

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**

Fakulta rybářství a ochrany vod

Ústav akvakultury a ochrany vod

Bakalářská práce

**Rychlost evakuace trávicího traktu hlaváče  
černoústého (*Neogobius melanostomus*)  
v závislosti na dostupnosti a typu potravy**

**Autor:** Vendula Bryllová

**Vedoucí bakalářské práce:** Ing. Pavel Franta

**Konzultant bakalářské práce:** RNDr. Bořek Drozd, Ph.D.

**Studijní program a obor:** B1601 Ekologie a ochrana prostředí, Ochrana vod

**Forma studia:** prezenční

**Ročník:** 3.

České Budějovice, 2020

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že, v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění, souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě. Zveřejnění probíhá 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

Podpis

## **Poděkování**

Děkuji všem, kteří se mi při psaní této práce věnovali a pomohli mi. Především bych chtěla poděkovat vedoucímu této bakalářské práce Ing. Pavlu Frantovi a konzultantovi RNDr. Bořku Drozdovi Ph.D. za odborné vedení, trpělivost a čas, který mi věnovali.

# JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Fakulta rybnářství a ochrany vod

Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Vendula BRYLLOVÁ
Osobní číslo:	V17B038P
Studijní program:	B1601 Ekologie a ochrana prostředí
Studijní obor:	Ochrana vod
Téma práce:	Rychlost evakuace trávicího traktu hlaváče černoústého ( <i>Neogobius melanostomus</i> ) v závislosti na dostupnosti a typu potravy
Zadávací katedra:	Ústav akvakultury a ochrany vod

### Zásady pro vypracování

Nepůvodní invazní druhy, jeden z hlavních environmentálních problémů současnosti, negativně ovlivňují původní biotu mnoha různými cestami. Ve většině těchto procesů, jako je kompetice o potravu, začlenění do stávajících potravních sítí atd., hraje klíčovou roli znalost intenzity a frekvence příjmu potravy predátorem, přímo korelované rychlostí evakuace (tj. vyprazdňování) trávicího traktu.

Výjimkou není ani hlaváč černoústý *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) řazený mezi 100 nejrizikovějších druhů ryb v Evropě a cílový druh zadané bakalářské práce. Tato menší bentická ryba byla prostřednictvím lodní dopravy introdukována do většiny eurasijských řek a velkých jezer v Severní Americe, kde se úspěšně etablovala a odkud se dále šíří. Složení potravy hlaváče černoústého je poměrně detailně popsáno napříč kolonizovaným územím. Avšak informace kvantifikující množství přijaté potravy hlaváčem černoústým stále chybí. Cílem této práce je stanovit rychlost evakuace hlaváče černoústého (tzv. evacuation rate) v závislosti na dostupnosti a typu potravy. V teoretické části studentka shrne a porovná dosavadní znalosti v oblasti invazní ekologie, potravních nároků hlaváče černoústého a jeho přímého i nepřímého dopadu na kolonizované ekosystémy.

Experimentální část bakalářské práce bude probíhat na Ústavu akvakultury a ochrany vod v Českých Budějovicích. V rámci sledování evakuace trávicího traktu budou testovány dva krmné režimy (s/bez kontinuálního krmení) a tři typy potravy převyšující v potravě hlaváče černoústého napříč kolonizovaným územím: larvy pakomárů (*Chironomus* sp, tzv. soft-bodied prey), blešivec jezatý *Dikergammarus villosus* (Sowinsky, 1894) a hrachovky (*Pisidium* sp, tzv. hard-bodied prey). Testovaný typ potravy bude předložen předem vyláčeným rybám na dobu 2 hodin. Poté budou ryby dle typu krmného režimu dále krmeny (potravou snadno rozlišitelnou od testované) nebo zůstanou bez možnosti příjmu další potravy (úprava s/bez kontinuálního krmení). Následně budou v intervalu 0, 2, 5, 9, 16, 24 a 36 hodin odebírány vzorky ryb, které budou následně analyzovány. Na základě závislosti mezi časem a množstvím zbylé potravy v trávicím traktu ryb bude vypočítána rychlost evakuace trávicího traktu. Samotný výpočet a statistické analýzy (lineární regrese, bootstrapping a permutační test) budou probíhat v programu RStudio.

Získané výsledky mají zásadní význam pro kvantifikaci množství přijaté potravy hlaváčem černoústým, a tedy i jeho dopadu na makrozobentos, jako jeho hlavní složky potravy. Znalost rychlosti vyprazdňování může také zpřesnit některé výsledky z terénu, kde byl doposud v případě hlaváče černoústého tento parametr při analýzách obsahu trávicího traktu zanedbáván.

Rozsah pracovní zprávy:	30-50 stran
Rozsah grafických prací:	dle potřeby
Forma zpracování bakalářské práce:	tisková

Seznam doporučené literatury:

- Andersen, N. G. 1999. The effects of predator size, temperature, and prey characteristics on gastric evacuation in whiting. *Journal of fish biology* 54:287-301.
- Andersen, N. G., D. Chabot, and C. Couturier. 2016. Modelling gastric evacuation in gadoids feeding on crustaceans. *Journal of fish biology* 88:1886-1903.
- Borcherdting, J., M. Dolina, L. Heermann, P. Knutzen, S. Krüger, S. Matern, R. van Treeck, and S. Gertzen. 2013. Feeding and niche differentiation in three invasive gobies in the Lower Rhine, Germany. *Limnologia-Ecology and Management of Inland Waters* 43:49-58.
- Bromley, P. J. 1994. The role of gastric evacuation experiments in quantifying the feeding rates of predatory fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 4:35-66.
- Buňič, M., M. Bláha, A. Kouba, and B. Drozd. 2015. Upstream expansion of round goby (*Neogobius melanostomus*)-first record in the upper reaches of the Elbe river. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*:32.
- Dube, D. O. and L. D. Corkum. 1996. Behavioral interactions between round gobies (*Neogobius melanostomus*) and mottled sculpins (*Cottus bairdi*). *Journal of Great Lakes Research* 22:838-844.
- Gebauer, R., J. Divišek, M. Buňič, M. Vořeš, A. Kouba, and B. Drozd. 2018. Distribution of alien animal species richness in the Czech Republic. *Ecology and evolution* 8:4455-4464.
- Chotkowski, M. A. and J. E. Marsden. 1999. Round goby and mottled sculpin predation on lake trout eggs and fry: field predictions from laboratory experiments. *Journal of Great Lakes Research* 25:26-35.
- Jobling, M., D. Gwyther, and D. Grove. 1977. Some effects of temperature, meal size and body weight on gastric evacuation time in the dab *Limanda limanda* (L.). *Journal of fish biology* 10:291-298.
- Kornis, M., N. Mercado-Silva, and M. Vander Zanden. 2012. Twenty years of invasion: a review of round goby *Neogobius melanostomus* biology, spread and ecological implications. *Journal of fish biology* 80:235-285.
- Lee, V. A. and T. B. Johnson. 2005. Development of a bioenergetics model for the round goby (*Neogobius melanostomus*). *Journal of Great Lakes Research* 31:125-134.
- Marsden, J. E., P. Charlebois, K. Wolfe, D. J. Jude, and S. Rudnicka. 1996. The round goby (*Neogobius melanostomus*): a review of European and North American literature. *INHS Center for Aquatic Ecology*.
- Olson, D. S. and J. Janssen. 2017. Early feeding of round goby (*Neogobius melanostomus*) fry. *Journal of Great Lakes Research* 43:728-736.
- Pääkkönen, J. P. and T. Marjomäki. 1997. Gastric evacuation rate of burbot fed single fish meals at different temperatures. *Journal of fish biology* 50:555-563.
- Pennuto, C., K. Cudney, and C. Janik. 2018. Fish invasion alters ecosystem function in a small heterotrophic stream. *Biological Invasions* 20:1033-1047.
- Persson, L. 1979. The effects of temperature and different food organisms on the rate of gastric evacuation in perch (*Perca fluviatilis*). *Freshwater Biology* 9:99-104.
- Riche, M., D. Haley, M. Oetker, S. Garbrecht, and D. Garling. 2004. Effect of feeding frequency on gastric evacuation and the return of appetite in tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture* 234:657-673.
- Števo, B. and V. Kováč. 2016. Ontogenetic variations in the diet of two invasive gobies, *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) and *Ponticola kessleri* (Günther, 1861), from the middle Danube (Slovakia) with notice on their potential impact on benthic invertebrate communities. *Science of The Total Environment* 557:510-519.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Franta  
Ústav akvakultury a ochrany vod

Konzultant bakalářské práce: RNDr. Bořek Drozd, Ph.D.  
Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický

Datum zadání bakalářské práce: 21. dubna 2020  
Termín odevzdání bakalářské práce: 18. května 2020

  
prof. Ing. Pavel Kozák, Ph.D.  
děkan

L.S.

  
Ing. Jan Kašpar  
ředitel

V Českých Budějovicích dne 21. dubna 2020

# Obsah

<b>1. Úvod</b> .....	<b>8</b>
<b>2. Literární přehled</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1. Nepůvodní druhy</b> .....	<b>9</b>
<b>2.2. Biologické invaze</b> .....	<b>9</b>
2.2.1. Fáze biologických invazí .....	10
2.2.1.1. Introdukce .....	10
2.2.1.2. Aklimatizace .....	11
2.2.1.3. Šíření .....	11
<b>2.3. Nepůvodní druhy v České republice</b> .....	<b>11</b>
<b>2.4. Nepůvodní druhy ve vodách České republiky</b> .....	<b>12</b>
2.4.1. Nepůvodní hlaváčovité ryby .....	13
2.4.2. Hlaváč černoústý .....	13
2.4.2.1. Potrava a potravní chování .....	14
2.4.2.2. Habitat .....	16
2.4.2.3. Rozšíření v Evropě .....	16
2.4.2.4. Kompetice s původními druhy .....	18
2.4.2.5. Začlenění do potravních sítí .....	19
<b>2.5. Trávicí soustava ryb</b> .....	<b>20</b>
2.5.1. Trávení u hlaváčovitých .....	21
<b>2.6. Evakuace trávicí soustavy</b> .....	<b>22</b>
2.6.1. Vliv teploty na evakuaci trávicí soustavy .....	23
2.6.2. Vliv různé kořisti na evakuaci trávicí soustavy .....	23
2.6.3. Vliv velikosti predátora na evakuaci trávicí soustavy .....	24
<b>3. Cíle práce</b> .....	<b>26</b>
<b>4. Materiál a metodika</b> .....	<b>27</b>
<b>4.1. Odlov predátorů a jejich aklimatizace</b> .....	<b>27</b>
<b>4.2. Odlov a aklimatizace testované potravy</b> .....	<b>27</b>
<b>4.3. Experimentální systém</b> .....	<b>28</b>
<b>4.4. Průběh experimentu</b> .....	<b>29</b>
<b>4.5. Analýza trávicího traktu</b> .....	<b>31</b>
<b>4.6. Stanovení relativního obsahu střeva a rychlosti evakuace</b> .....	<b>33</b>
<b>4.7. Analýza výsledků</b> .....	<b>34</b>
<b>5. Výsledky</b> .....	<b>35</b>

<b>5.1. Rychlost evakuace trávicího traktu hlaváče černoústého .....</b>	<b>35</b>
<b>5.2. Porovnání dostupnosti potravy .....</b>	<b>36</b>
<b>5.3. Porovnání typu testované potravy.....</b>	<b>40</b>
<b>6. Diskuze .....</b>	<b>43</b>
<b>7. Závěr .....</b>	<b>48</b>
<b>8. Seznam použité literatury .....</b>	<b>49</b>
<b>9. Abstrakt .....</b>	<b>59</b>
<b>10. Abstract .....</b>	<b>61</b>

# 1. Úvod

V současné době dochází vlivem rostoucí populace a její zvyšující se činností k překonávání biogeografických bariér, které se zde utvářely již od vzniku Země. Společně s probíhajícími globálními změnami a neustále se rozrůstajícím mezinárodním obchodem umožňuje rozšiřování nepůvodních druhů na stále nová území. Většina nepůvodních druhů se do nového prostředí dostává za pomoci člověka, ať už úmyslně nebo nevědomky.

Ve většině případů nepůvodních druhů nedochází k výrazným ekologickým změnám v prostředí v důsledku jejich přítomnosti. Existují také druhy, které se v novém habitatu dokážou velice rychle rozmnožovat a jsou schopné ohrožovat druhovou biodiverzitu a stabilitu prostředí. Takovéto druhy jsou označovány jako invazní. Biologické invaze zasáhly všechny ekosystémy včetně těch sladkovodních. Ve sladkovodních ekosystémech je dominantním vektorem invazí lodní doprava. Takto se začal šířit na počátku 70. let 20. století i hlaváč černoústý – *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814), který se během desítek let rozšířil ze svého původního areálu rozšíření v Ponto-Kaspické oblasti do celé Evropy a také Severní Ameriky. V těchto nových oblastech se hlaváči začali nekontrolovatelně šířit díky své široké adaptabilitě na prostředí a fungující strategii rozmnožování.

Hlaváč černoústý má prokazatelně negativní vliv na původní druhy v prostředí. Tento negativní vliv je způsoben kompeticí o potravu, o úkryty a místa pro vytírání. Největší negativní vliv je prokázán na makrozoobentos, který tvoří hlavní část potravy hlaváče černoústého. Hlaváč černoústý je schopen negativně ovlivňovat makrozoobentos do takové míry, že například populace druhů z rodu slávička – *Dreissena* je schopen úplně zdecimovat. Hlaváč černoústý je ale také začleněn do potravních sítí, kdy je požírán některými dravými rybami a rybožravými ptáky.

Evakuační rychlost je jedním z nezbytných prvků pro kvantifikaci množství požití potravy hlaváčem černoústým v terénu. Získané výsledky můžeme využít pro odhad dopadu na populace makrozoobentosu. Znalost rychlosti evakuace potravy může také zpřesnit získané výsledky z terénu, při kterých byl obsah trávicího traktu zanedbáván. V této bakalářské práci jsme se zaměřili na testování tří druhů potravy (s/bez tvrdé vnější opory). Experimenty byly orientované na porovnání evakuační rychlosti těchto tří druhů potravy v závislosti na dostupnosti další potravy.



## **2. Literární přehled**

### **2.1. Nepůvodní druhy**

Existence biogeografických bariér (pohoří, oceány, řeky, vodopády) umožnila vznik různým ekosystémům se specifickými druhovými společenstvy. Tyto bariéry byly v důsledku rozvoje lidské civilizace překonávány. Překonání těchto bariér a vzrůstající mezinárodní obchod jsou hlavním důvodem neustále se zvyšujícího počtu nepůvodních druhů – míchání druhové diverzity mezi geograficky vzdálenými oblastmi, a tak k homogenizaci světové bioty (Mooney, 2005). Navíc globální změny klimatu napomáhají k rozšíření nepůvodních druhů i na území, na kterých nebyly v minulosti schopny přežít a úspěšně se etablovat (Gian-Reto, 2009).

Biologické invaze nepůvodních druhů jsou celosvětovým problémem se stále se zvyšující četností (Nentwig, 2007; Wonham a Carlton, 2005). Některé invazní druhy dokážou být natolik agresivní, že jsou schopné vytlačit původní druhy. Tím dochází k postupnému zmenšování populací, které může vést až k vymření druhu (McKinney a Lockwood, 1999). Biologické invaze nepůvodních druhů jsou Vitouskem a kol. (1997) označovány za hlavní důvod snižování biodiverzity, a to jak z regionálního, tak i globálního hlediska. Dle McMichaela a Bouma (2000) mohou nepůvodní druhy negativně působit na zdraví člověka několika způsoby. Jedním z možných způsobů ovlivnění zdraví člověka mohou být nově zavlečené nemoci a paraziti, jejichž výskyt je nebezpečný nejen pro člověka, ale také pro zvířata (Pimentel a kol., 2000). Zároveň mají nepůvodní druhy dopad také ekonomický. Například snížením výnosu ze zemědělských plodin, ale také vynaloženými náklady na jejich eradikaci (Barbier, 2001).

### **2.2. Biologické invaze**

Biologické invaze jsou definované jako proces, kdy se druh dostane ze svého původního prostředí do nového a stává se z něj nepůvodní či invazní druh (Valéry a kol., 2007). Pro pochopení klíčových faktorů v biologických invazích byly vytvořeny dva koncepty. Dle Richardsonova konceptu je největší překážkou pro etablování nového druhu geografická bariéra. Tento koncept se nejvíce uplatňuje při botanických invazích (Richardson a kol., 2000). Druhý koncept, dle Williamsona, se využívá pro zvířecí invaze. Zde je za nejdůležitější považována vhodnost a velikost nové niky (Williamson, 1996). Obecně v oboru biologických invazí panuje vysoká míra nesourodosti z hlediska

terminologie (Richardson a kol., 2011), proto jsou níže vysvětleny základní pojmy dle Richardsons a kol., (2000) a Lockwooda a kol. (2005).

- původní druh – druh, který žije ve svém přirozeném areálu
- nepůvodní druh – druh, který byl úmyslně, či neúmyslně rozšířen mimo svůj přirozený areál výsledkem lidské činnosti
- aklimatizovaný druh – nepůvodní druh, který je schopný žít v novém prostředí, občasně se rozmnožovat, avšak bez zásahů člověka není schopný vytvářet nové populace
- etablovaný druh – nepůvodní druh, který je schopný se v novém prostředí rozmnožovat a tvořit nové populaci bez zásahů člověka
- invazivní nepůvodní druh – etablovaný druh, který je schopný produkovat početné potomstvo a tím ohrožovat biologickou diverzitu a stabilitu prostředí
- introdukce – rozšíření nepůvodního druhu mimo jeho přirozený areál s pomocí či samovolně, introdukci dělíme na úmyslnou a neúmyslnou
- etablování – proces, při němž začne nepůvodní druh produkovat v novém prostředí životaschopné potomstvo
- propagule pressure – množství introdukovaných jedinců a množství introdukčních událostí

### **2.2.1. Fáze biologických invazí**

Proces biologických invazí lze rozdělit do několika po sobě následujících fází. Každá fáze je charakterizována typickými limitujícími faktory, které ovlivňují rozšíření druhu (Richardson a kol., 2000). Nejjednodušší dělení tvoří tři na sebe navazující fáze: introdukce, aklimatizace a šíření (Groves, 1986).

#### **2.2.1.1. Introdukce**

Dle Davise (2009) je největším problémem pro organismus překonání vzdálenosti a zároveň přežití této cesty. Dle Hulmeho a kol. (2008) existují tři hlavní způsoby introdukce nepůvodního druhu do nového prostředí: transport pomocí vektoru, přirozené rozšíření a dovoz nepůvodních druhů jakožto zboží (komodity). Tyto tři způsoby lze dále rozdělit na úmyslné rozšíření, únik z chovu, součást dovezeného zboží (parazitě), „černí pasažéři“ a v neposlední řadě rozšíření bez lidské pomoci například využitím

vybudovaných koridorů. Po dosažení nového prostředí mohou nastat tři varianty, co se stane s „novým“ organismem. Pokud mu nevyhovují podmínky a není schopen se jim přizpůsobit, tak buď umírá, nebo přežije, ale není schopen se rozmnožovat bez pomoci člověka. Poslední možnost nastane, pokud organismu nové prostředí vyhovuje. V takovém případě je schopný zde žít a úspěšně se rozmnožovat (Richardson a kol., 2000).

#### **2.2.1.2. Aklimatizace**

Nepůvodní druhy, které byly schopné se dostat do nového prostředí, ve kterém jim vyhovují podmínky, se musí nejdříve aklimatizovat, tedy přežít do doby, než budou moci založit životaschopnou populaci. Úspěšnost této fáze závisí na více faktorech. V první řadě na ekologické valenci druhu, dále na abiotických podmínkách nově obsazeného prostředí, tzv. propagule pressure (Davis, 2009), habitatových a potravních nárocích, rychlosti růstu či velikosti těla. Například rychlý růst je pro aklimatizaci pozitivní faktor, avšak je negativním faktorem pro fázi šíření (Kolar a Lodge, 2002).

#### **2.2.1.3. Šíření**

Nepůvodní druhy rostlin a živočichů se lépe šíří a etablojí v oblastech, ve kterých jsou podobné klimatické podmínky jako v jejich původním areálu (Woodward, 1987). Poté, co úspěšně proběhne fáze aklimatizace a nepůvodní druh založí životaschopnou populaci, stane se z nepůvodního druhu druh etablovaný (Richardson a kol., 2000). Pro již etablovaný druh je nejdůležitější přetrvání na získaném území a šíření na nové lokality. Pro tuto fázi jsou charakteristické opakující se disperze a aklimatizace. Pro šíření mohou etablované druhy využít stejných vektorů, kterých již jednou využily, avšak nemusí to být pravidlem (Davis, 2009).

