupiny dt+pt zahrnovaly i druh *Graphoderus bilineatus* s největším počtem tmavých skvrn s velkým nárůstem oproti ostatním skupinám. Výsledky statistické analýzy byly mírně odlišné od výsledků pro celkový počet skvrn a počet světlých skvrn. Celkový počet skvrn (po logaritmické transformaci) v jednotlivých skupinách je odlišný (ANOVA: $df = 3,49$; $F = 4,08$; $P = 0,011$). Následný Tukeyho test odhalil průkazný rozdíl mezi skupinou ac+ty a ostatními skupinami (dt+pt: $P = 0,03$, po+rh+si: $P = 0,01$, eu: $P = 0,04$). Rozdíly mezi zbývajícími skupinami byly vysoce neprůkazné ($P > 0,85$).



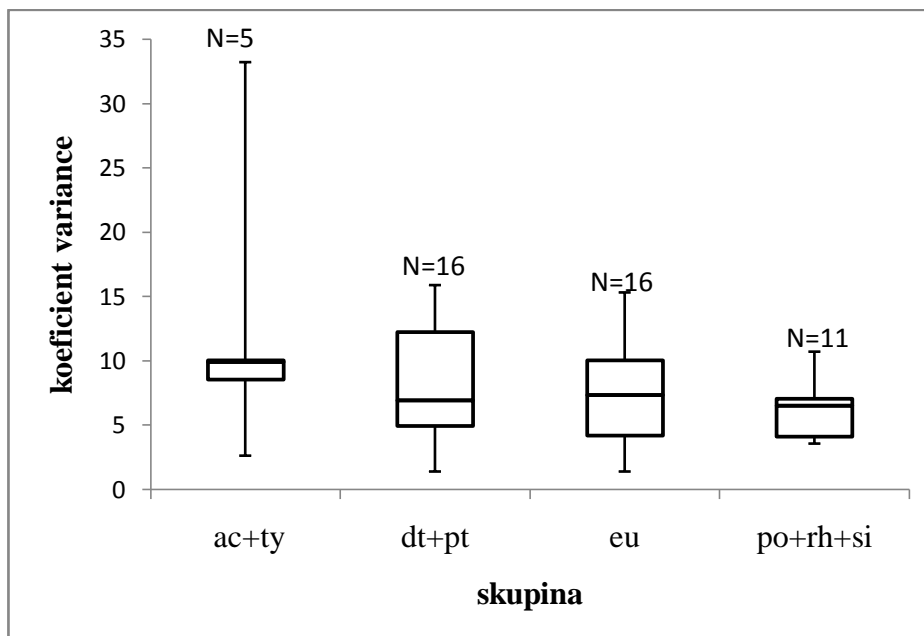
Graf č. 5. Celkový počet tmavých skvrn v jednotlivých ekologických skupinách (měřeno napolovině plochy těla, bez očí). Velikost skupin stejná jako v grafu č. 1.

Největší míra variability velikosti světlých skvrn je v rámci světlé skupiny, tedy u zástupců po+rh+si (graf 6). Extrémně vysoké hodnoty koeficientu variance jsou důsledkem toho, že daný druh má jednu nebo několik málo velkých skvrn a různě velký počet malých nebo velmi malých skvrn (např. druhy *Rhantus consputus*, *Rhantus bistriatus* či *Hydaticus continentalis*). Nejméně se od sebe navzájem liší druhy patřící do skupiny ac+ty, nízká míra variability velikosti světlých skvrn vyšla i u skupiny eu. Statistická analýza získaných hodnot po logaritmické transformaci v tomto případě neprokázala významné rozdíly mezi jednotlivými skupinami (ANOVA: $df = 3,38$; $F = 0,55$; $P = 0,65$).



Graf č. 6. Koeficient variance velikosti světlých ploch jednotlivých ekologických skupinách (měřeno jako polovina plochy těla, bez očí). Analýza nezahrnuje druhy s jedinou světlou skvrnou.

