

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Zemědělská fakulta**

**Vliv přítomnosti invazivní želvy nádherné  
na aktivitu pulců skokana hnědého**

**bakalářská práce**

**Vladimír Klapka**

vedoucí práce

**Mgr. Michal Berec, Ph.D.**

konzultant

**Ing. Rostislav Zemek, CSc.**

**České Budějovice 2013**

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vladimír KLAPKA**  
Osobní číslo: **Z09670**  
Studijní program: **B4106 Zemědělská specializace**  
Studijní obor: **Biologie a ochrana zájmových organismů**  
Název tématu: **Vliv přítomnosti invazní želvy nádherné na aktivitu pulců  
skokana hnědého**  
Zadávací katedra: **Katedra biologických disciplin**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Zpracování dosavadních údajů o pohybové aktivitě pulců a ovlivňujících faktorech.
2. Vytvoření experimentálního zařízení pro sledování vlivu přítomnosti invazní želvy nádherné na aktivitu pulců skokana hnědého.
3. Provedení experimentů.
4. Statistická analýza a vyhodnocení vlivu velikosti skupiny a přítomnosti želvy

Rozsah grafických prací: 5  
Rozsah pracovní zprávy: 20  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná  
Seznam odborné literatury:


Duellman, WE and L Trueb, 1994, *Biology of Amphibians*: Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD.  
McDiarmid R.W. & Altig R. (1999) *Tadpoles: the Biology of Anuran Larvae*. University of Chicago Press, Chicago.  
Azevedo-Ramos, C., M. Van Sluys, J.-M. Hero, and W. E. Magnusson. 1992. Influence of tadpole movement on predation by odonate naiads. *Journal of Herpetology* 26:335-338.  
Relyea R. 2001: The relationship between predation risk and antipredator responses in larval anurans. *Ecology* 67:434-441.

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Michal Berec, Ph.D.  
Katedra biologických disciplin  
Konzultant bakalářské práce: Ing. Rostislav Zemek, CSc.  
BC AV ENTÚ

Datum zadání bakalářské práce: 1. března 2012  
Termín odevzdání bakalářské práce: 15. dubna 2013

  
prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc.  
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Studentská 13  
370 05 České Budějovice

  
doc. RNDr. Ing. Josef Rajchard, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 9. května 2012

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci na téma: Vliv přítomnosti invazivní želvy nádherné na aktivitu pulců skokana hnědého, vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě, fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG, provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne 12. 4. 2013

Podpis: .....

Vladimír Klapka

## **Poděkování**

Mé poděkování patří především mému školiteli Mgr. Michalu Berecovi, Ph.D. za trpělivost a pomoc při psaní této práce, Ing. Rostislavu Zemkovi, CSc. za možnost uskutečnit experiment v jeho laboratoři na Entomologickém ústavu AVČR a jeho cenné rady k metodice práce. Rád bych zde také poděkoval rodině a přátelům za jejich neocenitelnou pomoc a podporu nejen při psaní této práce, ale i v průběhu celého studia.

## Abstrakt

Práce se zabývá faktory, které mají vliv na pohybovou aktivitu pulců. Významným faktorem je riziko predace. Přítomnost predátora nebo jen jeho metabolitů vyvolává u mnoha druhů pulců snížení pohybové aktivity. Dalším faktorem, který ovlivňuje pohybovou aktivitu pulce, je jeho přítomnost ve skupině jedinců stejného druhu. Pro vyhodnocení vlivu těchto dvou faktorů na pohybovou aktivitu pulců *Rana temporaria* v přítomnosti metabolitů invazivní želvy *Trachemys scripta elegans* byl vytvořen laboratorní experiment. V experimentu byla míra pohybové aktivity pulce vyjádřena jeho uplavanou vzdáleností, která byla měřena pomocí kamery a vyhodnocovacího softwaru EthoVision.

Z výsledků měření vyplývá, že pulci v přítomnosti metabolitů želvy projevili antipredační chování, snížili svoji pohybovou aktivitu. Přítomnost pulce ve skupině dalších 5 jedinců stejného druhu neměla vliv na jeho pohybovou aktivitu. Skupina spolu mohla komunikovat pouze chemickými signály. Naopak byla zjištěna interakce mezi vlivem přítomnosti metabolitů predátora a vlivem skupiny. Pulci ve skupině v přítomnosti predátora vykazovali větší pohybovou aktivitu než samotní pulci v přítomnosti těchto metabolitů.

**Klíčová slova:** antipredační chování; pohybová aktivita; kairomony; efekt skupiny; pulci *Rana temporaria*

## **Abstract**

The thesis focuses on the factors that influence locomotor activity of tadpoles. An important factor is the risk of predation. The presence of a predator or its metabolites induced in many species of tadpoles reduced locomotor activity. Another factor that affects the locomotor activity of the tadpoles is the presence in the group of conspecific individuals. A laboratory experiment was created to evaluate the influence of these two factors on the locomotor activity of *Rana temporaria* tadpoles in the presence of metabolites of invasive turtle *Trachemys scripta elegans*. In the experiment, the rate of tadpole's locomotor activity was expressed by the length of tadpole's trajectory which was measured by camera and evaluated by EthoVision software.

The measurement results show that tadpoles in the presence of metabolites of turtle showed antipredator behavior, reduce their locomotor activity. The presence of the tadpole in group with 5 other conspecific individuals did not affect the locomotor activity. The group could only communicate with chemical signals. Conversely interaction was found between the effect of the presence of metabolites of predator and influence group. Tadpoles in the group in the presence of a predator showed greater locomotor activity than single tadpoles in the presence of these metabolites.

**Key words:** antipredator behavior; locomotor activity; kairomones; group effect; *Rana temporaria* tadpoles

## Obsah

<b>1. Úvod .....</b>	<b>8</b>
<b>2. Literární přehled.....</b>	<b>9</b>
2.1 <i>Vliv rizika predace na pohybovou aktivitu pulců.....</i>	<i>9</i>
2.2 <i>Vliv rizika predace na morfologické změny pulců.....</i>	<i>10</i>
2.3 <i>Detekce predátora.....</i>	<i>11</i>
2.4 <i>Potrava.....</i>	<i>12</i>
2.5 <i>Vliv chemikálií a pesticidů na pohybovou aktivitu pulců .....</i>	<i>13</i>
2.6 <i>Vliv skupiny na pohybovou aktivitu jednotlivce.....</i>	<i>14</i>
<b>3. Metodika .....</b>	<b>16</b>
3.1 <i>Materiál .....</i>	<i>16</i>
3.2 <i>Uspořádání pokusu .....</i>	<i>16</i>
3.3 <i>Statistické zpracování .....</i>	<i>17</i>
<b>4. Výsledky.....</b>	<b>19</b>
<b>5. Diskuze .....</b>	<b>20</b>
<b>6. Závěr .....</b>	<b>24</b>
<b>7. Seznam použité literatury .....</b>	<b>25</b>
<b>8. Grafické přílohy .....</b>	<b>30</b>



## 1. Úvod

Invazivní predátoři mohou mít velmi nepříznivý vliv na původní druhy kořisti. Protože kořist nesdílela spolu s predátorem vývojovou historii, nemusí mít vyvinuté mechanismy k vyhodnocení rizika predace tímto predátorem a následné antipredační strategie specifické pro daného predátora. Antipredační strategií mnoha druhů pulců je snížení pohybové aktivity. Na pohybovou aktivitu pulců mohou mít však vliv i jiné faktory. V České republice může invazivní želva nádherná (*Trachemys scripta elegans*) představovat značné riziko pro populace žab. Na rozdíl od jiných predátorů pulců, želvy mohou migrovat mezi jednotlivými rozmnožovacími stanovišti žab.

