

**Přírodovědecká Fakulta
Jihočeská Univerzita
České Budějovice**



**Jak určuje morfologie predátora jeho velikostní
selektivitu? Srovnání morfometrických dat a
experimentů u dravého vodního hmyzu**

Diplomová práce

Bc. Luboš Havlan

Školitel: doc. Ing. MgA. David Boukal, Ph.D.

České Budějovice 2014

Havlan L. 2014: Jak určuje morfologie predátora jeho velikostní selektivitu? Srovnání morfometrických dat a experimentů u dravého vodního hmyzu. [How much does predator morphology determine its size-selectivity: Comparison of morphometric data and experiments in predaceous aquatic insects. Mgr. thesis, in Czech] – 58 p., Faculty of Science, The University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

This study investigates size-selective predation of four groups predaceous aquatic insects: adults and larvae of diving beetles (Dytiscidae), larvae of dragonflies (Odonata) and aquatic true bugs (Heteroptera) using laboratory feeding experiments and relates the results to morphometric data obtained for each predator.

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval 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, 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.

V Českých Budějovicích dne 10. 12. 2014

.....

Luboš Havlan

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat svému školiteli za všechnu pomoc s touto prací. Dále bych rád poděkoval Janu Klečkovi, Miroslavovi Peroutkovi a Vojtovi Kolářovi za pomoc při terénních odchycích predátorů a jejich odchovu.

Obsah

1. Úvod	1
2. Velikost těla	3
2.1. Příčiny a důsledky velikostně závislé predace	3
2.2. Vztah mezi velikostí predátora a jeho kořisti	5
2.3. Morfometrické znaky ovlivňující intenzitu predace	10
3. Materiál a metodika	19
3.1. Použití predátoři	19
3.2. Použitá kořist	20
3.3. Pokusné uspořádání	21
3.4. Měření vybraných morfometrických znaků	22
3.5. Statistické zpracování dat	23
4. Výsledky	25
4.1. Velikostní selektivita	25
4.2. Vztah velikosti predátora jeho kořisti	26
4.3. Analýza selektivity vývojových stádií	32
4.4. Výsledky analýzy modelu s morfometrickými znaky	34
5. Diskuze	37
5.1. Diskuze literární rešerše	37
5.2. Velikostní selektivita jednotlivých druhů	38
5.3. Vztah mezi velikostí predátora a jeho kořistí	39
5.4. Vývojová stádia	40
5.5. Model s morfologickými daty	41
6. Závěr	43
7. Literatura	43
8. Přílohy	49

1. Úvod

Studium problematiky poměru velikosti těla mezi predátorem a jeho kořistí patří mezi důležité otázky ekologie. Jeho výzkum nám pomáhá pochopit vztahy mezi jednotlivými organismy v ekosystému a jejich vzájemné působení. Predace je jedním z klíčových procesů ovlivňujících druhovou a velikostní skladbu vodních i terestrických ekosystémů. Výzkum predace nám umožňuje nejen hlubší porozumění těmto vztahům, ale také lepší chápání problematiky potravních sítí a jejich druhového složení (Cohen et al., 2006).

K pochopení role predace je důležité nejen znát poměr mezi velikostí těla predátora a jeho kořisti, ale také jaké faktory tento vztah ovlivňují. Se znalostí různých způsobů lovu, různého zpracování potravy, specializací predátorů a jejich morfologických přizpůsobení k lovu se také lze ptát, zda vůbec velikost predátora dostatečně vysvětluje velikost lovené kořisti (Boukal 2014). Proto je důležité studium morfologie predátorů a morfologických znaků, které využívají k lovu, a jejich vztah k lovené kořisti. A to nejen jejich rozměrů ale i jejich funkční morfologii a biomechanice (Wall et al. 2006, Wirtz 2012).

Ve sladkovodním prostředí patří mezi důležité predátory i dravý vodní hmyz, který může v malých nádržích zastávat roli vrcholového predátora. Pro tyto nádrže je tak dravý vodní hmyz důležitý a funguje zde jako jeden z hlavních faktorů ovlivňujících skladbu a strukturu ekosystému. V potravních sítích malých stojatých vod můžeme najít rozdílné moduly, které jsou determinované nejen velikostí predátora a kořisti, ale také jejich mikrohabitaty. Tyto moduly mají mezi sebou relativně malý překryv v porovnání s výrazným překryvem složení kořisti uvnitř modulu (Klečka & Boukal 2012). Jednotlivé moduly přitom zahrnují jak druhy s velmi podobnou, tak rozdílnou morfologickou stavbou těla a je možn, že tyto rozdíly mohou přispívat k tomu, jak se liší predační chování a intenzita predace jednotlivých predátorů. Tato práce navazuje na mou předchozí bakalářskou práci. Jejím cílem je ukázat, nakolik se velikostní selektivita shoduje nebo liší mezi různými skupinami dravého vodního hmyzu obývajícího stojaté vody, a zjistit, zda je možné nalézt nějaké společné morfometrické znaky určující velikostní selektivitu napříč všemi taxonomickými skupinami.

Cíle práce

1. Na základě laboratorních pokusů vyhodnotit velikostní selektivitu vybraných druhů dravého vodního hmyzu a v návaznosti na bakalářskou práci pokrýt všechny hlavní taxony dravého vodního hmyzu ze stojatých vod.
2. U vybraných druhů vyhodnotit velikostní selektivitu vývojových stádií.
3. Změřit vybrané morfometrické znaky a pomocí statistických analýz zjistit možné závislosti mezi nimi a výsledky experimentů.

2. Velikost těla

Velikost těla jednotlivců je důležitý faktor, který ovlivňuje funkce ekosystému a vztahy mezi organizmy v něm (Jennings 2005). Velikost těla ovlivňuje abundanci a rozšíření druhů, jejich ekologickou niku a potravní preference. Také určuje evoluční změny v rámci druhu, délku života a specifickou mortalitu (Woodward & Warren 2007). Rozsah velikost těla ve vodním prostředí zahrnuje dvacet řádů zvětšení od nejmenších bakterií až po velryby filtrující několik tun potravy denně. S velikostí těla se zpomaluje metabolismus a růst, snižuje se přirozená mortalita a prodlužuje se délka života (Brown et al 2004, Brown et al. 2007). Tyto poznatky se odvíjejí z tzv. metabolické ekologie, která vysvětluje řadu známých ekologických fenoménů (Brown et al. 2004, Brown & Sibly 2012). Tato teorie ale nezohledňuje vliv celé řady dalších charakteristik jedinců a další možné faktory jako jsou nika, abiotické tolerance a vliv abundance a distribuce jednoho nebo více druhů na stanovišti na intenzitu predace a selektivitu predátorů (Brown & Sibly 2012).

Potravní sítě zachycují vztahy mezi organizmy v ekosystému od primárních producentů až k vrcholovým predátorům. Každá potravní síť je tvořena vícero navzájem propojenými trofickými úrovněmi, kdy každé propojení dvou organismů nebo druhů v rámci potravní sítě znázorňuje jejich vztah predátora a kořisti (Jennings et al. 2002). Počet druhů na jednotlivých trofických úrovních se od primárních producentů k vrcholovým predátorům daného ekosystému obvykle snižuje a zároveň je celková abundance predátorů v ekosystému nižší než abundance jejich kořisti (Cohen et al. 2003). Ve vodních ekosystémech je ve většině případů predátor (s vyloučením patogenů, parazitů a parazitoidů) větší než jeho kořist (Sheldon et al. 1972). Predátor ovlivňuje složení společenstva pomocí selektivní predace (Sih 2001) například tím, jak velký rozsah kořistí a z jakých trofických úrovní loví.

2.1. Příčiny a důsledky velikostně závislé predace

Studium vztahů mezi predátorem a jeho kořistí nám umožňuje poznávat vliv predátora na druhové a velikostní složení společenstva a změny, které na druhovém a velikostním složení zanechá změna nebo introdukce nového predátora. Mortalita většiny organismů přitom závisí na velikosti těla a můžeme rozlišit tři základní typy velikostně závislé mortality (Werner & Gilliam 1984). Prvním typem je mortalita klesající s velikostí těla, např. díky větší náchylnosti nejmenších jedinců k predaci a nemocím. Tento typ mortality je častý u *r*-strategů, např. řady druhů ryb (Sogard 1997). Druhým typem je mortalita rostoucí s velikostí

těla, kdy malí jedinci nejsou ohroženi predací, protože nejsou detekovatelní nebo je predátor není schopen ulovit. To můžeme pozorovat například u malých druhů zooplanktonu (Werner & Gilliam 1984). Tento typ mortality může být také způsobený člověkem, a to například intenzivním rybolovem. Posledním typem mortality je unimodální s maximem ve středních velikostech (Werner & Gilliam 1984).

Svou kořist si predátoři vybírají zejména podle velikosti (Woodward & Warren 2007). S velikostí kořisti roste množství energie, kterou může predátor jejím ulovením získat (Pastorok 1981). Z toho plyne, že dravec musí ulovit více menší kořisti než větší ke stejnému energetickému zisku (Travis et al. 1985). Zároveň se na poměru mezi velikostí predátora a kořisti podílejí jednotlivé fáze lovu: hledání kořisti, ulovení a doba zpracování kořisti. Všechny tyto fáze lovu jsou závislé na jak na velikosti predátora, tak na velikosti loveného organismu.

Základní teorií vysvětlující velikostní selektivitu predátora je teorie optimálního výběru kořisti. Vysvětluje, zda má predátor nalezenou kořist ulovit nebo pokračovat v hledání (Stephen & Krebs 1997). Optimální velikost kořisti je taková, aby z ní predátor měl největší energetický zisk za jednotku času po odečtení energie potřebné k jejímu ulovení. Energie potřebná k ulovení kořisti se skládá z energie vynaložené k nalezení kořisti, jejímu chycení a zpracování (Sih 2001). V přirozeném prostředí se však nenachází jen ideální kořist a tudíž může predátor lovit i suboptimálně velkou kořist. To se stane v případě, kdy čistý energetický zisk je větší než energetický zisk, kdyby tuto kořist ignoroval a pokračoval by v hledání optimálně velké kořisti (Stephen & Krebs 1997). Optimální velikost kořisti můžeme zjišťovat pomocí sledování poměru počtu ulovených jedinců k celkovému počtu setkání s jedinci dané velikosti (Sih 2001).

Díky velikostně selektivní predaci se rozdílně velcí jedinci stejného druhu kořisti liší svou mortalitou (Sogard 1997). Rozdílní predátoři mohou preferovat různé velikosti kořisti a pokud druh žije na různých stanovištích s rozdílnými predátory, může se mortalita jednotlivých velikostí daného druhu lišit. To bylo pozorováno např. u severoamerického korýše rodu *Hyalella*: v jezeře, kde roli vrcholových predátorů měly ryby z rodů slunečnice (*Lepomis*) a okoun (*Perca*), je vysoká mortalita dospělců tohoto korýše, a proto v populaci dominovali menší nedospělí jedinci. Naopak v sousedním mokřadním společenstvu plnily roli vrcholového predátora převážně larvy vážek (Odonata) a mortalita korýše závisela na druhovém a velikostním složení larev vážek v dané sezóně (Welborn 1994).

Poznatky ohledně zvyšování mortality určité velikosti kořisti predátorem se považují za jedno z možných vysvětlení koexistence predátorů lovících kořist ve stejném ekosystému.

Každý z nich totiž využívá jinou část populace lovených druhů a tím se vyhýbá konkurenci s ostatními predátory. Predátor nemusí mít vliv jen na svou kořist, ale nepřímo přes společnou kořist i na ostatní predátory v ekosystému. Například dravec, který loví jen největší jedince dané kořisti, ovlivní velikostní distribuci této kořisti na stanovišti a může vytvořit tak niku vhodnou pro jiného predátora, který se živí menšími vývojovými stádii této kořisti. Jedná se o takzvanou facilitaci (Huss et al. 2014), která byla potvrzena např. u systému tří severoamerických druhů čolků a koreter rodu *Chaoborus*, jejichž společnou kořistí jsou perloočky (Dodson 1970).

Dalším důležitým aspektem selektivní predace je to, jaká vývojová stádia predátor loví. Predátor může ovlivnit populaci své kořisti, pokud hlavní složkou jeho potravy tvoří dospělci: obvykle tehdy, pokud preferuje největší jedince nebo pokud jsou dospělci např. snadněji detekovatelní. V této situaci dochází k urychlení dospívání a obvykle i zmenšení dospělců v populaci. Toto bylo pozorováno např. u výše zmíněného korýše *Hyalella* (Welborn 1994) či u perlooček rodu *Daphnia*, kde to způsobuje např. *Bythotrephes longimanus* (Manca et al. 2008).

Dravec je navíc faktorem, který může způsobovat evoluci lovené kořisti a umožňuje speciaci. Predaci může zvýhodnit jedince kořisti s odlišnou morfologií nebo chováním a tím zvýšit variabilitu znaků v její populaci. V extrémním případě to může vést ke vzniku nových druhů. Z počátku mezi takto oddělovanými druhy vzniká hybridní populace, u které je znak odlišující tyto nově vznikající druhy průměrný. Tato populace je náchylnější k predaci a tím pomáhá k udržení dvou populací s rozdílným znakem a k jejich následnému oddělení na dva samostatné druhy (Vamosi 2005).

2.2. Vztah mezi velikostí predátora a jeho kořisti

Poměr velikosti predátora a jeho kořisti se liší podle ekosystému. Ve vodních ekosystémech je hmotnost predátora 10-100x vyšší než hmotnost kořisti (Brose et al. 2006, Klečka & Boukal 2013). Poměr velikosti predátora jeho kořisti se nejen liší na základě typu ekosystému, ale také podle taxonomického zařazení (Boukal 2014). To je způsobeno výše zmíněnými faktory, jako jsou habitat, způsob zpracování kořisti, aktivita kořisti a také morfometrickými znaky (Boukal 2014). Ze statistických analýz vztahu velikosti těla predátora a jeho kořisti je také patrné, že minimální velikost a maximální velikost kořisti se nemění s velikostí predátora stejně (Brose et al. 2006). Maximální velikosti lovené kořisti

roste rychleji než minimální a tudíž dochází ke zvětšování rozdílu mezi minimální a maximální velikostí kořisti a větší predátor má k dispozici širší nabídku velikostí kořisti (Obr. 1).

Existují dva základní přístupy ke studiu vztahu mezi velikostí predátora a jeho kořisti, a to buď vyjádření velikosti pomocí poměru délek predátora a jeho kořisti, nebo pomocí poměru hmotností (Cohen et al. 2003). Vyjádření vztahu mezi predátorem a jeho kořisti jen za pomoci celkové délky obou ale tento vztah zkresluje. Délka zvířete zanedbává celkovou morfologii a s ní spjatý způsob života daného organismu. To se ukázalo při studiu mořských ekosystémů, kde pro stejně velké jedince různých druhů ryb byla velikost jejich kořisti rozdílná (Scharf et al. 2000, Juanes & Conover 1995). Druhým a v řadě případů vhodnějším přístupem k porovnávání vztahu mezi velikostí predátora a kořisti je proto měření jejich suché váhy (Woodward & Warren 2007), která koreluje s objemem těla (Brown 2004) a tudíž lépe vystihuje celkové proporce jedince než jen délka. Hmotnost predátora navíc lépe vystihuje jeho energetické nároky, protože stejně dlouhé organismy se mohou lišit svými proporcemi a množstvím energie potřebným k pokrytí energetických nároků (Sih 2001). Hmotnost kořisti zároveň lépe koreluje s energií v ní dostupné pro predátora než její celková délka (Brown et al. 2007). Pro vztah hmotností predátora a jeho kořisti platí podobné závislosti jako pro délky, t.j.se zvyšující se hmotností predátora se zvyšuje i hmotnost jeho kořisti (Brose et al. 2006).

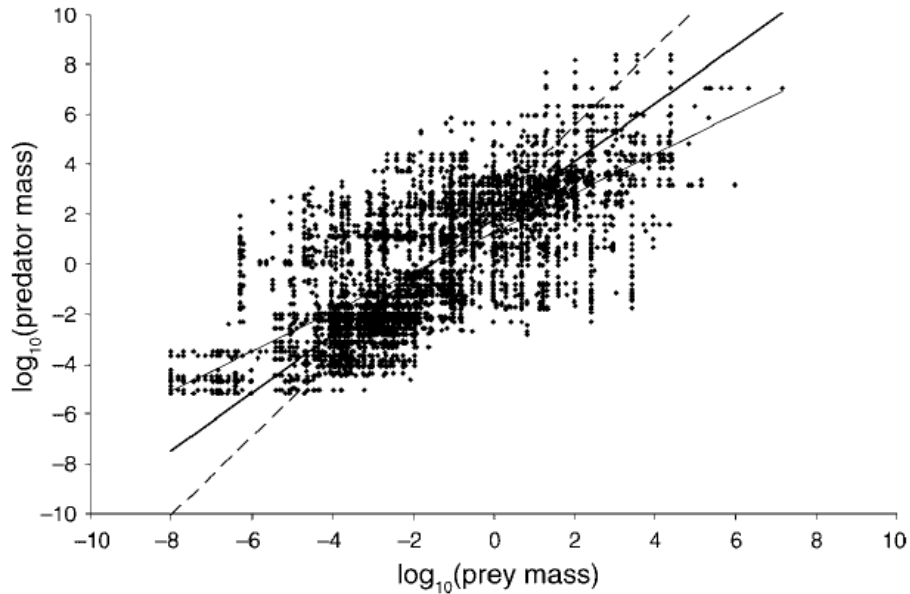
Další možností vyjádření poměru mezi predátorem a jeho kořisti je objem predátora a kořisti. Objem organismu zachovává informace o jeho morfologii. Používá se k měření velikosti planktonu. Jednou z metod měření objemu je ekvivalent průměru koule (Wirtz 2012). Vztah poměru velikosti (délky, objemu nebo hmotnosti) těla predátora a kořisti může být lineární:

$$V_K = aV_P \quad (1)$$

neboli

$$a = \frac{V_K}{V_P} \quad (2)$$

kde V_K je optimální velikost kořisti lovené predátorem o velikosti těla V_P a parametr a značí poměr velikostí kořisti a predátora v dané potravní síti (Wirtz 2012).

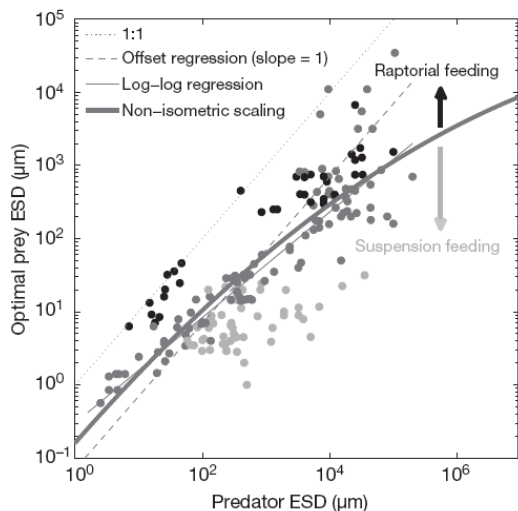


Obr. 1: Vztah velikosti predátora a kořisti na základě dat ze studií poměru velikosti predátora a kořisti ze všech ekosystémů po celém světě. Vyneseny jsou jednotlivé kombinace jedinců predátora a kořisti se známou velikostí. Na ose x je vynášena zlogaritmovaná hmotnost kořisti v g, osa y popisuje zlogaritmovanou hmotnost predátora v g. Tučnou čarou je vynesena regrese hlavních os. Zbylé dvě přímky jsou pro běžnou regresi pomocí nejmenších čtverců. Tenká linka je pro $\log(\text{predátor})$ k $\log(\text{kořisti})$ a přerušovaná pro $\log(\text{kořisti})$ k $\log(\text{predátor})$ (převzato z práce Brose et al. 2006).

I když je velikost těla používána k popisu vztahů mezi organizmy v potravní síti ukazuje se, že je tento znak nedostatečný k pochopení struktury celé potravní sítě. Proto se musí hledat další znaky, které pomohou s popisem a vysvětlením všech interakcí mezi jednotlivými složkami potravní sítě. Mohou zahrnovat jak morfologii, tak i způsob a fáze lovu, způsob konzumace kořisti a využití mikrohabitatů (Boukal 2014). Mezi predátory se např. řadí i organizmy získávající potravu pomocí filtrace. Ze zooplanktonu jsou to například perloočky (Humphries 2007). U nich výše zmíněný lineární model vysvětlení vztahu mezi velikostí predátora a jeho kořisti nestačí. To je způsobeno rozdílnou změnou velikosti preferované potravy se změnou velikosti predátora, která je v případě filtrátorů menší než u klasických predátorů (Obr. 2). Optimální velikost potravy je pro pasivní filtrátory menší kvůli způsobu zachytávání částic filtračním aparátem (Sebens et al. 1982). Jedna z možností jak přepracovat rovnici (1), aby vysvětlovala i tuto změnu, je:

$$V_K = rV_P e^{-\gamma l_P^2} \quad \text{s} \quad l_P = \log(V_P / V_0) \quad (3)$$

kde V_K je velikost optimální kořisti, V_P je velikost predátora, koeficient r vyjadřuje poměr velikosti predátora a kořisti bez deformace způsobené filtrátory, γ je koeficient deformace způsobené filtrátory. (Wirtz 2012).



Obr. 2: Vztah velikosti predátora a kořisti pro nelineární model (převzato z práce Wirtz 2012). Křivka ukazuje průběh závislosti dané rovnicí (3). Šipky ukazují efekty filtrátorů a predátorů na výslednou křivku.