### **2.3. Nepůvodní druhy v České republice**

Evropa je již z historického hlediska vhodná pro biologické invaze. Již od počátku 15. století docházelo ke kontaktu mezi Evropou a Amerikou pomocí lodní dopravy, která zároveň překonala velkou geografickou bariéru – oceány (Leppäkoski a kol., 2002). Ve flóře České republiky se nachází celkem 1378 nepůvodních taxonů, z nichž je pak 892 považováno za přechodně zavlečené, 397 za naturalizované a 90 za invazní. Z těchto invazních druhů je 29 považováno za problémové (Pyšek a kol., 2012). Většina nepůvodních druhů rostlin v ČR pochází z okolí Středozemního moře a ostatních částí

Evropy, více jak polovina z nich však byla na naše území zavlečena neúmyslně (Pyšek a kol., 2002). Nejvíce úmyslně zavlečených rostlin bylo v souvislosti s rozvojem okrasného zahradnictví. Dále se jedná o ekonomicky nebo hospodářsky významné druhy (Křivánek a kol., 2006). Ve fauně ČR se nachází celkem 680 nepůvodních druhů živočichů. Z toho 55 druhů je označených jako invazní, 39 z nich má výrazný vliv na životní prostředí. Proto jsou tyto druhy neustále monitorovány a v případě nutnosti dochází k regulaci jejich počtu (Pergl a kol., 2016).

## **2.4. Nepůvodní druhy ve vodách České republiky**

Sladkovodní ekosystémy jsou velice důležité pro lidstvo, ale také pro správnou funkci na nich navazujících ekosystémů. Bohužel v posledních letech vykazují sladkovodní ekosystémy výrazně rychlejší pokles diverzity ve srovnání s terestrickými ekosystémy (Dudgeon a kol., 2006; Johnson a kol. b, 2008). Důvodem je především homogenizace toků způsobená jejich narovnáváním, ničením původních stanovišť, opevňováním břehů, stavbou nádrží a vysokou mírou znečištění (Dudgeon a kol., 2006; Francis 2012). Navíc rozrůstáním lidské populace a změnou klimatu se negativní změny ve sladkovodních ekosystémech dále stupňují (Carpenter a kol., 1992).

Invazibilita sladkovodních ekosystémů zároveň souvisí s vysokou mírou propojení řek protékajících více zeměmi, které se tak stávají koridorem pro nepůvodní druhy (Kinzelbach, 1995). Největším vektorem sladkovodních nepůvodních druhů je v současné době lodní doprava. S rozvíjející se ekonomikou se zvyšuje obchod mezi jednotlivými státy a tím se zvyšuje i četnost lodní dopravy (Molnar a kol., 2008).

Dle Musila a kol. (2010) se na území České republiky nachází celkem 42 nepůvodních sladkovodních druhů rostlin a živočichů ze 14 čeledí, z čehož většina byla introdukována mezi lety 1960 a 1995. Nejvíce druhů pochází ze Severní Ameriky (17), Asie (12) a Evropy (9). Z celkového počtu nepůvodních sladkovodních rostlin a živočichů můžeme 20 druhů nalézt ve volné přírodě a 14 z nich je považováno za etablované. Celkem 32 druhů bylo zavlečeno kvůli akvakultuře, některé z nich nedopatřením, jiné záměrně pro účely chovu (maso, jikry), jiné pak pro akvaristické účely. Některé druhy se však rozšířily díky přirozenému rozšiřování teritoria. Není výjimkou, že se nepůvodní druhy dostávají do nového prostředí pomocí více vektorů, například přirozenou migrací a společně s nasazovanými rybami.

Přehled o nepůvodních invazních druzích nabízí také aktuální Černý seznam fauny a flóry České republiky. Národní černé seznamy obsahují nejvýznamnější invazní rostliny a živočichy, na jejichž management a výzkum je nutné se zaměřit. Na aktuálním národním černém seznamu se na území ČR vyskytují tyto ryby – okounek pstruhový – *Micropterus salmoides* (Lacépède, 1802), amur bílý – *Ctenopharyngodon idella* (Valenciennes, 1844), slunečnice pestrá – *Lepomis gibbosus* (Linnaeus, 1758) či siven americký – *Salvelinus fontinalis* (Mitchill, 1815) (Pergl a kol., 2016).

#### **2.4.1. Nepůvodní hlaváčovité ryby**

Hlaváčovití (čeleď Gobiidae) se s počtem okolo 1800 druhů řadí mezi druhově nejpočetnější skupiny kostnatých ryb (Nelson, 2016). Jednotlivé druhy lze nalézt v tropickém a mírném klimatickém pásmu. Žijí ve sladké, brakické a nejvíce v mořské vodě v okolí korálových útesů (Winterbottom a kol., 2011). Rozlišovacím znakem hlaváčů (podčeleď Gobiinae) je přísavný terč, který je tvořen srostlými břišními ploutvemi (Nelson, 2016).

V posledním desetiletí se do evropských řek dostalo 5 druhů hlaváčovitých. Jedná se o hlaváče černoústého – *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814), hlavačku poloměsíčitou – *Proterorhinus semilunaris* (Heckel, 1837), hlaváče Kesslerova – *Ponticola kessleri* (Günther, 1861), hlaváče říčního – *Neogobius fluviatilis* (Pallas, 1814) a hlaváče holokrkého – *Babka gymnotrachelus* (Kessler, 1857) (van Kessel, 2016).

#### **2.4.2. Hlaváč černoústý**

Hlaváč černoústý (Obrázek č. 1) se ve své čeledi řadí k větším druhům. Tělo je protáhlé a dosahuje délky až 25 cm. Má dvě oddělené hřbetní ploutve. Na první z nich se nachází černá, bíle lemovaná skvrna, která je typická právě pro tento druh (Marsden a kol., 1996).



Obrázek č. 1 Hlaváč černoústý (*Neogobius melanostomus*) (Foto: L. Hlášek).

Zbarvení je variabilní od světle šedé přes zelenou až po černou. Hlaváč černoústý má přísavný terč ze srostlých břišních ploutví a chybí mu plynový měchýř (Kornis, 2012).

Pohlavní dimorfismus je patrný na první pohled. Samci mají delší a špičatější urogenitální papilu, kdežto urogenitální papila u samic je kratší a zaoblenější. Navíc samci mohou být v období páření tmavší (až do černá) než samice (Marsden a kol., 1996). Samice pohlavně dospívají během druhého roku života, samci pak během třetího roku (Nikoi'skii, 1954).

#### 2.4.2.1. Potrava a potravní chování

Hlaváč černoústý je schopen tolerovat teplotní rozmezí  $-1$  až  $30$  °C (Moskal'kova, 1996). Nejvyšší rychlost konzumace potravy byla prokázána při teplotě mezi  $23$  a  $26$  °C. Po překročení horní hranice teplotního optima příjem potravy strmě klesá. Příjem potravy je dále negativně korelován velikostí, tzn., že se zvyšující se tělesnou velikostí (hmotností jedince) klesá množství přijaté potravy na jednotku hmotnosti. Nicméně míra korelace mezi velikostí predátora a příjmem potravy se v nižších teplotách ( $0 - 10$  °C) snižuje ve srovnání s vyššími teplotami ( $20 - 30$  °C) (Lee a Johnson, 2005). Hlaváč černoústý vyhledává potravu nejvíce během noci ( $24:00 - 02:00$  hod). Během dne ( $12:00 - 16:00$  hod) a v čase stmívání ( $19:00 - 21:30$  hod) dochází k nižšímu příjmu potravy než v noci (Johnson a kol., 2008, a). Složení potravy závisí na prostředí, části dne, věku predátora a jeho velikosti (Marsden a kol., 1996). Schopnost adaptace

larválních a raně juvenilních stádií hlaváčovitých lovit v různých hloubkách umožňuje jejich přežití v temných nádržích lodí (Hayden a Miner, 2009).

Hlaváč černoústý se živí bezobratlými, převážně makrozoobentosem (Pennuto a kol., 2010). Plůdek a nejmladší jedinci se živí zooplanktonem a bentickými bezobratlými (Jude a kol., 1995). Ve velikosti 6 – 26 mm byl pozorován u hlaváče černoústého přechod z plazivek (řád Harpacticoida) na zástupce perlooček z čeledi čočkovitých (Chydoridae) (Hayden a Miner, 2009; Olson a Janssen, 2017). Ve studii Olsona a Janssen (2017) se složení potravy juvenilů hlaváče černoústého odlovených v blízkosti dna (bentické zóně) shodovalo se složením potravy juvenilů ve studii McDonalda (2014), kteří byli loveni v pelagické zóně. Hlaváči černoústí do velikosti 40 mm se živí v 90 % larvami pakomárovitých (čeleď Chironomidae), kteří tvoří důležitou potravní složku i větších velikostních kategorií (Števo ve a Kolář, 2016).

Dospělci se živí larvami pakomárů (Vašek a kol., 2014; Mikl a kol., 2017), mlži (třída Bivalvia), koryši (podkmen Crustacea), larvy chrostíků – *Hydropsyche* (Vašek a kol., 2014; Mikl a kol., 2017) či okružankovitými (čeleď Sphaeriidae) (Andraso a kol., 2011). Se zvětšující se velikostí hlaváčů (50 – 100 mm) tak dochází k ontogenetickému posunu potravy a základní složkou potravy se stává potrava s tvrdou schránkou, převážně mlži z rodu slávička – *Dreissena sp.* (Ray a Corkum 1997). V potravních studiích se uvádí, že slávičky tvoří většinou více jak polovinu celkové přijaté potravy hlaváčem (Andraso a kol., 2011, Kornis a kol.; 2012, Diggins s kol., 2002). Avšak Vašek a kol. (2014) uvádí, že slávičky tvoří pouze 10 % z celkového denního racionu hlaváče, což vysvětluje přítomností měkké kořisti, které hlaváč dává přednost. Během migrace do velkých hloubek v severoamerickém jezeře Ontario (130 m) došlo se zvyšující se hloubkou k přechodu hlaváčů ze sláviček na vidlonožce jezerní – *Mysis relicta* (Lovén, 1862), a to i když měl hlaváč k dispozici dostatečné množství sláviček v optimální velikosti (Walsh a kol., 2007). Optimální velikost sláviček pro příjem hlaváči byla stanovena na 3 – 12 mm v závislosti na jedinci (Ghedotti a kol., 1995). Hlaváč černoústý je schopen měkkýše s tvrdou schránkou rozkousnout pomocí požerákových zubů v hltanu (Ghedotti a kol., 1995). Avšak nedělá to u všech sláviček. Menší jedince zvládá polykat v celku (Andraso a kol., 2011). Kromě makrozoobentosu se v potravě hlaváče černoústého občas vyskytují jikry vlastního druhu a také jikry hlavačky poloměsíčitě. Jikry v zažívadlech však byly Vaškem a kol. (2014) nalezeny jen u zhruba 1 % odlovených jedinců.

#### **2.4.2.2. Habitat**

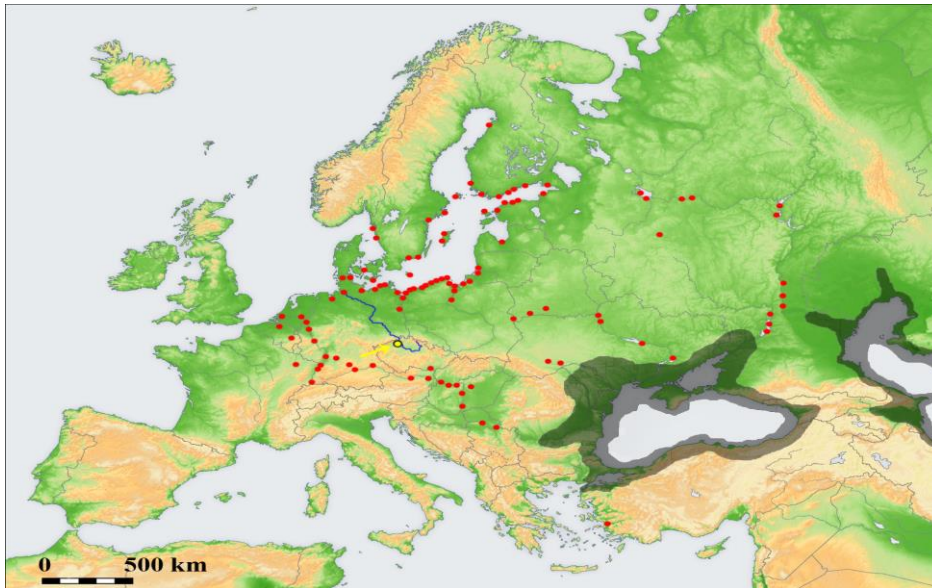
Upřednostňovaný substrát pro život i reprodukci hlaváče černoústého je tvrdý podklad. Nejpočetnější populace vytvářejí na kamenitém a skalnatém substrátu (Belanger a Corkum, 2003). Hlaváč černoústý však obsazuje i písčité podloží, ale primárně si vybírá tvrdý podklad. Dospělci obsazují kamenitý a skalnatý substrát, zatímco juvenilní jedinci se častěji vyskytují na písčitém podloží. To se dá vysvětlit tím, že dospělci vytlačí juvenilny do sub-optimálních podmínek (Marsden a kol., 1996).

Abundance hlaváčů černoústých také koreluje s hloubkou a výskytem vodní vegetace. Větší výskyt vodních rostlin snižuje početnost hlaváčů na lokalitě. V příbřežních oblastech Michiganského a Huronského jezera v USA je nejvyšší abundance hlaváčů černoústých v hloubce okolo 65 cm, kdežto v menší hloubce (okolo 40 cm) se vyskytuje v menším počtu (Cooper a Ruetz, 2009). V průběhu reprodukčního období se v Erijském jezeře hlaváč černoústý pohybuje nejčastěji v hloubce od 0,7 m do 3 m (Johnson a kol., 2005). Svůj výskyt mění i v průběhu roku. V letním období se hlaváč černoústý v severoamerických jezerech vyskytuje převážně do 20 m (Kornis a kol., 2012). Během zimy jsou schopni přežít až v hloubce 130 m (Walsh a kol., 2007).

#### **2.4.2.3. Rozšíření v Evropě**

Současné rozšíření hlaváče černoústého v Evropě je zachyceno na Obrázku č. 2. K domovině hlaváče černoústého se řadí Ponto-Kaspický region: tj. Azovské, Černé, Kaspické moře a dolní toky některých do nich ústících řek (Dněpr, Dněstr, Volha, Don, Bug) (Roche a kol., 2013). Díky svému vysokému invaznímu potenciálu je hlaváč černoústý schopný obsazovat sladké, slané i brakické vody. Invazní potenciál je daný vysokou rychlostí rozmnožování, agresivitou a vysokou aktivitou vyhledávání kořisti (Hempel a Thiel, 2015).





Obrázek č. 2 Původní a recentní rozšíření hlaváče černoústého (*Neogobius melanostomus*) v Evropě. Šedé plochy vyznačují oblasti původního rozšíření. Červené tečky značí nepůvodní rozšíření. Žlutá tečka označuje rozšíření na řece Labi (Buřič a kol., 2015).

Od 70. let minulého století se hlaváč černoústý šíří v Evropě mimo areál svého původního rozšíření. Nejprve v rámci řek Dněpr, Dněstr, Volha, Bug nebo Dunaj (Moskal'kova, 1996; Copp a kol., 2005; Shemonaev a Kirilenko, 2011). V roce 1990 byl zaznamenán v Gdaňském zálivu v Baltském moři, kam se pravděpodobně dostal v balastní vodě z lodí proplouvajících kanálem z Černého a Kaspického moře do Baltského moře. Rychlost šíření touto oblastí byla o poznání nižší než u severoamerických Velkých jezer (Sapota a Skóra, 2005), které obsadil během 5 let od introdukce do Michiganského jezera v roce 1990 (Marsden a kol., 1996). V rámci Evropy se hlaváč černoústý dále šířil v západní části Baltského moře podél pobřeží Německa (Sapota, 2004), východní části pobřeží u Lotyšska a Estonska (Ojaveer, 2006), jižním pobřeží Finska a Švédska (Björklund a Almqvist, 2010). Z pobřeží se dále šířil do ústí řek jako je Odra (Czugała and Woźniczka 2010), Lek (van Beek, 2006), Rýn (Manné a kol., 2013) nebo Šelda (Verreycken a kol., 2011) V roce 2008 byl hlaváč černoústý detekován také v řece Labi v blízkosti ústí řeky v Hamburku a výše proti proudu položeném městě Geesthacht (Hempel a Thiel, 2013).

Hlaváč černoústý se v České republice poprvé vyskytl na jižní Moravě v úsecích řeky Moravy a Dyje v roce 2006 (Lusk a kol., 2008). V řece Labi na území ČR byl hlaváč černoústý poprvé nalezen v Ústí nad Labem v roce 2015 a to nezávisle dvěma týmy

– FROV JU (Buřič a kol., 2015) a ÚBO AVČR (Roche a kol., 2015). Do té doby byl jeho výskyt znám nejbliže z více jak 600 km vzdáleného Geesthachtu. Existuje několik způsobů, jak se nové populace hlaváče mohly rozšířit proti proudu po řece Labi – protiproudovou migrací (Hempel a Thiel, 2013), migrací skrz kanál spojující Labe a Odru (Grabowska a kol., 2010), transportem v balastní vodě lodí, neúmyslným zavlečením rybáři či transportem juvenilních jedinců nebo již oplozených vajíček jinými živočichy například ptáky. Nejpravděpodobnější způsob je transport vajíček, juvenilů či dospělců balastní vodou při vnitrokontinentální dopravě a jejich následné uvolnění v blízkosti Ústí nad Labem (Buřič a kol., 2015), což může vést k dalším poproudovým migracím (Janac a kol., 2013).

#### **2.4.2.4. Kompetice s původními druhy**

Hlaváč černoústý ovlivňuje původní druhy kompeticí o potravu (French III and Jude, 2001), habitat (Dubs a Corkum, 1996) či prostor k rozmnožování (Janssen and Jude, 2001). Dubs a Corkum (1996) se zabývali vztahem mezi hlaváčem černoústým a vrankou Bairdovou – *Cottus bairdi* (Girard, 1850) v laboratorních podmínkách. Pokud byl k vrance přidán hlaváč, tak si vranka přestala bránit svůj úkryt a čas v něm strávený se rapidně snížil. Zároveň byl hlaváč černoústý agresivní a docházelo k útokům. To potvrzují i výsledky pozorování z řeky Sváté Kláry (hranice USA a Kanady), kde byl zaznamenán výrazný pokles populace vranky Bairdovi a okounovité ryby perciny různopruhé – *Percina caprodes* (Rafinesque, 1818) po introdukci hlaváče černoústého. Navíc hlaváč preduje na oplozených jikrách percin, které se vytírají na písčitém podkladu a své jikry nechraní. V noci na tyto místa připlouvají hlaváči černoústí a masivně požirají jikry (Jude a DeBoe, 1996).

Stejný trend byl pozorován v Michiganském jezeře u candátka temného – *Etheostoma nigrum* (Rafinesque, 1820), další bentofágní ryby. Zde pravděpodobně sehrála hlavní roli kompetice o potravu. Frekvence výskytu při kontrolních odlovech na 3 místech klesla z 64 % v období 1984–1998 na 15 % během let 1999–2002. U vranky Bairdovi byl pokles ještě rapidnější. V letech 1999–2002 došlo na jednom kontrolním místě k poklesu frekvence výskytu na pouhá 4 % (Lauer a kol., 2011).

Negativní vliv byl pozorován také na dalších druzích, například ježdíkovi obecném – *Gymnocephalus cernua* (Linnaeus, 1758) (Jůza a kol., 2018), platýsi bradavičnatém – *Platichthys flesus* (Linnaeus, 1758), pakambale velké – *Scophthalmus maximus*

(Linnaeus, 1758) (Ustups a kol., 2016), vrance slizké – *Cottus cognatus* (Richardson, 1836), vrance Riceově – *Cottus ricei* (Nelson, 1876) a percině – *Percina sp.* V laboratorních podmínkách došlo u posledních třech jmenovaných původních druhů při vystavení hlaváči černoústému k postupnému úbytku hmotnosti, zatímco hlaváč černoústý na hmotnosti přibýval (Bergstrom a Menssinger, 2009).