Proto cílem mé práce bylo zpracovat dosavadní údaje o pohybové aktivitě pulců a faktorech, které ji ovlivňují, vytvořit experiment pro sledování vlivu přítomnosti invazivní želvy nádherné na pohybovou aktivitu pulců skokana hnědého (*Rana temporaria*) a vyhodnotit vliv přítomnosti želvy a velikosti skupiny pulců na jejich pohybovou aktivitu.

## 2. Literární přehled

### 2.1 Vliv rizika predace na pohybovou aktivitu pulců

Predace je jedním z nejdůležitějších faktorů limitujících přežití pulců. Na predaci pulců se podílí množství obratlovců, např. larvy ocasatých obojživelníků (Bridges, 2002), želvy (Rödel, 1999; Gomez-Mestre a Keller, 2003), hadi (Wassersug a Sperry, 1977; Griffiths a kol., 1998) a ryby (Awan a Smith, 2007; Stanback, 2010). Z bezobratlých živočichů se na predaci podílí nymfy vážek (Azevado-Ramos a kol., 1992; Chovanec, 1992; Takahara a kol., 2008), brouci rodu *Dytiscus* (Formankowicz, 1986; Surova, 2006) a pavouci rodu *Thaumasia* (Jara, 2008).

Ke snížení predančního tlaku se u pulců vyvinula řada obranných mechanismů, které se projevují ve změně chování a/nebo morfologických a fyziologických změnách. Mezi obranné mechanismy patří nepoživatelnost (Brodie a Formankowicz, 1987), zvětšení velikosti těla (Richards a Bull, 1990), shlukování (Nicieza, 1999) a zejména snížení pohybové aktivity (Skelly, 1994; Relyea, 2001; Polo-Cavia a kol., 2010).

Výsledky pokusů, které provedli Azevado-Ramos a kol. (1992), ukázaly negativní závislost mezi pohybovou aktivitou pulců před metamorfózou a mírou predace nymfou vážky *Gynacantha membranalis*. Pulci, kteří nepravidelně měnili svoji pozici, přežívali v pokusu delší čas. Také pulci, kteří zůstávali nehybní a svoji pozici měnili rychle, přežívali déle.

Mezidruhové rozdíly ve stylu pohybu pulců a změnu jejich pohybové aktivity v přítomnosti nymfy *Aeshna cyanea* zkoumal Chovanec (1992). Pulci *Bufo bufo* v laboratorním pokusu vykazovali většinou neustálý a pomalý pohyb, který je činil snadno lapitelnými. Pulci *Hyla arborea* byli také často aktivní a plavali pomalu, ale oproti pulcům *Bufo bufo* se efektivněji vyhýbali predaci. Nejnižší míra predace byla zjištěna u pulců *Rana dalmatina*, kteří se nehýbali a zdržovali se na dně nádrže. V ojedinělých případech se pohybovali velkou rychlostí. Tato nízká predace je vysvětlena nižším počtem podnětů k predančnímu chování u zrakově zaměřených predátorů jako je *Aeshna cyanea*. Také pravděpodobnost pronásledování a chycení kořisti se snižuje s její schopností rychle uprchnout. Pulci *Bombina bombina* vykazovali střední míru pohybové aktivity, rychlosti a zranitelnosti.

Álvarez a Nicieza (2009) dospěli ve svých pokusech také k závěru, že pulci *Rana temporaria* jsou ohroženi vážkou *Aeshna cyanea* méně než pulci *Bufo bufo*.

Skelly (1994) zkoumal závislost pohybové aktivity a míry predace použitím roztoku anestetika MS-222 k utlumení aktivity pulců. Pulci utlumení anestetikem podléhali predaci téměř 4krát méně než pulci v kontrolní skupině.

Změnu chování a morfologické změny u 6 druhů pulců vystavených riziku predace od 5 různých predátorů zkoumal Relyea (2001). Každý ze zkoumaných druhů kořisti podléhal predaci ze strany odlišných predátorů nestejnou měrou. Relyea kvantifikováním rozdílů mezi schopnostmi predátora kořisti chytit, ovládnout a pozřít a kvantifikováním rozdílů mezi chováním a morfologií kořisti došel k závěru:

- 1) Vyšší riziko predace rybou *Umbra limi* bylo spojeno u všech druhů kořisti s větším snížením aktivity a snahou vyhnout se v daném prostoru predátorovi.
- 2) Nejvýraznější morfologické změny reprezentované zvětšením výšky ocasu byly u všech druhů kořisti zjištěny v přítomnosti predátora larvy vážky rodu *Anax* spp.

Nejvyšší míra predace byla pozorována v kombinaci predátor – kořist u *Ambystoma tigrinum* – *Rana catesbeiana* a *Umbra limi* – *Rana sylvatica*. Tyto kombinace predátora a kořisti se pravděpodobně nejméně vyskytují v přírodních rybnících, ze kterých byly odebrány pro pokus.

## 2.2 Vliv rizika predace na morfologické změny pulců

Předpokládá se, že morfologické změny těla a ocasu pulců vyvolané vystavením predačnímu riziku se projeví v jejich pohybových vlastnostech, které následně snižují riziko další predace. Pulci vystavení predačnímu riziku vykazovali větší, jasněji zbarvené ocasy a kratší těla. Větší velikost těla vedla ke zvýšení nejvyšší dosažené rychlosti a snížení času potřebného k uplavání vzdálenosti 2,5 cm po stimulování pulce k pohybu píchnutím u kořene ocasu. Také se projevil silný vztah mezi morfologií těla a ocasu k výše zmíněným pohybovým vlastnostem. Pulci s protáhlými těly a ocasy uplavali danou vzdálenost rychleji. Míra predace u pulců s vyvinutými morfologickými znaky vyvolanými předchozím predačním tlakem byla o polovinu nižší než u pulců bez těchto morfologických přizpůsobení. Míra predace se zvyšovala s množstvím času stráveného pohybem pulců (Van Buskirk a McCollum, 2000a).

Van Buskirk a McCollum (2000b) také zkoumali vliv tvaru ocasu pulců na jejich schopnost pohybu. Za tímto účelem chirurgickým zákrokem zredukovali délku ocasu o 21 %, 34 % a 55 %; výšku ocasu zredukovali o 11 %, 34 % a 59 %. K dramatickému poklesu maximální rychlosti a zvýšení doby potřebné k uplavení vzdálenosti 2,5 cm došlo pouze, když byl nejvíce redukován ocas, ať již jeho délka nebo výška. V případech redukce ocasu v menší míře nebyl prokázán významný vliv na pohybové vlastnosti. Také úhel útěku nevykazoval závislost k žádné míře redukce ocasu. Výsledky naznačují, že morfologické změny vyvolané vlivem predáčního tlaku vedoucí ke zvětšení výšky ocasu (Van Buskirk a Relyea, 1998; Laurila a kol., 2001; Relyea, 2001) nezvyšují pohybové vlastnosti pulců, proto se předpokládá, že mají význam v jiném obranném mechanismu.