Dalším příkladem jak modelovat poměr velikosti predátora a jeho kořisti je rovnice:

$$\begin{aligned} \ln(m_{ij}) = & \ln(a_0) + b_1 \ln(w_i) + b_2 \ln(w_j) + c_1 \ln^2(w_i) \\ & + c_2 \ln(w_i) \ln(w_j) + c_3 \ln^2(w_j) \end{aligned} \quad (4)$$

kde m_{ij} je průměrná mortalita kořisti j žrané predátorem i , a_0 je kladný skalár (regresní koeficient), w_i je velikost těla predátora, w_j velikost těla kořisti a $b=(b_1, b_2)$ a $c=(c_1, c_2, c_3)$ neznámé parametry pokrývající statistické efekty vlastností predátora a kořisti.

Predátory lze ale navíc vzhledem k jejich aktivitě (způsobu lovu) rozdělit na aktivně hledající a na pasivně číhající na kořist. Aktivně hledající predátoři nejsou tolik závislí na abundanci různých velikostí kořisti ve společenstvu, protože aktivně vyhledávají pro ně energeticky nejvýhodnější kořist. Tímto se liší od číhajících dravců, kteří nejčastěji loví potravu s největší abundancí z velikostního spektra jim dostupné kořisti a protože abundance

klesá s rostoucí velikostí těla, loví pasivní predátoři menší kořist než ti aktivní (Pastorok 1981, Sih 2001). Z toho vyplývá, že velikost ulovené kořisti je také závislá na četnosti setkání predátora s kořistí této velikosti (Osenberg & Mittelbach 1989). Navíc aktivní predátoři dokáží ulovit zejména kořist pomalu unikající na rozdíl od pasivních, kteří uloví většinu kořisti ve své blízkosti bez ohledu na její únikovou reakci (Klečka & Boukal 2013). Vliv na poměr velikosti predátora a jeho kořisti má také typ habitatu. Rozeznáváme dva základní typy habitatů: v ploše (2D) a v prostoru (3D). Ve vodním prostředí je 2D habitatem dno a 3D habitatem vodní sloupec. Poměr velikosti těla predátora a kořisti je v 3D habitatech větší než ve 2D habitatech, protože predátor v 3D habitatech častěji potká svou kořist než ve 2D habitatech (Pawar et al. 2012).

Rovnici (4) lze proto rozšířit o další parametry a vlastnosti predátora a kořisti jako jsou např. mikrohabitat H (ve vodním ekosystému se jedná zejména o dno nebo vodní sloupec), způsob lovu kořisti G (aktivní nebo pasivní), způsobu zpracování potravy (kousání nebo sání), aktivita kořisti A a schopnost uniknout predátorovi E (Klečka & Boukal 2013). Potom dostaneme rozšířenou verzi rovnice (4):

$$\ln(m_{ij}) = \ln(a_0) + b_1 \ln(w_i) + b_2 \ln(w_j) + c_1 \ln^2(w_i) + c_2 \ln(w_i) \ln(w_j) + c_3 \ln^2(w_j) + b_3 G_i + b_4 F_i + b_5 E_j + b_6 A_j + c_4 (H_i - H_j)^2 + c_5 G_i E_j + c_6 F_i E_j + c_7 G_i A_j + c_8 F_i A_j \quad (5)$$

kteřá obsahuje 15 neznámých a to skálar a_0 a vektory $b = (b_1, \dots, b_6)$ a $c = (c_1, \dots, c_8)$.

I dílčí procesy predace jsou významně ovlivněny velikostí těla predátora a kořisti. Například úspěšnost útoku predátora na kořist koreluje s velikostí těla kořisti. S velikostí kořisti se zvětšuje šance na její ulovení, ale jen do její určité velikosti, která je pro daného predátora optimální. Pokud je velikost kořisti větší než optimální, tak se šance na ulovení postupně snižuje až do velikosti kořisti, kterou predátor nedokáže ulovit (Brose et al. 2006). Při porovnání úspěšnosti útoků dvou různě velkých predátorů na stejně velkou kořist, kterou oba mají zastoupenou ve svém jídelníčku, zjistíme, že větší predátor častěji kořist uloví než ten menší (Gittelman 1978).

Poslední fází lovu je zpracování kořisti, kdy predátor manipuluje s kořistí, přičemž se buď může jednat jen o vlastní manipulaci během konzumace nebo manipulaci včetně trávení. U predátorů s vnějším trávením je poslední fáze lovu spojena s trávením. Predátor během zpracování vstříkne do kořisti trávicí enzymy a pak vysaje natrávené, tekuté tkáň. Ve stojatých vodách na tento způsob můžeme narazit u larev potápníků a u ploštic. I tato fáze je ovlivněna velikostí predátora (Chang & Hanazato 2005).

Čas potřebný ke zpracování kořisti se zkracuje s rostoucí velikostí predátora (Osenberg & Mittelbach 1989) a prodlužuje s rostoucí velikostí kořisti (Gittelman 1978). Díky opačným efektům velikostí predátora a jeho kořisti se usuzuje, že v některých ekosystémech nemá poměr velikosti těla predátora a jeho kořisti vliv na délku zpracování potravy (Osenberg & Mittelbach 1989). Velikost lovené kořisti u dravého vodního hmyzu může záležet i na způsobu její konzumace, kdy predátoři vysávající svou kořist sežerou v průměru 1,8 krát větší potravu než predátoři kousající (Klečka & Boukal 2013).

Selektivní predace a závislost velikosti predátora a jeho kořisti je tedy důležitou součástí studia vodních ekosystémů. Touto problematikou se zabývá velké množství prací, z nichž jsem vybral studie zaměřené na vodní ekosystémy a zpracoval je do přehledné tabulky (Tab. 1). Tyto články jsem hledal pomocí Web of Science a Google Scholar. Při vyhledávání jsem použil termíny *size-selective predation*, *size-dependent predation*, *body mass and predation* a *body size predation*. Obsažené informace umožňují získat širší obrázek o studovaných taxonech, přístupu k použité kořisti, případně k metodice vlastního určení velikostní selektivity.

Z 27 případových studií se jich devět zaměřilo na rybí predátory, šest na korýše a sedm na dravý vodní hmyz. Třináct prací bylo ze sladkovodního prostředí, z toho dvě v tekoucích vodách. Indexem selektivity byl vypočítán ve čtyřech případech, z toho třikrát byl použit Manlyho index selektivity (Manly 1974) a jednou Chessonův index selektivity (Chesson 1978). Ve zbylých případech byla selektivita počítána přímo z počtů sežraných jedinců kořisti. Ve čtyřech případech byla provedena analýza trávicího traktu predátora a ze zbytků kořisti určena velikostní selektivita. Pouze v jednom případě šlo o pozorování v terénu, ve zbylých studiích byly prováděny řízené laboratorní pokusy. U třech laboratorních studií byla predátorovi nabídnuta vždy jen jedna velikostní kategorie kořisti. Selektivitu predátora se nepodařilo prokázat pouze ve třech pracech.

2.3. Morfometrické znaky ovlivňující intenzitu predace

V této práci se zabývám vlivem morfometrických znaků, které charakterizují velikost celého těla nebo jeho částí, na ulovení a manipulaci s kořistí. Délka těla není morfometrický znak, který by nejlépe vysvětloval vztah mezi predátorem a velikostí jeho kořisti. Důvodem jsou rozdílné způsoby lovu, rozdíly v celkové morfologii těla jednotlivých organismů, které mohou být pro ně limitující, a míra jejich specializace na různé druhy potravy (Wirtz 2012).

Některé morfologické a morfometrické znaky mohou být limitujícím faktorem pro velikost lovené kořisti a její typ pokud jsou používány k lovu, ať už se jedná o ústní ústrojí, filtrační aparát nebo přední končetiny (Forsman 1996). Díky této limitaci mohou rozměry těchto tělních částí lépe vysvětlovat velikost preferované kořisti než celková velikost predátora. Šířka hlavy je jedním z těchto morfometrických znaků (Shine 1986) a jako taková dokáže vysvětlit rozdíly v preferované velikosti kořisti mezi predátory stejné délky těla (Juanes & Conover 1995). Odvozeným morfometrickým znakem od šířky hlavy je celková morfometrie ústního ústrojí, které je složitější na měření, ale dokáže vysvětlit rozdíly mezi stejně velkými predátory než šířka hlavy (Lazarro 1987). Navíc jsou nutné znalosti funkční morfologie a funkce jednotlivých částí ústního ústrojí (Pritchard 1976). Rozměry jednotlivých tělních částí korelují s celkovou délkou jedince, a tudíž zachovávají informaci o jeho celkové velikosti (Brown et al. 2007). Pro šířku hlavy proto například platí podobný vztah jako pro celkovou délku těla predátora: se zvětšující se šířkou hlavy se zvětšuje i velikost preferované kořisti daného dravce (Havlan 2009, Wirtz 2012).

To, jak morfologie ovlivňuje velikost přijímané potravy, můžeme pozorovat např. u filtrátorů. Velikost potravy získané pomocí filtrace je menší než u klasických predátorů, protože je to pasivní způsob lovu a zároveň je limitován morfologií (Fuchs a Franks 2010). Omezujícím faktorem této potravní strategie je filtrační aparát a jeho struktura a složitost (Wirtz 2012): aparát funguje jako síto a zachytává částice, které jsou větší než prostor mezi jeho jednotlivými částmi (Humpries 2007). Množství potravy získané filtrací ovlivňuje abundance částic v okolí i množství vody, které projde filtračním aparátem (Shimeta & Jumars 1991).

Rozměry ústního ústrojí vysvětlující velikost přijímané potravy se používají především u dravých ryb. Jedná se jak o planktonovorní, tak i o piscivorní ryby. Tito predátoři polykají kořist vcelku a tak rozměry a morfologie ústního otvoru hrají zásadní roli pro determinaci velikosti preferované kořisti, protože omezuje velikost a rozměry kořisti polknutelné predátorem (Lazarro 1987). Při překročení těchto rozměrů už není predátor schopen kořist ulovit, jak ukazují například terénní pokusy ve Švédsku, kdy byla zkoumána mortalita mladých okounů způsobena kanibalizmem a štikou. Ryby starší dvou let, které přesáhly kritickou horní mez velikostní selektivity predátora, už nebyly ohroženy predací (Persson et al. 1996). Další studie provedená na okounech (*Perca flavescens*) v Severní Americe tyto závěry potvrdila a navíc zjistila, že největší jedinci loví menší kořist, než odpovídá maximálnímu otevření tlamy (gape size), což lze vysvětlit únikovým chováním kořisti (Truemper 2005). Pozitivní efekt morfometrie a funkční mechaniky pohybu volných čelistí

byl prokázán i u hlubinných ryb, které díky morfologii a svalovému pohybu dokážou zvětšit ústní otvor a polknout větší kořist, než ryby s běžnou čelistí (Kenaley 2012). Další podskupinou ryb polykajících kořist vcelku jsou ryby, které svou kořist nasají pomocí vytvořeného vodního proudu. Velikostní alometrie kinematiky těchto nasávajících ryb může částečně vysvětlit pozorované rozdíly ve složení potravy těchto predátorů (Boukal 2014). Bohužel mechanika procesu nasávání kořisti je složitá a není pořádně popsána (Van Wassenbergh et al. 2005).

Morfologie ústního ústrojí zastává důležitou roli i u dravého vodního hmyzu, např. u larev potápníků *Agabus punctatus*, *Rhantus calidus* a *Acilius medicus* byly změřeny morfometrické znaky na hlavě a ústním ústrojí. Pomocí získaných rozměrů byla pro všechny larvy predikována velikost kořisti, která se shodovala s kořistí dostupnou v přirozeném prostředí těchto larev (Wall 2006). Podobný výzkum byl proveden i u larev vážek Pritchardem (1976), který nejen měřil jednotlivé části hlavy ústního ústrojí a masky, ale zabýval se pohyby jednotlivých částí masky a jejich zapojení do procesu ulovení a zpracování kořisti. Také se zaměřil na rozdíly ve tvaru a dosahu a jednotlivých rozměrů masky u druhů rodů *Libellula* a *Sympetrum* (Pritchard 1976).

Tabulka č. 1: Souhrn experimentů velikostní selektivity predátorů ve vodním prostředí. Vysvětlivky: LÚÚ – limitace ústním ústrojím, ? – neznámý údaj, - – ne, + – ano, D – selektivita se určovala přímo z údajů o množství sežrané kořisti z jednotlivých kategorií, CH – Chessonův index selektivity, M – Manlyho index selektivity, P – pokus, Po – Pozorování, ATT – analýza trávicího ústrojí, VK – v experimentu byly všechny velikosti kořisti nabídnuty predátorovy najednou, JK – v pokusu použit jen predátor a jedna kategorie kořisti, VS – velikostní selektivita, PK – preferovaná velikost kořisti, N – preferovaná nejmenší kořist, S – preferovaná středně velká kořist, V – preferovaná největší kořist, NN – nepreferovaná žádná kořist.

Práce	Predátor	Taxon	LÚÚ	Způsob žrání kořisti	Kořist	Taxon	Stanoviště	Pokus	Velikostní kategorie kořisti	Metoda analýzy selektivity	VS	PK
Aronhime & Brown (2009)	<i>Callinectes sapidus</i> < 10cm	Crustacea	-	kousání	<i>Ischadium recurvum</i>	Bivalve	moře	P, VK	navazující	CH	+	N
Aronhime & Brown (2009)	<i>Callinectes sapidus</i> > 10cm	Crustacea	-	kousání	<i>Ischadium recurvum</i>	Bivalve	moře	P, VK	navazující	CH	+	N
Aronhime & Brown (2009)	<i>Menippe adina</i>	Crustacea	-	kousání	<i>Ischadium recurvum</i>	Bivalve	moře	P, VK	navazující	CH	-	NN
Butler et al (2014)	<i>Thunnus thynnus</i>	Osteichthyes	+	polykání	<i>Fundulus heteroclitus</i>	Osteichthyes	moře	P	navazující	D	+	V
Ejdung & Elmgren (2001)	<i>Saduria entomon</i>	Crustacea	-	kousání	<i>Macoma balthica</i>	Bivalve	bentos	P, VK, JK	navazující	D	+	V
Ellis & Gibson (1995)	různí potenciální predátoři	Pisces	+	?	<i>Pleuronectes platessa</i>	Osteichthyes	moře	ATT	?	D	+	N
Ermgassen & Aldridge (2011)	<i>Pacifastacus leniusculus</i>	Crustacea	-	kousání	<i>Dreissena polymorpha</i>	Bivalve	jezero	P, JK	diskrétní	D	+	N
Ermgassen & Aldridge (2011)	<i>Pacifastacus leniusculus</i>	Crustacea	-	kousání	<i>Dreissena polymorpha</i>	Bivalve	jezero	P, VK	diskrétní	M	+	N
Gittelman (1987)	<i>Neoplea striola</i>	Heteroptera	-	sání	<i>Daphnia magna</i>	Crustacea	tůň	P, VK	navazující	D	+	N
Gittelman (1987)	<i>Notonect lunata</i>	Heteroptera	-	sání	Corixidae	Heteroptera	tůň	P, VK	navazující	D	+	S
Gittelman (1987)	<i>Notonecta undulata</i>	Heteroptera	-	sání	Corixidae	Heteroptera	tůň	P, VK	navazující	D	+	S
Gittelman (1987)	<i>Notonecta irrorata</i>	Heteroptera	-	sání	Corixidae	Heteroptera	tůň	P, VK	navazující	D	+	S, V

Práce	Predátor	Taxon	LÚÚ	Způsob žraní kořisti	Kořist	Taxon	Stanoviště	Pokus	Velikostní kategorie kořisti	Metoda analýzy selektivity	VS	PK
Gittelman (1987)	<i>Notonecta insulata</i>	Heteroptera	-	sání	Corixidae	Heteroptera	tůň	P, VK	navazující	D	+	S
Gregs & Ratte (2009)	<i>Notonectamaculata</i>	Heteroptera	-	sání	<i>Daphnia magna</i>	Crustacea	tůň	P, VK	diskrétní	D	+	V
Grutter (1997)	<i>Labroides dimidiatus</i>	Osteichthyes	+	polykání	gnathiids	Isopoda	moře	ATT	navazující	D	+	V
Hamilton et al. (1999)	<i>Somateria mollissima</i>	Aves	?	?	<i>Mytilus edulis</i>	Bivalve	moře	P, VK	kategorie	D	+	N
Hirvonen & Ranta (1996)	<i>Aeshna juncea</i>	Insecta (Odonata)	+	kousání	<i>Daphnia magna</i>	Crustacea	sladkovodní nádrž	P, VK	diskrétní	D	+	V
Holtzman a Genin (2005)	<i>Apogon annularis</i>	Osteichthyes	+	polykání	<i>Artemia salina</i>	Crustacea	korálový útes	P	diskrétní	D	+	V
Jara (2008)	<i>Rhionaeschna</i>	Odonata	+	kousání	<i>Physalaemus pustulosus</i>	Anura	tropické tůň	P, VK	diskrétní	D	+	S, V
Johansson et al. (2004)	<i>Crenicichla saxatilis</i>	Osteichthyes	+	polykání	<i>Poecilia reticulata</i>	Osteichthyes	pobřeží	P, VK	diskrétní	D	+	V
Katunzi at al. (2006)	<i>Lates niloticus</i>	Osteichthyes	+	polykání	Copepoda	Crustacea	jezero	ATT	?	D	+	V
Kinner et al. (1998)	?	Nanoflagelata	?	pohlcování	?	Bacteria	podzemní voda	P, VK	navazující	D	+	V
Klečka a Boukal (2012)	<i>Hydaticus seminiger</i>	Insecta (Coleoptera)	+	kousání	různé druhy		tůň	P, VK	diskrétní	M	+	S
Klečka a Boukal (2012)	<i>Acilius canaliculatus</i>	Insecta (Coleoptera)	+	kousání	různé druhy		tůň	P, VK	diskrétní	M	+	S
Klečka a Boukal (2012)	<i>Dytiscus marginalis</i>	Insecta (Coleoptera)	+	kousání	různé druhy		tůň	P, VK	diskrétní	M	+	V
Klečka a Boukal (2012)	<i>Ilyocoris cimicoides</i>	Insecta (Heteroptera)	-	sání	různé druhy		tůň	P, VK	diskrétní	M	+	S
Klečka a Boukal (2012)	<i>Notonecta glauca</i>	Insecta (Heteroptera)	-	sání	různé druhy		tůň	P, VK	diskrétní	M	+	S
Klečka a Boukal (2012)	<i>Coenagrion puella</i>	Insecta (Odonata)	+	kousání	různé druhy		tůň	P, VK	diskrétní	M	+	M
Klečka a Boukal (2012)	<i>Libellula depressa</i>	Insecta (Odonata)	+	kousání	různé druhy		tůň	P, VK	diskrétní	M	+	S

Práce	Predátor	Taxon	LÚÚ	Způsob žraní kořisti	Kořist	Taxon	Stanoviště	Pokus	Velikostní kategorie kořisti	Metoda analýzy selektivity	VS	PK
Klečka a Boukal (2012)	<i>Sympetrum sanguineum</i>	Insecta (Odonata)	+	kousání	různé druhy		tůň	P, VK	diskrétní	M	+	S
Klečka a Boukal (2012)	<i>Anax imperator</i>	Insecta (Odonata)	+	kousání	různé druhy		tůň	P, VK	diskrétní	M	+	S
Lienesch & Gophen (2005)	<i>Menidia beryllina</i>	Osteichthyes	+	polykání	<i>Daphnia lumholtzi</i>	Crustacea	jezera	P, VK	navazující	D	+	S, V
MacIsaac (1994)	<i>Orconectes propinquus</i>	Crustacea	-	kousání	<i>Dreissena polymorpha</i>	Bivalve	jezera	P, VK	diskrétní	D	+	N
Mascaró & Seed (2000)	<i>Carcinus maenas</i>	Crustacea	-	kousání	<i>Mytilus edulis</i>	Bivalve	moře	P, VK	navazující	D	+	N
Mascaró & Seed (2000)	<i>Carcinus maenas</i>	Crustacea	-	kousání	<i>Cerastoderma edule</i>	Bivalve	moře	P, VK	navazující	D	+	N
Mascaró & Seed (2000)	<i>Carcinus maenas</i>	Crustacea	-	kousání	<i>Ostrea edulis</i>	Bivalve	moře	P, VK	navazující	D	-	N
Mascaró & Seed (2000)	<i>Carcinus maenas</i>	Crustacea	-	kousání	<i>Crassostrea gigas</i>	Bivalve	moře	P, VK	navazující	D	-	N
Mascaró & Seed (2001)	<i>Carcinus maenas</i>	Crustacea	-	kousání	<i>Mytilus edulis</i>	Bivalve	moře	P, VK	navazující	D	+	N
Mascaró & Seed (2001)	<i>Carcinus maenas</i>	Crustacea	-	kousání	<i>Cerastoderma edule</i>	Bivalve	moře	P, VK	navazující	D	+	N
Mascaró & Seed (2001)	<i>Carcinus maenas</i>	Crustacea	-	kousání	<i>Ostrea edulis</i>	Bivalve	moře	P, VK	navazující	D	-	N
Mascaró & Seed (2001)	<i>Carcinus maenas</i>	Crustacea	-	kousání	<i>Crassostrea gigas</i>	Bivalve	moře	P, VK	navazující	D	-	N
Mascaró & Seed (2001)	<i>Cancer pagurus</i>	Crustacea	-	kousání	<i>Mytilus edulis</i>	Bivalve	moře	P, VK	navazující	D	+	S
Mascaró & Seed (2001)	<i>Cancer pagurus</i>	Crustacea	-	kousání	<i>Cerastoderma edule</i>	Bivalve	moře	P, VK	navazující	D	+	N
Mascaró & Seed (2001)	<i>Cancer pagurus</i>	Crustacea	-	kousání	<i>Ostrea edulis</i>	Bivalve	moře	P, VK	navazující	D	+	N
Mascaró & Seed (2001)	<i>Cancer pagurus</i>	Crustacea	-	kousání	<i>Crassostrea gigas</i>	Bivalve	moře	P, VK	navazující	D	-	NN
Nylström & Perez (1998)	<i>Pacifastacus leniusculus</i>	Crustacea	-	kousání	<i>Lymnaea stagnalis</i>	Gastropoda	tůň	Pokus - kombinace 2 kategorií	navazující	D	-	NN