#### 2.4.2.5. Začlenění do potravních sítí

Během kolonizace nových lokalit byl prokázán převážně negativní vliv na početnost bentických bezobratlých prostřednictvím predace hlaváčem černoústým (Barton a kol., 2005). Lederer a kol. (2008) zjistili, že v letech 2003–2006 došlo v jezeře Michigan k poklesu mlžů – sláviček, korýšů – různonožců (řád Amphipoda) a stejnonožců (řád Isopoda), chrostíků (řád Trichoptera), plžů (třída Gastropoda) a pakomárů (čeleď Chironomidae). Také v Erijském jezeře bylo doloženo snížení populací některých bezobratlých (Barton a kol., 2005). Zejména početnost slávičky – *Dreissena bugensis* (Andrusov, 1897), hlavní potravní složky hlaváče černoústého v tomto jezeře, klesla z původních  $2,33 \cdot 10^4 \cdot \text{m}^{-2}$  v roce 2001 na  $1,58 \cdot 10^3 \cdot \text{m}^{-2}$  v roce 2004. K obdobnému poklesu došlo i u druhu blešivců – *Gammarus fasciatus* (Say, 1818) a *Echinogammarus ischnus* (Stebbing, 1899). Po poklesu hlavní složky potravy byl hlaváč černoústý donucen požírat druhově rozmanitější potravu v důsledku limitace hlavního potravního zdroje (Barton a kol., 2005).

V roce 1999, kdy populace hlaváče černoústého v severoamerickém Erijském jezeře dosáhla přibližně 4 miliard jedinců zkonsumovali hlaváči necelých  $6 \cdot 10^4$  t kořisti za rok. Z toho množství tvořil zooplankton 40 %, slávičky 38 %, následovali pakomárovití, měkkýši a ostatní bentičtí živočichové a ryby (Johnson a kol., 2005).

Zároveň i hlaváč černoústý může být kořistí. V Erijském jezeře je potravou například pro mníka jednovousého – *Lota lota* (Linnaeus, 1758), okounka černého – *Micropterus dolomieu* (Lacépède, 1802), u nichž tvořil až 75 % z celkové kořisti, nebo také pro candáta severoamerického – *Sander vitreus* (Mitchill, 1818), (Johnson a kol., 2005). V Baltském moři a evropských řekách je hlaváč černoústý kořistí okouna říčního – *Perca fluviatilis* (Linnaeus, 1758), candáta obecného – *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758), sumce velkého – *Silurus glanis* (Linnaeus, 1758) (Mikl a kol., 2017). Kromě toho je hlaváč černoústý predován také rybožravými ptáky, například volavkou popelavou – *Ardea cinerea* (Linnaeus, 1758), (Kornis a kol., 2012).

## 2.5. Trávicí soustava ryb

Trávicí soustava u ryb je tvořena ústní štěrbinou (ústí), ústní dutinou, hltanem, jícnem, žaludkem (ten však není přítomen vždy), tenkým střevem, k němuž jsou připojené pomocné trávicí orgány slinivka břišní a játra v podobě hepatopankreasu, následuje tlusté střevo, které přechází v konečník a ústí do řitního otvoru. V ústech nejsou přítomny slinné žlázy, takže zde nedochází k žádné enzymatické činnosti a namísto navlhčování potravy dochází k odstranění přebytečné vody (Baruš a Oliva, 1995). Naproti tomu v ústech jsou často umístěny zuby, a to na nejrůznějších kostech, nejen na horní a dolní čelisti, ale také na patrové, radličné kosti, parasphenoиду apod. Zuby slouží v ústní dutině k uchvácení, nikoliv porcování či mělnění potravy (Baruš a Oliva, 1995; Murdy a Shibukawa, 2001; Williamson, 1849)

Ústní dutina navazuje na hltan, který je ze stran vyztužený žaberními oblouky. Výstelka hltanu je tvořena trojvrstevným epitelem, pod kterým se nachází příčně pruhované svalstvo (Baruš a Oliva, 1995). V hltanu pak na posledním (pátém) žaberním oblouku přetvořeném na požerákové kosti mohou být vytvořeny požerákové zuby sloužící ke zpracování potravy. Požerákový aparát mají vedle zástupců máloostných (řád Cypriniformes) také často ostnoploutvé ryby (řád Perciformes) či čtverzubci (řád Tetraodontiformes) (Baruš a Oliva, 1995; Galis a Drucker, 1996; Grubich, 2003) Po hltanu následuje trubicovitý jícen, který je většinou krátký a široký a je charakteristický přítomností podélných záhybů, které umožňují rozšíření trávicí soustavy při průchodu větší potravy (Buddington a Kuzmina, 2000). Jícen je vystlán vícevrstevným epitelem s pohárkovými buňkami, svalstvo je příčně pruhované i hladké (Baruš a Oliva, 1995). Polovinu celkové tloušťky jícnu tvoří svalovina, která umožňuje posouvání potravy. Tyto svaly také umožňují vyvržení nechtěné či nepotřebné potravy. V epitelu jícnu se nachází velký počet pohárkových buněk produkujících kombinaci kyselého a neutrálního hlenu, který usnadňuje polykání pevných předmětů a zároveň slouží jako ochrana proti mikroorganismům a mechanickému poškození (Wolczuk a kol., 2018). Za jícnem následuje žaludek a u většiny ryb v něj přechází neznatelně. Rozlišovacím znakem je přítomnost žláz vylučujících trávicí enzymy, a to zejména pepsin, který rozkládá v acidickém prostředí bílkoviny na polypeptidy (Buddington a Kuzmina, 2000). Některé ryby nemají tyto žlázy vytvořené a bývají tak označovány jako „bezžaludkové“. Výstelku žaludku tvoří jednovrstevný epitel. Zároveň se zde vytváří ochranný sliz, který chrání

žaludek před působením kyseliny chlorovodíkové. U jednotlivých řádů jsou výrazné odchylky ve stavbě i délce střeva. Některé ryby mají na začátku střeva pylorické přívěsky, které zvětšují povrch střeva a trávicí kapacitu trávicí soustavy (Baruš a Oliva, 1995). Dle funkce lze střevo rozdělit na přední, střední a zadní. V přední části dochází k rozkládání tuků za pomoci lipáz, ve střední části pak k rozkladu bílkovin díky trypsinu a zadní část umožňuje iontovou výměnu s krví (Al-Hussaini, 1946). Výskyt enzymů závisí také na složení potravy ryb. U masožravých druhů jsou nejaktivnější trypsin a aminopeptidáza, které rozkládají bílkoviny. Naproti tomu u býložravých ryb dominuje  $\alpha$ -amyláza, která štěpí škrob (Day a kol., 2011). Ryby, které se živí potravou s tvrdou schránkou, se snaží optimalizovat efektivitu trávicích enzymů pomocí rozbíjení a drcení schránek. V případě, že nedojde k porušení schránky, může potrava projít trávicím traktem celá, bez využití jejího energetického potenciálu (Mack a Andraso, 2015). V případě, že u ryb chybí žaludek, dochází k trávení potravy ve střevě (Baruš a Oliva, 1995).

### 2.5.1. Trávení u hlaváčovitých

Čeď hlaváčovitých je řazena dle některých studií do skupiny s nejasně odděleným žaludkem (Wołczuk a kol., 2014), avšak Baruš a Oliva (1995) ji řadí do „bezžaludkových“ ryb. Za „bezžaludkové“ se označují takové ryby, u kterých nebyla za jícnem zjištěna aktivita pepsinu a u kterých je pH v této oblasti alkalické (Horn a kol., 2006). Na základě detailní mikroskopické analýzy byla prokázána absence žaludku také u hlaváče černoústého. Avšak u hlaváče černoústého nebyla prokázána ani přítomnost pomocného orgánu (*intestinal bulb*) (Trzeciak, 2012), stejně jako u hlaváče holokrského, běžného pro ryby bez žaludku (Jaroszewska a kol., 2008). Proto pro jasný důkaz, zda hlaváč černoústý žaludek má, či nemá, je nutné provést další analýzy. Trávicí trakt všech věkových skupin hlaváče černoústého se skládá z následujících, jasně rozlišitelných částí: jícnu, oesogasteru, předního střeva, středního střeva, střevně – rektálního svěrače a zadního střeva. (Trzeciak, 2012). Detailní popis trávicího traktu popisují Jaroszewska a kol. (2008) pro blízkce příbuzného hlaváče holokrského. Sliznice střeva je u hlaváče holokrského velmi zvrásněná, což zvyšuje absorpční plochu. Autoři této studie také prokázali přítomnost útvaru mezi jícnem a střevem (*oesogaster*), který se ovšem vyskytuje i u dalších ryb bez žaludku (Jaroszewska a kol., 2018), včetně hlaváče černoústého (Trzeciak, 2012).

V současné době jsou k dispozici podrobnější studie pouze pro některé ryby z čeledi hlaváčovitých, které ovšem dokazují že tato čeleď zahrnuje druhy s i bez žaludku (Hur a kol. 2016). Studie hlavačky poloměsíčité prokázala, že ačkoli žaludek není anatomicky rozlišitelný, lze ho rozlišit histologicky a histochemicky (Wołczuk a kol, 2014). U lezce obojživelného – *Periophthalmus barbarus* (Linnaeus, 1766) byl prokázán jasně rozlišitelný žaludek na histologické úrovni, který obsahoval žlázy s pepsinogenem a hladkých membrán umožňujících sekreci trávicích šťáv. Přítomnost pepsinogenu a neutrálního hlenu (ochrana proti kyselině chlorovodíkové) naznačuje, že lezec obojživelný má funkční žaludek. Také byla prokázána přítomnost velkého počtu epiteliálních buněk ve střevě. Toto dokazuje, že k nejintenzivnějšímu vstřebávání živin dochází právě ve střevě (Wołczuk a kol., 2018).

## 2.6. Evakuace trávicí soustavy

Potrava u masožravých ryb je obvykle rozmělněna v žaludku pomocí kombinace svalových kontrakcí žaludeční stěny, enzymatických reakcí a žaludečních kyselin. Rozmělněné kusy jsou vyloučeny ze žaludku přes pylorický svěrač do předního střeva. Tomuto procesu se říká žaludeční evakuace. Tento proces je řízen pomocí nervů a hormonů (Jobling, 1986). Metody pro získání obsahu žaludku pro výzkum skladby potravy ryb lze rozdělit do dvou kategorií. V první skupině lze získat obsah žaludku bez usmrcení ryb (Kamler a Pope, 2001). Mezi tyto metody se řadí gastrokopie (Dubets, 1954), vysátí obsahu žaludku skleněnou trubičkou přes ústa (Robertson, 1945), použití injekcí u menších ryb (Baker a Fraser, 1976) nebo také použití farmak a chemických roztoků (Markus, 1932). Druhá skupina metod vyžaduje usmrcení ryb a jejich následnou pitvu (Persson, 1982). Evakuací trávicí soustavy (rychlostí vyprazdňování zažívadel) se zabývá celá řada studií z důvodu potřeby odhadu denní krmné dávky ryb pro kvantifikaci predace a určení rozsahu potravních interakcí mezi jednotlivými druhy ryb (Jones a Richards, 1976). Metoda evakuace se využívá k určení relativní rychlosti, s jakou jsou různé druhy kořisti vylučovány ze žaludku či střev (v případě „bezžaludkových“ ryb) Tuto informaci spolu s rozložením kořisti v žaludku ryb lze použít k určení celkového množství zkonsumované potravy – nejčastěji během jednoho dne (Bromley, 1994). U ryb bez žaludku nebo s nejasně rozlišitelným žaludkem se k určení rychlosti evakuace využívá obsah střeva (Almqvist a kol., 2010).

### 2.6.1. Vliv teploty na evakuaci trávicí soustavy

Teplota je pravděpodobně nejvíce studovaný faktor, který dokáže silně ovlivnit fyziologické pochody ryb, včetně evakuace zažívadel (Persson, 1979). Korelace mezi teplotou a evakuací zažívadel byla popsána jako lineární závislost, při které se zvyšující se teplota projevuje zvýšením rychlosti evakuace (Elliott, 1972, Persson, 1982, Bromley, 1994). U pstruha duhového – *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1972) došlo při zvýšení teploty k rychlejší evakuaci, z 37 hodin při 4,5 °C na 11,5 hodin při 22,5 °C (He a Wurtsbaugh, 1993). Studie vztahu rychlosti evakuace zažívadel a teploty u lososa nerky – *Oncorhynchus nerka* (Walbaum, 1792) prokázala, že za vysokých teplot se začala sice zpomalovat krmná rychlost (množství přijaté potravy) v důsledku nevhodné (příliš vysoké) teploty pro příjem potravy, avšak evakuační rychlost stále stoupala (Brett a Higgs, 1970). Při vysokých teplotách tak může dojít ke snížení rychlosti příjmu potravy a zároveň zvýšení rychlosti evakuace. Proto evakuační experimenty sloužící pro predikci situace v přírodě mohou probíhat pouze při optimálních teplotách pro příjem potravy u konkrétních druhů ryb (Bromley, 1991). Kappor a kol. (1975) poukázali na pět způsobů, kterými teplota ovlivňuje evakuační rychlost: vliv na rychlost příjmu potravy, hydrolytickou aktivitu zaživacích enzymů, žaludeční a střevní peristaltiku, vyměšovací rychlost zaživacích enzymů a rychlost vstřebávání živin ze zaživacího traktu.

### 2.6.2. Vliv různé kořisti na evakuaci trávicí soustavy

Různé typy kořisti jsou vylučovány rozdílnou rychlostí (Jones, 1974). Obecně lze říct, že kořist s tělní oporou (schránkou) označovaná v anglicky psané literatuře jako tzv. *hard-bodied prey* se evakuuje delší dobu než kořist bez tělní opory tzv. *soft-bodied prey*. To je způsobeno především tím, že (exo)skelet působí jako zábrana, která brání přístupu trávicích šťáv a tím zpomaluje natrávení (Bromley, 1994). Tento trend potvrzují i výsledky evakuace u tresky bezvousé – *Merlangius merlangus* (Linnaeus, 1758), která evakuaovala 4krát až 5krát rychleji potravu bez tvrdé vnější tělní opory (*soft-bodied prey*) v podobě pískovníka rybářského – *Arenicola marina* (Linnaeus, 1758) a sledě obecného – *Clupea harengus* (Linnaeus, 1758) než potravu s pevnou vnější schránkou (*hard-bodied prey*) – garnáta obecného – *Crangon crangon* (Linnaeus, 1758) (Singh-Renton, 1999). Rychlejší evakuace potravy bez tělní opory byla pozorována také u tresky obecné – *Gadus morhua* (Linnaeus, 1758) (Temming a Herrmann, 2003) a smuhy červené – *Sciaenops ocellatus* (Linnaeus, 1766) (Gillum a kol., 2012). Naopak u ježdíka obecného

– *Gymnocephalus cernua* (Linnaeus, 1758) byla v laboratorních podmínkách (14 °C) prokázána pomalejší evakuace larev pakomárů ( $0,115 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ ryby} \cdot \text{h}^{-1}$ ) v trávicím traktu než vidlonožců (čeled' Mysidae) ( $0,168 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ ryby} \cdot \text{h}^{-1}$ ) s tvrdším exoskeletem. Vidlonožci byli evakuováni z trávicího traktu rychleji z důvodu menších rozměrů a snadnějšímu rozpadu v trávicím traktu (Hölker a Temming, 1995). Stejný trend byl pozorován i u kanice temnoploutvého – *Mycteroperca microlepis* (Goode a Bean, 1879) (Berens a Murie, 2007). Rozdílná doba evakuace může být i v rámci druhů kořisti pocházejících ze stejného rodu se stejnou stavbou těla. Lagrue a Bollache (2005) v laboratorních podmínkách zjistili, že ze zaživacího traktu vranky obecné – *Cottus gobio* (Linnaeus, 1758) byl blešivec hřebenatý – *Gammarus roeseli* (Gervais, 1835) evakuován pomaleji než blešivec obecný – *Gammarus pulex* (Linnaeus, 1758). Zároveň bylo v tomto experimentu zjištěno, že oba druhy byly při teplotě 14 °C evakuovány ze zaživadel do 24 hod. Na rychlost evakuace může mít vliv také nutriční hodnota kořisti, obsah vody, proteinů nebo lipidů (Bromley, 1994). Elliott (1972) přičítal rozdílnou rychlost evakuace potravy u stejně velkých pstruhů obecných různému nutričnímu složení kořisti, které může ovlivnit evakuaci. V tomto případě jsou to především lipidy, které jsou schopné rychlost evakuace zpomalovat. Kitchell a Windell (1968) prokázali, že zvýšený obsah lipidů v potravě zpomalil její evakuaci v trávicím traktu slunečnice pestré – *Lepomis gibbosus* (Linnaeus, 1758). Evakuaci zaživadel může také ovlivnit délka hladovění ryb. Elliott (1972) zjistil, že k ovlivnění (snížení) evakuace zaživadel u pstruha obecného – *Salmo trutta* (Linnaeus, 1758) dochází až při hladovění delším než 144 hodin. Při laboratorních pokusech zaměřených na evakuaci potravy u ryb se používá různá forma předkládané potravy – živá, čerstvě zabitá, mražená, celá, nakrájená, nasekaná potrava nebo pelety (Bromley, 1994).

### **2.6.3. Vliv velikosti predátora na evakuaci trávicí soustavy**

Obecně lze říct, že absolutní rychlost evakuace zaživadel se zvyšuje s rostoucí hmotností těla predátora, zatímco relativní rychlost vztažená na jednotku hmotnosti těla se snižuje (Flowerdew and Grove, 1979; Fange and Grove, 1978). Existují však studie, které toto obecné pravidlo narušují. V některých studiích byly ryby různé velikosti krmeny kořistí proporčně odpovídající jejich velikosti, přesto byla doba absolutní evakuace stejná (Elliott, 1972; Persson, 1979; Tyler, 1970; Jobling, 1980; Jobling a kol., 1977). Vyrovnaná absolutní rychlost evakuace trávicího traktu v rámci jednoho druhu



napříč různými velikostními kohortami byla sledována u pstruha obecného (Elliott, 1972), okouna říčního (Persson, 1979), tresky obecné (Tyler, 1970), limandy obecné – *Limanda limanda* (Linnaeus, 1758) (Jobling a kol., 1977) a platýze obecného – *Pleuronectes platessa* (Linnaeus, 1758) (Jobling, 1980). Hölker a Temming (1995) ve své studii zjistili, že větší jedinci ježdíka obecného při teplotách 14 °C a 19 °C dosahují vyšších hodnot absolutní rychlosti evakuace potravy ze zažívadel než menší jedinci. Avšak sami autoři uvádějí, že není zcela jasné, zda není rozdíl způsobený různou velikostí potravy a různým počtem podané potravy. V studii zabývající se tarponem indickým – *Megalops cyprinoides* (Broussonet, 1782) a hadohlavcem – *Channa striata* (Bloch, 1793) bylo prokázáno, že relativní rychlost evakuace se s rostoucí velikostí těla zmenšuje (Pandian, 1967). Naopak dos Santos a Jobling (1995) ve svém experimentu s treskou obecnou zjistili, že pokud menší jedinci tresky přijímají potravu, která je v rozmezí 0,4 – 19 % jejich hmotnosti, tak je relativní rychlost evakuace ze zažívadel rychlejší než u větších jedinců přijímajících potravu ve stejném procentuálním poměru k jejich hmotnosti.

### 3. Cíle práce

Předložená bakalářská práce má dva cíle – jeden teoretický, druhý experimentální. Jedním z cílů předložené bakalářské práce je shrnutí dosavadních znalostí o potravních nárocích a negativním dopadu hlaváče černoústého na původní biotu sladkovodních ekosystémů, zejména prostřednictvím přímé predace. Potravní nároky hlaváče jsou dobře popsány napříč kolonizovaným územím celou řadou vědeckých prací ale informace o rychlosti evakuace jeho zažívadel, pomocí nichž lze kvantifikovat dopad hlaváče na potravní zdroje, stále chybí. Znalost rychlosti evakuace trávicího traktu predátora je klíčová ke stanovení množství potravy, kterou predátor přijme za daný čas. Existuje proto mnoho vědeckých publikací zaměřujících se na rychlost evakuace ryb pro účely intenzivního chovu ryb. Ovšem rychlost evakuace zažívadel má i zásadní význam v oboru biologických invazí pro kvantifikaci množství přijaté potravy nepůvodním druhem, a je tedy důležitá pro popsání jeho negativního dopadu. Cílem experimentální části předložené BP je tak odhad rychlosti evakuace zažívadel hlaváče černoústého (predátora) v závislosti na typu a dostupnosti potravy.

Prostřednictvím série experimentů byly testovány následující hypotézy:

- Rychlost evakuace trávicího traktu kořisti s tělní oporou (tzv. *hard-bodied prey*) a bez tělní opory (tzv. *soft-bodied prey*) se u hlaváče černoústého liší.
- Rychlost vyprazdňování zažívadel (evakuace) se mění v závislosti na dostupnosti potravy.

