

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra zoologie a rybářství**



**Vliv psychoaktivních látek na soudržnost hejna a  
agresivitu jelce tlouště *Squalius cephalus* L.**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Lucie Čmolíková**

**Vedoucí práce: Ing. Pavel Horký, Ph.D.**

© 2017 ČZU v Praze

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv psychoaktivních látek na soudržnost hejna a agresivitu jelce tlouště *Squalius cephalus* L." jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 13. 4. 2017

---

### **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu mé diplomové práce Ing. Pavlu Horkému, Ph. D. za trpělivost během konzultací, vstřícnost, ochotu při spolupráci a pomoc se statistickým zpracováním dat. Dále bych ráda poděkovala svým rodičům, kteří mi toto studium umožnili a po celou jeho dobu mne plně podporovali.

# Vliv psychoaktivních látek na soudržnost hejna a agresivitu jelce tlouště *Squalius cephalus* L.

## Souhrn

Agresivní chování je přirozeným mechanismem, který zajišťuje zvířatům nejrůznější zdroje, jako například teritorium, potravu či partnery. Vyskytuje se u celé řady živočichů, včetně ryb. V agresivních projevech lze nalézt značné mezidruhové či vnitrodruhové rozdíly způsobené pravděpodobně evolučním vývojem. Hlavním centrem pro řízení agresivity je střední mozek, odkud se šíří impulzy do dalších mozkových struktur daného jedince. Kromě vnitřních faktorů pak na agresivitu působí také vlivy vnější, mezi něž řadíme například velikost soupeřů, hustotu obsazení daného prostoru, předchozí sociální zkušenost či dostupnost potravy.

Dalším typem chování je schopnost tvořit hejna. Ryby mohou tvořit jak skupiny strukturované, tak skupiny náhodné, např. u potravních zdrojů. Hejnem je skupina v případě, že mezi jejími jedinci dochází k sociálním interakcím. Je-li ryba součástí hejna, stává se uživatelem veškerých výhod (snížení pravděpodobnosti predace, snížení metabolismu, snadnější dostupnost potravy) či nevýhod (nižší příjem potravy, vyšší riziko infekce parazity, přenášenými přímým kontaktem), které hejno poskytuje.

Agresivní a hejnové chování může být ovlivněno přítomností zbytkových psychotropních látek ve vodních tocích. Ty ovlivňují chování vodních organismů působením na centrální nervovou soustavu a to zejména na mozek a zasahují tak do fitness jednotlivce a celkové populační dynamiky druhu. Psychiatrické léky včetně antidepresiv jsou obecně nejpředepisovanějšími léčivy na světě. Konkrétně u citalopramu pak byl dokázán vliv na chování i fyziologii u celé řady organismů, včetně ryb.

V průběhu laboratorního experimentu jsem zkoumala vliv antidepresiva citalopramu rozpuštěného ve vodním prostředí na juvenilní jedince jelce tlouště. Výsledky ukázaly, že u jedinců, kteří byli látce vystaveni, byla agresivita vyšší než u jedinců kontrolních. Ze čtyř typů agresivního chování byly rozdíly patrné u přímého útoku, vertikálního plavání a lateralizace. Intenzita kruhového plavání byla na vystavení danému léčivu nezávislá. Zároveň bylo z pokusu patrné, že exponovaní jedinci mezi sebou udržovali větší vzdálenost, tedy udržovali nižší soudržnost hejna než jedinci kontrolní.

**Klíčová slova:** psychoaktivní látky, znečištění vodních ekosystémů, etologie

# **Effect of psychoactive compounds on a shoal cohesion and aggressive behaviour of chub *Squalius cephalus* L.**

## **Summary**

Aggressive behavior is a natural mechanism that provides various sources to animals like territory, food or mating partners. It occurs in a variety of animals including fish. There are many interspecific and intraspecific differences in the aggressiveness which are probably caused by evolution. The main control centre of aggression is the midbrain from where impulses spread to other brain structures. There are other factors which can influence aggressive behavior in addition to the internal factors such as opponent size, population density, availability of food resources or social experience.