Práce	Predátor	Taxon	LÚÚ	Způsob žrání kořisti	Kořist	Taxon	Stanoviště	Pokus	Velikostní kategorie kořisti	Metoda analýzy selektivity	VS	PK
Owen et al. (2011)	<i>Ondatra zibethicus</i>	Mammalia	-	kousání	Unionidae	Bivalve	řeka	Odběr zbytků z terénu	?	D	+	S
Shealer (1998)	<i>Sterna dougallii</i>	Aves	+	?	?	Osteichtlyes	moře	PO	?	D	+	-V
Streams (1994)	<i>Notonecta undulata</i>	Insecta (Heteroptera)	-	sání	<i>Notonecta</i>	Insecta (Heteroptera)	tůň	P, JK	?	D	+	S
Turresson et al. (2002)	<i>Stizostedion lucioperca</i>	Osteichthyes	+	polykání	plotice	Osteichthyes	jezero	P, VK	diskrétní	D	+	N
Velasco & Millan (1999)	<i>Abedus herberti</i>	Hemiptera	-	sání	<i>Trichorythodes dimorphus</i> (nymfa)	Ephemeroptera	potok v poušti	P, VK	malá (4-7 mm)	D	+	S
Velasco & Millan (1999)	<i>Abedus herberti</i>	Hemiptera	-	sání	<i>Graptocorixa serrulata</i> (dospělec)	Hemiptera	potok v poušti	P, VK	malá (4-7 mm)	D	+	S
Velasco & Millan (1999)	<i>Abedus herberti</i>	Hemiptera	-	sání	<i>Peltodytes sp.</i> (larva)	Coleoptera	potok v poušti	P, VK	malá (4-7 mm)	D	+	S
Velasco & Millan (1999)	<i>Abedus herberti</i>	Hemiptera	-	sání	<i>Stictotarsus roffii</i> (dospělec)	Coleoptera	potok v poušti	P, VK	malá (4-7 mm)	D	+	S
Velasco & Millan (1999)	<i>Abedus herberti</i>	Hemiptera	-	sání	<i>Physa virgata</i>	Mollusca	potok v poušti	P, VK	malá (4-7 mm)	D	+	S
Velasco & Millan (1999)	<i>Abedus herberti</i>	Hemiptera	-	sání	<i>Ambrysus occidentalis</i> (nymfa)	Hemiptera	potok v poušti	P, VK	střední (7-12 mm)	D	+	S
Velasco & Millan (1999)	<i>Abedus herberti</i>	Hemiptera	-	sání	<i>Tropisternus ellipticus</i> (dospělec)	Coleoptera	potok v poušti	P, VK	střední (7-12 mm)	D	+	S
Velasco & Millan (1999)	<i>Abedus herberti</i>	Hemiptera	-	sání	<i>Tropisternus ellipticus</i> (larva)	Coleoptera	potok v poušti	P, VK	střední (7-12 mm)	D	+	S
Velasco & Millan (1999)	<i>Abedus herberti</i>	Hemiptera	-	sání	<i>Physa virgata</i>	Mollusca	potok v poušti	P, VK	střední (7-12 mm)	D	+	S
Velasco & Millan (1999)	<i>Abedus herberti</i>	Hemiptera	-	sání	<i>Agosia chrysogaster</i> (larva)	Pisces	potok v poušti	P, VK	střední (7-12 mm)	D	+	S
Velasco & Millan (1999)	<i>Abedus herberti</i>	Hemiptera	-	sání	<i>Ophiogomphus bison</i> (nymfa)	Odonata	potok v poušti	P, VK	velká (> 12 mm)	D	+	S
Velasco & Millan (1999)	<i>Abedus herberti</i>	Hemiptera	-	sání	<i>Abedus herberti</i>	Hemiptera	potok v poušti	P, VK	velká (> 12 mm)	D	+	S
Velasco & Millan (1999)	<i>Abedus herberti</i>	Hemiptera	-	sání	<i>Ambrysus occidentalis</i> (dospělec)	Hemiptera	potok v poušti	P, VK	velká (> 12 mm)	D	+	S -

Práce	Predátor	Taxon	LÚÚ	Způsob žrání kořisti	Kořist	Taxon	Stanoviště	Pokus	Velikostní kategorie kořisti	Metoda analýzy selektivity	VS	PK
Velasco & Millan (1999)	<i>Abedus herberti</i>	Hemiptera	-	sání	<i>Thermonectus marmomatus</i> (dospělec)	Coleoptera	potok v poušti	P, VK	velká (> 12 mm)	D	+	S
Velasco & Millan (1999)	<i>Abedus herberti</i>	Hemiptera	-	sání	<i>Agosia chrysogaster</i>	Pisces	potok v poušti	P, VK	velká (> 12 mm)	D	+	S
Velasco & Millan (1999)	<i>Thermonectus marmmoratus</i>	Dytiscidae	?	kousání	<i>Trichorythodes dimorphus</i> (nymfa)	Ephemeroptera	potok v poušti	P, VK	malá (4-7 mm)	D	-	NN
Velasco & Millan (1999)	<i>Thermonectus marmmoratus</i>	Dytiscidae	?	kousání	<i>Graptocorixa serrulata</i> (dospělec)	Hemiptera	potok v poušti	P, VK	malá (4-7 mm)	D	-	NN
Velasco & Millan (1999)	<i>Thermonectus marmmoratus</i>	Dytiscidae	?	kousání	<i>Peltodytes sp.</i> (larva)	Coleoptera	potok v poušti	P, VK	malá (4-7 mm)	D	-	NN
Velasco & Millan (1999)	<i>Thermonectus marmmoratus</i>	Dytiscidae	?	kousání	<i>Stictotarsus roffii</i> (dospělec)	Coleoptera	potok v poušti	P, VK	malá (4-7 mm)	D	-	NN
Velasco & Millan (1999)	<i>Thermonectus marmmoratus</i>	Dytiscidae	?	kousání	<i>Physa virgata</i>	Mollusca	potok v poušti	P, VK	malá (4-7 mm)	D	-	NN
Velasco & Millan (1999)	<i>Thermonectus marmmoratus</i>	Dytiscidae	?	kousání	<i>Ambrysus occidentalis</i> (nymfa)	Hemiptera	potok v poušti	P, VK	střední (7-12 mm)	D	-	NN
Velasco & Millan (1999)	<i>Thermonectus marmmoratus</i>	Dytiscidae	?	kousání	<i>Tropisternus ellipticus</i> (dospělec)	Coleoptera	potok v poušti	P, VK	střední (7-12 mm)	D	-	NN
Velasco & Millan (1999)	<i>Thermonectus marmmoratus</i>	Dytiscidae	?	kousání	<i>Tropisternus ellipticus</i> (larva)	Coleoptera	potok v poušti	P, VK	střední (7-12 mm)	D	-	NN
Velasco & Millan (1999)	<i>Thermonectus marmmoratus</i>	Dytiscidae	?	kousání	<i>Physa virgata</i>	Mollusca	potok v poušti	P, VK	střední (7-12 mm)	D	-	NN
Velasco & Millan (1999)	<i>Thermonectus marmmoratus</i>	Dytiscidae	?	kousání	<i>Agosia chrysogaster</i>	Pisces	potok v poušti	P, VK	střední (7-12 mm)	D	-	NN
Velasco & Millan (1999)	<i>Thermonectus marmmoratus</i>	Dytiscidae	?	kousání	<i>Ophiogomphus bison</i> (nymfa)	Odonata	potok v poušti	P, VK	velká (> 12 mm)	D	-	NN
Velasco & Millan (1999)	<i>Thermonectus marmmoratus</i>	Dytiscidae	?	kousání	<i>Abedus herberti</i>	Hemiptera	potok v poušti	P, VK	velká (> 12 mm)	D	-	NN
Velasco & Millan (1999)	<i>Thermonectus marmmoratus</i>	Dytiscidae	?	kousání	<i>Ambrysus occidentalis</i> (dospělec)	Hemiptera	potok v poušti	P, VK	velká (> 12 mm)	D	-	NN
Velasco & Millan (1999)	<i>Thermonectus marmmoratus</i>	Dytiscidae	?	kousání	<i>Thermonectus marmomatus</i> (dospělec)	Coleoptera	potok v poušti	P, VK	velká (> 12 mm)	D	-	NN
Velasco & Millan (1999)	<i>Thermonectus marmmoratus</i>	Dytiscidae	?	kousání	<i>Agosia chrysogaster</i>	Pisces	potok v poušti	P, VK	velká (> 12 mm)	D	-	NN

Práce	Predátor	Taxon	LÚÚ	Způsob žraní kořisti	Kořist	Taxon	Stanoviště	Pokus	Velikostní kategorie kořisti	Metoda analýzy selektivity	VS	PK
Wellborn (1994)	<i>Lepomis macrochirus</i>	Pisces	+	polykání	<i>Hyalella azteca</i>	Crustacea	jezera, tůně	ATT	?	D	-	S
Wellborn (1994)	<i>Tramea lacerata</i>	Odonata	+	kousání	<i>Hyalella azteca</i>	Crustacea	jezera, tůně	P, VK	?	M	+	N
Wellborn (1994)	<i>Celithemis monomelaena</i>	Odonata	+	kousání	<i>Hyalella azteca</i>	Crustacea	jezera, tůně	P, VK	?	M	+	N
Wellborn (1994)	<i>Leucorrhinia intacta</i>	Odonata	+	kousání	<i>Hyalella azteca</i>	Crustacea	jezera, tůně	P, VK	?	M	+	N
Wellborn (1994)	<i>Anax junius</i>	Odonata	+	kousání	<i>Hyalella azteca</i>	Crustacea	jezera, tůně	P, VK	?	M	+	V
Wellborn (1994)	<i>Anax junius (malá)</i>	Odonata	+	kousání	<i>Hyalella azteca</i>	Crustacea	jezera, tůně	P, VK	?	M	-	N
Wellborn (1994)	<i>Erythemis simplicicollis</i>	Odonata	+	kousání	<i>Hyalella azteca</i>	Crustacea	jezera, tůně	P, VK	?	M	-	N
Wellborn (1994)	<i>Pachydiplax longipennis</i>	Odonata	+	kousání	<i>Hyalella azteca</i>	Crustacea	jezera, tůně	P, VK	?	M	-	N

3. Materiál a metodika

Predační pokusy, které rozšiřují a navazují na mou bakalářskou práci (Havlan 2009), byly provedeny v klimatizované místnosti na Entomologickém ústavu Biologického centra Akademie věd v Českých Budějovicích. Metodika experimentů se proto až na menší úpravy shoduje s metodikou bakalářské práce.

3.1. Použití predátoři

Jako pokusná zvířata sloužil dravý vodní hmyz ze skupin vodních ploštic (Hemiptera), vážek (Odonata) a potápníků (Dytiscidae). Jednotlivé druhy byly vybírány na základě několika kritérií, a to snadná determinace, pokrytí významných čeledí a vývojových stádií (dospělce i larvy, viz tabulka č. 2) a co největší rozpětí velikostí. Sběr predátorů probíhal na lokalitách v okolí Českých Budějovic a na Třeboňsku. Ty jsme poté uchovával jednotlivě v plastových krabičkách ve stejném klimaboxu, kde byly prováděny vlastní experimenty. Minimální délka aklimace jedinců před zahájením pokusu byla tři dny a maximální 14 dní. Každý den byla zvířata krmena potravou vhodné velikosti odlišné od použité kořisti berušky vodní (*Asellus aquaticus*). Jednalo se o larvy jepic (*Cleon*), larvy komárů a perloočky (*Daphnia*) z okolí Českých Budějovic, případně z Třeboňska, či nítěnky a larvy pakomárů zakoupené v prodejně s akvaristickými potřebami v Českých Budějovicích.

Tabulka 2: Druhy dravého vodního hmyzu použité v experimentech a jejich zařazení do čeledí. L1 – larvy 1. instaru, L2 – larvy 2. instaru, L3 – larvy 3 instaru a A – dospělci, u larválních stadií vážek (Odonata) je uveden rozsah použitých velikostí měřených z fotografií.

Taxon	Čeleď	Podčeleď	Druh	Stádium		
Coleoptera	Dytiscidae	Agabinae	<i>Agabus undulatus</i>	L2, L3, A		
			<i>Ilybius ater</i>	A		
			<i>Ilybius guttiger</i>	A		
				Colymbetinae	<i>Rhantus exoletus</i>	L3, A
				Copelatinae	<i>Liopterus haemorrhoidalis</i>	A
				Dytiscinae	<i>Acilius canaliculatus</i>	L1 - L3, A
					<i>Dytiscus marginalis</i>	L1 - L3, A
					<i>Hydaticus seminiger</i>	L2, L3, A
				Hydroporinae	<i>Hyphydrus ovatus</i>	L3, A
				Laccophilinae	<i>Laccophilus minutus</i>	L3, A
Heteroptera	Corixidae		<i>Corixa sp.</i>	A		
	Nepidae		<i>Nepa cinerea</i>	L2, L4, A		
			<i>Ranatra linearis</i>	L2, L5		
	Naucoridae		<i>Ilyocoris cimicoides</i>	L1, L3, L5, A		
	Notonectidae		<i>Notonecta glauca</i>	L2, L4, A		
Odonata	Lestidae		<i>Lestes sponsa</i>	14-15 mm		
	Coenagrionidae		<i>Coenagrion sp.</i>	16-17 mm		
	Aeshnidae		<i>Anax sp.pr. imperator</i>	15-20 mm, 27-30 mm, 35-37 mm		
			<i>Aeshna sp.</i>	10 mm, 17-19 mm, 25-30 mm		
	Cordulidae		<i>Cordulia aenea</i>	10 mm, 15 mm, 25-30 mm		
	Libellulidae		<i>Sympetrum sp.</i>	5 mm, 10 mm, 14-17 mm		
			<i>Libellula sp.</i>	10 mm, 15 mm, 19 mm		

3.2. Použitá kořist

Jako kořist byl v experimentech použit koryš beruška vodní (*Asellus aquaticus*) z řádu Isopoda (stejnonožci), rozšířený ve stojatých a mírně tekoucích vodách prakticky po celé Evropě. Jako potrava mu slouží spadané tlející listí a bakterie. V našich podmínkách se během roku vystřídají dvě generace, které se od sebe liší velikostí těla. Podzimní generace je oproti jarní generaci větší a přes zimu se zahrabává do vlhkého podkladu nebo přežívá v řekách. Na jaře nově vzniklá generace zplodí potomstvo a poté umírá (Lellák et al. 1972). Před kopulací chrání samec samici, kterou přenáší na spodní straně těla mezi končetinami (Benesh 2007). Tento fakt ovlivnil výběr čtvrté velikostní kategorie použité v pokusech. Pro usnadnění pokusů jsem vytvořil 5 diskretních, okem snadno určitelných velikostních

kategorií (od nejmenší po největší označeny jako I-V). První tři kategorie byly tvořeny juvenilními jedinci, kategorii IV tvoří dospělé samice se snůškou vajíček a kategorii V dospělí samci.

3.3. Pokusné uspořádání

Jednotlivé pokusy probíhaly v klimatizované místnosti s teplotou v rozmezí 18-20°C a s fotoperiodou 18 hodin světla (7:00-1:00) a 6 hodinami tmy (1:00-7:00). K pokusům jsem použil jedenáct plastových nádob o objemu 2,5 litru. Na dno každé nádoby jsem nalepil pomocí voděodolného silikonu bílé plátno, které usnadňovalo pohyb predátora a kořisti po dně. Do každé nádoby jsem umístil umělou vegetaci ze 4 obdélníků plastové síťoviny o rozměrech 5x10 cm, které byly upevněny na drátu. Tento drát se připevnil ze shora na pokusnou nádobu.

Před každým pokusem jsem nechal predátory hladovět po dobu 24 hodin. Jedinou výjimku tvořily larvy vážky *Anax* o velikosti 35-37 mm, které byly ponechány hladovět jen 12 hodin, protože při standardní době hladovění sežraly všechnu kořist. Každou nádobu jsem naplnil 2,5 l odstáté vody kromě experimentů s larvou potápníka *Acilius canaliculatus* 1. instaru a 2. instarem larvy plošnice splešťule blátivé (*Nepa cinerea*), kde objem vody byl poloviční (1,25 l). Tito predátoři jsou malí a drží se u hladiny, a proto nebyli schopni ve standardních podmínkách kořist najít a ulovit. Nádoby s jednotlivými replikacemi jsem oddělil přepážkami z kartonu, aby nedocházelo k vizuálnímu kontaktu mezi predátory. Do každé nádoby byl umístěn jeden predátor a deset jedinců kořisti z každé velikostní kategorie. Většina experimentů začínala mezi 17:00-22:00 a jednotlivé pokusy běžely po dobu 24 hodin. Poté jsem predátora zafixoval pro další měření. V letech 2008-2009 jsem jedince fixoval 75% denaturovaným etanolem a v letech 2010-2011 v roztoku 70 % denaturovaného etanolu se 30 % glycerolu. V ukončených experimentech jsem spočítal přeživší kořist z jednotlivých kategorií a následně vypočetl počet sežrané kořisti.

Kontrolní pokusy bez predátorů ke zjištění přirozené mortality kořisti byly provedeny na začátku a na konci každé sezóny a během sezóny v přibližně měsíčních intervalech. Tyto pokusy se jinak nelišily od pokusů s predátorem a sloužily ke kontrole mortality kořisti. Pokaždé jsem provedl alespoň tři replikace těchto kontrol (Tab. 3). Výslednou mortalitu jsem pak odečetl od výsledků predačních experimentů tak, že jsem odečetl hodnoty přirozené mortality z časově nejbližší kontroly k danému pokusu.

Tabulka 3: Průměrná mortalita v kusech v kontrolních pokusech pro jednotlivé velikostní kategorie

Datum	Kategorie I	Kategorie II	Kategorie III	Kategorie IV	Kategorie V
22.6.2008	1,25	0,5	0,25	0	0,25
27.7.2008	0,5	0,5	0	2	0,25
17.7.2009	2,25	0,25	0	0,25	0,5
5.8.2009	0,75	0	0,5	0,5	0,5
9.9.2009	2	0,25	0	0	0
5.6.2010	1,5	0	0,5	0	0,25
12.7.2010	0,25	0,75	0	0,25	0
20.10.2010	1	0,75	1	0,5	0
1.6.2011	0,67	0,33	0,67	1	0,67
20.9.2011	0,25	0,5	0	0	0,25

3.4. Měření vybraných morfologických znaků

Predátory a kořist jsem fotografoval digitální zrcadlovkou Olympus E-620 připojenou ke stereomikroskopu Olympus SZX10. Jednotlivé znaky jsem měřil ze snímků pomocí softwaru QuickPhoto 4.2 od firmy Promicra. Měřené znaky společné pro všechny predátory byly: celková délka těla, celková šířka těla a šířka hlavy. Dále jsem měřil morfometrické znaky, u kterých jsem předpokládal souvislost s velikostí lovené kořisti (viz níže).

Délka těla (TL) byla u potápníků měřena od hlavy po konec krovek. U larev potápníků se jednalo o rozměr od začátku hlavy po konec těla bez tělních přívěšků. U ploštic jsem měřil od začátku hlavy bez rostra po konec zadečku bez tělních přívěšků a u larev vážek jsem tento rozměr měřil od začátku hlavy bez přečnívající masky po začátek anální pyramidy. Šířku těla predátora (TW) jsem měřil v nejširším místě. U některých druhů larev vážek a larev potápníků to byla šířka hlavy, proto byl poté použit v analýze morfologických znaků stejný rozměr. Šířku hlavy (HW) jsem měřil v nejširším místě, které se u těchto predátorů nachází v oblasti očí. Šířka hlavy byla vybrána jako poslední společný morfologický znak pro všechny taxonomické skupiny predátorů.

Šířku ústního ústrojí (Mgape) jsem měřil u larev potápníků jako vzdálenost mezi vnějšími okraji kloubního spojení mandibul. U dospělců potápníků jsem před vlastním měřením oddělil hlavu od těla a ponechal po dobu cca 24 hodin projasnit v 30 % roztoku hydroxidu draselného. Takto připravené hlavy jsem nafotil a změřil vzdálenost mezi vnějšími okraji kloubu mandibul. U larev vážek jsem měřenou šířku masky (labium) použil jako morfologický znak srovnatelný s šířkou ústního ústrojí u potápníků. Tento znak byl

změřen jako vzdálenost vnějších okrajů kloubního připojení přeměněných labiálních palpů. U larev vážek jsem také měřil délku masky (LabL) od jejího okraje bez přeměněných labiálních palpů po kloubní spojení. Délka rostra u ploštic (RostrL) byla měřena ze snímků pořízených z boku od konce rostra bez stiletů po napojení s hlavou. U končetin ploštic jsem rozměry vždy měřil mezi kloubními spoji, jen v případě měření délky tarzu a tibie (TiL.TaL) a jejich modifikací jsem měřil po poslední článek chodidla (tarzu).

Stejný postup jsem použil i při měření délky použité kořisti, kde výsledný rozměr byl od okraje hlavy po konec zadečku. Měřená kořist pocházela z kontrolních experimentů a z každé kontroly bylo proměřeno minimálně 10 jedinců ze všech velikostních kategorií použitých v pokusech. Míra korelace pro jednotlivé morfometrické znaky u predátorů se lišila mezi slupinami i znaky (Tab. 10 v Příloze).

3.5. Statistická analýza dat

Data jsem zpracoval v programu R verze 2.14.2 (R Core Team 2012). Analýza velikostní selektivity pro jednotlivé druhy byla počítaná přímo z počtu sežrané kořisti dané velikostní kategorie. Použil jsem k tomu zobecněný lineární model s quasipoissonovskou distribucí dat, protože poissonovská distribuce normálně používaná pro tento typ analýzy pracuje pouze s celými čísly, což v mém případě po odečtení mortality neplatí. Vysvětlující proměnou v modelu byl počet sežrané kořisti a jako faktor byly použity velikostní kategorie kořisti.