## 4. Materiál a metodika

### 4.1. Odlov predátorů a jejich aklimatizace

Hlaváči černoústí sloužili v našich pokusech jako predátoři, u nichž byla zkoumána rychlost evakuace zaživadel. Odlov hlaváčů probíhal od 26. do 28. srpna 2019 za pomoci benzínového agregátu ELT60II GI HONDA GXV 50 (HANS GRASSL GmbH, Německo) na 3 lokalitách na řece Labi: poblíž vesnice Dolní Žleb (50°50'33,5" N, 14°13'01,9" E), u Velkého Března (50°40'3,86" N, 14°8'34,65" E) a pod Střekovským nábřežím (50°39'9,04" N, 14°2'38,8" E).

Hned po odlovu byli hlaváči umístěni do převozních nádrží s přívodem kyslíku a převezeni do experimentálních prostor ÚA FROV JU v Českých Budějovicích.

Následně byli hlaváči černoústí přesunuti do recirkulačního akvakulturního systému (RAS, celkový objem 1600 l). Zde probíhala aklimatizace po dobu nejméně 40 dní. Na začátku aklimatizace ryb byla teplota vody postupně snižována z 20 na požadovaných 14 °C (přibližně 1 °C za 4 dny). Systém pro aklimatizaci ryb se skládal ze 4 nádrží, každá nádrž s objemem 400 l. Ve dvou prostředních nádržích byli umístěni hlaváči, spodní nádrž sloužila jako mechanický filtr a horní jako biologický filtr. V RAS systému byla využita vodovodní voda zbavená chlóru pomocí uhlíkového filtru. Během aklimatizace byly měřeny fyzikálně – chemické vlastnosti vody (teplota, obsah rozpuštěného kyslíku, pH, vodivost) pomocí multimetru HQ40d (Hach Langer GmbH, Německo). Hlaváči byli krmeni 2x denně larvami pakomárů (*Chironomus sp.*).

### 4.2. Odlov a aklimatizace testované potravy

V rámci našich pokusů jsme použili 3 modelové typy potravy (korýš, měkkýš, larva hmyzu), které jsou známy z potravy hlaváče černoústého v přírodě.

Blešivec ježatý – *Dikerogammarus villosus* (Sowinsky, 1894) sloužil jako korýší zástupce *hard-bodied prey*. Byl odloven pomocí cedníku na řece Labi poblíž vesnice Dolní Žleb (50°50'33,5" N, 14°13'01,9" E). Hned po odlovu byl namísto zamražen v suchém ledu při teplotě –79 °C. Již zmražený byl převezen na ÚA FROV JU do Českých Budějovic, kde byl do začátku experimentu uchováván v mrazáku při – 80 °C. Mražený blešivec ježatý byl použit z důvodu poměrně komplikovaného držení živých

jedinců v umělých podmínkách a také s ohledem na snížení možného rizika úniku tohoto invazního nepůvodního druhu.

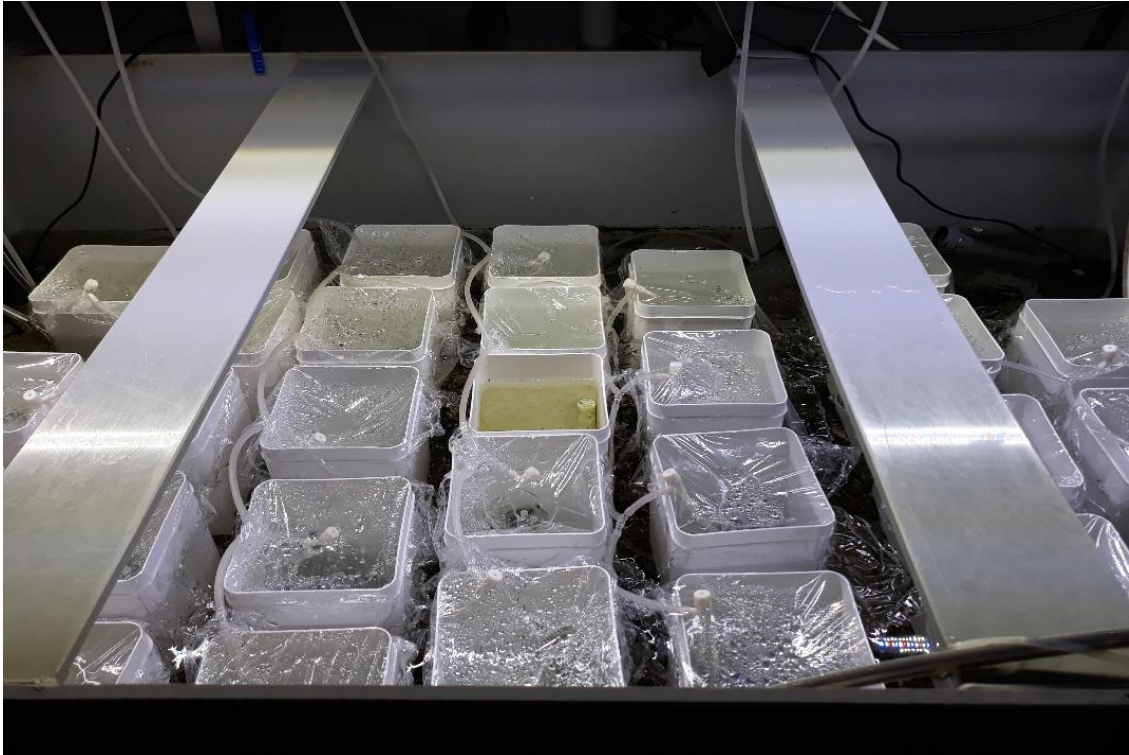
Hrachovky – *Pisidium* sp. sloužily jako měkkýší zástupci *hard-bodied prey*. Hrachovky jsme zvolili jako vhodnou náhradu sláviček (rod *Dreissena*) či kamomilů (rod *Ancilus*), tzn., měkkýšů, kteří jsou běžně zastoupeni v zažívadlech hlaváčů. Slávičky ani kamomily jsme nemohli použít, protože nebylo možné nalovit v řece Labi vhodné velikostní spektrum těchto druhů v dostatečném počtu (tisíce jedinců na jeden cyklus). Kamomilové jsou navíc původními druhy plžů, které jsou vlivem příchodu hlaváčů na Labe ustupujícími zástupci naší moluskofauny. Slávičky jsou naproti tomu silně invazivní zástupci moluskofauny, a tak jsme je nechtěli využít ze stejného důvodu jako živé blešivce ježaté (viz výše). Navíc hlaváč se s hrachovkami (jako svou potravou) v přírodě také setkává. Hrachovky byly odloveny pomocí cedníku na přítoku do rybníku Točnick (48°57'1,3" N, 14°57'20" E) nedaleko Chlumu u Třeboně. Až do začátku experimentu byly hrachovky uchovány v ÚA FROV JU v Českých Budějovicích v akváriu, jelikož jejich krátkodobé držení v umělých podmínkách není náročné a nejedná se o invazní nebo nepůvodní druh.

Poslední typ potravy byly larvy hmyzu – patentky, tzn., larvy pakomárovitých (čeleď Chironomidae). Patentky sloužily jako zástupce *soft-bodied prey*. Patentky byly zakoupeny z akvaristické firmy (Akvarijní krmiva Petr Grýgera) Živé larvy pakomárů byly uchovány v lednici při cca 5 °C a denně vlhčeny.

### 4.3. Experimentální systém

Experimentální systém se skládal ze 12 nádrží s jednotlivým objemem 400 l. V každé řadě byly 3 nádrže. Horní řada nádrží s plovoucími elementy a aerací sloužila jako biologický filtr, pod nimi byly nádrže se zásobní vodou, pod nimi nádrže s experimentálními boxy a dolní nádrže sloužily jako mechanický filtr. Světelný režim byl zajištěn (20:00 – 07:00 tma a 07:00 – 20:00 světlo) pomocí světel Aquatlantis Easy LED Universal 1450 mm (Aquatlantis, Portugalsko). Tato světla simulovala přirozené podmínky (svítání a stmívání) pomocí postupného snižování/zvyšování osvitů v časovém úseku jedné hodiny. V jednotlivých nádržích byly umístěny datalogry, které zaznamenávaly teplotu v intervalu 2 hodin. Teplota byla regulovaná pomocí chladičů a termostatů na 14°C. V nádržích bylo umístěno celkem 90 boxů, v každém z nich byl umístěn 1 hlaváč. Plastové boxy o objemu 2 l (13 x 13 x 19 cm) měly neprůhledné stěny,

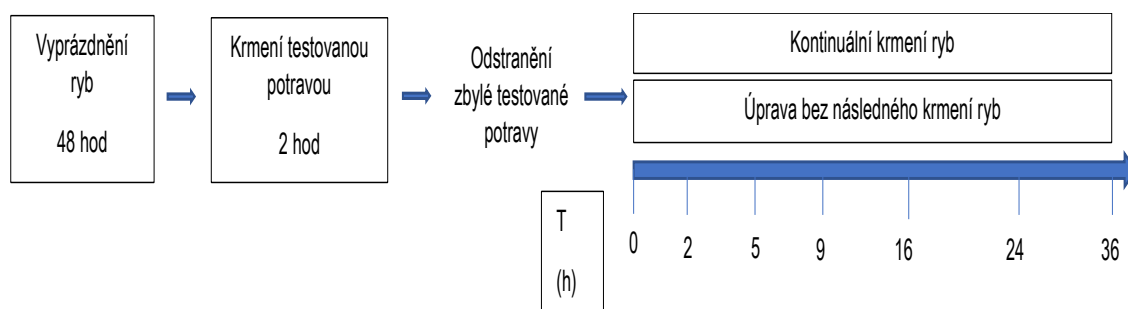
aby zabránily vizuálním konfrontacím mezi rybami. V každém boxu byla umístěna aerace a úkryt pro rybu. Svrchní strana byla zakryta potravinářskou fólií, aby nedocházelo k úniku ryb (Obrázek č. 4).



Obrázek č. 4 Uspořádání plastových boxů s jednotlivě nasazenými rybími predátory (hlaváči černoústými – *Neogobius melanostomus*) během evakuačního experimentu (foto autorka).

#### **4.4. Průběh experimentu**

V rámci předložené bakalářské práce byly provedeny 3 experimenty. V každém experimentu byl testován jeden typ potravy – hrachovky, larvy pakomárů a blešivci ježatí. Experiment probíhal v termínu 2.10. – 4.10., 10.10. – 12.10., 16.10. – 18.10. 2019. Každému experimentu předcházelo vyláčení ryb (hladovka po dobu 48 hodin) a následné krmení testovanou potravou po dobu 2 hodin (Obrázek č. 5).



Obrázek č. 5 Obecné schéma průběhu experimentu platné pro všechny experimenty (autorka)

Abychom předešli případným ztrátám v důsledku úhynu ryb nebo odmítání testované potravy, bylo na vylačnění a následné krmení testovanou potravou nasazeno 90 jedinců (90 boxů, 30 boxů na jednu nádrž) o průměrné celkové délce těla  $68,97 \pm 5,37$  cm (průměr  $\pm$  S.D.), ze kterých bylo poté do samotných experimentů vybráno 70 (70 boxů). Po dvou hodinách krmení byla odsáta zbylá testovaná potrava a další nečistoty z každého boxu. Zároveň byli vyřazeni jedinci, kteří v periodě 2 hodin nepřijali testovanou potravu. Poté úprava s kontinuálním krmením (35 boxů, polovina testovaných ryb) byla krmena *ad-libitum* potravou snadno rozlišitelnou od potravy testované. Druhá testovaná úprava bez následného krmení (zbylých 35 boxů) zůstala po celou dobu experimentu (36 hodin) bez přístupu k potravě.

Ukončení krmení testovanou potravou a odstranění jejích zbytků bylo označeno jako časový bod 0, tzn. začátek samotného experimentu. Poté byly v časových bodech 0, 2, 5, 9, 16, 24 a 36 hodin po zahájení samotného experimentu odebírány vzorky ryb. Při každém odběru bylo odebráno 5 jedinců z obou testovaných krmných režimů, ryby byly usmrceny pomocí anestetika MS 222 a následně umístěny v plastickém sáčku do suchého ledu s teplotou  $-79$  °C a poté (až do jejich analýzy) do hlubokomrazicího boxu (teplota  $-80$  °C).

Testovaná potrava byla rybám předkládána v takovém množství (počtu), aby hmotnost předkládané potravy byla mezi jednotlivými typy potravy vyrovnaná. Blešivec ježatý byl předkládán v počtu 4 jedinců (odpovídá hmotnosti  $0,0696 \pm 0,0153$  g), larvy pakomárů v počtu 12 jedinců (odpovídá hmotnosti  $0,062 \pm 0,0085$  g) a hrachovky v počtu 6 jedinců (odpovídá hmotnosti  $0,0746 \pm 0,0154$  g).

V následující tabulce (Tabulka č. 2) jsou uvedeny směrodatné odchylky a průměrné hodnoty fyzikálně – chemických vlastností vody během jednotlivých experimentů.

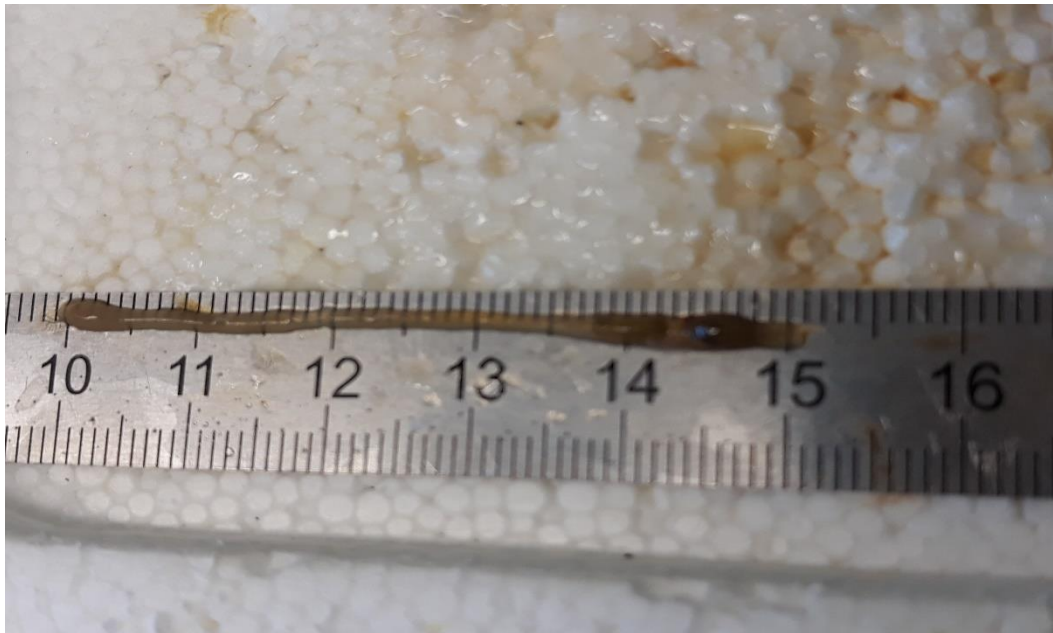
Během hladovění byla ve všech boxech vyměněna voda a došlo k odstranění veškerých nečistot (zhruba 10 hodin před začátkem experimentu).

Tabulka č. 2 Výčet fyzikálně – chemických parametrů vody v průběhu jednotlivých experimentů

		Experiment 1			Experiment 2			Experiment 3		
		Nádrž I	Nádrž II	Nádrž III	Nádrž I	Nádrž II	Nádrž III	Nádrž I	Nádrž II	Nádrž III
O <sub>2</sub> [mg·l <sup>-1</sup> ]	Prům.	8,77	8,67	8,40	8,85	8,87	8,75	8,83	8,77	8,47
	S. D.	0,20	0,22	0,29	0,12	0,13	0,17	0,23	0,08	0,20
pH	Prům.	7,83	7,84	7,81	7,78	7,82	7,77	7,77	7,80	7,79
	S. D.	0,05	0,05	0,05	0,07	0,04	0,07	0,06	0,03	0,03
Teplota [°C]	Prům.	14,40	14,39	13,91	14,24	13,97	13,72	14,28	14,35	13,86
	S. D.	0,37	0,46	0,19	0,33	0,11	0,12	0,69	0,64	0,73
Vodivost [μS·cm <sup>-1</sup> ]	Prům.	710,17	704,17	688,00	579,40	578,20	575,60	551,00	548,00	546,80
	S. D.	10,71	13,17	14,67	4,32	9,24	11,53	8,22	6,23	5,04

#### 4.5. Analýza trávicího traktu

K vyhodnocení každého experimentu bylo využito 70 hlaváčů černoústých, 35 ryb z úpravy bez následujícího krmení a 35 ryb z úpravy s kontinuálním krmením. Každý jedinec byl nejdříve rozmrazen a zvážen na analytických vahách Kern 572–37 (Kern and Sohn GmbH, Německo). Následně byla s pomocí pravítka změřena délka těla (SL – vzdálenost od počátku hlavy po bázi ocasní ploutve) a celková délka ryby (TL – vzdálenost od hlavy po konec nejdelšího ocasního paprsku). Poté byl proveden řez od řitního otvoru po prsní ploutve a okolo skřelí nahoru k páteři. Jako další bylo nutné opatrně vypreparovat střevo střihem pomocí očních chirurgických nůžek v oblasti hltanu tak, aby nedošlo k jeho protržení a zároveň posunutí potravy uvnitř. Pomocí kovového pravítka byla změřena celková délka vyndaného střeva (Obrázek č.6), sledována byla vzdálenost od začátku střeva po konec „předstřeva“ a zároveň byla změřena vzdálenost začátku testované potravy a v případě přítomnosti i začátku druhé potravy od počátku střeva. „Předstřevo“ se nachází na počátku střeva a dosahuje až k první kličce na střevě. Pak bylo střevo zváženo na analytických vahách EX224M (Ohaus Corporation, USA).



Obrázek č. 6 Měření délky střeva hlaváče černoústého – *Neogobius melanostomus* na kovovém pravítku (foto autorka)

Po změření střeva byl veškerý jeho obsah převeden na předem připravené filtry ze skleněných mikrovláken vláken typ 691, 516-0862 (VWR International, USA). Ty byly před umístěním obsahu zažívadel vypáleny při teplotě 500 °C po dobu 30 minut, aby došlo k rozložení organických uhlíkatých molekul. Filtry byly po vyndání z laboratorní komorové pece LAC-Ht40A1 (LAC s.r.o., Česká republika) zváženy na mikrováhách Mettler Toledo Excellence Plus XP6 (Mettler-Toledo, Švýcarsko). V případě, že střevo obsahovalo testovanou i druhou potravu, tak testovaná potrava byla vytlačena na jeden filtr a druhá potrava na jiný filtr. Poté bylo nutné jednotlivé filtry i s vytlačenou potravou zvážit na analytických vahách EX224M. Prázdné střevo bylo také zváženo a dáno na hliníkovou fólii, která byla předem očíslovaná a zvážena. Tělo hlaváče bez střeva bylo zváženo a poté rozstříháno na menší kousky pro snadnější usušení a dáno na hliníkovou fólii k již vyprázdněnému střevu (Obrázek č. 7).





Obrázek č. 7 Vzorky připravené na sušení (autorka)

Takto připravené vzorky byly umístěny na noc do horkovzdušné sušárny Memmert UN75 (Mettler GmbH, Německo) při stálé teplotě 105 °C. Druhý den ráno byl každý vzorek již v suchém stavu zvážen a vše bylo zaznamenáno spolu s ostatními daty do tabulky.

#### 4.6. Stanovení relativního obsahu střeva a rychlosti evakuace

Získaná data z analýzy trávicího traktu byla využita pro výpočet relativního obsahu střeva, ke kterému byl použit vzorec:

$$G = \frac{m_o}{m_r}$$

kde  $G$  je relativní obsah střeva,  $m_o$  suchá hmotnost obsahu střeva a  $m_r$  je hmotnost ryby v suchém stavu.

Pro výpočet rychlosti evakuace se používá následující vzorec:

$$G_t = G_0 \cdot e^{-Rt}$$

kde  $G_t$  je relativní obsah střeva v čase  $t$ ,  $G_0$  počáteční relativní obsah střeva v čase 0 a  $R$  představuje rychlost evakuace (Elliot a Persson, 1978). Za dodržení závislosti uvedené ve vzorci se po zlogaritmování (přirozeným logaritmem) relativního obsahu střeva stává evakuační rychlost ( $R$ ) exponentem lineární závislosti (změna exponenciální závislosti na lineární). Poté bylo možné použít lineární regresi a evakuační rychlost ( $R$ ), která se rovnala hodnotě regresního koeficientu  $b_1$  v následující rovnici:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot x$$

kde  $b_0$  určuje průsečík s osou  $Y$  a  $b_1$  sklon křivky (evakuační rychlost). Vzhledem k tomu, že koeficient  $b_2$  může dle závislosti mezi proměnnými v modelu lineární regrese nabývat kladných i záporných hodnot, je tato hodnota udávána v absolutní hodnotě pro interpretaci evakuační rychlosti.