### 2.3 Detekce predátora

Pulci ke zjištění možné predace nevyužívají jen zrakové a mechanické podněty, ale i podněty chemické. Bylo zjištěno, že pulci snižují pohybovou aktivitu v přítomnosti určitých chemických látek obsažených v sekretech predátora, ale i ve vlastních sekretech (Maag a kol., 2012).

Tyto chemické látky obsažené v sekretech pulců označujeme termínem poplachové feromony. Chemické látky vylučované predátorem, které slouží kořisti k jeho detekci, nazýváme kairomony (Schoeppner a Relyea, 2009). K poplachovým feromonům patří amoniak, který je obsažen v exkrementech pulců (Manteifel a Kiseleva, 2011).

Feromony žab jsou pravděpodobně peptidy a proteiny, které jsou zachytitelné olfaktorickými a vomeronazálními receptory (Woodley, 2010).

Kairomony a feromony jsou vylučovány současně při interakcích kořisti a predátora jako jsou žvýkání a trávení kořisti. Schoeppner a Relyea (2009) pozorovali signifikantní snížení pohybové aktivity pulců v případech, kdy predátor žvýkal kořist a kdy ji trávil. Dále pozorovali, že pulci se skrývali v přítomnosti látek z rozmačkaných těl pulců. Predátor v tomto pokusu byl reprezentován larvou vážky *Anax junis*, kořistí byli pulci *Rana pipiens*.

Pokusy ukazují, že pulci *Rana temporalis* posuzují hrozbu predace založenou výhradně na chemických podnětech pocházejících z potravy predátora. Jsou-li v potravě predátora přítomny látky pocházející z pulců stejného druhu, pulci vnímají hrozbu,

na kterou reagují antipredačním chováním, snížením pohybové aktivity. Vystavení pulců vizuálním podnětům možné predace a vystavení pulců chemickým látkám z hladovějícího predátora nevyvolalo antipredační chování (Mogali a kol., 2012).

Takahara a kol. (2008) zkoumali vliv pohybové aktivity pulců *Hyla japonica* v přítomnosti vážky *Anax parthenope julius* v prostředí obohaceném o kairomony tohoto druhu vážky. V přítomnosti přidávaných kairomonů byl počet napadených pulců výrazně nižší než v přítomnosti samotného predátora. Také celková míra aktivity pulců v přítomnosti přidávaných kairomonů byla nižší. Přesto, když byli pulci do 10 cm od vážky, plavali rychleji a na delší vzdálenosti než pulci pouze v přítomnosti predátora bez přídavku kairomonů. Zájem vážky o pulce byl také menší v přítomnosti kairomonů. Zájem vážky byl definován jako kontinuální orientace nymfy na pulce, když pulec začal plavat, a následný pohyb směrem k pulci jakmile se zastavil.

## 2.4 Potrava

Vztah tzv. „trade-off“ mezi vyhýbáním se predaci a hladověním ovlivňuje fitness jedince. Teorie obecně předpokládá, že míra antipredační odpovědi kořisti by se měla snížit s poklesem úrovně jejich energetických rezerv nebo zdrojů. Když je kořist nasycena, pokles její aktivity nesníží její energetický stav, ale může snížit aktuální riziko predace. Trvá-li však pokles aktivity kořisti delší čas, dochází ke snižování jejího energetického stavu reprezentovaného například snížením rychlosti růstu (Werner a Anholt, 1993).

Výsledky naznačují, že energetický stav kořisti ovlivňuje míru a trvání reakce na vnímané predací riziko. Pulci *Rana clamitans* obou velikostních tříd odpovídali na všech úrovních nasycení snížením aktivity po přidání chemických látek larvy *Anax* spp., avšak pulci menší velikosti snižovali aktivitu méně. Pulci menší velikosti (20 mg) vykazovali silnější utlumení pohybu pokud byli méně jak 24 hodin bez potravy. Pulci větších rozměrů (100 mg) vykazovali silnější utlumení pohybu až do 48 hodin bez potravy (Fraker, 2008).

Na pohybovou aktivitu pulců má vliv dostupnost potravy. Pulci s vyšší dostupností potravy vykazovali vyšší míru pohybové aktivity. Vliv různé hladiny potravy dostupné pulcům v přítomnosti predátora na jejich pohybovou aktivitu je neprůkazný. Pulci s nižší i vyšší dostupností potravy v přítomnosti predátora vykazovali podobnou míru aktivity (Babbitt, 2001).

Horat a Semlitsch (1994) také neprokázali žádnou interakci vlivu množství potravy a vlivu rizika predace. Predační riziko nemělo vliv na čas, který pulci trávili přijímáním potravy. Vlivem predace se zkracovala doba strávená u jednoho zdroje potravy.

Naopak Anholt a Werner (1995) tvrdí, že pulci s nižšími zdroji potravy se pohybovali v přítomnosti predátora častěji a rychleji. U těchto pulců se také zvýšila mortalita způsobená predátorem.

## **2.5 Vliv chemikálií a pesticidů na pohybovou aktivitu pulců**

Koncentrace pesticidů v přírodě je značně nižší než, aby měla přímý vliv na mortalitu pulců. Je však důležité prozkoumat vliv subletální koncentrace, která může vyvolat změnu chování pulců (např. změnu v plavání, příjmu potravy, schopnosti vyhnout se predátorovi) a následně nepřímo ovlivnit jejich mortalitu (Bridges, 1999).

Pulci *Hyla versicolor* vystavení koncentraci karbarylů 1,25 mg/l po dobu 24 hodin se ve své aktivitě nelišili od kontrolní skupiny. Naopak pulci vystavení koncentraci 2,50 mg/l byli aktivní o 45 % méně než pulci v kontrolní skupině. Pulci ošetření karbarylem proti kontrolní skupině trávili méně času v úkrytu v přítomnosti predátora, tím zvyšovali riziko predace. Naopak pulci ošetření karbarylem, zejména pak ti o vyšších koncentracích, trávili více času v úkrytu, když predátor nebyl přítomen, a tím snižovali svoji fitness (Bridges, 1999).

Pulci vystavení akutní dávce insekticidu karbarylů o třech koncentracích (3,5; 5,0 a 7,2 mg/l) rapidně snížili svoji aktivitu. Při koncentraci 3,5 mg/l došlo ke snížení pohybové aktivity téměř o 90%; při koncentraci 7,2 mg/l aktivita pulců kompletně ustala. V závislosti na použité koncentraci byly první opětovné projevy pohybové aktivity pozorovány po 24 až 48 hodinách (Bridges, 1997).

Vliv krátkodobého působení tří koncentrací (5, 10, 20 µg/l) fungicidu triphenyltin chloride (TPT) na aktivitu pulců *Rana esculenta* způsoboval snížení pohybové aktivity a času stráveného příjmem potravy. Zvyšování koncentrace způsobovalo snižování pohybové aktivity až o 33 % a snižování času stráveného příjmem potravy až o 19,6 % (Semlitsch a kol., 1995).

Citlivost na nízké pH vody a následné reakce pulců jsou druhově specifické. Všech 5 zkoumaných druhů pulců se vyhýbalo vodě o letálním pH. Druhy s výjimkou *Rana sylvatica* se vyhýbaly i místům se subletální hodnotou nízkého pH. Pulci *Pseudacris crucifer* ve vodě o nízkém pH vykázali mírné, ale statisticky signifikantní, snížení aktivity, zatímco pulci *Bufo americanus* naopak svoji aktivitu ve vodě o nízkém pH zvyšovali (Freda a Taylor, 1992).