K analýze poměru velikosti predátora a kořisti jsem nejprve spočítal velikost preferované kořisti pomocí vzorce:

$$V_K = \frac{\sum_i V_i a_i}{\sum_i V_i}$$

kde V_K je velikost preferované kořisti, V_i velikost kategorie i a a_i počet sežraných jedinců kategorie i . Takto připravená data jsem analyzoval pomocí zobecněného lineárního modelu, kde vysvětlující proměnou byla velikost těla predátora a vysvětlovanou proměnou preferovaná velikost kořisti. Zároveň jsem do modelu přidal jako další vysvětlující proměnou taxon, abych zjistil jeho vliv na poměr velikosti predátora jeho kořisti. Protože se jednalo o model porovnávající rozměry, použil jsem Gamma distribuci se změněnou

linkovací funkcí na přirozený logaritmus. Pro ostatní morfometrické znaky vycházel z modelu pro celkovou délku. Jako vysvětlující proměnou jsem použil vždy jeden ze znaků: celková šířka těla, šířka hlavy a šířka ústního ústrojí. Jako vysvětlovaná proměnná byla použita velikost preferované kořisti a k ní přidán i taxon. Použitá distribuce v této analýze byla opět Gamma se změněnou link funkcí na přirozený logaritmus.

Analýza poměrů velikostí predátora a kořisti pro vývojová stádia vychází z prvního modelu analýzy poměru velikosti predátora a jeho kořisti. Vysvětlující proměnou byla velikost těla predátora a vysvětlovanou velikost preferované kořisti. Distribuce dat použitá v této analýze byla Gamma se změněnou link funkcí na přirozený logaritmus. V rámci této analýzy jsem testoval poměr velikosti predátora a jeho kořisti pro jednotlivé druhy a jejich vývojová stádia. V této analýze byly použity druhy *Acilius canaliculatus*, *Dytiscus marginalis* (potápník vroubený), *Anax* sp., *Libellula* sp., *Notonecta glauca* (znakoplavka), *Nepa cinerea* (splešťule) a *Ilyocoris cimicoides* (bodule).

Poslední typ použité analýzy je výběrový model, který vybírá ze všech společných morfologických znaků ty, které vysvětlí nejvíce variability v datech. Tyto znaky jsou délka těla, celková šířka, šířka hlavy a rozměr ústního ústrojí (u dospělců a larev potápníků se jedná o šířku ústního ústrojí, u larev vážek o šířku masky a u ploštic o délku rostra). Protože měřené znaky korelují s celkovou velikostí predátora (Tab. 10 v Příloze), nejprve jsem pro všechny znaky mimo délky těla spočítal reziduály z jednotlivých modelů korelace daného morfologického znaku vůči celkové délce. Tyto reziduální rozměry, které už s velikostí těla ani spolu až na výjimky nekorelovaly (Tab. 11 v Příloze) jsem pak použil v zobecněném lineárním modelu, který pomocí AIC (Akaikeho informačního kritéria) vybral znaky nejlépe vysvětlující velikost lovené kořisti. AIC posuzuje kvalitu modelu při použití více vysvětlujících proměných tak, aby model vysvětlil co nejvíce variability v datech, ale zároveň nebyl příliš složitý. Jako vysvětlovaná proměnná byla použita velikost preferované kořisti a jako vysvětlující proměnné byly použity morfometrické znaky v závislosti na skupině predátorů. Nejprve jsem analyzoval znaky společné pro všechny skupiny predátorů a to celkovou délku těla (TL), celkovou šířku těla (TW), šířku hlavy (HW) a šířku ústního ústrojí (Mgape). Poté jsem analyzoval znaky pro každou skupinu zvlášť. Pro dospělé potápníky a larvy potápníků to byly celková délka těla (TL), celková šířka těla (TW), šířka hlavy (HW) a šířka ústního ústrojí. Pro larvy vážek jsem použil celkovou délku těla (TL), celkovou šířku těla (TW), šířku hlavy (HW), šířku ústního ústrojí (Mgape) a délku masky (LabL). A nakonec pro ploštice jsem použil celkovou délku těla (TL), celkovou šířku těla (TW), šířku

hlavy (HW), délku rostra (RostrL), délku holeně (TiL), délku holeně i s chodidlem (TiL.TaL) a délku stehna (FeL)

4. Výsledky

4.1. Velikostní selektivita

Řady predátorů si vybírala kořist podle její velikosti (Obr. 9- v Příloze 1). Z dospělců potápníků (Dytiscidae) byly selektivní druhy *Dytiscus marginalis*, *Hyphydrus ovatus* a *Liopterus haemorrhoidalis*. Výsledky u druhu *Acilius canaliculatus* hraničí s 5% hladinou významnosti, ale nejsou signifikantní. Zbylé druhy nepreferují žádnou z nabízených velikostních kategorií kořisti (Tab. 4). Na rozdíl od dospělců byly larvy potápníků vždy selektivní, a to i u druhů, které v dospělém stádiu selektivní nebyly (Tab. 4). U larev vážek (Odonata) nebyla prokázána selektivita u larvy *Anax* sp. o velikosti 15-20 mm, jinak všechny ostatní larvy vykazovaly preferenci pro některou z nabízených kategorií (Tab. 4). U dravých vodních ploštic je selektivita neprůkazná u bodule (*Ilyocorix cimicoides*) 4. a 5. instaru, splešťule (*Nepa cinerea*) 3. instaru a jehlanky (*Ranatra linearis*) 2. instaru. Zbylé druhy a vývojová stádia preferovaly některou z nabízených kategorií kořisti (Tab. 4).

Tabulka 4: Velikostní selektivita jednotlivých druhů predátorů. L1 – L3 – larvální stadia predátorů, df - stupně volnosti, p – pravděpodobnost, že můžeme zamítnout hypotézu neselektivní predace (tučně selektivní predace na 5% hladině signifikance).

Predátor	Taxon	Dospělec		L1		L2		L3	
		df	p	df	p	df	p	df	p
<i>Acilius canaliculatus</i>	Dyticidae	45	0,068	45	<10 ⁻¹⁶	50	<10 ⁻¹⁶	45	0,0083
<i>Agabus undulatus</i>	Dyticidae					30	<10 ⁻¹⁶		
<i>Dytiscus marginalis</i>	Dyticidae	20	0,023	35	<10 ⁻⁶	35	<10 ⁻¹⁵	35	<10 ⁻⁸
<i>Hydaticus seminiger</i>	Dyticidae	35	0,85			35	0,0022	35	<10 ⁻⁹
<i>Hyphydrus ovatus</i>	Dyticidae	35	<10 ⁻⁶					45	<10 ⁻⁵
<i>Ilybius ater</i>	Dyticidae	35	0,13						
<i>Ilybius guttiger</i>	Dyticidae	35	0,16						
<i>Laccophilus minutus</i>	Dyticidae	30	0,84					35	<10 ⁻¹¹
<i>Liopterus</i>	Dyticidae	30	<10 ⁻¹⁴						
<i>Rhantus exsoletus</i>	Dyticidae	35	0,15						
<i>Aeshna</i> sp.	Odonata			45	<10 ⁻¹⁶			55	0,0033
<i>Anax</i> sp.	Odonata			45	0,21	45	0,00018	45	0,00017
<i>Coenagrion</i> sp.	Odonata							35	<10 ⁻⁵
<i>Cordulia aenea</i>	Odonata			35	<10 ⁻⁵			35	<10 ⁻¹²
<i>Lestes sponsa</i>	Odonata							35	<10 ⁻¹⁶
<i>Libellula</i> sp.	Odonata			35	<10 ⁻⁵	35	<10 ⁻⁷	35	<10 ⁻⁷
<i>Sympetrum</i> sp.	Odonata			35	<10 ⁻¹⁶	35	<10 ⁻⁵	35	0,00051
<i>Corixa</i> sp.	Heteroptera	30	<10 ⁻⁹						
<i>Ilyocoris cimicoides</i>	Heteroptera	35	<10 ⁻⁶	35	<10 ⁻¹⁴	35	0,0026	35	0,33
<i>Nepa cinerea</i>	Heteroptera	35	0,00017	10	0,0046	10	0,36	35	0,0028
<i>Notonecta glauca</i>	Heteroptera	35	<10 ⁻⁹			35	<10 ⁻¹⁶	35	0,005
<i>Ranatra linearis</i>	Heteroptera					30	0,89	35	0,037

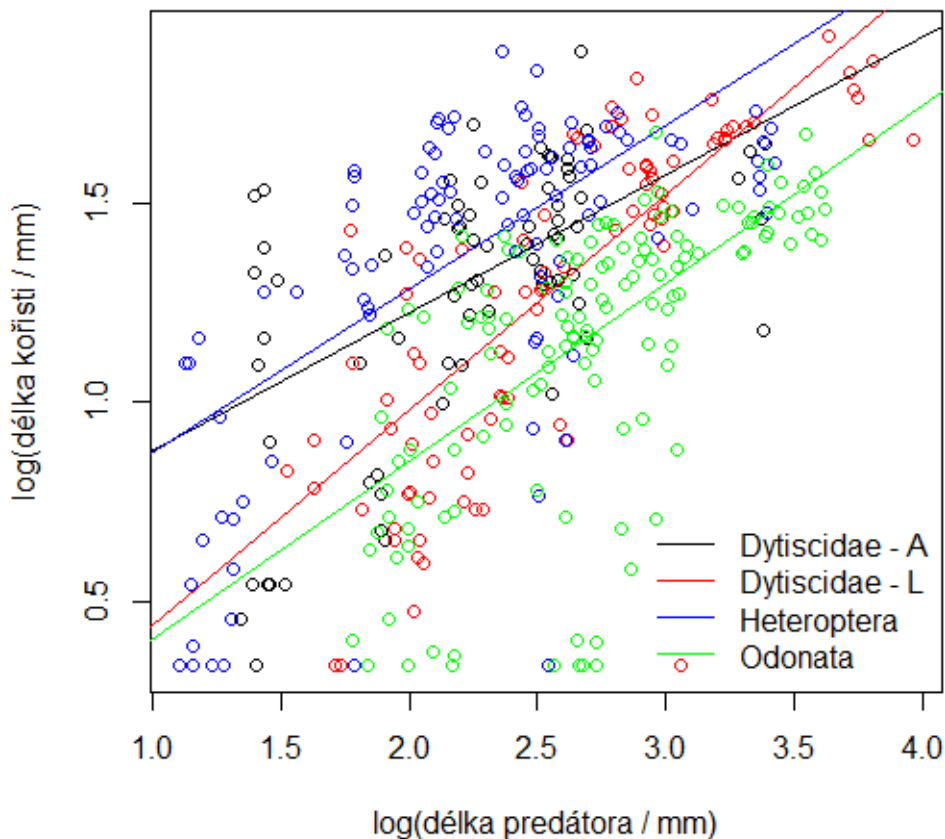
4.2. Vztah velikosti predátora a jeho kořisti

Potvrdil jsem předpokládanou závislost mezi délkou predátora a jeho kořisti (Tab. 5). Vliv délky predátora na velikost preferované kořisti u dospělců potápníků je průkazný na 5% hranici signifikance. Vliv délky predátora na velikost kořisti u dospělců potápníků byl odlišný od larev potápníků a larev vážek. Vliv velikosti těla pro ploštice se od vlivu velikosti těla dospělců potápníků neodlišuje. U larev potápníků navíc velikost kořisti rostla rychleji

s velikostí predátora než u ostatních tří skupin (Obr. 5). Velikost těla predátora a taxonomická příslušnost přitom vysvětlila 46% celkové variability v datech.

Tabulka 5: Závislost průměrné délky kořisti a na délce predátora (Zobecněný lineární model s délkou kořisti jako vysvětlovanou proměnou a délkou predátora jako s vysvětlující proměnou). Intercept = parametr modelu odpovídající logaritmu velikosti kořisti pro dospělého potápníka o referenční velikosti 1 mm. Log(TL) = změna velikost kořisti s délkou predátora pro dospělé potápníků. Dytiscidae – larvy, Heteroptera a Odonata = odlišnost velikosti kořisti pro tyto predátory o referenční velikosti ve srovnání se stejně velkým dospělcem potápníka. Log(TL) : Dytiscidae – larvy, Log(TL) : Heteroptera a Log(TL) : Odonata = odchylku sklonu přímky poměru predátora a jeho kořisti pro dané taxony vzhledem ke sklonu pro dospělé potápníků. p – pravděpodobnost, že můžeme zamítnout hypotézu o nulovém vlivu délky dospělých potápníků na velikost preferované kořisti a hypotézu nulovém rozdílu vlivu délky těla potápníků od larev potápníků, larev vážek a ploštic a hypotézu o nulové odchylce sklonu přímky poměru predátora a kořisti larev potápníků, larev vážek a ploštic od sklonu přímky pro dospělé potápníky.

Parametr modelu	Odhad hodnoty	p
Intercept (Dytiscidae – dospělci)	0,53±0,13	<10 ⁻⁵
Log(TL)	0,35±0,057	<10 ⁻⁹
Dytiscidae – larvy	-0,63±0,18	0,00052
Heteroptera	-0,066±0,16	0,69
Odonata	-0,57±0,18	0,0019
Log (TL) : Dytiscidae – larvy	0,19±0,074	0,0087
Log (TL) : Heteroptera	0,064±0,07	0,36
Log (TL) : Odonata	0,0991±0,073	0,18

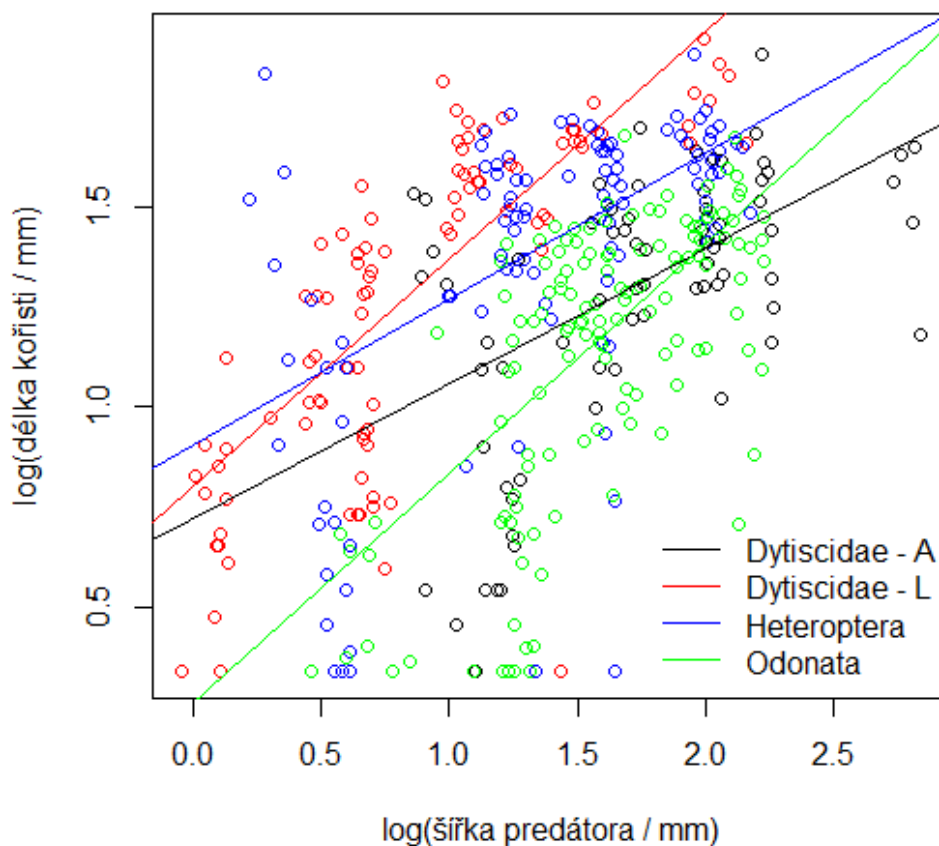


Obr. 5: Graf závislosti délky kořisti na délce predátora, který ukazuje rozdíly mezi jednotlivými taxony dravého vodního hmyzu. A = dospělci, L = larvy.

Potvrdil jsem předpokládanou závislost mezi celkovou šířkou predátora a délkou jeho kořisti (Tab. 6) Vliv celkové šířky predátora na velikost preferované kořisti u dospělců potápníků je průkazný na 5% hranici signifikance. Vliv šířky predátora na velikost kořisti u dospělců potápníků byl odlišný od larev vážek. Vliv šířky těla pro ploštice a larvy potápníků se od vlivu velikosti těla dospělců potápníků neodlišuje. U larev potápníků a larev vážek navíc velikost kořisti rostla rychleji s velikostí predátora než u zbylých dvou skupin (Obr. 6). Velikost těla predátora a taxonomická příslušnost přitom vysvětlila 44% celkové variability v datech.

Tabulka 6: Závislost průměrné délky kořisti a na celkové šířce predátora (Zobecněný lineární model s délkou kořisti jako vysvětlovanou proměnou a šířkou predátora jako s vysvětlující proměnou). Intercept = parametr modelu odpovídající logaritmu velikosti kořisti pro dospělého potápníka o referenční šířce těla 1 mm. Log(TW) = změna velikost kořisti s šířkou predátora pro dospělé potápníků. Dytiscidae – larvy, Heteroptera a Odonata = odlišnost velikosti kořisti pro tyto predátory o referenční velikosti ve srovnání se stejně velkým dospělcem potápníka. Log(TW) : Dytiscidae – larvy, Log(TW) : Heteroptera a Log(TW) : Odonata = odchylku sklonu přímky poměru predátora a jeho kořisti pro dané taxony vzhledem ke sklonu pro dospělé potápníků. p – pravděpodobnost, že můžeme zamítnout hypotézu o nulovém vlivu šířky dospělých potápníků na velikost preferované kořisti a hypotézu nulovém rozdílu vlivu šířky těla potápníků od larev potápníků, larev vážek a ploštíc a hypotézu o nulové odchylce sklonu přímky poměru šířky predátora a délky kořisti larev potápníků, larev vážek a ploštíc od sklonu přímky pro dospělé potápníky.

Parametr modelu	Odhad hodnoty	p
Intercept (Dytiscidae – dospělci)	0,72±0,11	<10 ⁻¹⁰
TW	0,34±0,062	<10 ⁻⁸
Dytiscidae – larvy	0,079±0,12	0,52
Heteroptera	0,18±0,13	0,16
Odonata	-0,46±0,15	0,0018
Log (TW) : Dytiscidae – larvy	0,23±0,079	0,0037
Log (TW) : Heteroptera	0,028±0,078	0,72
Log (TW) : Odonata	0,24±0,085	0,0057

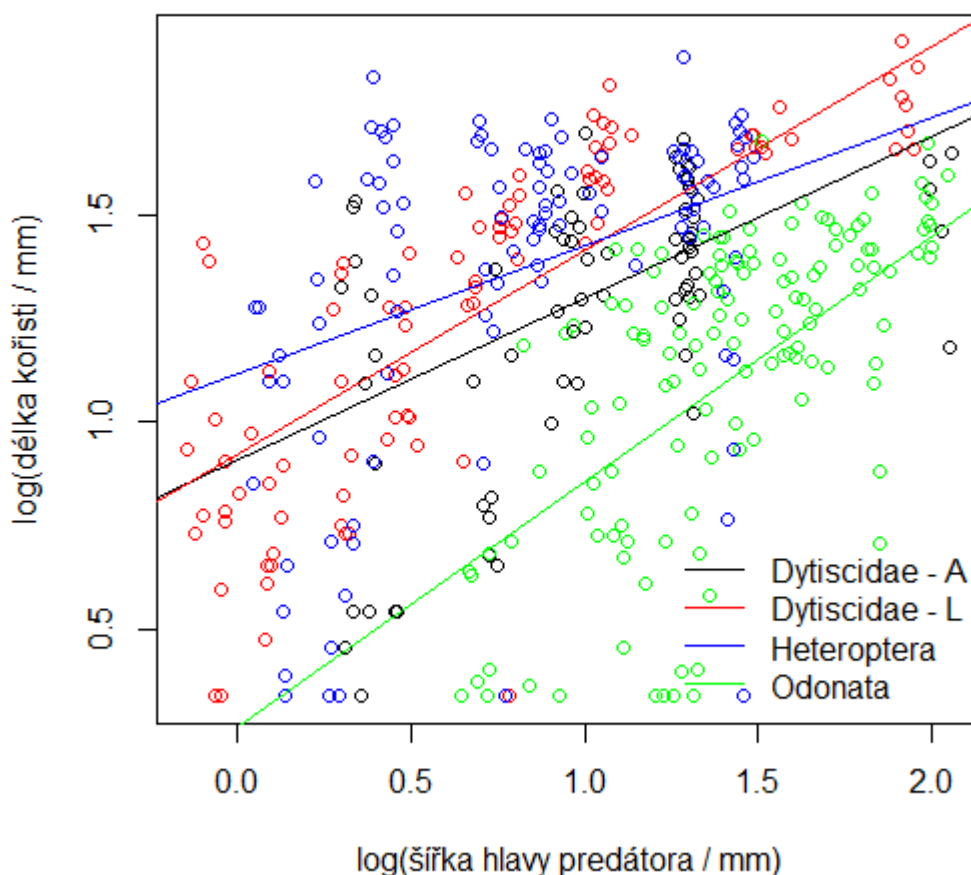


Obr. 6: Graf závislosti délky kořisti na celkové šířce predátora na délce jeho kořisti, který ukazuje rozdíly mezi jednotlivými taxony dravého vodního hmyzu. A = dospělci, L = larvy

V poslední analýze jsem potvrdil předpokládanou závislost mezi šířkou hlavy predátora a délkou jeho kořisti (Tab. 7) Vliv šířky hlavy predátora na velikost preferované kořisti u dospělců potápníků je průkazný na 5% hranici signifikance. Vliv šířky hlavy predátora na velikost kořisti u dospělců potápníků byl odlišný od ploštic a larev vážek . Vliv šířky hlavy pro larvy potápníků se od vlivu velikosti těla dospělců potápníků neodlišuje. U larev vážek navíc velikost kořisti rostla rychleji s velikostí predátora než u ostatních tří skupin (Obr. 7). Velikost těla predátora a taxonomická příslušnost přitom vysvětlila 42,2% celkové variability v datech.