#### **4.7. Analýza výsledků**

Data získaná v sérii experimentů byla statisticky vyhodnocena pomocí program RStudio (Joseph J. Allaire, USA). Pro výpočet rychlosti evakuace pro jednotlivé testované typy potravy a krmené režimy byla použita lineární regrese zlogaritmovaného relativního obsahu střeva hlaváče černoústého v jednotlivých časových bodech. V úpravě s kontinuálním krmením na rozdíl od úpravy bez kontinuálního krmení nebylo možné po strávení rozpoznatelných struktur testované potravy, oddělit zbylou tráveninu (tekutinu) od následné potravy. Aby nedošlo ke zkreslení výpočtu evakuace byly relativní obsah střeva na místo nuly nahrazen hodnotou 0,000001. Následně, abychom získaly konfidenční interval pro porovnání rychlosti evakuace mezi testovanými úpravami byl použit tzv. *bootstrappingu* (pro vygenerování střední chyby průměru, variačního koeficientu a kvantilů). Pro odhalení průkazných/neprůkazných odlišností mezi testovanými úpravami byl proveden permutační test na principu dvoustranného testu (počet permutací 10000). Relativní obsah střeva byl vypočten pomocí výše uvedeného vzorce v programu Microsoft Excel (2010, Microsoft Office, Microsoft, USA).

## 5. Výsledky

### 5.1. Rychlost evakuace trávicího traktu hlaváče černoústého

Na základě výsledků lineární regrese je patrné, že relativní obsah testované potravy ve střevě hlaváče černoústého statisticky průkazně ( $P < 0,05$ ) klesal s uplynulým časem od příjmu této potravy ve všech experimentálních úpravách. Tomu odpovídá záporná hodnota odhadu regresního koeficientu ( $b_1$ ), který v absolutní hodnotě udává rychlost evakuace trávicího traktu (R). Hodnoty rychlosti evakuace trávicího traktu hlaváče černoústého, vypočítané na základě lineárních regresí budou popsány níže (viz kapitoly Porovnání dostupnosti potravy a Porovnání typu potravy). Podíl vysvětlené variability (koeficient determinace –  $R^2$ ) modelem lineární regrese se mezi jednotlivými úpravami mírně lišil. Nejvíce variability vykazoval model u úpravy testující blešivce ježatého s kontinuálním krmením ( $R^2=0,76$ ), naopak nejméně u úpravy testující larvy pakomárů bez následného krmení ( $R^2=0,35$ ).

Tabulka č. 3 Rychlost evakuace trávicího traktu (R, resp. absolutní hodnota koeficientu lineární regrese) hlaváče černoústého - *Neogobius melanostomus* se směrodatnou odchylkou (S.D.), p-hodnotou a koeficientem determinace ( $R^2$ ) lineární regrese (zlogaritmovaného relativního obsahu střeva (G) hlaváče černoústého) pro jednotlivé typy testované potravy (hrachovka – *Pisidium sp.*, blešivec ježatý – *Dikerogammarus villosus*, larvy pakomárů – *Chironomus sp.*) a krmné režimy (s/ bez kontinuálního krmení).

	Hrachovky – <i>Pisidium</i> sp.	Hrachovky – <i>Pisidium</i> sp.	Larvy pakomárů – <i>Chironomus</i> sp.	Larvy pakomárů – <i>Chironomus</i> sp.	Blešivec ježatý – <i>Dikerogammarus</i> <i>villosus</i>	Blešivec ježatý – <i>Dikerogammarus</i> <i>villosus</i>
	Bez konti. krmení	S konti. krmením	Bez konti. krmení	S konti. krmením	Bez konti. krmení	S konti. krmením
Evakuační rychlost R (koef. lineární regrese)	0,024 (–0,024)	0,248 (–0,248)	0,013 (–0,131)	0,314 (–0,314)	0,017 (–0,017)	0,350 (–0,350)
S. D.	0,004	0,049	0,003	0,039	0,003	0,033
P-hodnota	$2,44 \cdot 10^{-7}$	$1,61 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$3,39 \cdot 10^{-9}$	$8,87 \cdot 10^{-8}$	$4,31 \cdot 10^{-12}$
Koeficient determinace $R^2$	0,55	0,42	0,35	0,64	0,57	0,76

## 5.2. Porovnání dostupnosti potravy

Vliv dostupnosti potravy na rychlost evakuace trávicího traktu hlaváče černoústého byl prokázán. Na základě permutačního testu byl nalezen statisticky průkazný rozdíl ( $P < 0,05$ ) v rychlosti evakuace trávicího traktu hlaváče černoústého mezi úpravou bez kontinuálního krmení a s kontinuálním krmením u všech tří typů testované potravy (blešivec ježatý, larvy pakomárů a hrachovky, Tabulka č. 4). Z grafického znázornění rychlosti evakuace trávicího traktu (Graf č. 1 – 3) je patrné, že jedinci bez kontinuálního krmení evakovali potravu z trávicího traktu pomaleji. Navíc potrava nebyla nikdy zcela evakuována ve srovnání s úpravou s kontinuálním krmením. U krmného režimu s kontinuálním krmením byla veškerá testovaná potrava evakuována ještě před ukončením experimentu (36 h po nakrmení testovanou potravou). Relativní obsah střeva (v čase 0 h) byl v případě úpravy s kontinuálním krmením vždy alespoň o tisícinu až setiny gramu větší než bez následného krmení. V případě všech tří testovaných typů

potravy v úpravě bez kontinuálního krmení obsahoval trávicí trakt ryb tráveninu (tekutinu) i v posledním sledovaném časovém bodě (36 h, Graf č. 1 – 3). Tato trávenina už však neobsahovala rozpoznatelné struktury testované potravy.

Tabulka č. 4 Výsledky permutačního testu porovnávajícího rychlost evakuace trávicího traktu hlaváče černoústého (*Neogobius melanostomus*) mezi 2 použitými krmnými režimy (s/ bez kontinuálního krmení) pro každý testovaný typ potravy (blešivec ježatý – *Dikerogammarus villosus*, larvy pakomárů – *Chironomus sp.*, hrachovky – *Pisidium sp.*).

$t_{orig}$  – hodnota testované statistiky původního souboru, Q – kvantily (2,5%, 50% a 97,5%), Suma (permutací s  $t < t_{orig}$ ) – součet permutací s hodnotou testované statistiky menší než je hodnota testované statistiky původního souboru

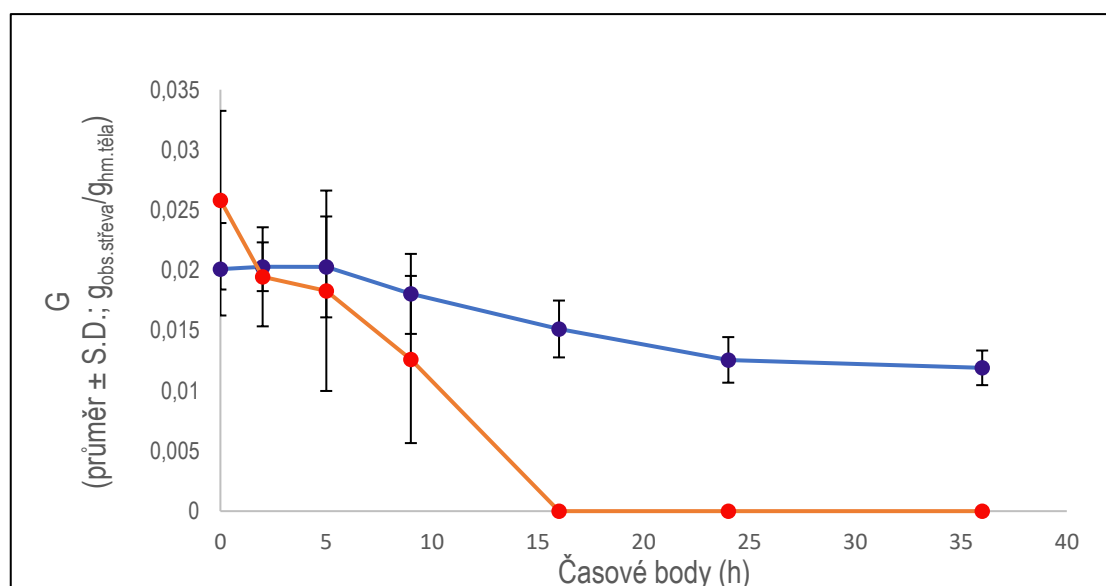
Testovaná potrava	$t_{orig}$	Q <sub>2,5%</sub>	Q <sub>50%</sub>	Q <sub>97,5%</sub>	Suma (permutací s $t < t_{orig}$ )	p-value
Blešivec ježatý	0,333	-0,152	0,003	0,152	9999	0,0001
Larvy pakomárů	0,301	-0,154	$-5,096 \cdot 10^{-5}$	0,152	9999	0,0001
Hrachovky.	0,224	-0,167	-0,000	0,163	9975	0,0025

Při použití blešivce ježatého jako testované potravy v úpravě s kontinuálním krmením, byl trávicí trakt ryb zcela bez testované potravy v době 16 h po zahájení pokusu. Tomu odpovídá rychlost evakuace  $0,350 \pm 0,033 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ ryby} \cdot \text{h}^{-1}$ . Naopak, pokud nebyly ryby po nakrmení blešivcem ježatým dále krmeny, rychlost evakuace této potravy byla statisticky průkazně nižší ( $P < 0,05$ ) než v úpravě s kontinuálním krmením a dosahovala  $0,017 \pm 0,003 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ ryby} \cdot \text{h}^{-1}$ . Tento trend je patrný i z Grafu č. 1, kde relativní obsah blešivců ježatých ve střevě ryb klesal velmi pozvolna. Teprve v době 24 h po zahájení experimentu byla u 3 z 5 odebraných jedinců pozorována v trávicím traktu pouze oranžová tekutina (trávenina) bez viditelných struktur testované potravy.

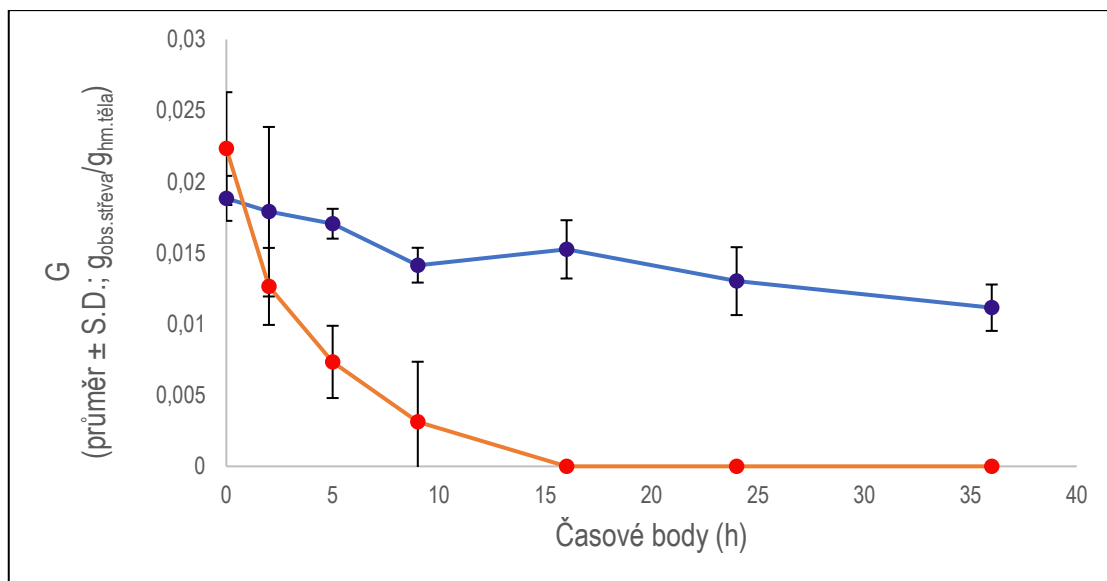
Pokud testovaná potrava byly larvy pakomárů, tak byl trávicí trakt při kontinuálním krmení prázdný již po 16 h od zahájení pokusu, což odpovídá rychlosti evakuace  $0,314 \pm 0,039 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ ryby} \cdot \text{h}^{-1}$ . Při úpravě bez kontinuálního krmení byla rychlost evakuace  $0,013 \pm 0,003 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ ryby} \cdot \text{h}^{-1}$  statisticky prokazatelně nižší ( $P < 0,05$ ) než v případě kontinuálního krmení a trávicí trakt nebyl prázdný ani při ukončení

experimentu. Za 24 h od začátku experimentu byla při úpravě bez kontinuálního krmení u 1 z 5 odebraných jedinců v trávicím traktu pozorována pouze natrávená tekutina bez viditelných částí testované potravy. Po 36 h od zahájení experimentu bez kontinuálního krmení byla určena průměrná relativní hmotnost střeva  $0,0111 \pm 0,0016 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$  a v tuto chvíli zde již nebyla žádná rozpoznatelná potrava (Graf č. 2).

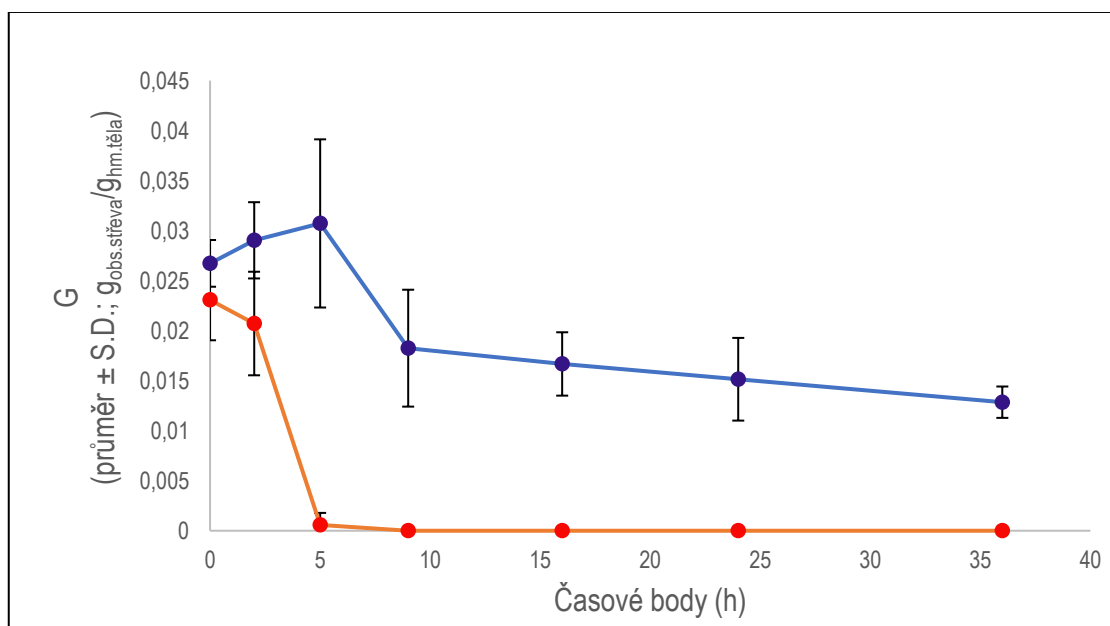
U hrachovek dosahovala při kontinuálním krmením rychlost evakuace  $0,248 \pm 0,049 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ ryby} \cdot \text{h}^{-1}$ . V tomto případě byl trávicí trakt hlaváčů černoústých prázdný již po 9 h od zahájení experimentu. Naopak při srovnání s úpravou bez kontinuálního krmení byla rychlost evakuace statisticky průkazně nižší ( $P < 0,05$ ) odpovídající  $0,024 \pm 0,004 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ ryby} \cdot \text{h}^{-1}$  (Graf č. 3). Po 16 h od začátku experimentu byly při úpravě bez kontinuálního krmení 2 z 5 odebraných jedinců pouze s natrávenou tekutinou bez rozeznatelných kusů testované potravy v trávicím traktu.



Graf č. 1 Relativní obsah střeva (G; průměr ± S.D.; suchá hmotnosti potravy [g] na suchou hmotnost těla ryby [g]) hlaváče černoústého – *Neogobius melanostomus* v jednotlivých časových bodech (0, 2, 5, 9, 16, 24 a 36 hodin po zahájení pokusu) při použití blešivce ježatého – *Dikerogammarus villosus* jako testované potravy ve dvou krmných režimech (modré body – úprava bez kontinuálního krmení; červené body – úprava s kontinuálním krmením)



Graf č. 2 Relativní obsah střeva (G; průměr ± S.D.; suchá hmotnosti potravy [g] na suchou hmotnost těla ryby [g]) hlaváče černoústého – *Neogobius melanostomus* v jednotlivých časových bodech (0, 2, 5, 9, 16, 24 a 36 hodin po zahájení pokusu) při použití larev pakomárů – *Chironomus sp.* jako testované potravy ve dvou krmných režimech (modré body – úprava bez kontinuálního krmení; červené body – úprava s kontinuálním krmením)



Graf č. 3 Relativní obsah střeva (G; průměr ± S.D.; suchá hmotnosti potravy [g] na suchou hmotnost těla ryby [g]) hlaváče černoústého – *Neogobius melanostomus* v jednotlivých časových bodech (0, 2, 5, 9, 16, 24 a 36 hodin po zahájení pokusu) při použití hrachovek – *Pisidium sp.* jako testované potravy ve dvou krmných režimech (modré body – úprava bez kontinuálního krmení; červené body – úprava s kontinuálním krmením)

### 5.3. Porovnání typu testované potravy

Porovnáním typu potravy při úpravě bez kontinuálního krmení byl pomocí permutačního testu zjištěn statisticky průkazný rozdíl ( $P < 0,05$ ) v rychlosti evakuace trávicího traktu hlaváče černoústého pouze mezi hrachovkami a larvami pakomárů (Tabulka č. 5). Naopak mezi hrachovkami a blešivcem ježatým, larvami pakomárů a blešivcem ježatým nebyl zjištěn statisticky průkazný rozdíl ( $P > 0,05$ ).

Tabulka č. 5 Výsledky permutačního testu porovnávajícího rychlost evakuace trávicího traktu hlaváče černoústého (*Neogobius melanostomus*) mezi testovanou potravou (blešivec ježatý – *Dikerogammarus villosus*, larvy pakomárů – *Chironomus sp.*, hrachovky – *Pisidium sp.*) pro každý testovaný krmný režim (s/ bez kontinuálního krmení).