Variabilita velikosti tmavých skvrn dosáhla nejvyšší míry v rámci skupiny ac+ty. Potápníci ze skupiny dt+pt a eu mají míru variability černých ploch obdobně vysokou a mírně vyšší než druhy ve skupině po+rh+si (graf 7). Statistická analýza získaných hodnot po logaritmické transformaci ani v tomto případě neprokázala významné rozdíly mezi jednotlivými skupinami (ANOVA: $df = 3,41$; $F = 0,51$; $P = 0,68$).



Graf č. 7. Koeficient variance velikosti tmavých ploch jednotlivých ekologických skupinách (měřeno jako polovina plochy těla, bez očí). Analýza nezahrnuje druhy s jedinou tmavou skvrnou.

5 Diskuze

Tato práce měla za cíl zjistit souvislost mezi zbarvením potápníkovitých brouků (Coleoptera: Dytiscidae) a jejich ekologickou charakteristikou danou typickým stanovištěm daného druhu. Předchozí studie vypracovaná Nyklíčkovou (2009) ukázala, že alespoň někteří potápníci si vybírají prostředí, ve kterém jim jejich zbarvení umožňuje úspěšně splynout s okolím. Bylo prokázáno, že světlé druhy vyhledávají světlý podklad, tmavé druhy zase preferují tmavý podklad. Komplexní zhodnocení variability zbarvení u potápníkovitých brouků umožňující jednotlivé druhy přesně charakterizovat však dosud chybělo. Protobylopotřeba vytvořit fotografickou dokumentaci vzhledu dospělců vybraných druhů potápníků vyskytujících se na území České republiky a pomocí počítačové analýzy obrazu následně určit, jaká je variabilita zbarvení jejich těla. Přesněji tedy charakterizovat množství a velikost skvrn, případně další jednoduché geometrické charakteristiky. Výsledky poté umožnily vyvodit, zda zbarvení souvisí s habitatovými preferencemi v přírodě a také usoudit, nakolik se může jednat o mimikry a další příbuzné jevy.

Jako nejtmavší v rámci analýzy vyšly druhy žijící v kyselých nebo rašelinných vodách neboli druhy ze skupiny ac+ty. Tato skupina má na svrchní straně těla nejmenší počet skvrn, a to jak tmavých, tak světlých. Zároveň je u nich i malá mezidruhová variabilita světlé plochy. Velikost potápníků ze skupiny ac+ty je také malá. Jako možné vysvětlení se naskytá teorie o lepším uplatnění mimiker. Rašeliniště a kyselá voda představují tmavé prostředí. Potápníci z této skupiny vyšli v barevné analýze zároveň jako nejtmavší. Z výsledků a interpretací jejich barevné analýzy se tedy lze přiklonit k hypotéze o uplatnění kryptického zbarvení u skupiny potápníků ac+ty.

Analýza zaměřená na velikost brouků prokázala, že nejmenší velikosti dosahují brouci ze skupiny po+rh+si. Důvodem malé velikosti těchto dospělců může být jejich životní prostředí chudé na potravu (zejména u silikofilních druhů) či lepší uplatnění kryptise při této velikosti. Tato skupina se ukázala také jako nejsvětlejší. Jedná se o druhy žijící v tekoucích nebo písčítých vodách. Barva životního prostředí druhů z této skupiny částečně si je světlá, písčitá. Barvou svého těla jsou tedy blízcí barvě podkladu jejich

přirozeného výskytu. Může se zde opět jednat o mimikry. Jak uvádí Nyklíčková (2009) ve své práci, potápníci vyskytující se v pískovnách jsou obvykle světlí. Určitá míra variability v této skupině může být důsledkem toho, že byly zahrnuty i druhy žijící v poněkud odlišném prostředí. Druhy rodu *Deronectes*, jakožto zástupci druhů tekoucích vod (skupiny po a rh), žijí mezi kamínky a na částečně hlinitých březích. Barva jejich těla je tmavá stejně tak jako u potápníka *Agabus paludosus*, který je zástupcem vyhledávající především pomalu tekoucí vody dolních toků (po).