Tabulka 7: Závislost průměrné délky kořisti a na šířce hlavy predátora (Zobecněný lineární model s délkou kořisti jako vysvětlovanou proměnou a šířkou hlavy predátora jako s vysvětlující proměnou). Intercept = parametr modelu odpovídající logaritmu velikosti kořisti pro dospělého potápníka o referenční šířce hlavy těla 1 mm. Log(HW) = změna velikost kořisti s šířkou predátora pro dospělé potápníků. Dytiscidae – larvy, Heteroptera a Odonata = odlišnost velikosti kořisti pro tyto predátory o referenční velikosti ve srovnání se stejně velkým dospělým potápníka. Log(HW) : Dytiscidae – larvy, Log(HW) : Heteroptera a Log(HW) : Odonata = odchylku sklonu přímky poměru predátora a jeho kořisti pro dané taxony vzhledem ke sklonu pro dospělé potápníků. p – pravděpodobnost, že můžeme zamítnout hypotézu o nulovém vlivu šířky hlavy dospělých potápníků na velikost preferované kořisti a hypotézu nulovém rozdílu vlivu šířky hlavy potápníků od larev potápníků, larev vážek a ploštic a hypotézu o nulové odchylce sklonu přímky poměru šířky hlavy predátora a kořisti larev potápníků, larev vážek a ploštic od sklonu přímky pro dospělé potápníky.

Parametr modelu	Odhad hodnoty	p
Intercept (Dytiscidae – dospělci)	0,91±0,079	<10 ⁻¹⁶
HW	0,39±0,017	<10 ⁻⁸
Dytiscidae – larvy	0,011±0,09	0,90
Heteroptera	0,21±0,95	0,032
Odonata	-0,65±0,13	<10 ⁻⁷
Log (HW) : Dytiscidae – larvy	0,15±0,085	0,084
Log (HW) : Heteroptera	-0,036±0,091	0,69
Log (HW) : Odonata	0,25±0,098	0,012



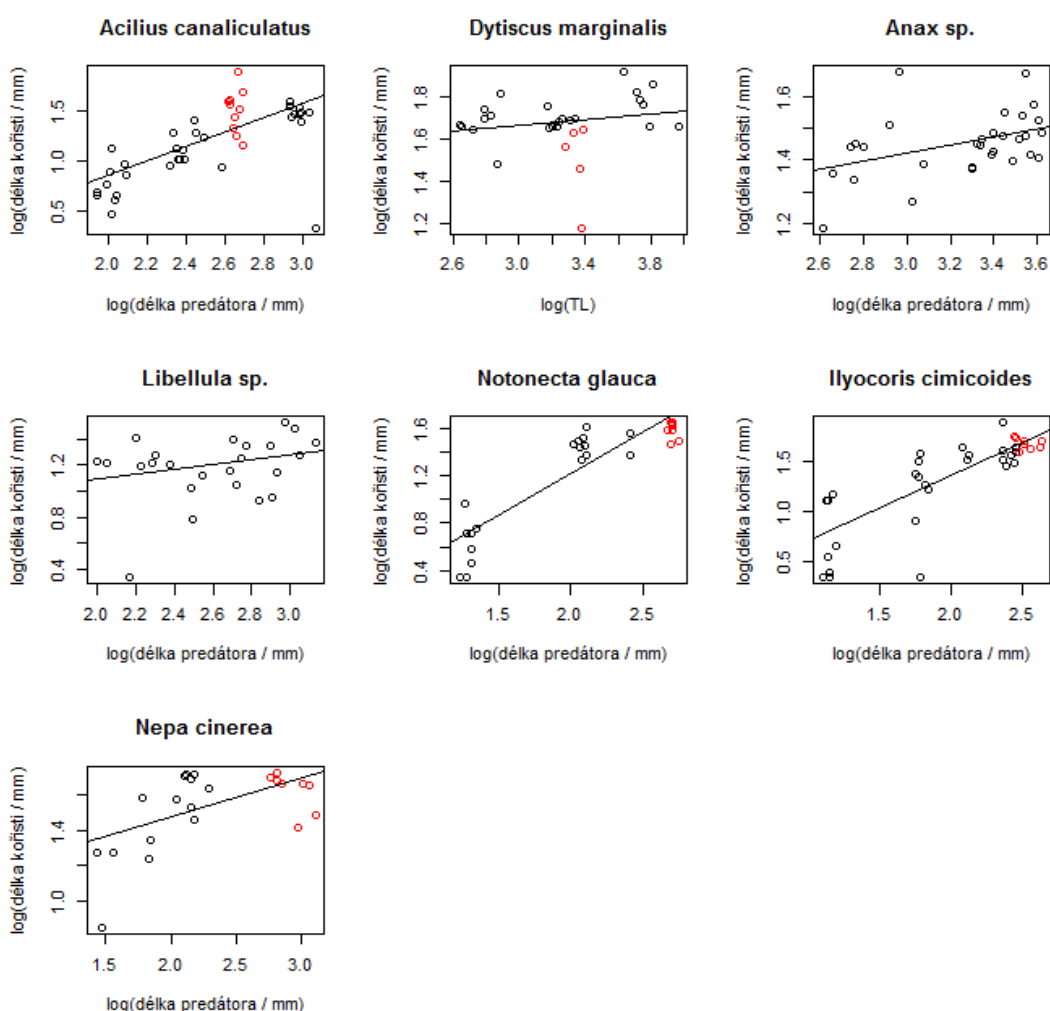
Obr. 7: Graf závislosti délky kořisti na šířce hlavy, který ukazuje rozdíly mezi jednotlivými taxony dravého vodního hmyzu. A = dospělci, L = larvy

4.3. Analýza selektivity vývojových stádií

Pro všechny druhy s dostatečným zastoupením různých vývojových stádií (kromě potápníka druhu *Dytiscus marginalis*) se velikost preferované kořisti výrazně mění během vývoje (Tab. 10). Se zvětšujícím se tělem predátora se zvětšuje i velikost lovené potravy (Obr. 8). U potápníků *Acilius canaliculatus* a *Dytiscus marginalis* je nápadná i změna selektivity po metamorfóze, během které dochází ke zmenšení velikosti těla dospělého oproti poslednímu larválnímu stádiu a také ke zmenšení velikosti preferované kořisti (Obr. 8).

Tabulka 8: Výsledky analýzy vývojových stádií vybraných druhů dravého vodního hmyzu. Testována změna velikosti preferované kořisti se změnou vývojového stádia na 5% hladině signifikance (p). Průkazné výsledky tučně. df – stupně volnosti.

Taxon	df	p
<i>Acilius canaliculatus</i>	39	<10⁻⁷
<i>Dytiscus marginalis</i>	27	0,29
<i>Anax</i> sp.	28	0,028
<i>Libellula</i> sp.	15	0,0008
<i>Notonecta glauca</i>	24	<10⁻⁹
<i>Ilyocoriscimicoides</i>	33	<10⁻⁹
<i>Nepa cinerea</i>	20	0,006



Obr. 8: Změna průměrné délky kořisti v závislosti na délce predátora během ontogeneze vybraných druhů dravého vodního hmyzu. Přímka znázorňuje predikci lineárního modelu. Dospělí jedinci jsou znázorněni červeně.

4.4. Výsledky analýzy modelu s morfologickými znaky

Ze čtyř společných morfologických znaků pro použité skupiny dravého vodního hmyzu nejvíce parsimonní model vybraný pomocí AIC zahrnoval délku těla (TL), residuál celkové šířky těla (res.TW) a residuál šířky ústního ústrojí predátora (res.Mgape). Vliv délky predátora na velikost preferované kořisti u dospělců potápníků je průkazný na 5% hranici signifikance. Vliv délky predátora na velikost kořisti u dospělců potápníků byl odlišný od larev potápníků, larev vážek a ploštic. Dále byl průkazný na 5% hranici významnosti vliv residuálu šířky těla a residuálu šířky ústního ústrojí (Tab. 9) Vliv velikosti těla pro ploštice se od vlivu velikosti těla dospělců potápníků neodlišuje. U ploštic navíc velikost kořisti rostla rychleji s šířkou ústního ústrojí predátora než u ostatních tří skupin. Velikost těla, šířka těla a šířka ústního ústrojí predátora a taxonomická příslušnost přitom vysvětlila 53,5% celkové variability v datech.

V samostatné analýze dospělých potápníků nejvíce parsimonní model vybraný pomocí AIC zahrnoval délku predátora, residuál šířky ústního ústrojí a residuál šířky hlavy. Parametr modelu odpovídající logaritmu velikosti kořisti pro dospělého potápníka o referenční velikosti těla 1 mm, referenční šířkou těla 1 mm a referenční šířkou ústního ústrojí 1 mm je průkazně odlišný od nuly ($p=0,00034$, odhad hodnoty = $0,47\pm 0,13$). Vliv délky dospělých potápníků na velikost preferované kořisti je signifikantní na 5% hranici významnosti ($p<10^{-16}$, odhad hodnoty = $0,37\pm 0,05$). Vliv residuálu šířky ústního ústrojí ($p=0,0031$, odhad hodnoty = $-1,69\pm 0,55$) a vliv residuálu šířky hlavy ($p=0,008$, odhad hodnoty = $-1,61\pm 0,59$) je také signifikantní na 5% hranici významnosti. Tento model vysvětluje 44% variability v datech pro dospělé potápníky.

V samostatné analýze larev potápníků nejvíce parsimonní model vybraný pomocí AIC zahrnoval délku predátora, residuál šířky těla a residuál šířky hlavy. Parametr modelu odpovídající logaritmu velikosti kořisti pro dospělého potápníka o referenční velikosti těla 1 mm, referenční šířkou těla 1 mm a referenční šířkou těla 1 mm je průkazně odlišný od nuly ($p=0,0005$, odhad hodnoty = $0,3\pm 0,085$). Vliv délky larev potápníků na velikost preferované kořisti je signifikantní na 5% hranici významnosti ($p<10^{-16}$, odhad hodnoty = $0,42\pm 0,034$). Vliv residuálu šířky těla ($p<10^{-5}$, odhad hodnoty = $0,42\pm 0,034$) a vliv residuálu šířky hlavy ($p=0,004$, odhad hodnoty = $0,36\pm 0,12$). Tento model vysvětluje 50,8% variability v datech pro dospělé potápníky.

Tabulka 9: Výběrový model závislosti velikosti kořisti na morfologických znacích predátora (Zobecněný lineární model s délkou kořisti jako vysvětlovanou proměnou a délkou predátora, celkovou šířkou predátora a šířkou ústního ústrojí jako s vysvětlujícími proměnými). Intercept = parametr modelu odpovídající logaritmu velikosti kořisti pro dospělého potápníka o referenční velikosti 1 mm, referenční šířkou těla 1 mm a referenční šířkou ústního ústrojí 1 mm. Log(TL) = změna velikost kořisti s délkou predátora pro dospělé potápníků. Res.TW = změna velikosti kořisti s residuálem šířky těla predátora. Res.Mgape = změna velikosti kořisti s residuálem šířky ústního ústrojí Dytiscidae – larvy, Heteroptera a Odonata = odlišnost velikosti kořisti pro tyto predátory o referenční velikosti ve srovnání se stejně velkým dospělcem potápníka. Dytiscidae – larvy : res.Mgape, Heteroptera : res.Mgape a Odonata : res.Mgape = odchylku sklonu přímky poměru šířky ústního ústrojí predátora a jeho kořisti pro dané taxony vzhledem ke sklonu pro dospělé potápníků. p – pravděpodobnost, že můžeme zamítnout hypotézu o nulovém vlivu délky těla, šířky těla a šířky ústního ústrojí dospělých potápníků na velikost preferované kořisti a hypotézu nulovém rozdílu vlivu délky těla potápníků od larev potápníků, larev vážek a ploštic a hypotézu o nulové odchylce sklonu přímky poměru šířky ústního ústrojí predátora a délky kořisti larev potápníků, larev vážek a ploštic od sklonu přímky pro dospělé potápníky.

Parametr modelu	Odhad hodnoty	p
Intercept (Dytiscidae – dospělci)	0,32±0,06	<10 ⁻⁷
log(TL)	0,44±0,23	<10 ⁻¹⁶
Dytiscidae – Larvy	-0,16±0,04	0,0001
Heteroptera	0,10±0,039	0,008
Odonata	-0,34±0,038	<10 ⁻¹⁶
res.TW	0,27±0,049	<10 ⁻⁸
res.Mgape	-0,29±0,3	0,32
Dytiscidae – Larvy:res.Mgape	0,61±0,38	0,11
Heteroptera:res.Mgape	0,65±0,31	0,037
Odonata:res.Mgape	0,38±0,32	0,24

V samostatné analýze larev vážek nejvíce parsimoní model vybraný pomocí AIC zahrnoval délku predátora a residuál šířky těla. Parametr modelu odpovídající logaritmu velikosti kořisti pro dospělého potápníka o referenční velikosti těla 1 mm, referenční šířkou těla 1 mm a referenční šířkou těla 1 mm není průkazně odlišný od nuly (p=0,71, odhad hodnoty = -0,044±0,12). Vliv délky larev potápníků na velikost preferované kořisti je

signifikantní na 5% hranici významnosti ($p < 10^{-16}$, odhad hodnoty = $0,45 \pm 0,43$). Vliv residuálu šířky těla ($p = 0,0003$, odhad hodnoty = $0,33 \pm 0,088$) je průkazný na 5% hranici významnosti. Tento model vysvětluje 44,2% variability v datech pro dospělé potápníky.

V samostatné analýze ploštic nejvíce parsimoní model vybraný pomocí AIC zahrnoval délku predátora, residuál šířky těla, délku holeně, délku rostra a šířku hlavy. Všechny modelem vybrané morfometrické znaky mají průkazný vliv na velikost selektované kořisti (Tab. 10) na 5% hranici průkaznosti. Tento model vysvětluje 61,5% variability v datech.

Tabulka 10: Výběrový model závislosti velikosti kořisti na morfologických znacích ploštic (Zobecněný lineární model s délkou kořisti jako vysvětlovanou proměnou a délkou predátora, celkovou šířkou predátora, délkou holeně a délkou rostra jako s vysvětlujícími proměnými). Intercept = parametr modelu odpovídající logaritmu velikosti kořisti pro ploštice o referenční velikosti 1 mm, referenční šířkou těla 1 mm, referenční délkou holeně ústrojí 1 mm, referenční délkou rostra 1mm a referenční šířkou hlavy 1 mm. Log(TL) = změna velikost kořisti s délkou predátora pro ploštice. Res.TW = změna velikosti kořisti s residuálem šířky těla predátora. Res.TiL = změna velikosti kořisti s residuálem délky holeně. Res.RostrL = změna velikosti kořisti s residuálem délky rostra. p – pravděpodobnost, že můžeme zamítnout hypotézu o nulovém vlivu délky těla, šířky těla, délky holeně, délky rostra a šířky hlavy ploštic na velikost preferované kořisti.

Parametr modelu	Odhad hodnoty	p
Intercept(Heteroptera)	$0,43 \pm 0,86$	$< 10^{-6}$
log(TL)	$0,43 \pm 0,037$	$< 10^{-16}$
res.TW	$0,22 \pm 0,049$	$< 10^{-5}$
res.TiL	$0,77 \pm 0,17$	$< 10^{-5}$
res.RostrL	$0,35 \pm 0,09$	0,0002
res.HW	$-0,17 \pm 0,083$	0,041

5. Diskuze

5.1. Diskuze literární rešerše

Velikost těla je důležitým faktorem, který ovlivňuje řadu procesů v biologii a je používána ke studiu potravních sítí. Je i klíčovým faktorem k pochopení role predátorů v ekosystému a jejich vlivu na něj (Woodward & Warren 2007). Predace ovlivňuje mortalitu kořisti a je téměř vždy velikostně selektivní. Ve vodních ekosystémech je velikostní selektivita dlouho studovanou otázkou v souvislosti s teorií optimální velikosti potravy (Sih 2001). Výzkum této problematiky se týká převážně ryb a koryšů (Mascaro a Seed 2004, Sharf et al. 2000), kteří jsou důležitou součástí ekosystému a společenstev. Tyto druhy jsou často ve svých společenstvech vrcholovými predátory, a proto mají vliv na druhové a velikostní složení těchto společenstev (Dodson 1970). V malých sladkovodních nádržích často zastává funkci vrcholového predátora dravý vodní hmyz. V takovýchto společenstvech dále působí na vývoj ostatních organismů, jak vyplývá např. z klasické Welbornovy (1984) studie tůní s larvami vážek jako vrcholovými predátory a srovnání s jezerem, kde na stejné druhy působí ryby. Znalost velikostní selektivity jednotlivých predátorů proto umožňuje lépe pochopit jejich vliv na ostatní druhy ve společenstvu.

Závislost mezi velikostí predátora a jeho kořisti lze vyjádřit jako poměr jejich velikostí vyjádřený pomocí délky, hmotnosti (Brose et al. 2006, Woodward & Warren 2007) nebo objemu jako například ekvivalent průměru koule (Wirtz 2012). Nejjednodušší rovnicí (1) pro vyjádření poměru je poměr velikosti predátora ku velikosti kořisti. Ve vodních ekosystémech se tento poměr pohybuje v rozmezí 10-100 pokud se jedná o poměry hmotností (Klečka & Boukal 2013). Tento základní poměr mezi velikostí predátora a kořisti lze vyjádřit i pomocí rovnice (4) charakterizující mortalitu jako funkci poměru velikostí predátora a kořisti. Tuto rovnici lze obohatit o další vlastnosti predátora a kořisti, které ovlivňují predční tlak (5). Těmito vlastnostmi jsou zejména habitat, způsob lovu predátora, způsob zpracování kořisti, aktivita kořisti a schopnost uniknout predátorovi (Klečka & Boukal 2013, Boukal 2014). Habitat pro vodní společenstva můžeme rozdělit na dno a vodní sloupec, které představují dva odlišné typy habitatů (2D a 3D) odlišující se od sebe také v poměru velikosti predátora a kořisti: ve 3D habitatech je velikost preferované kořisti větší (Pawar et al. 2014). I ostatní faktory mají vliv na poměr velikosti. Predátoři aktivně hledající loví větší kořist než

predátoři na kořist číhající (Havlan 2009, Klečka & Boukal 2013). Tyto faktory mohou vysvětlit rozdíly v poměru velikosti predátora a kořisti mezi jednotlivými taxony.

Samotný poměr velikosti predátora a jeho kořisti nemusí dokonale vysvětlit velikost preferované kořisti. Další morfologické a morfometrické znaky predátorů, které ovlivňují úspěšnost ulovení kořisti, mohou limitovat velikost lovené potravy (Lazzaro 1987, Wall et al. 2012). Mezi znaky, které ovlivňují predaci a mohou být limitujícím faktorem, patří přední končetiny, ústní otvor nebo filtrační aparát (Forsman 1996). Problematické je některé z těchto znaků změřit. Také je známo, že rozměry jednotlivých tělních částí korelují s celkovou velikostí predátora a navzájem (Brown et al. 2004). Pak můžeme nahradit složité měřitelné znaky za znaky odvozené snadněji měřitelné, jako třeba místo rozměrů ústního ústrojí použít šířku hlavy. Ze studií, které používají šířku hlavy k vysvětlení velikosti potravy, vyplývá, že pro ni platí podobná závislost jako pro délku predátora (Shine 1986, Havlan 2009). Někteří predátoři polykající kořist v celku (například ryby) jsou ale jednoznačně limitováni rozměry ústního ústrojí a šířka hlavy dostatečně nevysvětluje velikost preferované kořisti (Lazzaro 1987).

5.2. Velikostní selektivita jednotlivých druhů

V rámci svých experimentů jsem prokázal velikostní selektivitu u většiny vybraných druhů dravého vodního hmyzu. Příčin neprůkazných výsledků u několika málo druhů může být několik. Prvním vysvětlením je, že daný druh nepreferuje žádnou velikost nabídnuté kořisti. To je případ většiny dospělců potápníků. Někteří z predátorů během pokusů sežrali velmi malé množství kořisti (cca 2-3 jedince). Ne vždy se přitom jednalo o jednu velikostní kategorii. Z tohoto důvodu pravděpodobně nevyšla průkazně selektivita u dospělého potápníka druhu *Laccophilus minutus*. U druhu *Acilius canaliculatus* byly výsledky na hranici průkaznosti a při větším počtu replikací by selektivita pravděpodobně vyšla průkazná. Poslední možností, proč u některých predátorů nevyšla průkazná selektivita, může být to, že vybraný druh kořisti není preferovaným druhem kořisti daného predátora a v přírodě ho predátor neloví, ale v laboratorních experimentech je toho schopen.

Jednotlivé druhy preferovaly kořist různých velikostních kategorií, což odpovídalo velikosti jednotlivých dravců. Některé druhy (například larvy *Coenagrion* nebo dospělci *Ilybius ater*) preferovaly střední velikost kořisti, jiné nejmenší kategorii kořisti (např. larvy šidélka *Lestes sponsa*) a další preferovaly největší velikostní kategorii (např. všechna vývojová stádia potápníka *Dytiscus marginalis* nebo larvy vážky *Anax* sp.).