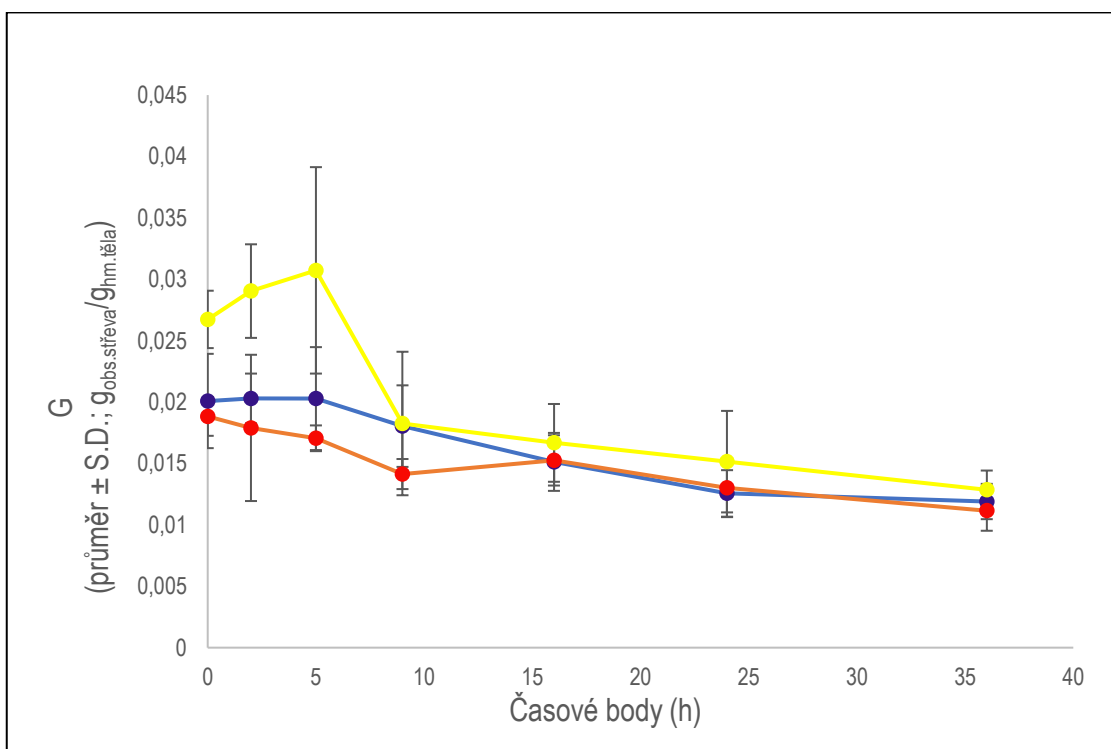
$t_{orig}$  – hodnota testované statistiky původního souboru, Q – kvantily (2,5%, 50% a 97,5%), Suma (permutací s  $t < t_{orig.}$ ) – součet permutací s hodnotou testované statistiky menší než je hodnota testované statistiky původního souboru

Úprava s kontinuálním krmením						
Porovnané typy potravy	$t_{orig.}$	Q <sub>2,5%</sub>	Q <sub>50%</sub>	Q <sub>97,5%</sub>	Suma (permutací s $t < t_{orig.}$ )	p-value
Hrachovky X larvy pakomárů	0,066	-0,047	$9,901 \cdot 10^{-5}$	0,046	9961	0,0040
Hrachovky X blešivec ježatý	0,102	-0,054	$4,555 \cdot 10^{-4}$	0,053	9999	0,0001
Larvy pakomárů X blešivec ježatý	0,036	-0,025	$-9,562 \cdot 10^{-6}$	0,024	9999	0,0001
Úprava bez kontinuálního krmení						
Hrachovky X larvy pakomárů	-0,011	-0,009	$-1,950 \cdot 10^{-5}$	0,009	109	0,9900
Hrachovky X blešivec ježatý	-0,007	-0,008	$-3,363 \cdot 10^{-5}$	0,008	377	0,9620
Larvy pakomárů X blešivec ježatý	0,004	-0,007	$1,913 \cdot 10^{-5}$	0,007	8261	0,1739

V grafickém znázornění úpravy bez kontinuálního krmení (Graf č. 4) lze vidět, že ani u jedné testované potravy nedošlo k úplné evakuaci trávicího traktu až do konce experimentu (36 h). V čase 24 h po ukončení krmení testovanou potravou z 5 odebraných ryb obsahovaly natrávenou tekutinu bez rozpoznatelných struktur testované potravy 3, 1



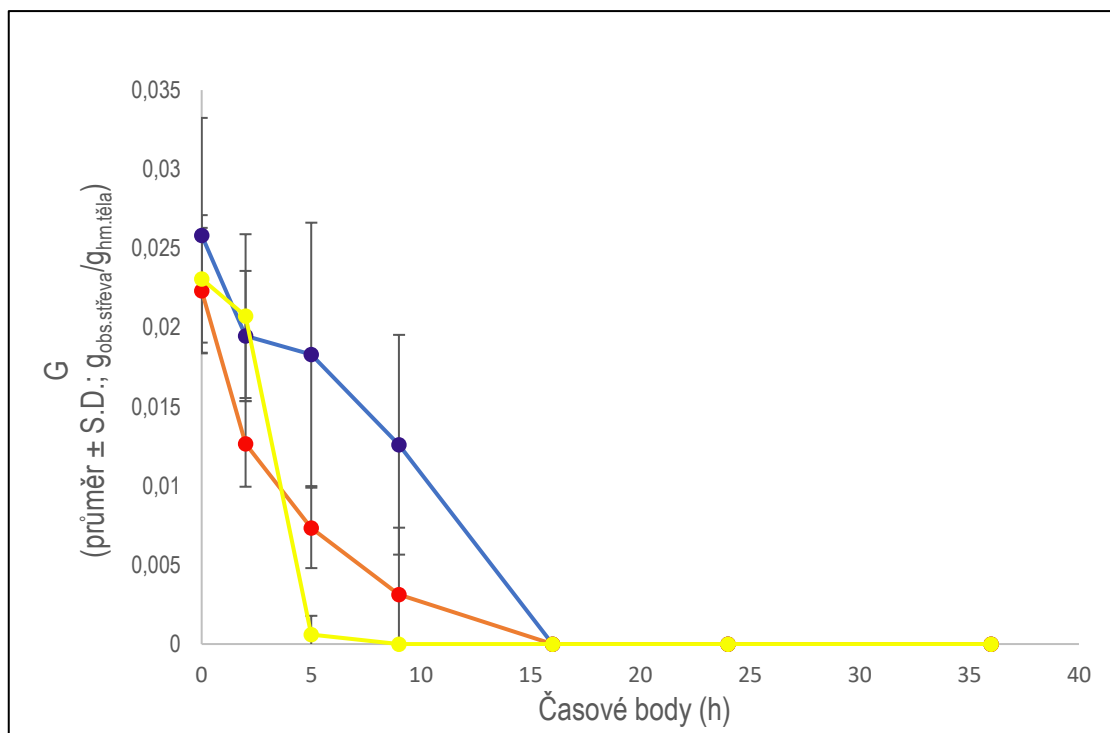
a 2 jedinci v úpravě testující blešivce ježatého, larvy pakomárů a hrachovky. V případě hrachovek 2 z 5 jedinců obsahovaly tuto tekutinu už po 16 hod od začátku experimentu. Tomu odpovídá i nejvyšší rychlost evakuace hrachovek ( $0,024 \pm 0,004 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ ryby} \cdot \text{h}^{-1}$ ) hlaváčem černoústým v rámci testovaných typů potravy v úpravě bez kontinuálního krmení. Naopak nejpomaleji v této úpravě byly hlaváčem evakuovány larvy pakomárů ( $0,013 \pm 0,003 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ ryby} \cdot \text{h}^{-1}$ ). Na konci experimentu se průměrná relativní hmotnost střeva u všech tří testovaných druhů potravy přibližně stejných hodnot (blešivec ježatý –  $0,0119 \pm 0,0014 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ , larvy pakomárů –  $0,0111 \pm 0,0058 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ ), hrachovky –  $0,0129 \pm 0,0016 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ ).



Graf č. 4 Relativní obsah střeva (G; průměr ± S.D.; suchá hmotnosti potravy [g] na suchou hmotnost těla ryby [g]) hlaváče černoústého – *Neogobius melanostomus* v jednotlivých časových bodech (0, 2, 5, 9, 16, 24 a 36 hodin po zahájení pokusu) při úpravě bez následného krmení (modré body – blešivec ježatý – *Dikerogammarus villosus*, červené body – larvy pakomárů – *Chironomus sp.*, žluté body – hrachovky – *Pisidium sp.*)

Naopak při úpravě s kontinuálním krmením byl statisticky průkazný rozdíl ( $P < 0,05$ ) v evakuační rychlosti trávicího traktu u hlaváče černoústého mezi všemi druhy testované potravy. V rámci úpravy s kontinuálním krmením dosahovala rychlost evakuace hlaváčem černoústým nejvyšších hodnot v případě testování blešivce ježatého

( $0,350 \pm 0,033 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ ryby} \cdot \text{h}^{-1}$ ). Naopak nejpomaleji byly evakuovány hrachovky (evakuace  $0,248 \pm 0,049 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ ryby} \cdot \text{h}^{-1}$ ). U blešivce ježatého a larev pakomárů obsahoval trávicí trakt pouze tekutinu po 16 h od počátku experimentu, kdežto hrachovky již po 9 h. U hrachovek došlo k výraznému poklesu relativního obsahu střeva mezi 2 hod ( $0,0207 \pm 0,0052 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) a 5 hod ( $0,0006 \pm 0,0012 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ ). Z 5 odebraných jedinců po 5 hodinách od začátku experimentu obsahoval pouze jeden trávicí trakt struktury hrachovek, u ostatních se nacházela pouze natrávená tekutina. Také u blešivce ježatého došlo k výraznějšímu poklesu relativního obsahu střeva, a to mezi 9 hod ( $0,0126 \pm 0,0069 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) a 16 hod, kdy v trávicím traktu zbyla pouze tekutina bez struktur blešivce ježatého. V následujícím grafu (Graf č. 5) je znázorněné srovnání testované potravy, na kterých je patrný velice strmý pokles v relativním obsahu střeva při testování hrachovek ve srovnání s ostatními úpravami v tomto krmeném režimu.



Graf č. 5 Relativní obsah střeva (G; průměr ± S.D.; suchá hmotnosti potravy [g] na suchou hmotnost těla ryby [g]) hlaváče černoústého – *Neogobius melanostomus* v jednotlivých časových bodech (0, 2, 5, 9, 16, 24 a 36 hodin po zahájení pokusu) při úpravě s kontinuálním krmením (modré body – blešivec ježatý – *Dikerogammarus villosus*, červené body – larvy pakomárů – *Chironomus sp.*, žluté body – hrachovky – *Pisidium sp.*)

## 6. Diskuze

Biologické invaze jsou v současné době celosvětovým problémem, který se neustále prohlubuje (Nentwig, 2007). Dle Vitouska a kol. (1997) jsou invazní druhy zodpovědné za pokles biodiverzity. Tyto druhy negativně působí nejen na nově kolonizované prostředí a původní biotu, ale mohou také působit na člověka (Pimentel a kol., 2000). Zároveň svojí přítomností mění funkčnost celého ekosystému, a to především přímou predací potravních druhů a kompeticí o potravu s původními druhy (Vitousek a kol., 1997; Molnar a kol., 2008; Doherty a kol., 2016). V některých případech může dojít v důsledku predančního tlaku až k úplnému vymizení predovaného druhu (McKinney a Lockwood, 1999). Mezi druhy, které jsou označovány za invazní druhy a jsou schopné svojí přítomností negativně ovlivňovat celý ekosystém, patří i hlaváč černoústý – *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814), který je zkoumaným druhem v této bakalářské práci. Hlaváč černoústý je řazen mezi 100 nejinvazivnějších druhů v Evropě (Drake, 2009). Ze své původní oblasti rozšíření v Ponto-Kaspické oblasti (Roche a kol., 2013) se za poslední desetiletí rozšířil do evropských řek v Německu (Sapota, 2004), Lotyšsku a Estonsku (Ojaveer, 2006), Finsku a Švédsku (Björklund a Almqvist, 2010) a v neposlední řadě i do České republiky (Lusk a kol., 2008; Buřič a kol., 2015; Roche a kol., 2015).

Hlaváč černoústý ovlivňuje původní druhy v nově kolonizovaném prostředí prostřednictvím celé řady procesů, zahrnující kompetici o potravu, habitat, prostor k rozmnožování a zejména přímou predací (Dubs a Corkum, 1996). Přímou predací hlaváče černoústého jsou nejvíce ohrožena společenstva makrozoobentosu, hlavní složka jeho potravy, zejména larvy pakomárů – *Chironomus sp.*, korýši (podkmen Crustacea), larvy chrostíků – *Hydropsyche*, okružankovití (čeleď Sphaeriidae) či mlži z rodu slávička – *Dreissena sp.* (Barton a kol., 2005; Pennuto a kol., 2010; Števoe a Kolář, 2016; Vašek a kol., 2014; Mikl a kol., 2017). Napříč jeho kolonizovaným územím zahrnujícím povodí většiny evropských velkých řek i Velká jezera v Severní Americe, byl prokázán negativní dopad na tato společenstva (Lederer a kol., 2008; Barton a kol., 2005; Johnson a kol., 2005). Příkladem je pokles populací zástupců rodu sláviček, různonožců (řád Amphipoda), plžů (třída Gastropoda) či chrostíků (řád Trichoptera) ve Velkých jezerech (Barton a kol., 2005; Lederer a kol., 2008; Johnson a kol., 2005) nebo pokles kroužkovic (kmen Annelida), mlžů (třída Bivalvia) či korýšů (podkmen Crustacea) na řece Dyji (Mikl a kol., 2017). Predací hlaváč navíc negativně působí na původní druhy ryb se stejnými

potravními nároky, jako je vranka Bairdova (Dubs a Corkum, 1996), candátek temný (Lauer a kol., 2011), vranka slizká či ježdík obecný (Bergstrom a Mensinger, 2009). Znalost potravních nároků hlaváče černoústého je dále klíčová k odhalení množství energie či jiných látek (polutantů) transportovaných prostřednictvím predace hlaváče černoústého do vyšších trofických úrovní (Johnson a kol., 2005; Mikl a kol., 2017). Například na mnoha místech tvoří hlaváč nový transportní most (pro tok látek) mezi slávičkami a predátory hlaváče, jako jsou mník jednovousý, okounek černý (Johnson a kol., 2005) nebo volavka popelavá (Kornis a kol., 2012). Přenesená energie a polutanty mohou být kvantifikovány na základě znalosti množství požitých potravy hlaváčem černoústým. Vzhledem k významnosti role přímé predace hlaváče černoústého na celý ekosystém existuje mnoho studií zabývajících se potravními nároky hlaváče, viz například práce Pennuta a kol., (2010), Haydena a Minera, (2009), Olsona a Janssen (2017), Vaška a kol. (2014), Mikla a kol. (2017), Števé a Kováče (2016). Tyto studie přinesly velmi podrobné a cenné informace o potravních nárocích a preferencích různých velikostních kohort hlaváčů černoústých z různých lokalit. Avšak tyto výsledky neumožňují výpočet množství přijaté potravy hlaváčem černoústým za určitý čas. Zároveň tím, že se hlaváč živí jak potravou bez tělní opory (*soft-bodied prey*), tak i s tělní oporou (*hard-bodied prey*), která je trávena různou rychlostí, může u některých typů potravy při vyhodnocování dojít k nadhodnocování, či podhodnocování jejího zastoupení v trávicím traktu při zanedbání informace o rychlosti evakuace zažívatel. Z tohoto důvodu jsme se v této BP zaměřili na odhad tohoto parametru u hlaváče černoústého v závislosti na typu a dostupnosti potravy. Znalost rychlosti evakuace umožňuje nejen zpřesnění analýz trávicího traktu, ale také výpočet množství přijaté potravy (tzv. *daily food consumption*) při propojení s dalšími laboratorními experimenty, nebo terénními analýzami (Elliott, 1978). Jedná se o zcela zásadní informace pro odhad negativního dopadu hlaváče černoústého na původní biotu prostřednictvím přímé predace, ale i s ní související potravní kompetice a transport látek.

Rychlost evakuace může být ovlivněna celou řadou faktorů jako je okolní teplota (Elliott, 1972, Persson, 1982, Bromley, 1994), doba hladovění (Elliott, 1972), typ potravy (Temming a Herrmann, 2003; Gillum a kol., 2012). Dále samotná velikosti predátora ovlivňuje rychlost evakuace, jak uvádějí Hölker a Temming (1995) u ježdíka obecného. V předložené bakalářské práci byl prokázán, jak vliv typu potravy na evakuaci trávicího traktu hlaváče černoústého, tak dostupnosti potravy. Pokud měl hlaváč černoústý přístup

k potravě, evakuoval testovanou potravu rychleji. Naopak, pokud po nakrmení už neměl přístup k potravě, evakuace dosahovala výrazně nižších hodnot. Pomalejší evakuace může být při nedostatku potravy způsobena utlumením aktivity trávicích enzymů. Tento jev byl pozorován u lososa obecného (Krogdahl, a Bakke-McKellep, 2005), jesetera jadranského – *Acipenser naccarii* (Bonaparte, 1836) a pstruha duhového (Furné a kol., 2008) nebo u plotice obecné – *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758) (Abolfathi a kol., 2012). Enzymatická reakce je proces s exponenciální závislostí, proto i proces evakuace má exponenciální průběh (Elliotta 1978). Nicméně grafické znázornění evakuace zažívadel hlaváče černoústého při nedostatku potravy odpovídá spíše lineární závislosti v případě larev pakomárů a blešivce ježatého. Což by odpovídalo možnému poklesu enzymatické aktivity popsané výše. Naopak hrachovky s tvrdou schránkou byly hlaváčem v úpravě bez kontinuálního krmení evakuovány překvapivě nejrychleji. Tyto výsledky se shodují s dříve publikovanou studií Hölkera a Temminga (1995), ve které byla zkoumaná evakuace larev pakomárů a vidlonožců u ježdíka obecného. Vidlonožci, jako zástupci potravy s tvrdým exoskeletem, byli evakuováni rychleji. Autoři si to vysvětlovali převážně tím, že vidlonožci jsou menší, a tím pádem jsou lépe stravitelní. Také Berens a Murie (2007) ve studii kanice temnoploutvého uvádí, že sled' kubánský byl evakuován pomaleji než druh kraba – *Portunus gibbesii* (Stimpson, 1859) s tvrdým vnějším exoskeletem. Nicméně v této studii, jak autoři sami uvádějí, byla evakuace pravděpodobně ovlivněna počtem přijaté kořisti, přesto že její hmotnost byla vyrovnaná. Pokud byl podán menší počet jedinců s tvrdou vnější oporou těla, tak i přes tuto oporu došlo k jejich rychlejší evakuaci než u většího počtu potravy bez opory (Berens a Murie, 2007). Také hlaváči černoústému byl v rámci prezentovaného experimentu předkládán větší počet larev pakomárů než hrachovek. To by mohlo vysvětlovat statisticky průkazný rozdíl v evakuaci těchto dvou typů potravy. Nicméně jak ve studii Hölkera a Temminga (1995) tak Brense a Murieho (2007) měly zkoumané ryby během experimentu možnost přijímat další potravu. Dalším možným vysvětlením by mohlo být přizpůsobení hlaváče černoústého k rychlejšímu trávení mlžů, kteří na mnoha lokalitách dominují v jeho stravě (Andraso a kol., 2011; Ray a Corkum 1997; Kornis a kol., 2012; Diggins s kol., 2002). Navíc hlaváč disponuje některými morfologickými adaptacemi jako jsou přeměněné požerákové zuby, které mu umožňují efektivně přijímat mlže (Baruš a Oliva, 1995; Galis a Drucker, 1996; Grubich, 2003). Nicméně vzhledem k chybějícím informacím o trávení a trávicím traktu hlaváče černoústého, není možné toto tvrzení potvrdit.

V případě, že hlaváči černoústí měli možnost dále přijímat potravu (úprava s kontinuálním krmením) došlo pravděpodobně ke zrychlení celkového metabolismu včetně aktivity enzymů, jak popisují O'Connor a kol. (2000) u lososa obecného, viz také exponenciální pokles obsahu relativního střeva v této úpravě. Zrychlení evakuace v důsledku zvýšení obsahu potravy ve střevě bylo popsáno dále u okouna žlutého (Noble, 1973). Při možnosti přijímat další potravu evakuoval hlaváč černoústý hrachovky naopak nejpomaleji v rámci testovaných typů potravy. Což je v souladu s pozorováním Singh-Rentona (1999) u tresky bezvousé, Temminga a Herrmanna (2003) u tresky obecné a Gilluma a kol. (2012) u smuhy červené, kteří popisují pomalejší evakuaci potravy s tělní oporou ve srovnání s potravou bez tělní opory. Nicméně při porovnání evakuace larev pakomárů a blešivce ježatého byla hlaváčem černoústým rychleji evakuována potrava s tvrdší tělní oporou, tedy blešivec ježatý. Možným vysvětlením může být předkládání blešivců ve zmrzlém stavu, čímž mohlo dojít k narušení jeho exoskeletu (Bromley, 1994). Avšak při pitvách byly zbytky blešivců nacházeny většinou rozžvýkané, nebo rozmělněné. Právě rozmělnění potravy mohlo vést ke snazšímu přístupu pro trávicí enzymy a následné rychlejší evakuaci, jak uvádí Andraso a kol. (2011) u hlaváče černoústého při konzumaci sláviček. Jeho vnější schránka zároveň není tak pevná a nedosahuje takové mocnosti jako u hrachovek. Naopak larvy pakomárů lze považovat za potravu bez tvrdé vnější opory, která by zpomalovala působení trávicích enzymů (Bromley, 1994). Avšak během analýz trávicího traktu byly larvy většinou nacházeny vcelku, nebyly nijak rozžvýkány. To mohlo zpomalit evakuaci larev pakomárů ve srovnání s blešivci. I v tomto případě nelze vyloučit vliv počtu předkládané/přijaté potravy na evakuaci hlaváčem černoústým i přes její vyrovnané hmotností množství. Naopak hrachovky, které mají ze všech testovaných typů potravy nejtvrďší vnější schránku byly dle předpokladů z výše uvedených studií evakuovány v tomto krmeném režimu nejpomaleji. Andraso a kol. (2011) uvádějí, že slávičky jsou rozmělněné, pokud jsou větší než 6 mm. Nicméně v našem experimentu byly použity hrachovky menší než 6 mm, přesto byly v trávicím traktu ve většině případů rozdrceny.