Druhy žijící ve stojatých vodách bohatých na detrit a druh *Agabus fuscipennis* jako jediný zástupce periodických tůní (skupina dt+pt) vykazaly v analýze spíše střední hodnoty tmavosti a světlosti s mírnou převahou světlého povrchu. Tato skupina však dosáhla největších počtů skvrn. Zde vévodí světlé skvrny, kterých je bez mála jednou tolik, nežli skvrn tmavých. Některé světlé skvrny mohou mít původ v metodických nedostatecích. Při analýze bylo třeba smazat drobný prach a jemné odlesky na krovkách potápníků, aby do analýzy nebyly započteny. Ne vždy se to ale zřejmě podařilo beze zbytku. Větší množství světlých skvrn bylo zjištěno i u skupiny po+rh+si. V počtu tmavých skvrn však detritofilní potápníci výrazně dominují nad ostatními potápníky. Vody s velkým množstvím rozkládajících se organických látek, t.j. tlející listí, zbytků rostlin z litorálu apod., jsou vody, ve kterých se zástupci této skupiny přirozeně vyskytují. Zde může být jistá souvztažnost mezi členitým, odstínově a světelně nejednotným podkladem jejich přirozeného prostředí a počtu světlých a tmavých skvrn na jejich těle.

Skupina potápníků s širokou ekologickou valencí (eu) vyšla při analýze velikosti jako největší. Toto si lze vysvětlit jejich nenáročností a adaptabilitou. Velikost byla u těchto druhů potápníků jedinou nadprůměrnou veličinou v porovnání s dalšími skupinami. V ostatních analýzách vycházely hodnoty ve srovnání s ostatními skupinami průměrně.

Lze tedy říci, že co se týče výsledků o velikosti těla, jejich výpovědní hodnota je vysoká. Stejně tak je tomu i u výsledků relativní velikosti světlé a tmavé plochy. Analýza počtu skvrn naproti tomu mohla být částečně zatížena metodickými nedostatky této pilotní studie. Určité odchylky od pravdivosti výsledných počtů skvrn mohou být zapříčiněny artefakty obrazové analýzy, které nebyly dostatečně vyretušovány.

6 Závěr

Druhy potápníků, s přirozeným výskytem na tmavém podkladu (tedy v kyselých nebo rašelinných vodách) mají v barvě svého těla nejvíce zastoupené tmavé odstíny. Podíl světlých skvrn je velmi malý. Velikost těchto dospělců není v porovnání s ostatními skupinami velká. Potápníci, kteří vyhledávají písčité/světlé povrchy, mají naopak nejvyšší podíl světlé barvy a zároveň patří i mezi nejmenší druhy. Jejich malou velikost lze přičíst tomu, že žijí v prostředí chudém na potravu či faktu, že na menší ploše se mimikry uplatní lépe. Na základě výsledků práce lze tvrdit, že zbarvení potápníků souvisí s habitatovými preferencemi v přírodě. *Agabus fuscipennis* jako jediný zástupce periodických tůní a druhy žijící ve stojatých vodách bohatých na detrit vykazují v analýze spíše střední hodnoty tmavosti a světlosti s mírnou převahou světlého povrchu. Tyto druhy však dosahují největších počtů skvrn (nejvíce světlých, ale i v tmavých mají v porovnání s ostatními potápníky prvneství). Tímto se s velkou pravděpodobností přizpůsobují nestejnorodému povrchu, který tvoří jejich životní prostředí. Potápníci s širokou ekologickou valencí jsou, co se rozměrů týče, největší. Možné vysvětlení je v jejich vynikající adaptabilitě a nenáročnosti. Výsledky ostatních analýz těchto potápníků byly ve srovnání s ostatními průměrné. Tyto výsledky naznačují souvislost mezi velikostí těla a zbarvením potápníků a jejich ekologickou nikou.

Získané výsledky také ukazují, že počítačová analýza obrazu představuje slibný nástroj ve zkoumání vztahů mezi ekologickými preferencemi druhů a jejich zbarvením. Tato práce představuje vykročení na cestě za lepším poznáním substrátových preferencí a zbarvení potápníkovitých brouků a dalšího vodního hmyzu. Další kroky bude nutné však ještě dále upravit, například vyrovnat se s problémy, které vznikají při počtu skvrn, kdy jsou do analýzy obrazu započítány i artefakty, které do ní nepatří. Tyto úpravy budou provedeny v rámci rozšiřujících analýz, které nebylo z časových důvodů možné zařadit do výsledků této práce.