To, že je většina testových druhů dravého vodního hmyzu průkazně selektivní a vybírá si svou kořist na základě její velikosti, se shoduje s obecnou teorií optimální velikosti potravy (Sih 2001). To podporují i částečné výsledky mé předchozí práce (Havlan 2009), které tato práce rozšiřuje. Problematika velikostní selektivity u vybraných druhů dravého hmyzu byla předmětem studia už v minulosti. Tyto práce byly ale zaměřeny na jeden nebo několik málo druhů. Výsledky studií zaměřených na znakoplavky rodu *Notonecta* (Gittelman 1987, Gergs & Ratte 2009) se shodují s výslednou selektivitou zjištěnou mými experimenty. Navíc díky rozdílné kořisti ukazují, že velikostní selektivita nezávisí na konkrétním druhu kořisti. U larválních stádií vážek bylo také provedeno několik studií (Hirvonen & Ranta 1996, Welborn 1994), jejichž výsledky podporují má zjištění o jejich selektivitě. Ukazují také, že s velikostí predátora se zvětšuje preferovaná kořist. Velikostní selektivita byla studována i na potápnících druhu *Thermonectus marmoratus* (Velasco & Millan 1999). V tomto případě hlavní náplní nebyla přímo velikostní selektivita, ale zjištění preference živé nebo mrtvé potravy. I tak výsledky ukazují velikostní selektivitu tohoto druhu a podporují tak výsledky mé práce. Recentní výzkum velikostní selektivity u dravého vodního hmyzu ukazuje rozdíly mezi v preferované velikosti kořisti a v druhovém složení kořisti na základě mikrohabitátů, způsobu lovu a způsobu zpracování (Klečka & Boukal 2012, Klečka & Boukal 2013).

5.3. Vztah mezi velikostí predátora a jeho kořisti

V rámci svých experimentů jsem prokázal závislost velikosti těla kořisti na velikosti těla predátora. S velikostí těla predátora se zvětšuje i velikost preferované kořisti. To je ale známý fakt, který vychází ze struktury potravních sítí a z jejich studia (Brose et al. 2006, Cohen et. al 2003). Poměr velikosti predátora a kořisti ale není u všech čtyř taxonů stejný. Tyto rozdíly se dají vysvětlit způsobem života a technikou lovu. Dospělí potápníci a ploštice, u kterých nebyl poměr velikosti těla predátora a kořisti průkazně rozdílný, jsou aktivními predátory. Kdežto larvy vážek jsou pasivními predátory a u larvy potápníků můžeme najít jak aktivní, tak i pasivní druhy predátorů. Z předchozích studií je známo, že pasivní predátoři při stejné velikosti těla loví menší kořist než stejně velcí predátoři aktivní (Wirtz 2012).

To ale nemusí být jediný důvod rozdílů mezi zkoumanými skupinami. Rozdíly v poměru velikosti těla predátora a kořisti můžeme najít i u druhů v rámci stejného taxonu, kteří loví kořist stejným způsobem například ryby (Scharf et al. 2000). Z toho vyplývají další faktory ovlivňující tento vztah. Predátoři v ekosystému využívají různé niky, habitaty a

specializují se na různou kořist. Díky tomu se stejně velcí predátoři od sebe odlišují morfologií. Tyto morfologické rozdíly vysvětlují odlišnosti ve velikosti preferované kořisti (Juanes & Conover 1995), které délka predátora nedokáže vysvětlit.

Proto jsem také analyzoval i vliv dalších morfometrických znaků na velikost preferované kořisti. Pro celkovou šířku a šířku hlavy predátora se mi podařila prokázat stejná závislost jako v případě poměru velikosti těla predátora a kořisti. To není překvapivé, protože oba znaky korelují s celkovou délkou predátora (Brown et al. 2004). Výsledky obou testovaných morfologických znaků se odlišují od výsledného modelku používající velikost predátora.

V modelu pro celkovou šířku těla nebyl průkazný rozdíl v závislosti pro dospělé potápníky a jejich larvy oproti modelu pro délku predátora. Z čehož vyplývá, že larvy a dospělci potápníků se stejnou celkovou šířkou těla loví stejně velkou kořist. V tomto modelu se pro larvy potápníků neprojevuje jejich způsob lovu, který je u některých larev aktivní a u některých pasivní. Navíc larvy potápníků jsou vývojovým stádiem dospělců lišící se morfologií, a to může vysvětlit shodu velikosti kořisti při stejné celkové šířce. To samé platí i pro model s šířkou hlavy, která je korelována s celkovou šířkou těla predátora.

Problémem modelů pro celkovou šířku a šířku hlavy predátora je ztráta informace o celkové velikosti daného predátora a tyto výsledky mohou být zavádějící. Proto se také s tímto typem studie v literatuře moc neseťkáváme a šířka hlavy se používá jen v nezbytných případech.

5.4. Vývojová stadia

Výsledky závislosti velikosti preferované kořisti na vývojovém stadiu se shodují s obecnými výsledky vztahu mezi velikostí predátora a jeho kořisti. To není překvapivé zjištění, když si uvědomíme, že s rostoucí velikostí těla predátora během ontogeneze se zvětšují jeho energetické nároky na potravu a tudíž potřebuje lovit větší kořist (Sih 2001). Jedinou výjimkou v mých výsledcích byl přechod mezi larvou a dospělcem u potápníků, kde dospělý brouk je menší než poslední larvální stádium. Tato změna se odráží ve výsledné preferenci velikosti kořisti u dospělců. U druhu *Dytiscus marginalis*, u kterého se nepodařilo závislost mezi velikostí preferované kořisti a vývojovým stádiem prokázat, je pravděpodobné, že byl výsledek ovlivněn rozsahem velikostí berušky vodní (*Asellus aquaticus*) použité jako kořist. Při použití vhodnější kořisti, která svou velikostí více

odpovídá potravě lovené v přírodě (například pulci, malé ryby) by se tato závislost patrně prokázala i u tohoto druhu.

Mé výsledky podporují předchozí studie snažící se pochopit vztah mezi velikostí preferované kořisti a vývojovým stádiem predátora. Podobné výsledky přinesla studie predace u krabů srovnávající dvě velikosti, dospělé a juvenilní jedince: dospělí a tím pádem větší krabi preferovali větší kořist (Mascaró a Seed 2004) stejně jako v mém experimentu. Kvalitativně stejné výsledky byly také získány u ryb, kdy bavič bylo k dispozici větší množství velikostí jednoho druhu což umožňuje lepší pochopení změn v preferenci kořisti s vývojem jedince a jeho růstem a dospíváním (Sharf et al. 2000, Juanes & Conover 1995).

Změna potravy během ontogeneze byla studována i u dravého vodního hmyzu. Dostupné výsledky ukazují, že často dochází nejen ke změně velikosti preferované kořisti, ale i druhového složení potravy predátora. Tato změna nebyla prokázána jen při změně z larválního stádia na dospěléce u druhu *Dytiscus marginalis* (Klečka a Boukal 2012).

5.5. Model s morfologickými znaky

Délka těla predátora není nejpřesnější prediktor velikosti kořisti a všechny morfometrické znaky korelují s délkou predátora a jsou závislé na taxonu predátora, což nám ukázali výsledky mých analýz závislosti s morfometrickými znaky. Analýza pro všechny čtyři taxony vysvětluje velikost kořisti v závislosti na celkové délce, šířce ústního ústrojí a celkové šířce predátora a ukazuje na předpokládanou limitaci ústním ústrojím. Tyto údaje vysvětlují rozdíly ve velikosti preferované kořisti mezi stejně dlouhými predátory.

Analýza se společnými morfometrickými znaky sice lépe vysvětluje variabilitu ve velikosti kořisti než analýza s jedním znakem, tak neobsahuje všechny morfometrické znaky účastníci se predace u jednotlivých skupin.

Výsledný model pro dospělé potápníky souvisí s jejich způsobem lovu pomocí kusadel, jejichž šířka je limitujícím faktorem velikosti kořisti. Celková šířka těla predátora se v modelu vysvětluje další částí variability naměřených dat, kterou šířka ústního ústrojí vysvětlit nedokáže.

Model pro larvy potápníků se liší ve vybraných morfometrických znacích od modelu pro dospěléce a obsahuje celkovou délku, šířku těla celkovou šířku hlavy predátora místo šířky ústního ústrojí, ačkoliv loví také kusadly. To můžeme vysvětlit různou morfologií mezi

larvami, kdy se celková šířka může těla v závislosti na morfotypu larvy rovnat šířce těla, nebo šířce hlavy. Mezi zkoumanými druhy převažovaly larvy s tělem nejširším v oblasti hlavy. Model pro larvy vážek je tvořen celkovou délkou larvy a celkovou šířkou těla. U larev vážek je celková šířka těla buď v oblasti zadečku, nebo v oblasti hlavy a v datovém souboru převládají druhy s největší šířkou v oblasti zadečku. Model pro ploštice se výrazně odlišuje od zbylých skupin a kromě délky a šířky těla obsahuje délku holeně, délku rostra a šířku hlavy. Ploštice na rozdíl od předchozích tří skupin chytají kořist přeměněnými předními končetinami a vysávají ji pomocí rostra.

Vliv morfometrických znaků na velikost kořisti už byl zkoumán a došli ke stejným závěrům jako tato práce. Rozdíly v morfometrii těla stejně dlouhých predátorů ovlivňují velikost kořisti a jsou pro predátora limitující jako například velikost ústního otvoru u piscivorních ryby polykajících celou kořist (Lazzaro 1987). Ryby s větší tlamou loví větší kořist než druhy s tlamou menší při stejné celkové délce (Persson et al. 1996). U larev vážek tvar a délka masky ovlivňuje velikost kořisti (Pritchard 1976) a u larev potápníků ovlivňují velikost preferované kořisti rozměry, tvar kusadel a jejich maximální rozsah a umožňují určit i typ kořisti a její optimální velikost (Wall 2006).

Modely s morfometrickými znaky jsou podporovány studii poměru velikosti predátora a kořisti a studii celých potravních sítí (Brose et al. 2006, Cohen et al. 2002), které pracují jen velikostí predátora a tato práce ukazuje ztrátu informace o poměru mezi predátorem a kořistí pokud zanedbáme další morfometrické znaky. Použití více morfometrických znaků je ale problematické, protože znaky ovlivňující tento poměr jsou závislé na taxonu predátora a zároveň je jejich měření časově náročné.

Jediným řešením pro celo-ekosystémové studie je použití suché hmotnosti predátora a jeho kořisti, čehož také některé práce využívají (Woodward & Warren 2007). V těchto případech studie vycházejí korelace morfologie těla organismu k jeho celkové velikosti a z toho vyplývající závislosti mezi rozměry organismu a jeho suchou vahou (Brown et al. 2004). Výsledná závislost hmotnosti predátora a hmotnosti jeho kořisti obsahuje i informaci o celkové velikosti a ne jen o jednom či několika rozměrech. Navíc je snadno měřitelná a porovnatelná napříč taxony predátorů. Ze suché hmotnosti kořisti můžeme také určit optimální příjem energie predátora vůči jeho metabolismu (Brown et al. 2004).

6. Závěr

V teoretické části jsem zhodnotil vliv velikosti těla a dalších morfologických znaků na predaci ve vodním ekosystému a jaké metody se používají při studiu dané problematiky. Zaměřil jsem se především na problematiku selekce optimální velikosti kořisti vodními predátory a jaký je vztah mezi velikostí predátora a jeho kořisti. Také mě zajímaly faktory, které tento vztah ovlivňují a jak. Z přehledu literatury jsem došel k závěru, že vodní predátoři si vybírají optimální velikost kořisti a že toto optimum se mění v závislosti na velikosti a druhu kořisti lovené daným predátorem.

V praktické části jsem prokázal velikostní selektivitu u dravého vodního hmyzu u všech vybraných taxonů i rozdíly mezi jednotlivými taxony na úrovni řádů (u potápníků také mezi larvami a dospělci), které jsou patrně způsobeny rozdílnou strategií při lovu kořisti. Dále jsem prokázal vliv dalších vybraných morfologických znaků na velikost lovené kořisti; tyto znaky se liší mezi studovanými taxony na základě používání rozdílných částí těla k lovu.

7. Literatura

- Aronhime, B.R. & Brown, K.M. (2009) The roles of profit and claw strength in determining musel size selection by crabs. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 379, 28-33.
- Benesh, D.B., Valtonen, E.T. & Jormalainen, V. (2007) Reduced survival associated with precopulatory mate guarding in male *Asellus aquaticus* (isopoda). *Annales Zoologici Fennici*, 44 (6), 425-434.
- Boukal D.S. (2014) Trait- and size-based descriptions of trophic links in fresh water food webs: current status and perspectives. *Journal of Limnology*, 73, 171-185.
- Brose, U., Jonsson, T., Berlow, E.L., Warren, P. & Banasek-Richter, C. (2006) Consumer-resource body-size relationships in natural food webs. *Ecology*, 87, 2411-2417.
- Brown, J.H., Gillooly, J.F., Allen, A.P., Savage, V.M. & West, B.G. (2004) Toward a metabolic theory of ecology. *Ecology*, 87, 1771-1789.
- Brown, J.H., Allen, A.P. & Gillooly, J.F. (2007) The metabolic theory of ecology and the role of body size in marine and freshwater ecosystems. *Body Size: The Structure and*

- Function of Aquatic Ecosystems (eds. Hildrew, A.G., Raffaelli, D.G. & Edmonds-Brown, R.), pp. 1-15. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Brown, J.H. & Sibly, R.M. (2012) The metabolic theory of ecology and its central equation. *Metabolic ecology: A scaling approach*. (eds. Sibly, R.M., Brown, J.H. & Kodric-Brown, A. pp 21-23. Wiley-Blackwell
- Butler, Ch.M., Hanrahan, B., Buckel, J.A., Rudershausen, P.J., Juanes, F. & Smith, J.W. (2014) Size-selective feeding in captive and free-ranging atlantic bluefin tuna. *Marine and coastal fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science*, 6, 81-88.
- Chang, H., & Hanazato, T. (2005) Prey handling time and ingestion probability for *Mesocyclops sp.* predation on small cladoceran species *Bosmina longirostris*, *Bosminopsis deitersi*, and *Scapholeberis mucronata*. *Limnology*, 6, 39-44.
- Cohen, J.E., Jonsson, T., Carpenter, S.R. (2002) Ecological community description using the food web, species abundance, and body size. *PNAS*, 100, 1781-1786.
- Cohen, J.E., Pimm, S.L., Yodzis, P. & Saldaña, J. (1993): Body sizes of animal predators and animal prey in food webs. *Journal of Animal Ecology*, 62, 67-78.
- Dodson, S.I. (1970) Complementary feeding niches sustained by size-selective predation. *Limnology and Oceanography*, 15, 131-137.
- Ellis, T., & Gibson, R. N. (1995) Size-selective predation of 0-group flatfishes on Scottish coastal nursery ground. *Marine Ecology Progress Series*, 127, 27-37.
- Ermgassen, P.S.E. & Aldridge, D.C. (2011) Predation by the invasive American signal crayfish *Pacifastacus leniusculus* Dana, on the invasive zebra mussel, *Dreissena polymorpha* Pallas: the potential for control and facilitation. *Hydrobiologia*, 658, 303-315.
- Forsman, A. (1996) Body Size and Net Energy Gain in Gape-limited Predators: A Model. *Journal of Herpetology*, 30, 307-319.
- Fuchs, H.L. & Franks, P.J.S. (2010) Plankton community properties determined by nutrients and size-selective feeding. *Marine Ecology Progress Series*, 413, 1-15.
- Gergs, A. & Ratte, H.T. (2009) Predicting functional response and size selectivity of juvenile *Notonecta maculata* foraging on *Daphnia magna*. *Ecological Modelling*, 220, 3331-3341.
- Gittelman, S.H. (1978) Optimum diet and body size in backswimmers (Heteroptera: Notonectidae, Pleidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 71, 737-747.

- Grutter, A.S. (1997) Size-selective predation by the cleaner fish *Labroides dimidiatus*. *Journal of Fish Biology*, 50, 1303-1308.
- Hamilton, D.J., Nudds, T.D. & Neate, J. (1999) Size-selective predation of blue mussels (*Mytilus edulis*) by common eiders (*Somateria mollissima*) under controlled field conditions. *The Auk*, 116, 403-416.
- Hirvonen, H. & Ranta, E. (1996) Prey to predator size ratio influences foraging efficiency of larval *Aeshna juncea* dragonflies. *Oecologia*, 106, 407-415.
- Humphries S. (2007) Body size and suspension feeding. *Body Size: The Structure and Function of Aquatic Ecosystems* (eds. Hildrew, A.G., Raffaelli, D.G. & Edmonds-Brown, R.), pp. 16-32. *Cambridge University Press*, Cambridge, UK.
- Huss, M., de Roos, A.M., Van Leeuwen, A. & Gårdmark, A. (2014) Facilitation of fisheries by natural predators depends on life history of shared prey. *Oikos*, 123, 1071-1080.
- Jennings, S. (2005) Size-based analyse of aquatic food webs. *Aquatic Food Webs an ecosystem approach*, 87.
- Jennings, S., Pinnegar, J.K., Polunin, N.V.C. & Warr, K.J. (2002) Linking size-based and trophic analysis of benthic community structure. *Marine Ecology Progress Series*, 226, 77-85.
- Johansson, J., Turesson, H. & Persson, A. (2004) Active selection for large guppies, *Poecilia reticulata*, by the pike Cichlid, *Crenicichla saxatilis*. *Oikos*, 105, 595-605.
- Juanes, F. & Conover, D.O. (1995) Size-structured piscivory: advection and the linkage between predator and prey recruitment in young-of-the-year bluefish. *Marine Ecology Progress Series*, 128, 287-304.
- Katunzi, E.F., Van Densen, W.L.T., Wanink, J.H. & Witte, F. (2006) Spatial and seasonal patterns in the feeding habits of juvenile *Lates niloticus* (L.) in the Mwanza Gulf of Lake Victoria. *Hydrobiologia*, 568, 121-133.
- Kenaley, C.P. (2012) Exploring feeding behaviour in deep-sea dragonfishes (Teleostei: Stomiidae): jaw biomechanics and functional significance of a loosejaw. *Biological Journal of the Linnean Society*, 106, 224-240.
- Klečka J. & Boukal D.S. (2012) Who eats whom in the pool? A comparative study of prey selectivity by predatory aquatic insects. *PLoS One*, 6, 1-13.
- Klečka J. & Boukal D.S. (2013) Foraging and vulnerability traits modify predator-prey body mass allometry: freshwater macroinvertebrates as a case study. *Journal of Animal Ecology*, 82, 1031-1041.

- Kinner, N.E., Harvey, R.W., Blakeslee, K., Novarino, G. & Meeker, L. D. (1998) Size-selective predation on groundwater bacteria by nanoflagellates in an organic-contaminated aquifer. *Applied and Environmental Microbiology*, 64, 618-625.
- Laurish, L.M., Zimmer, K.D., Butler, M.G. & Hanson, M.A. (2003) Selectivity for zooplankton prey by fathead minnows and brook sticklebacks. *Wetlands*, 23, 416-422.
- Lazzaro, X. (1987) A review of planktivorous fishes: Their evolution, feeding behaviours, selectivities, and impacts. *Hydrobiologia*, 146, 97-167.
- Lienesch, P.W. & Gophen, M. (2005) Size-selective predation by inland silversides on an exotic cladoceran, *Daphnia lumholtzi*. *Southwestern Naturalist*, 50, 158-165.
- MacIssac, H.J. (1994) Size-selective predation on zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) by crayfish (*Orconectes propinquus*). *The Nord American Benthological Society*, 13, 206-216.
- Manca, M., Vijverberg, J., Polishchuk, L.V. & Voronov, D.A. (2008): *Daphnia* body size and population dynamics under predation by invertebrate and fish predators in Lago Maggiore: an approach based on contribution analysis. *Journal of Limnology*, 67, 15-17.
- Mascaró, M. & Seed, R. (2000) Foraging behavior of *Carcinus maenas* (L.): Comparisons of size-selective predation on four species of bivalve prey. *Journal of Shellfish Research*, 19, 283-291.
- Mascaró, M. & Seed, R., (2001) Foraging behavior of juvenile *Carcinus maenas* (L.) and *Cancer pagurus* L. *Marine Biology*, 139, 1135-1145.
- Nystrom, P. & Perez, J.R. (1998) Crayfish predation on the common pond snail (*Lymnaea stagnalis*): the effect of habitat complexity and snail size on foraging efficiency. *Hydrobiologia*, 368, 201-208.
- Osenberg, C.W. & Mittelbach, G.G. (1989) Effects of body size on the predator-prey interaction between pumpkinseed sunfish and gastropods. *Ecological Monographs*, 59, 405-432.
- Pastorok, R.A. (1981): Prey vulnerability and size selection by *Chaoborus* larvae. *Ecology*, 62, 1311-1324.
- Pawar, S., Dell, A.I. & Savage, V.M. (2012) Dimensionality of consumer search space drives trophic interaction strengths. *Nature*, 486, 485-489.
- Persson, L., Andersson, J., Wahlström, E. & Eklöv P. (1996) Size-specific interactions in lake systems: Predator gape limitation and prey growth rate and mortality. *Ecology*, 77, 900-911.