S ohledem na analýzy trávicího traktu u hlaváče černoústého prováděné napříč areálem jeho rozšíření (Marsden a kol., 1996; Hayden a Miner, 2009; Olson a Janssen, 2017) hraje významnou roli i čas, kdy potravu už nelze v trávicím traktu identifikovat (Rindof a Lewy, 2004). K evakuaci veškeré testované potravy došlo u larev pakomárů a blešivce ježatého při kontinuálním krmení do 16 hod od zahájení experimentu,

u hrachovek do 9 hodin. Tento čas odpovídá i době, kdy už nebylo možné typ potravy v trávicím traktu identifikovat. Lze tedy předpokládat, že pokud by byl interval při odběru vzorků hlaváče černoústého v terénu delší než 9 hodin, může dojít k podhodnocení množství zkonsumovaných hrachovek. Navíc hlaváč černoústý preduje jikry jak vlastní (Marsden a kol, 1996), tak další hlaváčovitých ryb (Jude a kol, 1995), ale i jikry původních druhů (Chotkowski a Marsden, 1999). Vzhledem ke stavbě jikry bez jakýchkoli tvrdých struktur, která již při příjmu predátora může být značně narušena, by mohl být tento interval ještě kratší.

Znalost rychlosti evakuace je klíčový parametr pro výpočet denní spotřeby potravy daným predátorem. Což je důležité zejména při odhadu ekologického dopadu nepůvodních druhů v oblasti biologických invazí. Nicméně i na základě porovnání samotné rychlosti evakuace lze usuzovat možný dopad invazního druhu. Při porovnání hlaváče černoústého s výsledky studie Hölkera a Temminga (1995) u ježdíka obecného krmeného také larvami pakomárů po dobu 10 dní při teplotě 14 °C. Hlaváč černoústý evakoval tuto potravu téměř 3 × rychleji v úpravě s kontinuálním krmením. Také u vranky obecné byla pozorována rychlost vyprazdňování blešivce hřebenatého a blešivce obecného při stejné teplotě vody. V době 30 h už nebyly struktury obou druhů blešivců ve střevě viditelné. V našem experimentu došlo k evakuaci všech struktur blešivce ježatého už v době 24 h v úpravě bez kontinuálního krmení, která více odpovídá metodice použité u vranky. Jak u vrankovitých (čeleď Cottidae), tak ježdíka obecného, byl zaznamenán pokles populace krátce po introdukci hlaváče černoústého, viz řeka Svaté Kláry (Jude a DeBoe, 1996) nebo severoamerická Velká jezera (Lauer a kol., 2011) v případě vrankovitých nebo nizozemská jezera v případě ježdíka (Jůza a kol, 2018). Lze předpokládat, že rychlejší evakuace hlaváče černoústého a s ní spojené vyšší nároky na množství přijaté potravy mohly sehrát významnou roli při kompetičním boji mezi těmito druhy.

Avšak pro potvrzení těchto závěrů je potřeba dalšího výzkumu. Zejména propojit získaná data o evakuaci hlaváče černoústého s terénním výzkumem. Což by umožnilo výpočet denní spotřeby potravy hlaváčem černoústým a kvantifikaci jeho reálného dopadu na společenstva makrozoobentosu, původní analogické druhy ryb a celý ekosystém. Dále pak v rámci výzkumu evakuace u hlaváče rozšířit spektrum testované potravy i na jikry, protože se jedná o velmi diskutované a významné téma.

## 7. Závěr

- Výsledky experimentů potvrdily, že rychlost evakuace potravy s tělní oporou (tzv. *hard-bodied prey*) se liší od potravy bez tělní opory (tzv. *soft-bodied prey*).
- Rychlost evakuace trávicího traktu byla odlišná v závislosti na dostupnosti potravy, úprava s kontinuálním krmením vykazovala vyšší rychlost evakuace trávicího traktu než bez kontinuálního krmení, a to u všech testovaných typů potravy.
- Pomalejší rychlost evakuace potravy hlaváčem černoústým při nedostatku potravy může hrát významnou roli při jeho transportu na nové lokality v podmínkách, které mu neumožňují příjem další potravy.
- Bez kontinuálního krmení byly nejrychleji evakuovány hrachovky, poté blešivec ježatý a nejpomaleji larvy pakomárů.
- V rámci úpravy režimu bez kontinuálního krmení nebyly po 36 hodinách v trávicím traktu žádné struktury zkoumaných jedinců u všech typů testované potravy.
- S kontinuálním krmením byl nejrychleji evakuován blešivec ježatý, poté larvy pakomárů a nejpomaleji hrachovky.
- Během kontinuálního krmení nebylo možné identifikovat struktury larev pakomárů a blešivců ježatých po 16 hodinách, hrachovky po 9 hodinách.
- Při porovnání s dostupnou literaturou s původními analogickými druhy pro námi zkoumaný druh, hlaváč černoústý, evakuoval při podobném krmeném režimu blešivce rychleji než vranka obecná v práci Lagruea a Bollacheho (2005). Také při porovnání s výsledky Hölkera a Temminga (1995) pro ježdíka obecného, hlaváč černoústý evakuoval larvy pakomárů téměř 3krát rychleji.
- Vzhledem k rychlejší evakuaci potravy lze předpokládat, že hlaváč černoústý má vyšší nároky na množství přijaté potravy než původní analogické druhy, a tudíž působí větší tlak na společenstva makrozoobentosu, zejména v případě potravy bez tělní opory a blešivců.



## 8. Seznam použité literatury

- Abolfathi, M., Hajimoradloo, A., Ghorbani, R., Zamani, A., 2012. Effect of starvation and refeeding on digestive enzyme activities in juvenile roach, *Rutilus rutilus caspicus*. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology 161, 166-173.
- Al-Hussaini, A.H., 1946. The anatomy and histology of the alimentary tract of the bottom-feeder, *Mulloides auriflamma* (Forsk.). Journal of Morphology 78, 121-153.
- Almqvist, G., Strandmark, A.K., Appelberg, M., 2010. Has the invasive round goby caused new links in Baltic food webs? Environmental Biology of Fishes 89, 79–93.
- Andraso, G.M., Ganger, M.T., Adamczyk, J., 2011. Size-selective predation by round gobies (*Neogobius melanostomus*) on dreissenid mussels in the field. Journal of Great Lakes Research 37, 298–304.
- Baker, A.M., Fraser, D.F., 1976. A method for securing the gut contents of small, live fish. Transactions of the American Fisheries Society 105, 520–522.
- Barbier, E.B., 2001. A note on the economics of biological invasions. Ecological Economics 39, 197-202.
- Barton, D.R., Johnson, R.A., Campbell, L., Petruniak, J., Patterson, M., 2005. Effects of Round Gobies (*Neogobius melanostomus*) on Dreissenid Mussels and Other Invertebrates in Eastern Lake Erie, 2002–2004. Journal of Great Lakes Research 31, 252–261.
- Baruš, V., Oliva, O., 1995. Mihulovci *Petromyzontes* a ryby *Osteichthyes*, díl I. Nakladatelství Akademie věd České republiky, Praha, str. 191-200.
- Belanger, R.M., Corkum, L.D., 2003. Susceptibility of tethered round gobies (*Neogobius melanostomus*) to predation in habitats with and without shelters. Journal of Great Lakes Research 29, 588–593.
- Berens, E.J., Murie, D.J., 2007. Differential digestion and evacuation rates of prey in a warm-temperate grouper, gag *Mycteroperca microlepis* (Goode & Bean). Journal of Fish Biology 72, 1406–1426.
- Bergstrom, M.A., Mensinger, A.F., 2009. Interspecific Resource Competition between the Invasive Round Goby and Three Native Species: Logperch, Slimy Sculpin, and Spoonhead Sculpin. Transactions of the American Fisheries Society 138, 1009–1017.
- Björklund, M., Almqvist, G., 2010. Rapid spatial genetic differentiation in an invasive species, the round goby *Neogobius melanostomus* in the Baltic Sea. Biological Invasions 12, 2609–2618.
- Brett, J.R., Higgs, D.A., 1970. Effect of temperature on the rate of gastric digestion in fingerling sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*. Journal of the Fisheries Research Board of Canada 27, 1767-1779.
- Bromley, P.J., 1991. Gastric evacuation in cod (*Gadus morhua* L.). ICES Marine Science Symposia 193, 93-98.
- Bromley, P.J., 1994. The role of gastric evacuation experiments in quantifying the feeding rates of predatory fish. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 4, 36-66.

- Buddington, R.K., Kuzmina V., 2000. Gross functional anatomy. Academic press, New York, str. 173-179.
- Buřič, M., Bláha, M., Kouba, A., Drozd, B., 2015. Upstream expansion of round goby (*Neogobius melanostomus*) – first record in the upper reaches of the Elbe river. Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems 416, 32.
- Carpenter, S.R., Fisher, S.G., Grimm, N.B., Kitchell, J.F., 1992. Global change and freshwater ecosystems. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics 23, 119-39.
- Chotkowski, M.A., Marsden, J.E., 1999. Round Goby and Mottled Sculpin Predation on Lake Trout Eggs and Fry: Field Predictions from Laboratory Experiments. Journal of Great Lakes Research 25, 26-35.
- Cooper, M.J., Ruetz, C.R.III., 2009. Habitat use and diet of the round goby (*Neogobius melanostomus*) in coastal areas of Lake Michigan and Lake Huron. Journal of Freshwater Ecology 24, 477–488.
- Copp, G., Bianco, P., Bogutskaya, N., Erős, T., Falka, I., Ferreira, M., Fox, M., Freyhof, J., Gozlan, R., Grabowska, J., 2005. To be, or not to be, a non-native freshwater fish? Journal of Applied Ichthyology 21, 242-262.
- Czugała, A., Woźniczka, A., 2010. The River Odra estuary—another Baltic Sea area colonized by the round goby *Neogobius melanostomus* Pallas, 1811. Aquatic Invasions 5, 61-65.
- Davis, M.A., 2009. Invasion Biology. Oxford University Press Inc., New York, str. 15.
- Day, R.D., German, D.P., Manjakasy, J.M., Farr, I., Jay Hansen, M., Tibbetts, I.R., 2011. Enzymatic digestion in stomachless fishes: how a simple gut accommodates both herbivory and carnivory. Journal of Comparative Psychology 181, 603–613.
- Diggins, T.P., Kauer, J., Chakraborti, R.K., DePinto, J.V., 2002. Diet choice by the exotic round goby (*Neogobius melanostomus*) as influenced by prey motility and environmental complexity. Journal of Great Lakes Research 28, 411–420.
- Doherty, T.S., Glen, A.S., Nimmo, D.G., Ritchie, E.G., Dickman, C.R., 2016. Invasive predators and global biodiversity loss. Proceedings of the National Academy of Sciences 40, 11261-11265.
- dos Santos, J., Jobling, M., 1995. Test of a food consumption model for the Atlantic cod. ICES Journal of Marine Science 52, 209-219.
- Drake, J.A., 2009. Handbook of alien species in Europe. Springer Science and Business Media B.V., USA, str.81-93.
- Dubets, H., 1954. Feeding habits of the largemouth bass as revealed by a gastroscope. Progressive Fish Culturist 16, 134–136.
- Dubs, D.O.L., Corkum, L.D., 1996. Behavioral interactions between Round Gobies (*Neogobius melanostomus*) and Mottled Sculpins (*Cottus bairdi*). Journal of Great Lakes Research 22, 838-844.
- Dudgeon, D., Arthington, A.H., Gessner, M.O., Kawabata, Z.I., Knowler, D.J., Lévêque, C., Naiman, R.J., Prieur-Richard, A.H., Soto, D., Stiassny, M.L., 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. Biological reviews 81, 163-182.

- Elliott, J.M., 1972. Rates of gastric evacuation in brown trout, *Salmo trutta* L. *Freshwater Biology* 2, 1-18.
- Elliott, J.M., Persson, L., 1978. The estimation of daily rates of food consumption for fish. *Journal of Animal Ecology* 47, 977-993.
- Fänge, R., Grove, D., 1978. Digestion. In Hoar, S.W., Randall, D.J., Brett, J.R. *Fish physiology* 8. Bioenergetics and growth. Academic Press, New York, NY, USA, str. 161-260.
- Flowerdew, M.W., Grove, D.J., 1979. Some observations of the effects of body weight, temperature, meal size and quality on gastric emptying time in the turbot, *Scophthalmus maximus* (L.), using radiography. *Journal of Fish Biology* 14, 229.
- Francis, R.A., 2012. A handbook of global freshwater invasive species. Earthscan, USA.
- French III, J.R., Jude, D.J., 2001. Diets and diet overlap of nonindigenous gobies and small benthic native fishes co-inhabiting the St. Clair River, Michigan. *Journal of Great Lakes Research* 27, 300-311.
- Furné, M., García-Gallegoa, M., Hidalgo, M.C., Morales, A.E., Domezain, A., Domezain, J., Sanza, A., 2008. Effect of starvation and refeeding on digestive enzyme activities in sturgeon (*Acipenser naccarii*) and trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 149, 420-425.
- Galis, F., Drucker, E.G., 1996. Pharyngeal biting mechanics in centrarchid and cichlid fishes: insights into a key evolutionary Innovation. *Journal of Evolutionary Biology* 9, 641-670.
- Ghedotti, M.J., Smihula, J.C., Smith, G.R., 1995. Zebra mussel predation by round gobies in the laboratory. *Journal of Great Lakes Research* 21, 665–669.
- Gian-Reto, W., Roques, A., Hulme, P.A., Sykes, M.T., Pyšek, P., Kühn, I., Zobel, M., Bacher, S., Botta-Dukát, Z., Bugmann, H., Czúcz, B., Dauber, J., Hickler, T., Jarošík, V., Kenis, M., Klotz, S., Minchin, D., Moora, M., Settele, J., 2009. Alien species in a warmer world: risks and opportunities. *Trends in Ecology & Evolution* Volume 24, 686-693.
- Gillum, Z.D., Facendola, J.J., Scharf, S., 2012. Consumption and gastric evacuation in juvenile red drum *Sciaenops ocellatus* (Linnaeus): Estimation of prey type effects and validation of field-based daily ration estimates. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 413, 21–29.
- Grabowska, J., Kotusz, J., Witkowski, A., 2010. Alien invasive fish species in Polish waters: an overview. *Folia Zoologica* 59, 73–85.
- Groves, R.H., 1986. Invasion of mediterranean ecosystems by weeds. In: Dell, B., Hopkins, A.J.M., Lamont, B.B., (Eds.). *Resilience in mediterranean-type ecosystems. Tasks for vegetation science*, vol 16. Springer, Dordrecht.
- Grubich, J., 2003. Morphological convergence of pharyngeal jaw structure in durophagous perciform fish. *Biological Journal of the Linnean Society* 80, 147-165.
- Gutsch, M., Hoffman, J., 2016. A review of Ruffe (*Gymnocephalus cernua*) life history in its native versus non-native range. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 26, 213–233.
- Hayden, T.A., Miner, J.G., 2009. Rapid dispersal and establishment of a benthic Ponto- Caspian goby in Lake Erie: diel vertical migration of early juvenile round goby. *Biological Invasions* 11, 1767–1776.

- He, E., Wurtsbaugh, W.A., 1993. An Empirical Model of Gastric Evacuation Rates for Fish and an Analysis of Digestion in Piscivorous Brown Trout. *Transactions of the American Fisheries Society* 122,717- 730.
- Hempel, M., Thiel, R., 2013. First records of the round goby *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) in the Elbe River, Germany. *BioInvasions Records* 2, 291–295.
- Hempel, M., Thiel, R., 2015. Effects of salinity on survival, daily food intake and growth of juvenile round goby (Pallas, 1814) from a brackish water system. *Journal of Applied Ichthyology* 31, 370–374.
- Hölker, F., Temming, A., 1995. Gastric evacuation in ruffe (*Gymnocephalus cernuus* (L.)) and the estimation of food consumption from stomach content data of two 24h fisheries in the Eibe Estuary. *Archive of fishery and marine research* 44, 47-67.
- Horn, M.H., Gawlicka, A.K., German, D.P., Logothetis, E.A., Cavanagh, J.W., Boyle, K.S., 2006. Structure and function of the stomachless digestive system in three related species of New World silverside fishes (*Atherinopsidae*) representing herbivory, omnivory, and carnivory. *Marine Biology* 149, 1237–1245.
- Hulme, P.E., Bacher, S., Kenis, M., Klotz, S., Kühn, I., Minchin, D., Nentwig, W., Olenin, S., Panov, V., Pergl, J., 2008. Grasping at the routes of biological invasions: a framework for integrating pathways into policy. *Journal of Applied Ecology* 45, 403.
- Hur, S.W., Kim, S.K., Kim, D.J., Lee, B.I., Park, S.J., Hwang, H.G., Jun, J.C., Myeong, J.I., Lee, C.H., Lee, Y.D., 2016. Digestive Physiological Characteristics of the Gobiidae - Characteristics of CCK-producing Cells and Mucus-secreting Goblet Cells of Stomach Fish and Stomachless Fish. *Development and Reproduction* 20, 207–217.
- Janac, M., Slapansky, L., Valova, Z., Jurajda P., 2013. Downstream drift of round goby (*Neogobius melanostomus*) and tubenose goby (*Proterorhinus semilunaris*) in their non-native area. *Ecology of Freshwater Fish*, 22, 430–438.
- Janssen, J., Jude, D.J., 2001. Recruitment failure of mottled sculpin *Cottus bairdi* in Calumet Harbor, southern Lake Michigan, induced by the newly introduced round goby *Neogobius melanostomus*. *Journal of Great Lakes Research* 27,319-328.
- Jaroszewska, M., Dabrowski, K., Wilczyńska, B., Kakareko, T., 2008. Structure of the gut of the racer goby *Neogobius gymnotrachelus* (Kessler, 1857). *Journal of Fish Biology* 72, 1773–1786.
- Jobling, M., 1986. Mythical models of gastric emptying and implications for food consumption studies. *Environmental Biology of Fishes* 16, 35-50.
- Jobling, M., 1980. Gastric evacuation in plaice, *Pleuronectes platessa* L.: effects of dietary energy level and food composition. *Journal of Fish Biology* 17, 187–196.
- Jobling, M., Gwyther, D., Grove, D. J., 1977. Some effects of temperature, meal size and body weight on gastric evacuation time in the dab *Limanda limanda* (L). *Journal of Fish Biology* 10, 291–298.
- Johnson, T.B., Bunnell, D.B., Knight, C.T., 2005. A potential new energy pathway in Central Lake Erie: the round goby connection. *Journal of Great Lakes Research* 31, 238–225.

- Johnson, J.H., McKenna, J.E., Nack, Ch.C., Chalupnicki, M.A., 2008, a. Diel Diet Composition and Feeding Activity of Round Goby in the Nearshore Region of Lake Ontario. *Journal of Freshwater Ecology*, 23, 607-612.
- Johnson, P.T., Olden, J.D., Vander Zanden, M.J., 2008, b. Dam invaders: impoundments facilitate biological invasions into freshwaters. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6, 357-363.
- Jones, R., 1974. The rate of elimination of food from the stomachs of haddock *Melanogrammus aeglefinus*, cod *Gadus morhua* and whiting *Merlangius merlangus*. *Journal du Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer* 35, 225-43.
- Jones, R., Richards, J., 1976. Some observations on the interrelationships between the major fish species in the North Sea. *ICES CM 1976/F,35*, str. 14.
- Jude, D.J., DeBoe, S.F., 1996. Possible impact of gobies and other introduced species on habitat restoration efforts. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53, 136-141.
- Jude, D.J., Janssen, J., and Crawford, G., 1995. Ecology, distribution, and impact of the newly introduced round and tubenose gobies on the biota of the St. Clair & Detroit Rivers. In Munawar, M., Edsall, T., Leach, J., (Eds.). *The Lake Huron Ecosystem: Ecology, Fisheries and Management*. Ecovision World Monograph Series. S.P.B. Academic Publishing, Amsterdam, Nizozemsko, str. 447-460.
- Jůza, T., Blabolil, P., Baran, R., Bartoň, D., Čech, M., Drašík, V., Frouzová, J., Holubová, M., Ketelaars, H.A., Kočvara, L., 2018. Collapse of the native ruffe (*Gymnocephalus cernua*) population in the Biesbosch lakes (the Netherlands) owing to round goby (*Neogobius melanostomus*) invasion. *Biological Invasions* 20, 1523-1535.
- Kamler, J.F., Pope, K.L., 2001. Nonlethal Methods of Examining Fish Stomach Contents. *Reviews in Fisheries Science* 9, 1–11.
- Kapoor, B.G., Smit, H., Verighina, I.A., 1975. The alimentary canal and digestion in teleosts. In: *Advances in Marine Biology* (Ed. By Russell, F.S., Yonge, M.), Academic Press, London, str. 109-239.
- Kinzelbach, R., 1995. Neozoans in european waters — Exemplifying the worldwide process of invasion and species mixing. *Experientia* 51, 526–538.
- Kitchell, J.E., Windell, J.T., 1968. Rate of gastric digestion in pumpkinseed sunfish, *Lepomis gibbosus* (L.). *Transactions of the American Fisheries Society* 97, 489-92.
- Kolar, C.S., Lodge, D.M., 2002. Ecological predictions and risk assessment for alien fishes in North America. *Science* 298, 1233-1236.
- Kornis, M.S., Mercado-Silva, N., Vander Zanden, M.J., 2012. Twenty years of invasion: a review of round goby (*Neogobius melanostomus*) biology, spread and ecological Implications. *Journal of Fish Biology* 80, 235–285.
- Krogdahl, A., Bakke-McKellep, M.A., 2005. Fasting and refeeding cause rapid changes in intestinal tissue mass and digestive enzyme capacities of Atlantic salmon (*Salmo salar* L). *Comparative Biochemistry and Physiology* 141, 450–460.
- Křivánek, M., Pyšek, P., Jarošík, V., 2006. Planting History and Propagule Pressure as Predictors of Invasion by Woody Species in a Temperate Region. *Conservation Biology* 20, 1487-1498.