Pohybová aktivita larev *Ambystoma laterale* se zvyšovala lineárně s hodnotou pH mezi 4,0 a 6,5. Při hodnotách pH blízkých 4,0 larvy přestaly projevovat pohybovou aktivitu. Larvy *Ambystoma maculatum* projevily slabší závislost pohybu na hodnotě pH. Celkově byly larvy *A. maculatum* méně aktivní než larvy *A. laterale*. Naopak přežití larev *A. maculatum* se snižovalo lineárně s hodnotou pH v přítomnosti dospělého jedince *Dytiscus verticalis*. Prokazatelně méně larev přežívalo, pokud byla hodnota pH menší než 4,8 (Kutka, 1994).

## 2.6 Vliv skupiny na pohybovou aktivitu jednotlivce

V přírodním rybníku byly u pulců druhů *Rana temporaria* a *Bufo bufo* pozorovány 3 typy agregací. Agregaci okolo zdroje potravy tvořilo několik desítek až pár tisíc jedinců. Pro tento typ agregace jsou charakteristické kousavé pohyby ústních otvorů pulců. Agregace o podobné velikosti se tvořily v teplejších částech rybníka. V těchto agregacích se pulci téměř vůbec nepohybovali, pouze pulci z okraje agregace se pomalu a nepravidelně přesouvali do jejího centra. Poslední typ agregace tvořili pulci před metamorfózou, kteří se přes den shlukovali u okraje rybníka a v noci se přesouvali do hlubší vody. Na rozdíl od pulců *R. temporaria* jsou pulci *B. bufo* schopni tvořit agregace konstantních struktur, ve kterých se pulci pohybovali jako polarizované hejno. Přítomnost pulce v hejnu průkazně zvyšuje jeho rychlost pohybu. Průměrná rychlost jednotlivých pulců byla 2,4 cm/s, zatímco v hejnech byla 3,4 cm/s (Surova, 2006).

Vliv skupiny na pohybovou aktivitu pulců *R. temporaria* a *B. bufo* zkoumala Surova a kol. (2009). Pohybová aktivita pulce se měřila v přítomnosti metabolitů jedinců stejného druhu. Metabolity byly získány z chovné nádrže o přibližné hustotě 8 jedinců na litr vody. Přítomnost metabolitů neměla žádný vliv na pohybovou aktivitu pulců ani u jednoho z pozorovaných druhů. Délka trajektorie a rychlost pohybu byla u obou druhů podobná. Mezi druhové prokazatelné rozdíly v pohybu byly pozorovány v počtu překročení hranic zóny vytyčené v pokusné nádobě a délkou a četností

přerušení pohybu. Pulci *B. bufo* prokazatelně častěji překračovali hranice vytyčené v pokusné zóně, tj. pohybovali se po celém prostoru pokusné nádoby. Pulci *R. temporaria* dělali častější a delší zastávky.

Dále se zkoumal vliv vizuálních podnětů jedinců stejného druhu na pohybovou aktivitu pulce. Vizuální podněty jedinců stejného druhu zvýšily pohybovou aktivitu pulců *R. temporaria*. Pulci začali plavat mnohem rychleji a na delší vzdálenosti, ale zřídka překračovali hranice centrální zóny. Pohybovali se v kruzích po obvodu pokusné nádrže, tj. v místech působení vizuálních podnětů. Naopak pulci *B. bufo* v přítomnosti vizuálních podnětů jedinců stejného druhu snížili rychlost pohybu. Uplavaná vzdálenost byla kratší. Také však překračovali hranice centrální zóny méně a preferovali pohyb po obvodu pokusné nádrže, blíže skupině jedinců svého druhu. Počet přerušení pohybu byl u obou druhů téměř stejný, avšak trvání těchto přerušení bylo u pulců *R. temporaria* výrazně kratší (Surova a kol., 2009).

Stejný vliv přítomnosti pulce ve skupině, o různém počtu jedinců, na pohybovou aktivitu pulců *B. bufo* a *R. temporaria* pozorovala Surova (2006). Pulci *B. bufo* se zvyšujícím se počtem jedinců ve skupině vykazovali větší snížení pohybové aktivity. U pulců *R. temporaria* tomu bylo naopak. Přidání predátora, larva *Dytiscus marginalis*, ke skupině 30 jedinců vedlo u obou druhů ke snížení pohybové aktivity přibližně na stejnou úroveň.

Naopak Griffiths a Foster (1998) uvádějí, že pulci *B. bufo* v přítomnosti jedinců svého druhu trávili plaváním 2krát více času než pulci *R. temporaria*. Při těchto pokusech byl čas strávený plaváním měřen pomocí stopek. Pokusná nádrž umožňovala nejen vizuální podněty, ale i chemickou komunikaci, mezi jednotlivými pulci ve skupině. Přítomnost pulců *B. bufo* ve skupině prokazatelně zvyšovala jejich pohybovou aktivitu oproti aktivitě pulců ve skupině u *R. temporaria* a *Bufo calamita*. Oba tyto druhy neprojevíly významnou změnu pohybové aktivity v závislosti na přítomnosti skupiny.



### 3. Metodika

#### 3.1 Materiál

V pokusu byli použiti pulci skokana hnědého (*Rana temporaria*) pocházející z periodické tůňky v okrajové části Českých Budějovic. Adultní samice želvy nádherné (*Trachemys scripta elegans*) pocházela z odchovu v zajetí. Odběr vajíček skokanů byl proveden dne 9.4.2012. Odebraná vajíčka byla rozdělena do dvou depozičních skleněných akvárií o ploše dna 45 x 27 cm. Želva byla umístěna do samostatného akvária stejných rozměrů. Akvária byla umístěna na polici v laboratorní místnosti. Světelný režim v laboratoři, řízený časovým spínačem, byl nastaven na 12 hodin světla a 12 hodin tmy. Zdrojem světla byly zářivkové trubice umístěné nad akvárii. Teplota v laboratoři nebyla konstantní. Její průměrná hodnota byla v době měření  $23 \pm 1^\circ\text{C}$ .

Pulci byli krmeni denně akvarijními vločkami pro býložravé ryby ad libitum vždy po skončení měření. Želva byla krmena granulemi pro vodní želvy a kuřecím masem také denně po skončení měření.

#### 3.2 Uspořádání pokusu

Uspořádání pokusu bylo inspirováno metodikou Kutilkové (2006). Míra pohybové aktivity pulce byla vyjádřena jeho uplavanou vzdáleností. Uplavaná vzdálenost pulce se měřila pomocí kamery, která byla zavěšena nad pokusnou nádrž. Tato kamera byla napojena na počítač vybavený programem EthoVision (Noldus Information Technology, 1997; Noldus a kol., 2002). Pokusná nádrž byla skleněné akvárium, ve kterém bylo umístěno akvarijní čerpadlo a 6 plastových boxů (arén), ve dvou řadách, přilepených akvarijním silikonem ke skleněné desce. Vyobrazení pokusné nádrže na fotografii (Foto. 1, viz. Grafické přílohy). V těchto arénách se měřila uplavaná vzdálenost pulce.