- Prichard, G. (1976) Functional morphology of head and mouthparts of dragonfly larvae (Odonata). *Quaestiones Entomologicae*, 12, 89-114.
- Quinn, T.P. & Kinnison, M. T., (1999) Size-selective and sex selective predation by brown bears on sockeye salmon. *Oecologia*, 121, 273-282.
- Scharf, F.S., Juanes, F. & Rountree R.A. (2000) Predator size-prey size relationships of marine fish predators: interspecific variation and effects of ontogeny and body size on trophic-niche breadth. *Marine Ecology Progress Series*, 208, 229-248.
- Sebens, K.P. (1982) The limits to indeterminate growth: an optimal size model applied to passive suspension feeders, *Ecology*, 63, 209-222.
- Shimeta, J. & Jumars, P.A. (1991) Physical mechanism and rates of particle capture by suspension-feeders. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, 29, 191-257. Ed. Barnes M., Aberdeen University Press.
- Shine, R. (1986) Sexual differences in morphology and niche utilization in an aquatic snake, *Acrochordus arafurae*. *Oecologia*, 69, 260-267.
- Sih, A. & Christensen, B. (2001) Optimal diet theory: when does it work, and when and why does it fail? *ANIMAL BEHAVIOUR*, 61, 379-390.
- Sogard, S.M. (1997) Size-selective Mortality in Juvenile Stage of Teleost Fishes: A Review. *Bulletin of Marine science*, 60, 1129-1157.
- Stephens, D.W. & Krebs, J.R. (1987) Foraging theory. Princeton University Press, Princeton, New Jersey
- Toledo, L.F., Ribeiro, R.S. & Haddad, C.F.B. (2006) Anurans as prey: an exploratory analysis and size relationships between predators and their prey. *Journal of Zoology*, 271, 170-177.
- Travis, J., Keen, W.H. & Julianna, J. (1985) The role of relative body size in a predator-prey relationship between dragonfly naiads and larval anurans. *Oikos*, 45, 59-65.
- Truemper, H.A. & Lauer, T. E. (2005) Gape limitation and piscine size-selection by yellow perch in the extreme southern area of Lake Michigan, with emphasis on two exotic prey items, *Journal of Fish Biology*, 66, 135-149.
- Vamosi, S.M. (2005) On the role of enemies in divergence and diversification of prey: a review and synthesis. *Canadian Journal of Zoology*, 83, 894-910.
- Velasco, J. & Millan, A. (1998) Feeding habitat of two large insects from desert stream: *Abedus herberti* (Hemiptera: Belostomatidae) and *Thermonectus marmoratus* (Coleoptera: Dytiscidae). *Aquatic Insects*, 20, 85-96.

- Warren, P.H. & Lawton, J.H. (1987) Invertebrate predator-prey body size relationships: an explanation for upper triangular food webs patterns in food web structure? *Oecologia*, 74, 231-235.
- Van Wassenbergh, S., Aerts, P. & Herrel, A. (2005) Scaling of suction-feeding kinematics and dynamics in the African catfish, *Claris gariepinus*. *J. Exp. Biol.* 208, 2103-2114.
- Wall, W.P., Barman, E.H. & Beals, C.M. (2006) A description and Functional interpretation of the mandibular geometry of *Agabus punctatus* (Melsheimer, 1844), *Rhantus calidus* (Fabricius, 1792) and *Acilius medicus* (Say, 1823), (Coleoptera: Dytiscidae). *Aquatic Insects*, 28, 277-289.
- Wellborn, G.A. (1994) Size-Biased Predation and Prey Life Histories: A Comparative Study of Freshwater Amphipod Populations. *Ecology*, 75, 2104-2117.
- Werner, E.E. & Gilliam J.F. (1984) The Ontogenetic Niche and Species Interactions in Size-Structured Populations. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 15,393-425.
- Wirtz, K.W. (2012) Who is eating whom? Morphology and feeding type determine the size relation between planctonic predators an their ideal prey. *Marine Ecology Progress Series*, 445, 1-12.
- Woodward, G. & Warren, P. (2007) Body size and predatory interactions in freshwaters: scaling from individuals to communities. *Body Size: The Structure and Function of Aquatic Ecosystems* (eds. Hildrew, A.G., Raffaelli, D.G. & Edmonds-Brown, R.), pp. 98-117. *Cambridge University Press*, Cambridge, UK.

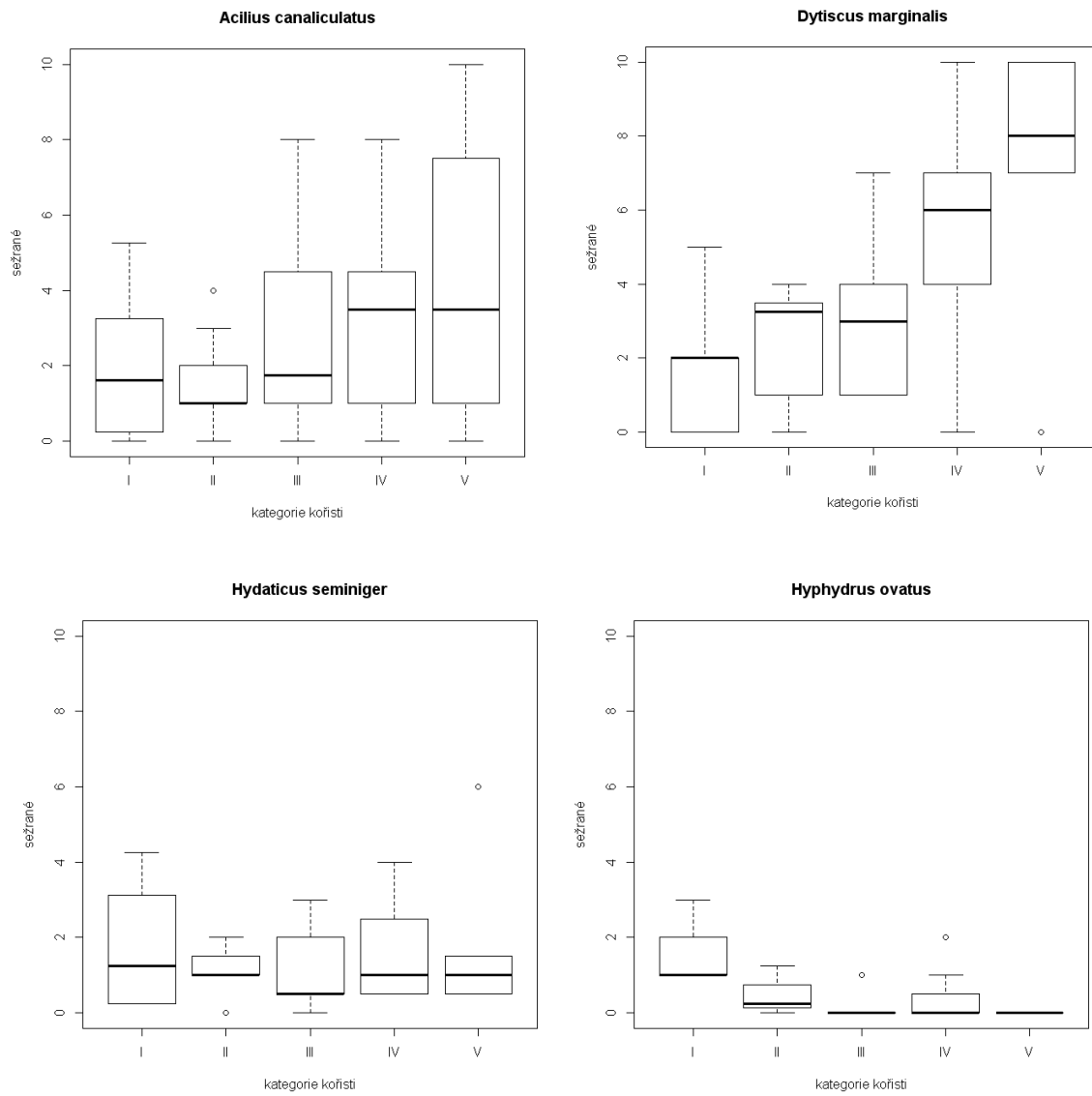
8. Přílohy

Tabulka 11: Míra korelace pro jednotlivé morfometrické znaky: TL – celková délka, TW – celková šířka, HW – šířka hlavy, Mgape – šířka ústního ústrojí, LabL – délka masky, RostrL – délka rostra, TiL.TaL – celková délka tibie a tarsu, TiL – délka tibie, FeL – délka femuru. Cor = korelační koeficient, p – pravděpodobnost, že spolu dané morfometrické znaky korelují; tučně jsou vyznačeny signifikantní výsledky (hranice 5% signifikance).

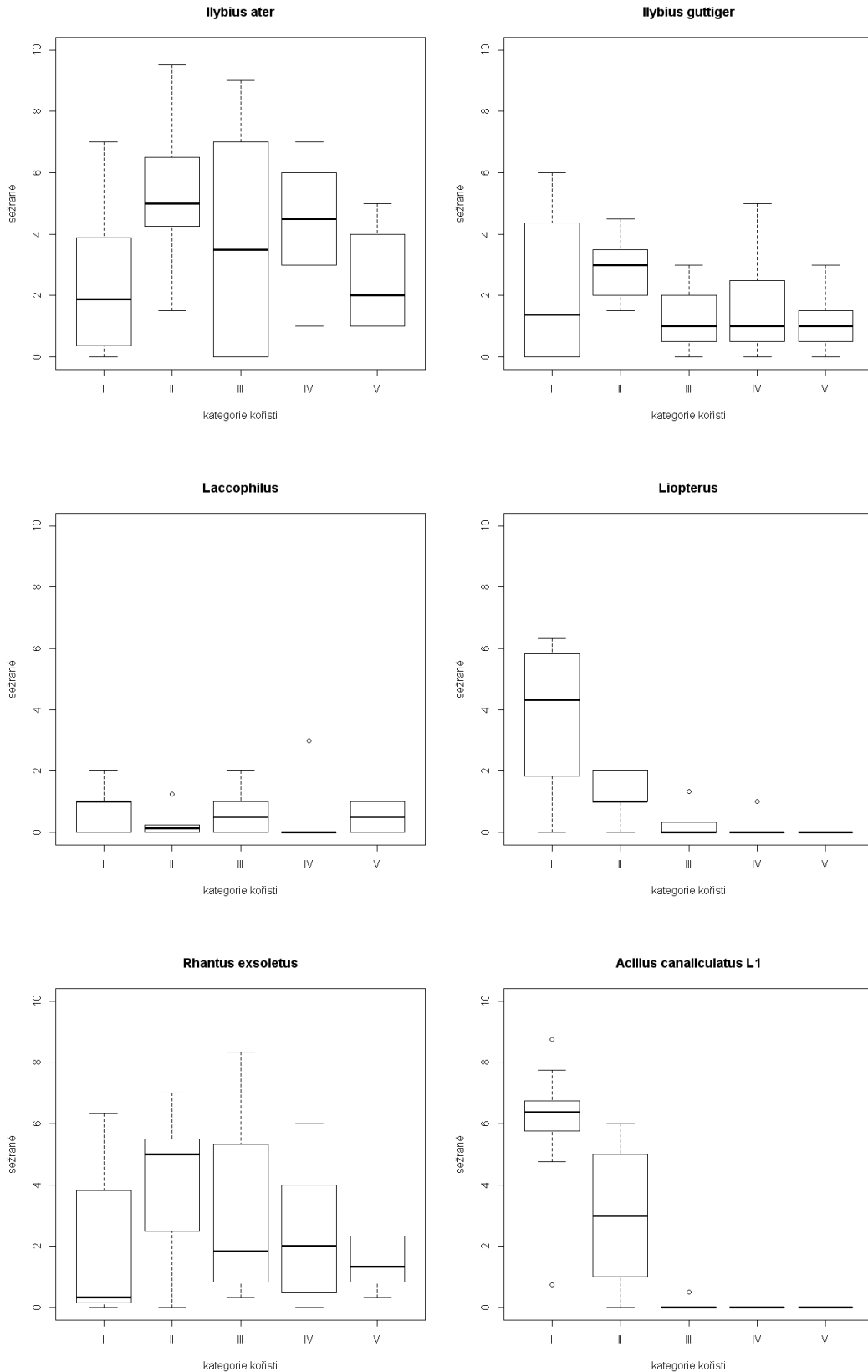
Znak 1	Znak 2	Dytiscidae - dospělci		Dytiscidae - larva		Odonata		Heteroptera	
		Cor	p	Cor	p	Cor	p	Cor	p
TL	TW	0,99	0	0,5	<10⁻¹²	0,65	0	0,57	<10⁻¹⁶
TL	HW	0,99	0	0,84	0	0,93	0	0,6	0
TW	HW	0,98	0	0,83	0	0,73	0	0,87	0
TL	Mgape	0,98	0	0,96	0	0,74	0	-	-
TW	Mgape	0,96	0	0,54	<10⁻¹⁴	0,6	0	-	-
HW	Mgape	0,99	0	0,91	0	0,89	0	-	-
TL	LabL	-	-	-	-	0,95	0	-	-
TW	LabL	-	-	-	-	0,87	0	-	-
HW	LabL	-	-	-	-	0,94	0	-	-
Mgape	LabL	-	-	-	-	0,72	0	-	-
TL	RostrL	-	-	-	-	-	-	0,55	<10⁻¹⁵
TW	RostrL	-	-	-	-	-	-	0,63	0
HW	RostrL	-	-	-	-	-	-	0,66	0
TL	TiL.TaL	-	-	-	-	-	-	0,69	0
TW	TiL.TaL	-	-	-	-	-	-	0,34	<10⁻⁶
HW	TiL.TaL	-	-	-	-	-	-	0,3	<10⁻⁵
RostrL	TiL.TaL	-	-	-	-	-	-	0,79	0
TL	TiL	-	-	-	-	-	-	0,76	0
TW	TiL	-	-	-	-	-	-	0,47	<10⁻¹¹
HW	TiL	-	-	-	-	-	-	0,14	0,05
RostrL	TiL	-	-	-	-	-	-	0,69	0
TiL.TaL	TiL	-	-	-	-	-	-	0,85	0
TL	FeL	-	-	-	-	-	-	0,91	0
TW	FeL	-	-	-	-	-	-	0,09	0,19
HW	FeL	-	-	-	-	-	-	-0,0029	0,97
RostrL	FeL	-	-	-	-	-	-	0,32	<10⁻⁵
TiL.TaL	FeL	-	-	-	-	-	-	0,6	0
TiL	FeL	-	-	-	-	-	-	0,78	0

Tabulka 12: Míra korelace pro jednotlivé morfometrické znaky: TL – celková délka, res.TW – residuál celkové šířky, res.HW – residuál šířky hlavy, res.Mgape – residuál šířky ústního ústrojí, res.LabL – residuál délky masky, res.RostrL – residuál délky rostra, res.TiL.TaL – reziduál celkové délky tibie a tarsu, res.TiL – residuál délky tibie, res.FeL – residuál délky femuru. Cor = korelační koeficient, p – pravděpodobnost, že spolu dané morfometrické znaky korelují; tučně jsou vyznačeny signifikantní výsledky (hranice 5% signifikance).

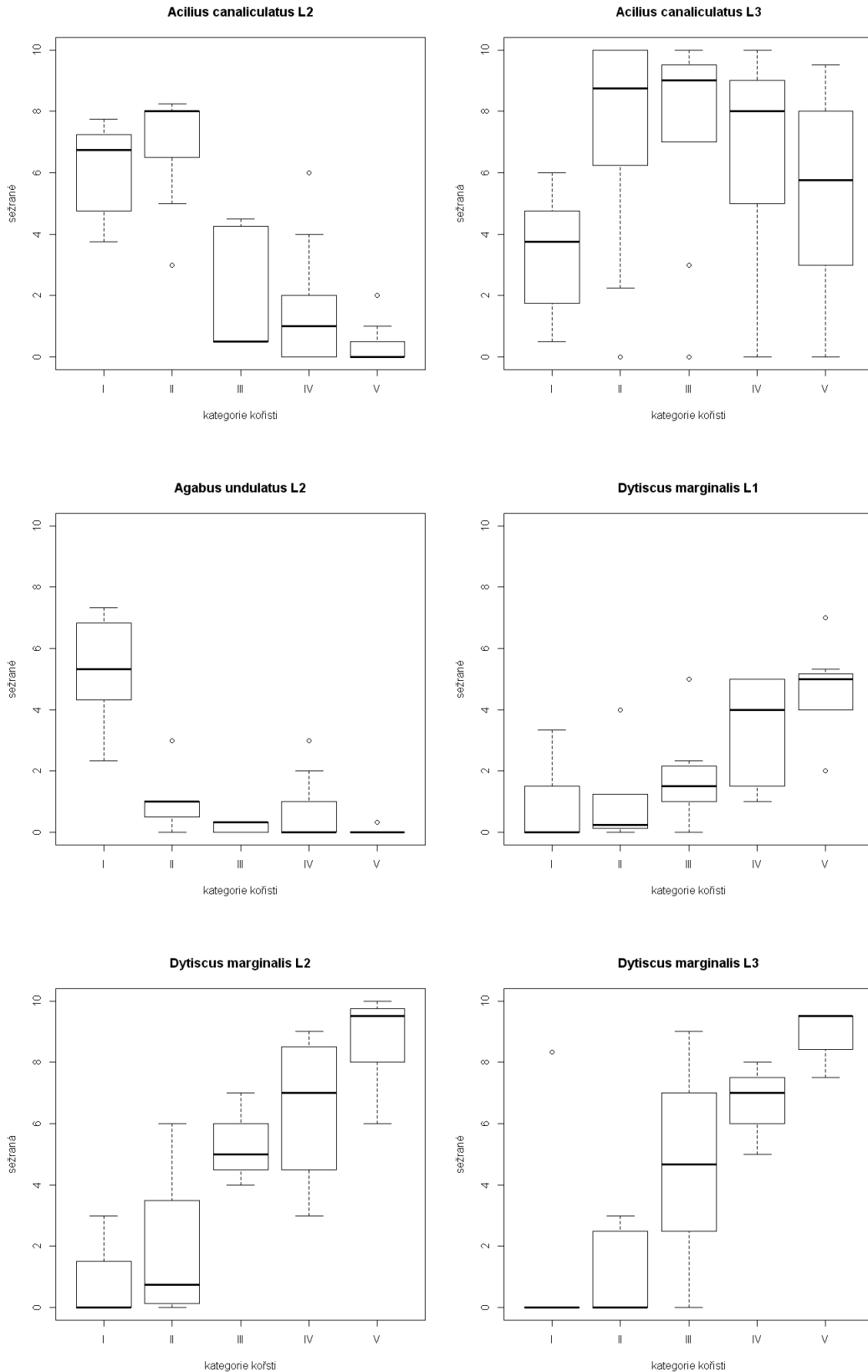
Znak 1	Znak 2	Dytiscidae - dospělci		Dytiscidae - larva		Odonata		Heteroptera	
		Cor	p	Cor	p	Cor	Cor	Cor	p
TL	res.TW	0,083	0,49	0,0058	0,94	0,021	0,81	-0,29	0,003
TL	res.HW	0,16	0,18	0,067	0,39	0,0054	0,95	-0,11	0,28
res.TW	res.HW	0,046	0,7	0,2	0,79	-0,019	0,83	-0,054	0,59
TL	res.Mgape	-0,073	0,55	-0,34	0,67	0,0019	0,98	-	-
res.TW	res.Mgape	0,0071	0,95	0,0051	0,95	0,019	0,83	-	-
res.HW	res.Mgape	-0,0015	0,98	-0,0045	0,95	-0,0011	0,99	-	-
TL	res.LabL	-	-	-	-	0,083	0,34	-	-
res.TW	res.LabL	-	-	-	-	0,021	0,8	-	-
res.HW	res.LabL	-	-	-	-	0,000075	0,99	-	-
res.Mgape	res.LabL	-	-	-	-	0,007	0,93	-	-
TL	res.RostrL	-	-	-	-	-	-	-0,077	0,43
res.TW	res.RostrL	-	-	-	-	-	-	-0,016	0,87
res.HW	res.RostrL	-	-	-	-	-	-	-0,11	0,27
TL	res.TiL.TaL	-	-	-	-	-	-	-0,018	0,85
res.TW	res.TiL.TaL	-	-	-	-	-	-	-0,026	0,79
res.HW	res.TiL.TaL	-	-	-	-	-	-	-0,042	0,67
res.RostrL	res.TiL.TaL	-	-	-	-	-	-	0,052	0,6
TL	res.TiL	-	-	-	-	-	-	-0,051	0,6
res.TW	res.TiL	-	-	-	-	-	-	-0,0057	0,95
res.HW	res.TiL	-	-	-	-	-	-	-0,0081	0,93
res.RostrL	res.TiL	-	-	-	-	-	-	0,021	0,83
res.TiL.TaL	res.TiL	-	-	-	-	-	-	-0,00033	0,997
TL	res.FeL	-	-	-	-	-	-	-0,093	0,34
res.TW	res.FeL	-	-	-	-	-	-	-0,0026	0,98
res.HW	res.FeL	-	-	-	-	-	-	0,024	0,81
res.RostrL	res.FeL	-	-	-	-	-	-	0,009	0,93
res.TiL.TaL	res.FeL	-	-	-	-	-	-	-0,022	0,82
res.TiL	res.FeL	-	-	-	-	-	-	-0,0059	0,95



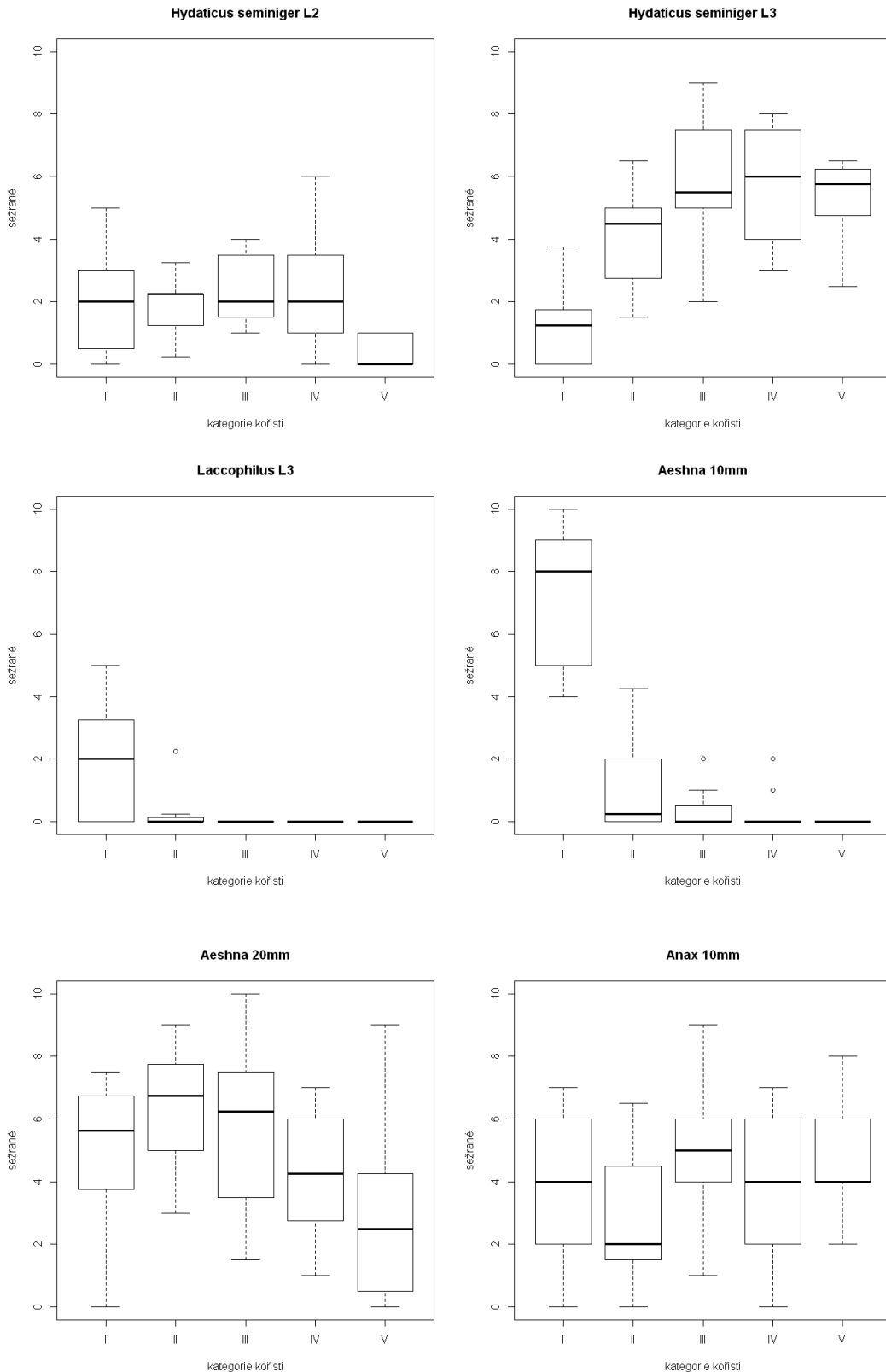
Obr. 9. Velikostní selektivita dospělců potápníků *Acilius canaliculatus*, *Dytiscus marginalis*, *Hydaticus seminiger* a *Hyphydrus ovatus*. Grafy znázorňují počty sežraných jedinců berušky vodní (*Asellus aquaticus*) z jednotlivých velikostních kategorií.