- Lauer, T.E., Allen, P.J., McComish, T.S., 2011. Changes in Mottled Sculpin and Johnny Darter Trawl Catches after the Appearance of round Gobies in the Indiana Waters of Lake Michigan. *Transactions of the American fisheries society* 133, 185-189.
- Lagrange, C., Bollache, L., 2005. Effects of temperature on persistence times of native and invasive gammarid species in the stomachs of *Cottus gobio*. *Journal of Fish Biology* 68, 318–322.
- Lederer, A.M., Janssen, J., Reed, T., Wolf, A., 2008. Impacts of the Introduced Round Goby (*Apollonia melanostoma*) on Dreissenids (*Dreissena polymorpha* and *Dreissena bugensis*) and on Macroinvertebrate Community between 2003 and 2006 in the Littoral Zone of Green Bay, Lake Michigan. *Journal of Great Lakes Research*, 34, 690-697.
- Lee, V.A., Johnson, T.B., 2005. Development of a Bioenergetics Model for the Round Goby (*Neogobius melanostomus*). *Journal of Great Lakes Research* 31, 125–134.
- Leppäkoski, E., Gollasch, S., Olenin, S., 2002. Invasive Aquatic Species of Europe. Distribution, Impacts and Management. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, str. 341-349.
- Lockwood, J.L., Cassey, P., Blackburn, T.M., 2005. The role of propagule pressure in explaining species invasions. *Trends in Ecology and Evolution* 20, 223-228.
- Lusk S., Vetešník L., Halačka K., Lusková V., Pekárik L., Tomeček J., 2008. První záznam o průniku hlaváče černoústého *Neogobius (Apollonia) melanostomus* do oblasti soutoku Moravy a Dyje (Česká republika). *Biodiverzita ichtyofauny ČR* 7, 114-118.
- Mack, T.N., Andraso, G., 2015. Ostracods and other prey survive passage through the gut of round goby (*Neogobius melanostomus*). *Journal of Great Lakes Research* 41, 303-306.
- Manné, S., Poulet, N., Dembski, S., 2013. Colonisation of the Rhine basin by non-native gobiids: an update of the situation in France. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 411, 17.
- Markus, H.C., 1932. The extent to which temperature changes influence food consumption in largemouth bass (*Huro floridana*). *Transactions of the American Fisheries Society* 62, 202-210.
- Marsden, J.E., Charlebois, P., Wolfe, K., 1996. The Round Goby (*Neogobius melanostomus*): A Review of European and North American Literature. *Aquatic Ecology Technical Report* 96/10.
- McDonald, E.A., McNaught, A.S., Roseman, E.F., 2014. Use of main channel and two backwater habitats by larval fishes in the Detroit River. *Journal of Great Lakes Research* 40, 69–80.
- McMichael, A.J., Bouma, A., 2000. Global changes, invasive species and human health. In Mooney, H.A., Hobbs, J.R. *Invasive species in a changing world*. Island Press, Washington DC, str. 191-210.
- McKinney, M.L., Lockwood, J.L., 1999. Biotic homogenization: a few winners replacing many losers in the next mass extinction. *Trends in Ecology and Evolution* 14, 450-453.
- Mikl, L., Adámek, Z., Roche, K., Všeticková, L., Šlapanský, L., Jurajda, P., 2017. Invasive Ponto-Caspian gobies in the diet of piscivorous fish in a European lowland river. *Hydrobiologie* 190, 157-171.

- Molnar, J.L., Gamboa, R.L., Revenga, C., Spalding, M.D., 2008. Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6, 485-492.
- Mooney, H.A., 2005. Invasive alien species: a new synthesis. In: Mooney, H.A., Mack, R.N., McNeely, J.A., Neville, L.E., Schei, P.J., Waage, J.K. (Eds) Island Press, Washington DC, 1-15.
- Moskal'kova, K.I., 1996. Ecological and morphophysiological prerequisites to range extension in the round goby *Neogobius melanostomus*, a species with direct type of development. *Journal of Ichthyology* 29, 108-122.
- Murdy, E.O., Shibukawa, K., 2001. A revision of the gobiid fish genus *Odontamblyopus* (*Gobiidae: Amblyopinae*). *Ichthyological Research* 48, 31-43.
- Musil, J., Jurajda, P., Adámek, Z., Horký, P., Slavík, O., 2010. Non-native fish introductions in the Czech Republic—species inventory, facts and future perspectives. *Journal of Applied Ichthyology* 26, 38-45.
- Nelson, J.S., Grande, T.C., Wilson, M.V., 2016. *Fishes of the World*. John Wiley & Sons, New York, str. 331.
- Nentwig, W., 2007. *Biological invasions*. Springer Science & Business Media.
- Nikoi'skii, G.V., 1954. *Special Ichthyology*. Sovetskaya nauka. Translated from Russian by the Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem.
- Noble, R.L., 1973. Evacuation rates of young yellow perch, *Bemflavescens* (Mitchell). *Transactions of the American Fisheries Society* 102, 759-763.
- O'Connor, K.I., Taylor, A.C., Metcalfe, M.B., 2000. The stability of standard metabolic rate during a period of food deprivation in juvenile Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology* 57, 41-51.
- Ojaveer, H., 2006. The round goby *Neogobius melanostomus* is colonizing the NE Baltic Sea. *Aquatic Invasions* 1, 44-45.
- Olson, D.S., Janssen, J., 2017. Early feeding of round goby (*Neogobius melanostomus*) fry. *Journal of Great Lakes Research* 43, 728-736.
- Pandian, T.J., 1967. Intake, digestion, absorption and conversion of food in the fishes *Megalops cyprinoides* and *Ophiocephalus striatus*. *Marine Biology* 1, 16-32.
- Pimentel, D., Lach, L., Zuniga, R., Morrison, D., 2000. Environmental and Economic Costs of Nonindigenous Species in the United States, *BioScience* 50, 53-65.
- Pennuto, C.M., Krakowiak, P.J., Janik, C.E., 2010. Seasonal abundance, diet, and energy consumption of round gobies (*Neogobius melanostomus*) in Lake Erie tributary streams. *Ecology of freshwater fish* 19, 206-215.
- Pergl, J., Sádlo, J., Petrusek, A., Laštůvka, Z., 2016. Black, Grey and Watch Lists of alien species in the Czech Republic based on environmental impacts and management strategy. *NeoBiota* 28, 1-37.
- Persson, L., 1979. The effects of temperature and different food organisms on the rate of gastric evacuation in perch (*Perca fluviatilis*). *Freshwater Biology* 9, 99-104.

- Persson, L., 1982. Rate of food evacuation in roach (*Rutilus rutilus*) in relation to temperature, and the application of evacuation rate estimates for studies on the rate of food consumption. *Freshwater Biology* 12, 203-210.
- Pratt, D.M., Blust, W.H., Selgeby, J.H., 1992. Ruffe, *Gymnocephalus cernuus*: Newly Introduced in North America. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49, 1616-1618.
- Pyšek, P., Chytrý, M., Pergl, J., 2012. Invazní rostliny v České republice a jejich vliv na biodiverzitu, Ochrana přírody a krajiny v České republice. Vybrané aktuální problémy a možnosti jejich řešení II. Díl, Univerzita Palackého v Olomouci.
- Pyšek, P., Sádlo, J., Mandák, B., 2002. Catalogue of alien plants of the Czech Republic, Institute of Botany, Academy of Sciences of the Czech Republic, CZ-252 43 Průhonice, Czech Republic.
- Ray, W.J., Corkum, L.D., 1997. Predation of zebra mussels by round gobies, *Neogobius melanostomus*. *Environmental Biology of Fishes* 50, 267–273.
- Richardson, D. M., Pyšek, P., Carlton, J.T., 2011. A compendium of essential concepts and terminology in invasion ecology. Fifty years of invasion ecology. The legacy of Charles Elton. John Wiley & Sons Ltd, Velká Británie, str. 409-420.
- Richardson, D.M., Pyšek, P., Rejmánek, M., Barbour, M.G., Panetta, F.D., West, C.J., 2000. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distributions*. 6,93-107.
- Rindorf, A., Lewy, P., 2004. Bias in estimating food consumption of fish from stomach-content analysis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 61, 2487-2498.
- Robertson, O.H., 1945. A method for securing stomach contents of live fish. *Ecological Society of America* 26, 95-96.
- Roche, K.F., Janac, M., Jurajda, P., 2013. A review of Gobiid expansion along the Danube-Rhine corridor – geopolitical change as a driver for invasion. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 416, 33.
- Roche, K., Janáč, M., Šlapanský, L., Mikl, L., Kopeček, L., Jurajda, P., 2015. A newly established round goby (*Neogobius melanostomus*) population in the upper stretch of the river Elbe. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 416, 33.
- Sapota, M.R., 2004. The round goby (*Neogobius melanostomus*) in the Gulf of Gdańsk – a species introduction into the Baltic Sea. *Hydrobiologia* 514, 219–224.
- Sapota, M.R., Skóra, K.E., 2005. Spread of alien (non-indigenous) fish species *Neogobius melanostomus* in the Gulf of Gdańsk (south Baltic). *Biological Invasions* 7, 157–164.
- Shemonaev, E., Kirilenko, E., 2011. Round goby *Neogobius melanostomus* (*Perciformes, Gobiidae*): A new species in the ichthyofauna of the Samara River. *Journal of Ichthyology* 51, 129-130.
- Singh-Renton, S., 1990. Gadoid feeding: an empirical and theoretical study of factors affecting food consumption and composition of North Sea gadoids, with emphasis on juvenile cod, *Gadus morhua* (L.) and whiting, *Merlangius merlangus* (L.). D. Phil. thesis, The University of Buckingham, str. 189.



- Števo, B., Kováč, V., 2016. Ontogenetic variations in the diet of two invasive gobies, *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) and *Ponticola kessleri* (Günther, 1861), from the middle Danube (Slovakia) with notice on their potential impact on benthic invertebrate communities. *Science of the Total Environment* 557–558, 510–519.
- Temming, A., Herrmann, J.P., 2003. Gastric evacuation in cod: Prey-specific evacuation rates for use in North Sea, Baltic Sea and Barents Sea multi-species models. *Fisheries Research* 63, 21–41.
- Trzeciak, P., Wilczyńska, B., Jarzynka, K., 2012. Histological and morphological description of digestive tract during development in *Neogobius melanostomus*, invasive species in Baltic Sea. Conference: XXX Embryological conference Plants, Animals, Man. At Jurata, *Acta Biologica Cracoviensia, Series Botanica* 54, 84.
- Tsvetkov, I.B., Sideleva, V.G., Bogutskaya, N.G., 2001. Morphological variation in Bullhead, *Cottus gobio* Linnaeus, 1758 (*Cottidae*). *New Contributions to Freshwater Fish Research* 287, 121–130.
- Tyler, A.V., 1970. Rates of gastric emptying in young cod. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 27, 1177–1189.
- Ustups, D., Bergström, U., Florin, A.B., Kruze, E., Zilniece, D., Elferts, D., Knospina, E., Uzars, D., 2016. Diet overlap between juvenile flatfish and the invasive round goby in the central Baltic Sea. *Journal of Sea Research*, 107, 121–129.
- Valéry, L., Fritz, H., Lefeuvre, J. C., Simberloff, D., 2007. In search of a real definition of the biological invasion phenomenon itself. *Biological Invasions* 10, 1345–1351.
- van Beek, G.C.W., 2006. The round goby *Neogobius melanostomus* first recorded in the Netherlands. *Aquatic Invasions* 1, 42–43.
- van Kessel, N., Dorenbosch, M., Kranenbarg, J., van der Velde, G., Leuven, R.S.E.W., 2016. Invasive Ponto-Caspian gobies rapidly reduce the abundance of protected native bullhead. *Aquatic Invasions* 11.
- Vašek, M., Všetická, L., Roche, K., Jurajda, P., 2014. Diet of two invading gobiid species (*Proterorhinus semilunaris* and *Neogobius melanostomus*) during the breeding and hatching season: No field evidence of extensive predation on fish eggs and fry. *Limnologia* 46, 31–36.
- Verreycken, H., Breine, J.J., Snoeks, J., Belpaire, C., 2011. First record of the round goby, *Neogobius melanostomus* (*Actinopterygii: Perciformes: Gobiidae*) in Belgium. *Acta Ichthyologica et Piscatoria* 41, 137–140.
- Vitousek, P.M., D'Antonio, C.M., Loope, L.L., Rejmanek, M., Westbrooks, R., 1997. Introduced species: a significant component of human-caused global change. *New Zealand Journal of Ecology* 21, 1–16.
- Walsh, M.G., Dittman, D.E., O'Gorman, R., 2007. Occurrence and food habits of the round goby in the profundal zone of southwestern Lake Ontario. *Journal of Great Lakes Research* 33, 83–92.
- Williamson, M., 1996. *Biological invasions*. Springer Science Business Media, Dordrecht, str. 244.

- Williamson, W.C., 1849. On the Microscopic Structure of the Scales and Dermal Teeth of Some Ganoid and Placoid Fish. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 139, 435–475.
- Winterbottom, R., Alofs, K.M., Marseu, A., 2011. Life span, growth and mortality in the western Pacific goby *Trimma benjamini*, and comparisons with *T. nasa*. *Environmental Biology of Fishes* 91, 295–301.
- Wołczuk, K., Nowakowska, J., Pła, chocki, D., Kakareko, T., 2014. Histological, histochemical and ultrastructural analysis reveals functional division of the oesophagogastric segment in freshwater tubenose goby *Proterorhinus semilunaris* Heckel, 1837. *Zoomorphology* 134, 259–268.
- Wołczuk, K., Ostrowski, M., Ostrowska, A., Napiórkowska, T., 2018. Structure of the alimentary tract in the Atlantic mudskipper *Periophthalmus barbarus* (Gobiidae: Oxudercinae): anatomical, histological and ultrastructural studies. *Zoology* 128, 38–45.
- Wonham, M.J., Carlton, J.T., 2005. Trends in marine biological invasions at local and regional scales: the Northeast Pacific Ocean as a model system. *Biological Invasions* 7, 369–392.
- Woodward, F.I., 1987. *Climate and plant distribution*. Cambridge University Press, Velká Británie, str. 20-28.

## 9. Abstrakt

### **Rychlost evakuace trávicího traktu hlaváče černoústého (*Neogobius melanostomus*) v závislosti na dostupnosti a typu potravy**

Cílem bakalářské práce byl odhad rychlosti evakuace trávicího traktu hlaváče černoústého s ohledem na typ a dostupnost potravy. Tato malá bentická ryba patří mezi nejrizikovější invazní nepůvodní druhy ryb na světě. Přímou predací ovlivňuje řadu procesů a původních druhů v kolonizovaném ekosystému. V rámci série experimentů byly při teplotě 14 °C testovány 3 typy potravy (blešivec ježatý – *Dikerogammarus villosus* (Sowinsky, 1894), hrachovky – *Pisidium sp* (tzv. *hard-bodied prey*) a larvy pakomárů – *Chironomus sp.* (tzv. *soft-bodied prey*). Pro každý typ potravy byly testovány dva krmné režimy – s/bez kontinuálního krmení. Testovaná potravy byla rybám předložena na dobu 2 hodin. Poté jedinci s kontinuálním krmením byly dále krmeny (potravou odlišnou od testované), ryby bez kontinuálního krmení neměly přístup k potravě až do konce experimentu. V časových bodech 0,2,5,9,16,24 a 36 h bylo odebíráno 5 jedinců z obou krmných režimů za účelem analýzy trávicího traktu a výpočtu rychlosti evakuace. Evakuace trávicího traktu jedinců bez kontinuálního krmení dosahovala statisticky průkazně nižších hodnot ( $P < 0,05$ ) než v úpravě s kontinuálním krmením, u všech testovaných typů potravy. V úpravě bez kontinuálního krmení nebyl staticky průkazný rozdíl ( $P > 0,05$ ) mezi rychlostí evakuace blešivců a hrachovek. Avšak statisticky průkazně pomaleji ( $P < 0,05$ ), než hrachovky byly v tomto krmném režimu evakuovány larvy pakomárů. Naopak, při kontinuálním krmení se navzájem statisticky ( $P < 0,05$ ) lišily všechny 3 typy potravy. Nejrychleji hlaváč černoústý při kontinuálním krmení evakoval blešivce ježatého, následně larvy pakomárů a nejpomaleji hrachovky. Navíc při kontinuálním krmení došlo k úplnému strávení potravy (nemožná identifikace) už 16 h po zahájení experimentu (9 h v případě hrachovek). Z výsledků kontinuálního krmení lze usuzovat na vyšší ekologický dopad hlaváče černoústého na larvy zástupců dvoukřídlých (řád Diptera) a drobné korýše (podkmen Crustacea) než na zástupce mlžů s tvrdou schránkou. Hlaváč černoústý také dosahuje rychlejší evakuace při srovnání s výsledky evakuace trávicího traktu ježdíka obecného – *Gymnocephalus cernua* (Linnaeus, 1758) (skoro 3×) nebo vranky obecné – *Cottus gobio* (Linnaeus, 1758) uvedených ve vědecké literatuře. Rychlejší evakuace může hrát významnou roli při kolonizaci nových lokalit a kompetičním boji s původními druhy.

**Klíčová slova:** evakuační rychlost, biologické invaze, hlaváč černoústý, typ potravy, dostupnost potravy

## 10. Abstract

### **Evacuation rate of the round goby (*Neogobius melanostomus*) digestive tract depending on the availability and type of prey**

The aim of the bachelor thesis was to estimate the evacuation rate of digestive tract of *Neogobius melanostomus* with respect to a type and availability of food. This small benthic fish belongs to high-risk invasive alien fish species in the world. Due to direct predation, *Neogobius melanostomus* has impact on processes and native species in colonized ecosystem. Three types of food – *Dikerogammarus villosus* (Sowinsky, 1894), *Pisidium sp.* (hard-bodied prey) and larvae of *Chironomus sp.* (soft-bodied prey) were tested within the series of experiments at the temperature of 14°C. Two feeding strategies (continuous and non-continuous feeding) were tested for each kind of food. *Neogobius melanostomus* has had access to the tested food for 2 hours. The individuals with continuous feeding strategy then continued to be fed (other food than tested), fishes with non-continuous feeding strategy had no access to food until the end of experiment. At the time points 0,2,5,9,16,24 and 36 hours, 5 individuals from each feeding strategy were examined in order to analyse their digestive tract and calculate the evacuation rate. Evacuation rate of individuals with non-continuous feeding strategy reached statistically significant lower values ( $P < 0,05$ ) than the individuals with continuous feeding strategy (same outcomes were reported for all tested types of food). Among the non-continuously fed individuals was found no statistically significant difference ( $P < 0,05$ ) between the evacuation rate of *Dikerogammarus villosus* and *Pisidium sp.* However, within the same feeding strategy, larvae of *Chironomus sp.* were evacuated statistically significant slower ( $P < 0,05$ ) than *Pisidium sp.* In contrary, all three types of food statistically varied ( $P < 0,05$ ) from each other within the continuous feeding strategy. *Neogobius melanostomus*, within the continuous feeding strategy, evacuated *Dikerogammarus villosus* the fastest, followed by larvae of *Chironomus sp.* and *Pisidium sp.* were evacuated the slowest. Furthermore, within the continuous feeding strategy, the food was completely digested (impossible identification) in 16 hours after the beginning of experiment (*Pisidium sp.* were digested in 9 hours). The outcomes from the experiment with continuous feeding strategy conclude the higher ecological impact of *Neogobius melanostomus* on larvae *Diptera* and *Crustacea* than on *Bivalvia* (with hard – bodied). In comparison to the outcomes of evacuation rate of *Gymnocephalus cernua* (Linnaeus, 1758) (almost 3 times) or *Cottus*

*gobio* (Linnaeus, 1758), stated in scientific literature, *Neogobius melanostomus* also achieves faster evacuating. Faster evacuation rate can also play an important role in colonisation of new territories and competitive fight with native species.

**Key words:** evacuation rate, biological invasion, round goby, type of food, availability of food