Seznam literatury

Bellmann H., 2009:Velká kniha o rostlinách. Praha: Knižní klub, 208 s.

Bláhová J., 2007:Fenomén mimikry v přírodě a jeho analogie v lidském světě.Diplomová práce, školitel doc. PhDr. Petr Osolsobě, Ph.D. Brno: Univerzita Masarykova, Filozofická fakulta, 104 s.

Boukal D. S., Boukal M., Fikáček M., Hájek J., Klečka J., Skalický S., Šťastný J., Trávníček D.,2007: Katalog vodních brouků České republiky (Coleoptera: Sphaeriusidae, Gyridae, Halplidae, Noteridae, Hygrobiidae, Dytiscidae, Helophoridae, Georissidae, Hydrochidae, Spercheidae, Hydrophilidae, Hydraenidae, Scirtidae, Elmidae, Dryopidae, Limnichidae, Heteroceridae, Psephenidae). Praha: Klapalekiana, 289 str.

Bromová E., 2011:Třípól; Pravěké mimikry. Praha: Cinemax. [cit. 19. října 2013]. Dostupné z: http://www.pf.jcu.cz/stru/katedry/bi/Podklady_kvalifikacni_prace.pdf

Campbell Neil A., Reece, Jane B., 2006: Biologie.Praha: Computer press, 1338 s.

Cibulková A.,2008:Význam barvy v reakci ptačího predátora na aposematickou kořist.Bakalářské práce, školitelMgr. Petr Veselý. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Přírodovědecká fakulta,27 s.

C. R. Townsend,Begon M., Harper J. L.,2010: Základy ekologie. Olomouc: Univerzita Palackého, 505 s.

Dvořák L. & Bogusch P., 2005: Žahadloví blanokřídlí v českých zemích a na Slovensku, sborník z konference.Univerzita Karlova v Praze, 20 s.

Grim T.,2011: Vesmír; Bludy, pověry a pravda (?) o kukačce. Praha: Vesmír, 60 s.

Hanel L.,2000: Vážky. Výzkum a ochrana. Vlašim: Český svaz ochránců přírody, 24 s.

Kampová L., 2013:Molekulární fylogeneze rodu *Dilophotes* Waterhouse, 1879 ze Sumatry. Diplomová práce,školitel: Prof. Ing. Ladislav Bocák, Ph.D.Olomouc:Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, 48 s.

Kolář V.,2013: Vliv biotických a abiotických faktorů na společenstva vodních brouků.Bakalářská práce, školitel: doc. Ing. MgA. David Boukal, Ph.D. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 74 s.

Komárek S. 2004:Mimikry, aposematismus a příbuzné jevy: mimetismus v přírodě a vývoj jeho poznání.Praha: Dokořán, 188 s.

Košťálová Z., 2012:Porovnání společenstev rovnokřídlých vybraných biotopů v oblasti Hádů.Bakalářská práce, školitel: Mgr. Robert Vlk, Ph.D.Brno: Masarykova univerzita, Pedagogická fakulta, 66 s.

Krizek O. G., 2011: Živa, Kovový lesk hmyzu v přírodě a na fotografii. Nakladatelství Academia, Středisko společných činností AV ČR, 52s.

Náhlíková T., 2008: Adolf Portmann a jeho čeští žáci.Bakalářská práce, školitel: Mgr. Karel Stíbrál, Ph.D.Brno: Masarykova univerzita, Fakulta sociálních studií, 55 s.

Nyklíčková M., 2009:Substrátové preference potápníků. Bakalářská práce,školitel: Ing.MgA. David Boukal, Ph.D.České Budějovice: Jihočeská universita, Přírodovědecká fakulta, 40 s.

Pigafetta A. 2004: Zpráva o první cestě kolem světa.Praha: Argo, 136 s.