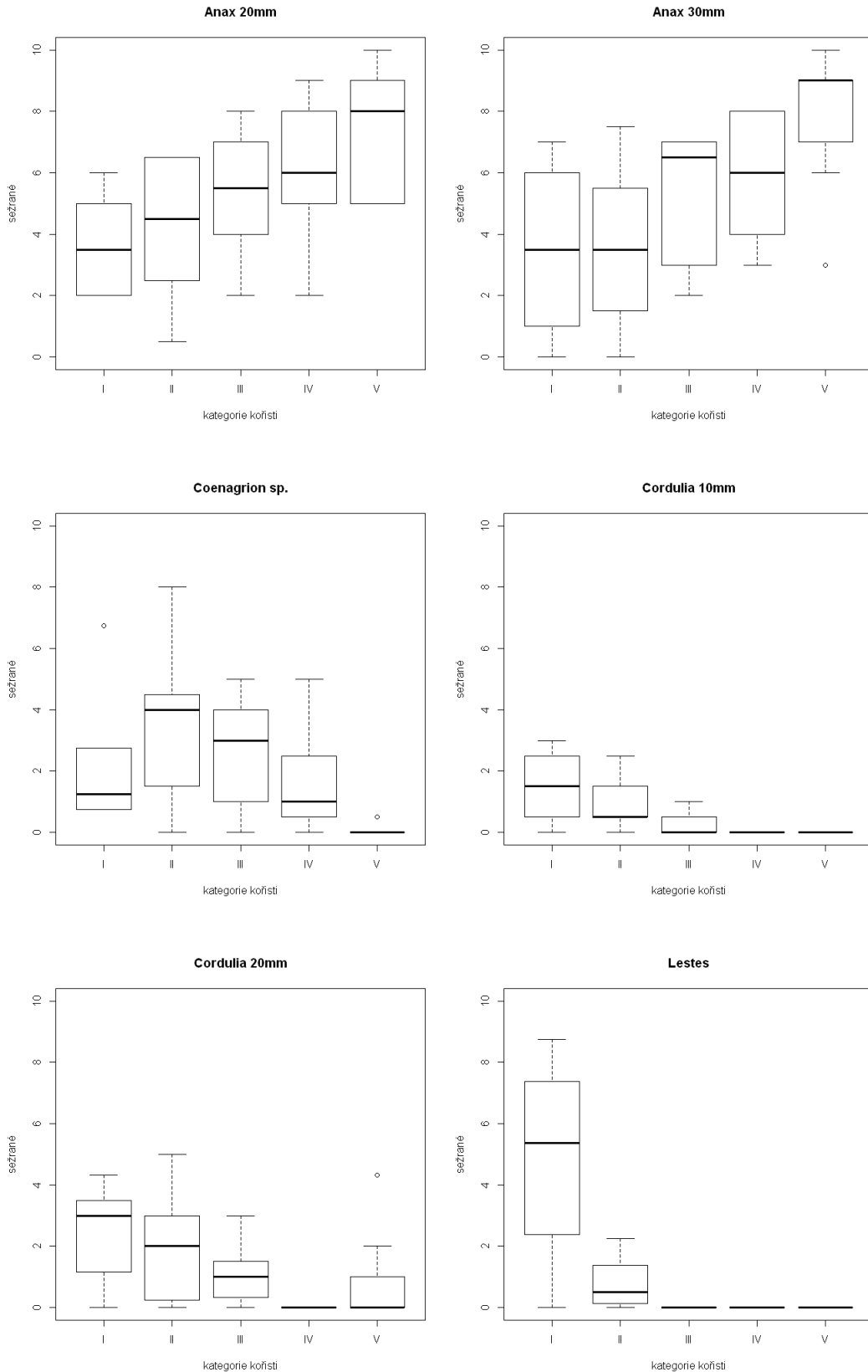
Obr. 10. Velikostní selektivita potápníků *Ilybius ater* a *guttiger*, *Laccophilus*, *Liopterus*, *Rhantus exsoletus* a *Acilius canaliculatus* L1. Grafy znázorňují počty sežraných jedinců berušky vodní (*Asellus aquaticus*) z jednotlivých velikostních kategorií.



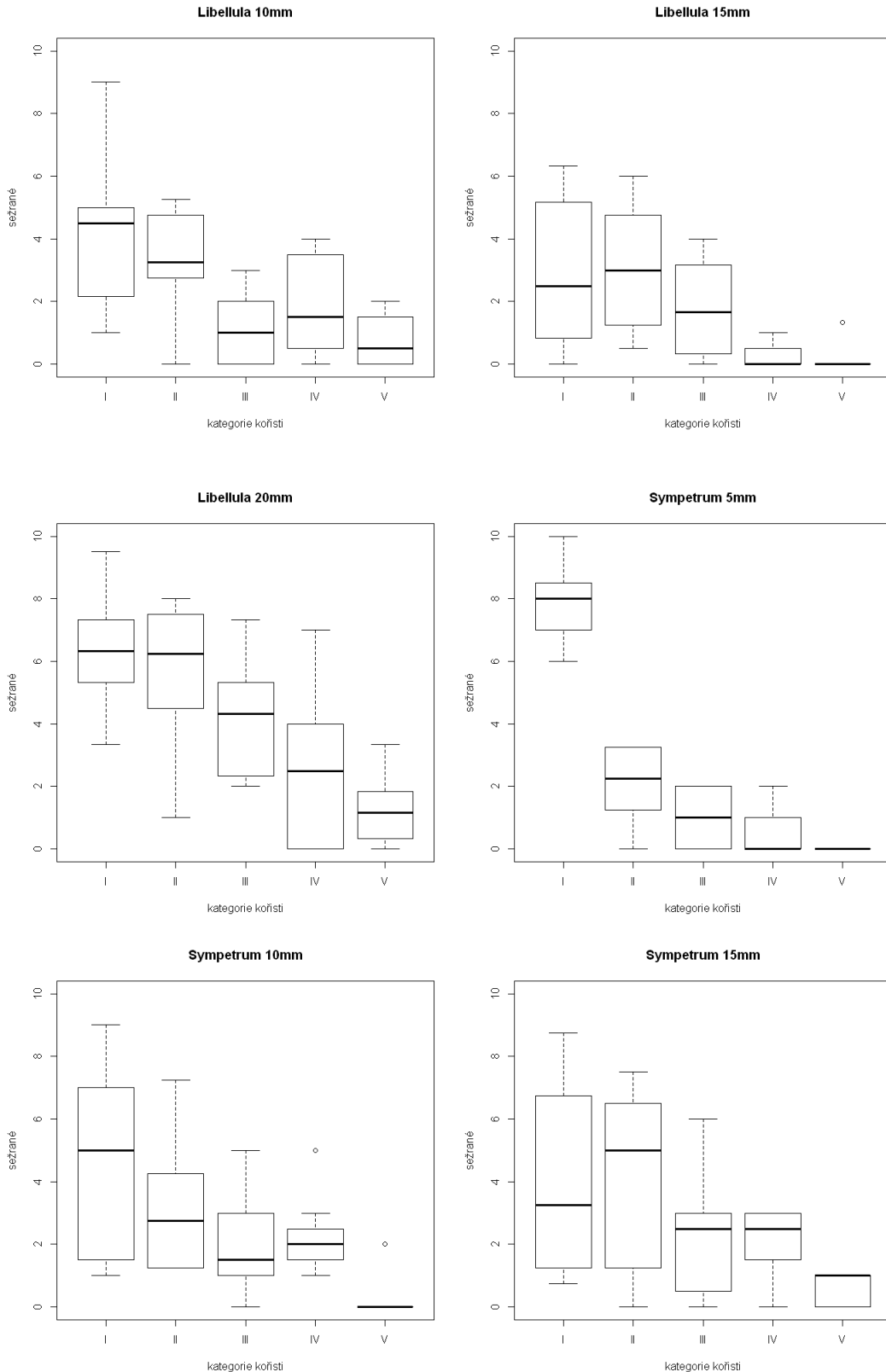
Obr. 11. Velikostní selektivity potápníků *Acilius canaliculatus* L2 a L3 *Agabus undulatus* L2, *Dytiscus marginalis* L1-L3. Grafy znázorňují počty sežraných jedinců berušky vodní (*Asellus aquaticus*) z jednotlivých velikostních kategorií.



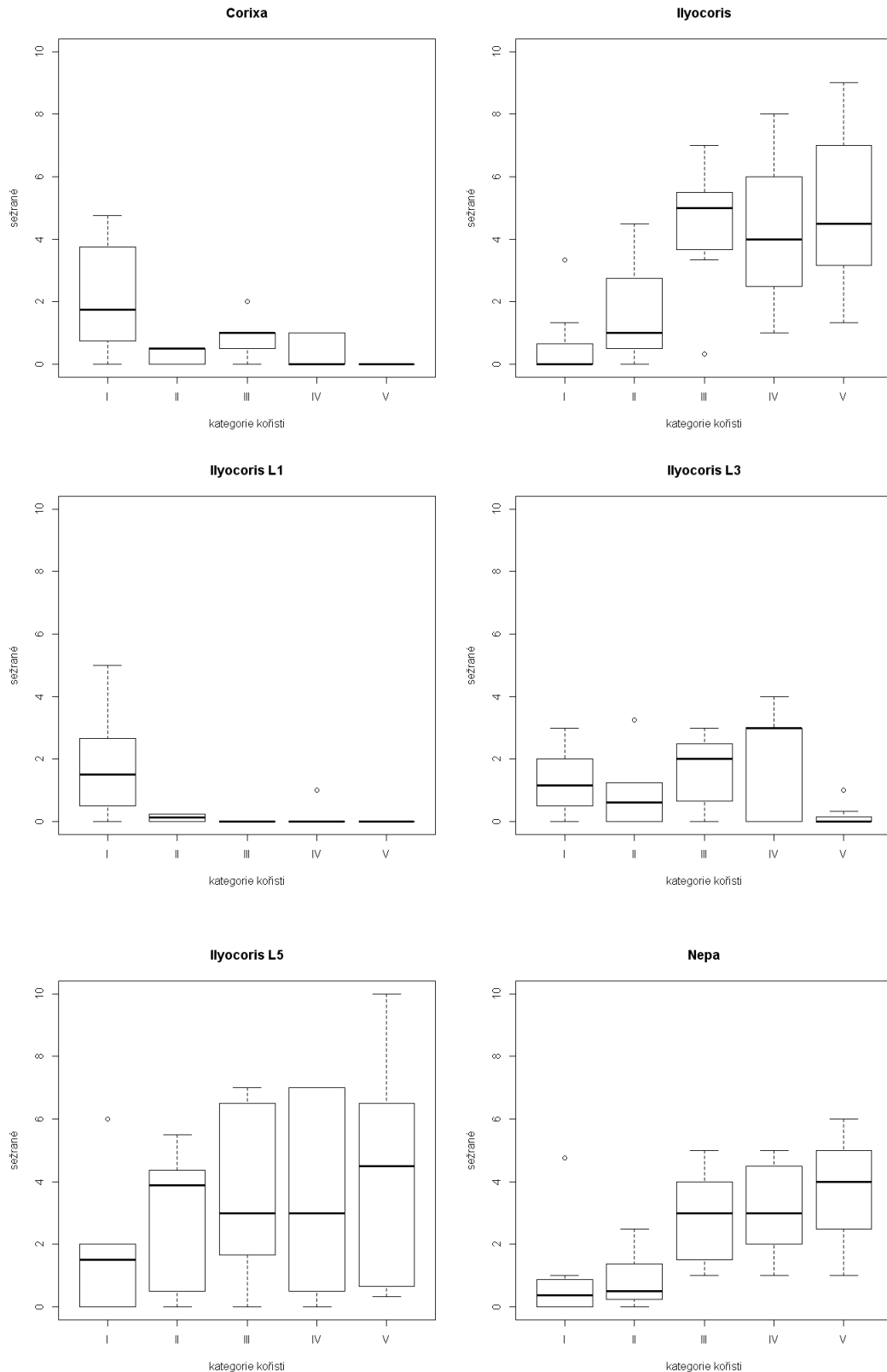
Obr. 12. Velikostí selektivity potápníků *Hydaticus seminiger* L2, L3, *Laccophilus* L3 a larev vážek z rodu *Aeshna* 10 a 20mm *Anax* 10mm. Grafy znázorňují počty sežraných jedinců berušky vodní (*Asellus aquaticus*) z jednotlivých velikostních kategorií.



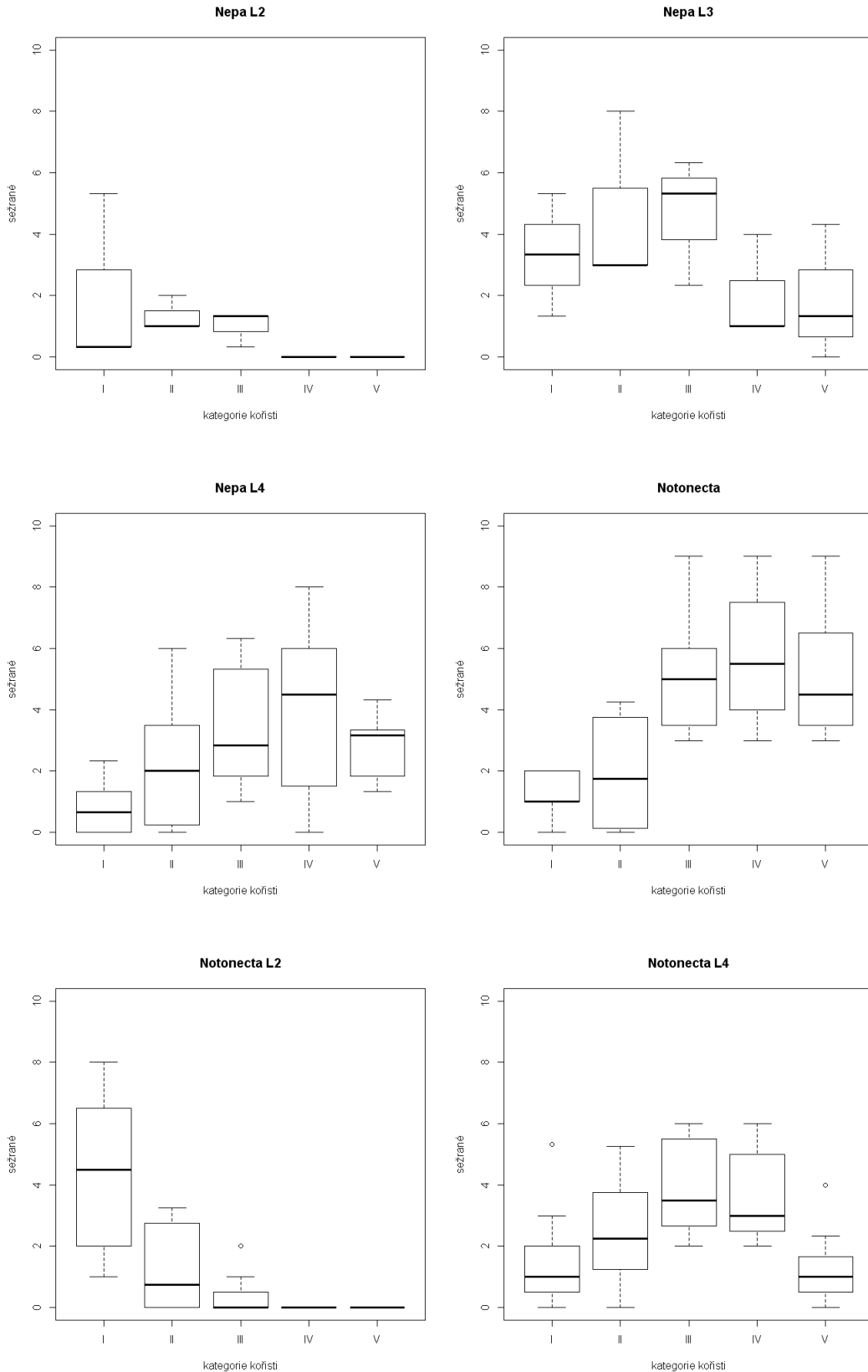
Obr. 13. Velikostní selektivita larev vážek z rodu *Anax* sp. o délce 20 a 30 mm, *Cordulia* 10 a 20mm, larev šidílek z rodů *Coenagrion* sp. a *Lestes* sp.. Grafy znázorňují počty sežraných jedinců berušky vodní (*Asellus aquaticus*) z jednotlivých velikostních kategorií.



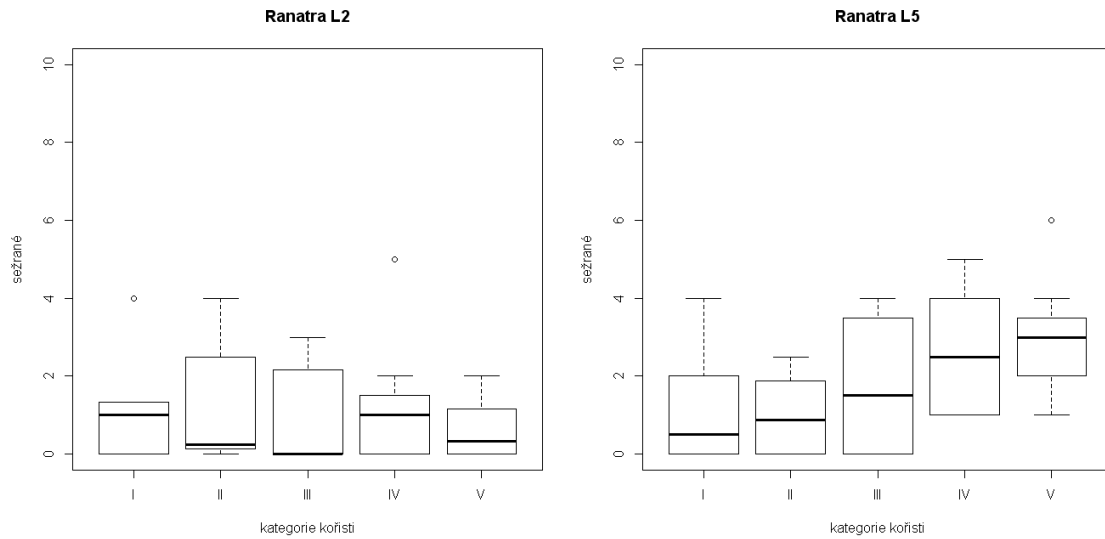
Obr. 14. Velikostní selektivita larev vážek z rodů *Libellula* 10, 15 a 20mm a *Sympetrum* 5, 10 a 15mm. Grafy znázorňují počty sežraných jedinců berušky vodní (*Asellus aquaticus*) z jednotlivých velikostních kategorií.



Obr. 15. Velikostní selektivita ploštěk rodů *Corixa*, *Ilyocoris* L1, L3, L5 a dospělec, *Nepa* dospělec. Grafy znázorňují počty sežraných jedinců berušky vodní (*Asellus aquaticus*) z jednotlivých velikostních kategorií.



Obr. 16. Velikostní selektivita ploštěk *Nepa cinerea* L2, L3 a L4 a *Notonecta glauca* L2, L4 a dospělec. Grafy znázorňují počty sežraných jedinců berušky vodní (*Asellus aquaticus*) z jednotlivých velikostních kategorií.



Obr. 17. Velikostní selektivita ploštic druhu *Ranatra* L2 a L5. Grafy znázorňují počty sežraných jedinců berušky vodní (*Asellus aquaticus*) z jednotlivých velikostních kategorií.