Pohybová aktivita pulce byla měřena ve 4 typech prostředí. Každému typu prostředí bylo přiděleno písmeno. V prvním typu prostředí (A) se měřila pohybová aktivita pulce v přítomnosti kairomonů želvy. Ve druhém typu prostředí (B) se měřila pohybová aktivita pulce bez přítomnosti kairomonů a bez faktoru skupiny. Pojmem faktor skupiny je myšlena přítomnost dalších 5 pulců stejného druhu v čase měření. Ve třetím typu prostředí (C) se měřila pohybová aktivita pulce v přítomnosti kairomonů

želvy a faktoru skupiny. V posledním typu prostředí (D) se měřila pohybová aktivita pulce s faktorem skupiny. Přehled typů prostředí s faktory působícími na pulce uvádí tabulka (Tab. 1).

Typ prostředí	Kairomony	Skupina	Faktor působící na pulce
A	ANO	NE	kairomony
B	NE	NE	–
C	ANO	ANO	skupina a kairomony
D	NE	ANO	skupina

**Tab. 1: Typy prostředí a jejich faktory působící na pulce**

Při měření pohybové aktivity pulce v typu prostředí s kairomony (tedy A a C) byla použita voda o objemu 20 litrů, ve které byla želva po dobu 15 hodin. V ostatních typech prostředí byla použita vodovodní voda, odstátá 15 hodin. Výška hladiny vody v pokusné nádrži a arénách byla 4 cm. Arény použité při měřeních typů prostředí s faktorem skupiny (tj. C a D) měly perforované stěny, aby spolu pulci mohli komunikovat chemickými signály (Woodley, 2010).

Při měření se nacházeli pulci ve vývojové fázi 34-36 (určeno podle Gosner, 1960). Pohybová aktivita pulce byla měřena 30 minut. Před začátkem měření proběhla 30 minutová aklimatizace. Z každého typu prostředí bylo získáno 30 hodnot naměřené uplavané vzdálenosti pulce. Měření probíhala v dopoledních hodinách každý den od 12.5.2012 do 18.5.2012, kromě 13.5.2012. Po skončení pokusu byli pulci vráceni na místo odběru.

### 3.3 Statistické zpracování

Ke zjištění, zda přítomnost želvy *Trachemys scripta elegans* působí na pohybovou aktivitu pulce *Rana temporaria* a zda přítomnost želvy působí stejně na samotné pulce a pulce ve skupině, byla použita faktoriální dvoucestná ANOVA. Touto metodou byla ověřována platnost tří nulových hypotéz:

- 1) Přítomnost kairomonů nemá vliv na pohybovou aktivitu pulce.
- 2) Přítomnost pulce ve skupině nemá vliv na jeho pohybovou aktivitu.
- 3) Vliv přítomnosti kairomonů na pohybovou aktivitu pulce ve skupině má stejný vliv na pohybovou aktivitu pulce bez skupiny.

Před provedením faktoriální dvoucestné ANOVy byla provedena transformace naměřených uplavených vzdáleností jejich umocněním exponentem  $2/3$ . K vyhodnocení byl použit program Statistica ve verzi 9.1 od společnosti StatSoft, Inc (2010).

## 4. Výsledky

Samotní pulci bez přítomnosti kairomonů predátora (typ prostředí B) vykazovali největší míru pohybové aktivity vyjádřenou průměrnou uplavanou vzdáleností (91,6 m). Naopak nejmenší průměrná uplavaná vzdálenost (50,5 m) byla zjištěna u jednotlivých pulců v přítomnosti kairomonů predátora (typ prostředí A). Zjištěné průměrné uplavané vzdálenosti pulců v jednotlivých typech prostředí a jejich směrodatné odchylky uvádí tabulka (Tab. 2). Charakteristiku souboru naměřených dat v jednotlivých typech prostředí vyjadřuje plot box & whiskers (Obr. 1, viz. Grafické přílohy).

typ prostředí	aritmetický průměr (m)	směrodatná odchylka (m)
A	50,5	38,6
B	91,6	63,9
C	66,9	41,1
D	67,1	50,6

Tab. 2: Přehled průměrné uplavané vzdálenosti a směrodatné odchylky v jednotlivých typech prostředí (A – pulec a kairomony, B – pouze pulec, C – skupina a kairomony, D – pouze skupina)

Na základě výsledků faktoriální dvoucestné ANOVy (Tab. 3) byla prokazatelně zamítnuta ( $p < 0,05$ ) nulová hypotéza, že přítomnost kairomonů nemá vliv na pohybovou aktivitu pulce. Přítomnost kairomonů má vliv na pohybovou aktivitu pulce; jejich přítomnost snižovala pohybovou aktivitu pulce v pokusu. Nulovou hypotézu, že přítomnost pulce ve skupině nemá vliv na jeho pohybovou aktivitu, nelze zamítnout ( $p = 0,836$ ). Pohybová aktivita samotného pulce se v pokusu nelišila od pohybové aktivity pulce ve skupině. Nulová hypotéza, že vliv přítomnosti kairomonů na pohybovou aktivitu pulce ve skupině má stejný vliv na pohybovou aktivitu pulce bez skupiny, byla prokazatelně zamítnuta ( $p < 0,05$ ). Vliv přítomnosti kairomonů na pohybovou aktivitu pulce ve skupině nemá stejný vliv na pohybovou aktivitu pulce bez skupiny. Pulec ve skupině v přítomnosti kairomonů vykazoval větší pohybovou aktivitu než pulec bez skupiny v přítomnosti kairomonů.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
KAIROMONY	306,132	1	306,132	4,382	<b>0,038</b>
SKUPINA	3,00	1	2,996	0,043	0,836
KAIROMONY*SKUPINA	348,006	1	348,006	4,981	<b>0,028</b>
Error	8104,846	116	69,869		

Tab. 3: Výsledky faktoriální dvoucestné ANOVy

## 5. Diskuze

Pulci *Rana temporaria* v experimentu snížili svoji pohybovou aktivitu v přítomnosti kairomonů invazivní želvy *Trachemys scripta elegans*. Vykazovali tedy antipredační chování. Marquis a kol. (2004) nepozorovali ve svých experimentech žádné snížení pohybové aktivity pulců (antipredační chování) *R. temporaria* v přítomnosti kairomonů introdukovaného raka *Astacus leptodactylus*. Pozorovali však snížení, ale statisticky nesignifikantní, v průměrném počtu plavajících pulců v přítomnosti kairomonů sympatrického predátora, larvy mloka *Salamandra salamandra*. V tomto experimentu byla vyjádřena míra pohybové aktivity jako počet plavajících jedinců ze skupiny. Skupinu tvořilo 5 jedinců. Měření probíhalo 10 minut, počet plavajících jedinců byl zaznamenáván každých 30 sekund. Tedy maximální počet plavajících jedinců v jednom měření mohl dosáhnout hodnoty 100. V mém měření byla pohybová aktivita vyjádřena mírou uplavané vzdálenosti, kterou vyjádřil program EthoVision jako rozdíl polohy daného pulce každé 2 sekundy po dobu 30 minut. Vyznačuje-li se pohyb pulců *R. temporaria* vyšší okamžitou rychlostí po kratší čas (Álvarez a Nicieza, 2009), mé měření zaznamená více možných změn aktivity (pohyb/odpočinek) pulců. Dále se při porovnání našich pokusů pravděpodobně lišila koncentrace kairomonů predátorů působících na pulce. Pro získání kairomonů jsem ponechal želvu po 15 hodin ve 20 litrech odstáté vodovodní vody. Tuto vodu jsem pak přímo použil ve svých měřeních. Marquis a kol. (2004) ponechali raka po dobu 24 hodin ve 4 litrech vodovodní vody. Následně z těchto 4 litrů vody obsahujících kairomony odebrali 50 ml, které přidali při měřeních k 10 litrům vodovodní vody. Lze tedy předpokládat, že vlivem různé koncentrace kairomonů došlo i k různě silným antipredačním odpovědím (Takahara a kol., 2008).