Reichholf J., 1998: Pevninské vody a mokřady: ekologie evropských sladkých vod, luhů a bažin.Praha:IKAR, 223 s.

Rozkošný R., 1980: Klíč larev vodního hmyzu. Praha: Academia, 519 s.

Silvestrová Z., 2008: Dramaterapie. Diplomová práce, školitel PhDr. Mgr. Dana Zámečnicková, Ph.D. Brno: Masarykova univerzita, Pedagogická fakulta, 85 s.

Štěrba O., 1986: Pramen života. Praha: Panorama, 222 s.

Štorek V., 2011: Rizika hnízdní predace čejky chocholaté: vliv krypte hnízd a koloniality. Diplomová práce, školitel doc. Mgr. Miroslav Šálek, Dr. Praha: Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, 40 s.

Veličková P., 2013: Hodnocení ekologického stavu a návrh revitalizace Štáhelského potoka. Diplomová práce, školitel: RNDr. Jarmila Měkotová, Ph.D. Olomouc: Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, 206 s.

Veselá I., 2007: Barvoměna živočichů. Diplomová práce, školitel RNDr. Martin Vácha, Ph. D. Brno: Masarykova univerzita. Přírodovědecká fakulta, 70 s.

Veselý P., 2004: Vliv nedávné potravní zkušenosti ptačího predátora na fungování obranné signalizace hmyzí kořisti. Diplomová práce, školitel RNDr. Roman Fuchs, CSc. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Přírodovědecká fakulta, 35 s.

Wesenberg-Lund C., 1943: Biologie der Süßwasserinsekten. Kopenhagen, In Kommission bei Gyldendal, 682 s.

Zahradník J., 2004: Hmyz. Praha: Aventinum, 326 s.

Internetové zdroje

Barvínková H.: František Klapálek. [cit. 1. listopadu 2013]. Dostupné z: <http://abicko.avcr.cz/2013/07/07/>

Biomach, výpisky z biologie. Mimikry. [cit. 18. září 2013]. Dostupné z: <http://www.biomach.cz/biologie-zivocichua/-mimikry#TOC-EPIGAMN>

Bogusch, P.:Evoluční biologie, PřF UHK v Hradci Králové. [cit. 19. října 2013]. Dostupné z: <http://lide.uhk.cz/prf/ucitel/boguspe1/evolucni-biologie10.pdf>

Center of Cognitive Ethology. Matení výstražné signalizace - Mimikry. [cit. 11. září 2013]. Dostupné z: <http://www.cke.cz/cz/aposematismus-4.htm>

Enviroexperiment. Bentos - i zvířata jsou někdy na dně. [cit. 21. října 2013]. Dostupné z: <http://www.enviroexperiment.cz/biologie-stredni-skola/bentos-i-zvirata-jsou-nekdy-na-dne>

Häusler A.:Cetonia aurata the rose chafer Londýn: Natural History Museum, [cit. 27. října 2013]. Dostupné z:<http://www.nhm.ac.uk/nature-online/species-of-the-day/collections/our-collections/cetonia-aurata/taxonomy/index.html>

Jelínek, J., Bílý, S. Historie ČSE[cit. 1. listopadu 2013]. Dostupné z: <http://www.entospol.cz/>

Komárek S.: Vesmír. Nevstíravý půvab přetvářky a odstrašení [cit. 21. září 2013].Dostupné z: <http://1url.cz/iqrm>

R Core Team: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria,[cit. 27. října 2013].Dostupné z: <http://www.R-project.org/>.

Scientific Library. H. W. Bates. [cit. 19. září 2013]. Dostupné z: <http://1url.cz/lqMf>

Úřad pro publikace. Názvy a zkratky. [cit. 16. září 2013].Dostupné z: <http://publications.europa.eu/code/cs/cs-370100.htm>

Virtuální skripta. Mikroevoluce,Západočeská univerzita v Plzni.[cit. 16. listopad 2013]. Dostupné z: http://www.kbi.zcu.cz/OB/studium/evbi/frvs/www_frvs/EV_04.htm