V jiných měřeních pulci *R. temporaria* vykazovali prokazatelné snížení pohybové aktivity v přítomnosti kairomonů larvy *Aeshna cyanea* (Maag a kol., 2012). Při těchto měřeních byla míra pohybové aktivity vyjádřena jako část jedinců, kteří aktivně plavou, ze skupiny 5 jedinců, tj. obdobně jak měřili Marquis a kol. (2004). Doba jednoho měření se však lišila. Maag a kol. (2012) zaznamenávali počty plavajících pulců ve třech intervalech (1-5, 35-40 a 65-80 min). Kairomony byly získány z 10 larev vážek *A. cyanea* umístěných přes noc odděleně v nádobě se 150 ml vodovodní vody.

Voda s kairomony od jednotlivých vážek se slila dohromady a doplnila vodovodní vodou do objemu 2,1 litrů. Z takto připravené vody se při měřeních odebralo 100 ml, které byly následně smíchány se 3 litry vodovodní vody v pokusné nádobě.

Snížení aktivity 4 druhů pulců, *Pelophylax perezii*, *Pelobates cultripes*, *Bufo calamita* a *Hyla arborea*, v přítomnosti kairomonů 2 invazivních druhů želv, *Trachemys scripta elegans* a *Graptemys pseudogeographica*, a 2 původních druhů želv, *Emys orbicularis* a *Mauremys leprosa*, laboratorně testovali Polo-Cavia a kol. (2010). Žádný zkoumaný druh pulce nevykazoval snížení aktivity v přítomnosti kairomonů invazivních druhů želv. Kromě druhu pulce *Bufo calamita*, ostatní druhy pulců prokazatelně snížili pohybovou aktivitu v přítomnosti kairomonů obou druhů původních želv. Pulci *B. calamita* neprojevíli změnu pohybové aktivity v přítomnosti ani jednoho ze 4 druhů kairomonů.

Přestože odpověď pulců na aktuální míru predace různých druhů predátorů je pro pulce druhově specifická (Relyea, 2001), Van Buskirk (2001) uvádí, že pulci *R. temporaria* reagují na možnost predace různých druhů predátorů snížením své pohybové aktivity. Avšak míra snížení aktivity na různé predátory není stejná. Větší pulci reagovali silněji na larvy vážek rodu *Anax* spp. a *Aeshna* spp. než na dospělého čolka *Triturus alpestris*. Obdobně pulci *Pleurodema thaul* a *Pleurodema bufoninum* prokazovali větší snížení pohybové aktivity v závislosti na své velikosti a velikosti predátora (Jara a Perotti, 2010). Pulci *Rana catesbeiana* a pulci *Rana clamitans* snižovali svoji pohybovou aktivitu v přítomnosti predátorů larvy vážky *Anax junis* a ryby *Lepomis macrochirus*. Pulci *R. catesbeiana* vykazovali větší snížení v přítomnosti larvy vážky než pulci *R. clamitans*, kteří snižovali pohybovou aktivitu u obou druhů predátorů podobně. Míra predace larvou vážky byla vyšší u pulců *R. catesbeiana* než u pulců *R. clamitans*. Oba druhy pulců podléhaly více larvám vážky než rybě *Lepomis macrochirus*, která konzumovala pouze pulce *R. clamitans* (Eklöv a Werner, 2000).

Dále výsledky mých měření ukazují, že pohybová aktivita samotných pulců se nelišila od pohybové aktivity pulců ve skupině. Skupinu tvořilo 6 pulců, kterým byla umožněna pouze chemická komunikace. Surova a kol. (2009) ve svých experimentech také nepozorovali změnu pohybové aktivity pulců *R. temporaria* v přítomnosti metabolitů jedinců stejného druhu. Metabolity byly získány odebráním vody

v depozičním akváriu s hustotou 8 jedinců/l vody. Při mých měřeních byla skupina pulců ve vodě s objemem přibližně 5 litrů, tedy hustota byla přibližně 1 jedinec/l. Ani Marquis a kol. (2004) nepozorovali změnu pohybové aktivity pulců *R. temporaria* v přítomnosti metabolitů jedinců stejného druhu. Avšak koncentrace metabolitů při jejich měřeních byla velmi nízká. Skupinu 5 pulců umístili na 24 hodin do 4 litrů vody, ze které pak odebrali 50 ml, které následně přidali do 10 litrů vody v pokusné nádobě.

Naopak vystavení pulců *R. temporaria* vizuálním podnětům 30 pulců stejného druhu vedlo ke zvýšení jejich pohybové aktivity. Plavali větší rychlostí a na delší vzdálenosti, také doba zastávek mezi jednotlivými plaveckými výkony byla kratší. Pohybová aktivita byla měřena 3 minuty pomocí kamery a programů, které vyhodnocovaly délku uplavané trajektorie, průměrnou rychlost pohybu, počet a trvání zastávek (Surova a kol., 2009).

Pulci *R. temporaria*, kterým byla umožněna vizuální i chemická komunikace s 20 pulci stejného druhu, nevykazovali změnu pohybové aktivity oproti pulcům, kteří byli zkoumáni jednotlivě (Griffiths a Foster, 1998). Při těchto měřeních byla pokusná nádoba (23 x 11,5 x 7,5 cm výška) rozdělena příčkou z nylonového pletiva na 3 sektory. Do sektorů na krajích nádoby byla náhodně (vlevo nebo vpravo) umístěna skupina 20 pulců. Do centrální části nádoby byl umístěn pulec, jehož pohybová aktivita, tj. doba, ve které vykazoval zřetelné pohyby ocasu, byla měřena pomocí stopek po dobu 5 minut.

Pulci *R. temporaria* v experimentech, ve kterých jim byl umožněn i fyzický kontakt, vykazovali zvýšení pohybové aktivity s vyšším počtem pulců ve skupině. Pohybová aktivita pulce samotného, ve skupině 5 a 30 pulců stejného druhu, byla měřena jako vzdálenost a čas strávený aktivním pohybem po dobu 5 minut. Pulci v pokusné nádobě se 4 litry vody nebyli nikterak separováni (Surova, 2006).

Z výsledků mých měření vyplývá, že pulci ve skupině v přítomnosti kairomonů želvy vykazovali větší pohybovou aktivitu než pulci bez skupiny v přítomnosti kairomonů. Tyto výsledky jsou v souladu s výsledky Van Buskirka a kol. (2011), kteří došli ve svých měřeních k závěru, že pohybová aktivita pulců v přítomnosti chemických podnětů larvy vážky *Aeshna cyanea* se zvyšuje s počtem jedinců ve skupině a naopak klesá se zvyšující se koncentrací chemických podnětů vážky. Nicméně pulci

nereagovali na změnu koncentrace látek vážky nebo změnu hustoty pulců, pokud poměr koncentrace látek vážky ku hustotě pulců zůstal stejný. Také Smith a Awan (2009) prokázali interakci vlivů přítomnosti predátora, larvy brouka rodu *Dytiscus* spp., a velikosti skupiny (2 a 8 jedinců) na preferenci prostředí s vegetací u pulců *Bufo americanus*. Osamocení pulci v přítomnosti larvy brouka volili část akvária s vegetací mnohem méně než pulci v páru nebo ve skupině 8 jedinců. Aktivita pulců *Rana catesbeiana* byla ve skupině v přítomnosti predátorů prokazatelně větší než u samotných pulců v přítomnosti predátora larvy brouka nebo ryby *Lepomis macrochirus*. Naopak Awan a Smith (2007) neprokázali ve svých experimentech interakci vlivů přítomnosti predátora, ryby *Lepomis macrochirus*, a velikosti skupiny na pohybovou aktivitu pulců *Rana sylvatica*. Ve svých experimentech, však použili pouze skupiny o 2 a 3 jedincích.



## 6. Závěr

Cílem práce bylo zjistit, zda faktor přítomnost kairomonů invazivní želvy *Trachemys scripta elegans* a faktor přítomnost dalších 5 jedinců stejného druhu budou mít vliv na pohybovou aktivitu pulců *Rana temporaria*. Při měřeních pulců ve skupině jim byla umožněna pouze chemická komunikace. V laboratorním experimentu bylo prokázáno:

- 1) Pulci v přítomnosti kairomonů projevovali antipredační chování, snižovali pohybovou aktivitu.
- 2) Pohybová aktivita samotných pulců se nelišila od pohybové aktivity pulců ve skupině.
- 3) Pulci ve skupině v přítomnosti kairomonů vykazovali větší pohybovou aktivitu než pulci bez skupiny v přítomnosti kairomonů.

## 7. Seznam použité literatury

- Álvarez, D. a Nicieza, A. G. (2009): Differential success of prey escaping predators: Tadpole vulnerability or predator selection?. *Copeia* 2009/3: 453-457.
- Anholt, B. R. a Werner E. E. (1995): Interaction between food availability and predation mortality mediated by adaptive behavior. *Ecology* 76: 2230-2234.
- Awan, A. R. a Smith, G. (2007): The effect of group size on the responses of wood frog tadpoles to fish. *American Midland Naturalist* 158: 79-84.
- Azevado-Ramos, C., Van Sluys, M., Hero, J. M. a Magnusson, W. E. (1992): Influence of tadpole movement on predation by odonate naiads. *Journal of Herpetology* 26: 335-338.
- Babbitt, K. J. (2001): Behaviour and growth of southern leopard frog (*Rana sphenoccephala*) tadpoles: effects of food and predation risk. *Canadian Journal of Zoology* 79: 809-814.
- Bridges, C. M. (1997): Tadpole swimming performance and activity affected by acute exposure to sublethal levels of carbaryl. *Environmental Toxicology and Chemistry* 16: 1935-1939.
- Bridges, C. M. (1999): Effects of a pesticide on tadpole activity and predator avoidance behavior. *Journal of Herpetology* 33: 303-306.
- Bridges, C. M. (2002): Tadpoles balance foraging and predator avoidance: Effects of predation, pond drying, and hunger. *Journal of Herpetology* 36: 627-634.
- Brodie Jr, E. D. a Formankowicz Jr, D. R. (1987): Antipredator mechanisms of larval anurans: protection of palatable individuals. *Herpetologica* 43: 369-373.
- Eklöv, P. a Werner, E. E. (2000): Multiple predator effects on size-dependent behavior and mortality of two species of anuran larvae. *Oikos* 88: 250-258.
- Formankowicz, D. R. (1986): Anuran tadpole/aquatic insect predator-prey interaction: tadpole size and predator capture success. *Herpetologica* 42: 367-373.

- Fraker, M. E. (2008): The effect of hunger on the strength and duration of the antipredator behavioral response of green frog (*Rana clamitans*) tadpoles. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 66: 1201-1205.
- Freda, J. a Taylor, D. H. (1992): Behavioral response of amphibian larvae to acidic water. *Journal of Herpetology* 26: 429-433.
- Gomez-Mestre, I. a Keller, C. (2003): Experimental assessment of turtle predation on larval anurans. *Copeia* 2003/2: 349-356.
- Gosner, K. L. (1960): A simplified table for staging anuran embryos and larvae with notes on identification. *Herpetologica* 16: 183-190.
- Griffiths, R. A. a Foster, J. P. (1998): The effect of social interactions on tadpole activity and growth in the British anuran amphibians (*Bufo bufo*, *B. calamita*, and *Rana temporaria*). *Journal of Zoology* 245: 431-437.
- Griffiths, R. A., Schley, L., Sharp, P. E., Dennis, J. L. a Roman, A. (1998): Behavioural responses of Mallorcan midwife toad tadpoles to natural and unnatural snake predators. *Animal Behaviour* 55: 207-214.
- Horat, P. a Semlitsch, R. D. (1994): Effects of predation risk and hunger on the behaviour of two species of tadpoles. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 34: 393-401.
- Chovanec, A. (1992): The influence of tadpole swimming behaviour on predation by dragonfly nymphs. *Amphibia-Reptilia* 13: 341-349.
- Jara, F. G. (2008): Differential vulnerability of *Physalaemus pustulosus* tadpole size classes to predation by the water spider *Thaumasia* sp. (*Physauridae*). *Amphibia-Reptilia* 29: 432-437.
- Jara, F. G. a Perotti, M. G. (2010): Risk of predation and behavioural response in three anuran species: influence of tadpole size and predator type. *Hydrobiologia* 644: 313-324.
- Kutílková, P. (2006): Vliv predátora na pohybovou aktivitu larev ropuchy obecné (*Bufo bufo*). Bc. práce, Přírodovědecká fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Česká republika.

- Kutka, F. J. (1994): Low pH effects on swimming activity of *Ambystoma salamander* larvae. *Environmental Toxicology and Chemistry* 13: 1821-1824.
- Laurila, A., Crochet, P. A. a Merilä, J. (2001): Predation-induced effects on hatchling morphology in the common frog (*Rana temporaria*). *Canadian Journal of Zoology* 79: 926-930.
- Maag, N., Gehrer, L. a Woodhams, D. C. (2012): Sink or swim: a test of tadpole behavioral responses to predator cues and potential alarm pheromones from skin secretions. *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology* 198: 841-846.
- Manteifel, Y. B. a Kiseleva, E. I. (2011): Ammonia as a pheromone in anuran tadpoles. *Physiological research* 60: 185-191.
- Marquis, O., Saglio, P. a Neveu, A. (2004): Effects of predators and conspecific chemical cues on the swimming activity of *Rana temporaria* and *Bufo bufo* tadpoles. *Archiv für Hydrobiologie* 160: 153-170.
- Mogali, S. M., Saidapur, S. K. a Shanbhag, B. A. (2012): Tadpoles of the bronze frog (*Rana temporalis*) assess predation risk before evoking antipredator defense behavior. *Journal of Ethology* 30: 379-386.
- Nicieza, A. G. (1999): Context-dependent aggregation in Common Frog *Rana temporaria* tadpoles: influence of developmental stage, predation risk and social environment. *Functional Ecology* 13: 852-858.
- Noldus Information Technology (1997) – EthoVision: Video Tracking, Motion Analysis and Behavior Recognition systém, version 1.9.
- Noldus, L. P., Spink, A. J. a Tegelenbosh, R. A. (2002): Computerised video tracking, movement analysis and behaviour recognition in insects. *Computers and Electronics in Agriculture* 35: 201-227.
- Polo-Cavia, N., Gonzalo, A., López, P. a Martín, J. (2010): Predator recognition of native but not invasive turtle predators by naive anuran tadpoles. *Animal Behaviour* 80: 461-466.

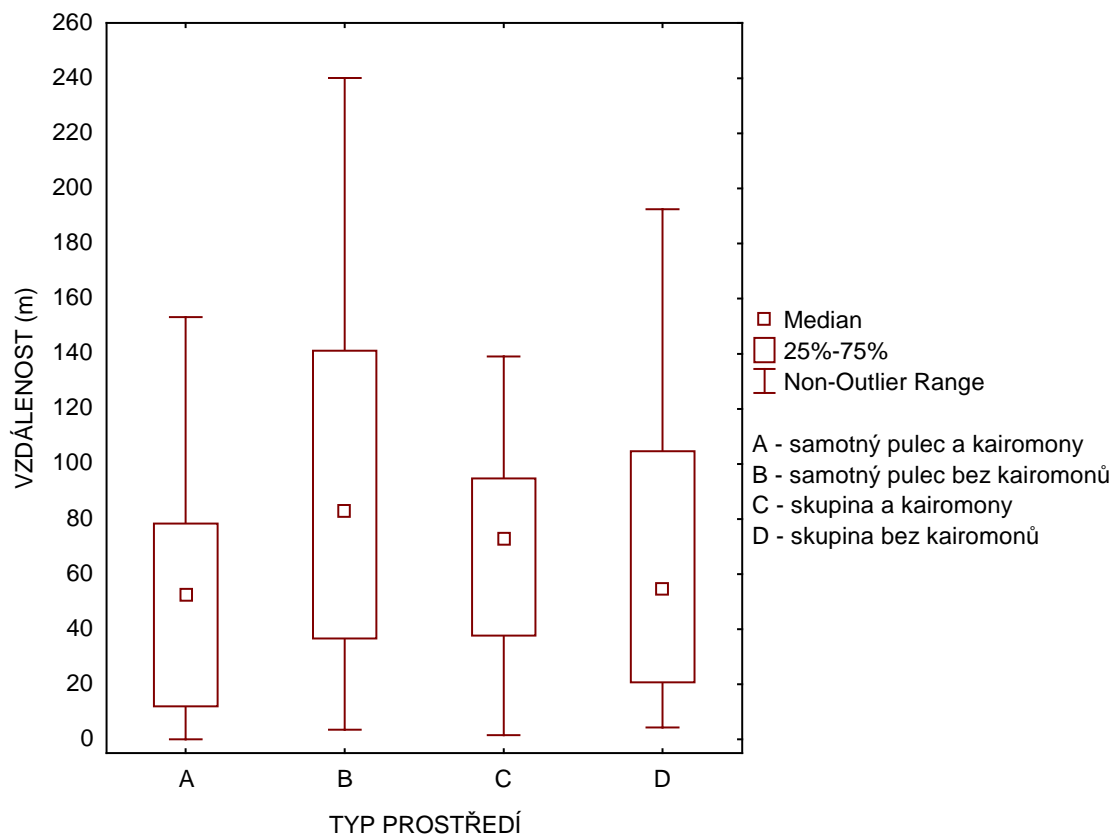
- Relyea, R. A. (2001): The relationship between predation risk and antipredator responses in larval anurans. *Ecology* 67: 434-441.
- Richards, S. J. a Bull, C. M. (1990): Size-limited predation on tadpoles of three Australian frogs. *Copeia* 1990/4: 1041-1046.
- Rödel, M. O. (1999): Predation on tadpoles by hatchlings of the freshwater turtle *Pelomedusa subrufa*. *Amphibia-Reptilia* 20: 173-183.
- Semlitsch, R. D., Foglia, M., Mueller, A., Steiner, I. E., Fioramonti, E. a Fent, K. (1995): Short-term exposure to triphenyltin affects the swimming and feeding behavior of tadpoles. *Environmental Toxicology and Chemistry* 14: 1419-1423.
- Schoeppner, N. M. a Relyea, A. (2009): Interpreting the smells of predation: how alarm cues and kairomones induce different prey defences. *Functional Ecology* 23: 1114-1121.
- Skelly, D. K. (1994): Activity level and the susceptibility of anuran larvae to predation. *Animal Behaviour* 47: 465-468.
- Smith, G. a Awan, A. R. (2009): The roles of predator identity and group size in the antipredator responses of American toad (*Bufo americanus*) and bullfrog (*Rana catesbeiana*) tadpoles. *Behaviour* 146: 225-243.
- Stanback, M. (2010): *Gambusia holbrooki* predation on *Pseudacris feriarum* tadpoles. *Herpetological Conservation and Biology* 5: 486-489.
- StatSoft, Inc. (2010) STATISTICA (data analysis software system), version 9.1. [www.statistica.com](http://www.statistica.com).
- Surova, G. S. (2006): Motor activity of amphibian larvae - from schools to shoals. In: Vences, M., Köhler, J., Ziegler, T. a Böhme, W. (eds.): *Herpetologia Bonnensis II: Proceedings of the 13th Congress of the Societas Europaea Herpetologica*. SEH, Bonn, s. 183-186.
- Surova, G. S., Mukhina, T. V. a Bezryadnov, D. V. (2009): Group effect on individual locomotor activity of common toad (*Bufo bufo* L.) and brown frog (*Rana temporaria* L.) tadpoles. *Russian Journal of Ecology* 40: 280-285.

- Takahara, T., Kohmatsu, Y., Maruyama, A. a Yamaoka, R. (2008): Benefit of suites of defensive behavior induced by predator chemical cues on anuran tadpoles, *Hyla japonica*. Behavioral Ecology and Sociobiology 63: 235-240.
- Van Buskirk, J. (2001): Specific induced responses to different predator species in anuran larvae. Journal of Evolutionary Biology 14: 482-489.
- Van Buskirk, J. a McCollum, S. A. (2000a): Functional mechanisms of an inducible defence in tadpoles: morphology and behaviour influence mortality risk from predation. Journal of Evolutionary Biology 13: 336-347.
- Van Buskirk, J. a McCollum, S. A. (2000b): Influence of tail shape on tadpole swimming performance. Journal of Experimental Biology 203: 2149-2158.
- Van Buskirk, J. a Relyea, R. A. (1998): Selection for phenotypic plasticity in *Rana sylvatica* tadpoles. Biological Journal of the Linnean Society 65: 301-328.
- Van Buskirk, J., Ferrari, M., Kueng, D., Näpflin, K. a Ritter, A. (2011): Prey risk assessment depends on conspecific density. Oikos 120: 1235-1239.
- Wassersug, R. J. a Sperry, D. G. (1977): The relationship of locomotion to differential predation on *Pseudacris triseriata* (Anura: Hylidae). Ecology 58: 830-839.
- Werner, E. E. a Anholt, B. (1993): Ecological consequences of the trade-off between growth and predation mortality rates mediated by foraging activity. American Naturalist 142: 242-272.
- Woodley, S. K. (2010): Pheromonal communication in amphibians. Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology 196: 713–727.

## 8. Grafické přílohy



Foto. 1: Pokusná nádrž s arénami



**Obr. 1: Box & whiskers plot vyjadřující charakteristiku naměřených dat v jednotlivých typech prostředí**