Another type of behavior is the ability to form shoals. Fish can form structured as well as unstructured groups. Group become a shoal in the case that there are social interactions between its members. Fish included in shoal utilize all benefits (for example reduced predation risk, decreased metabolism, better availability of food) as well as disadvantages (lower food intake, higher risk of parasite infestation) as a result of living in it.

Both shoaling and aggression can be influenced by the presence of residual psychotropic substances in water courses. These substances can affect behavior of aquatic organisms by influencing their central nervous system so we can find changes in individual fitness and population dynamic of the species. Generally, psychiatric drugs including antidepressants are most prescribed substances in the world. Especially citalopram can affect behavior and physiology in a variety of organisms including fish.

In the laboratory experiment I tested effects of antidepressant citalopram on behavior of chub juveniles. Results showed that juveniles exposed to this psychiatric drug were more aggressive than control subjects without the drug. In addition to it, I studied frequency of different antagonistic behavior types, namely frontal attack, vertical swimming, lateralization and circular swimming. Frequency of circular swimming has proved independent on the drug exposure. It is also evident that there was greater distance between exposed fish. In other words fish kept lower shoal cohesion than control individuals.

**Keywords:** psychoactive compounds, contamination of aquatic ecosystems, ethology

# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>8</b>
<b>2 Cíl práce .....</b>	<b>9</b>
<b>3 Literární rešerše .....</b>	<b>10</b>
<b>3.1 Agresivita .....</b>	<b>10</b>
3.1.1 Agresivita u ryb .....	10
3.1.2 Fyziologie agresivity.....	11
3.1.2.1 Hypotalamus.....	11
3.1.2.2 Periakveduktální šed' .....	11
3.1.2.3 Amygdala .....	11
3.1.2.4 Neurotransmitery .....	12
3.1.2.5 Androgeny .....	12
3.1.3 Hierarchie dominance, teritoriální chování .....	12
3.1.3.1 Teritorialita .....	13
3.1.3.2 Dominanční hierarchie .....	13
3.1.4 Faktory ovlivňující agresivitu.....	14
3.1.4.1 Potravní zdroje.....	14
3.1.4.2 Zbarvení.....	14
3.1.4.3 Velikost.....	15
3.1.4.4 Početnost, hustota obsazení .....	15
3.1.4.5 Sociální zkušenost .....	15
<b>3.2 Hejnové chování .....</b>	<b>16</b>
3.2.1 Druhy hejnového chování.....	17
3.2.2 Funkce hejna .....	17
3.2.2.1 Ochrana před predátory .....	17
3.2.2.2 Zdroje potravy .....	19
3.2.2.3 Rychlost metabolismu .....	20
3.2.2.4 Ochrana před parazity.....	20
3.2.3 Soudržnost hejna.....	21
3.2.3.1 Vedoucí postavení v hejnu .....	22
<b>3.3 Znečištění vod v ČR .....</b>	<b>23</b>
<b>3.4 Psychoaktivní látky .....</b>	<b>23</b>
3.4.1 Citalopram .....	25
<b>4 Shrnutí úvodní části, odvození hypotéz.....</b>	<b>27</b>

<b>5 Experiment .....</b>	<b>28</b>
<b>5.1 Pokusná zvířata .....</b>	<b>28</b>
5.1.1 Jelec tloušť .....	28
<b>5.2 Popis pokusu .....</b>	<b>29</b>
<b>5.3 Metodika .....</b>	<b>29</b>
<b>5.4 Statistická analýza.....</b>	<b>31</b>
<b>6 Výsledky .....</b>	<b>32</b>
<b>7 Diskuze .....</b>	<b>35</b>
<b>8 Závěr.....</b>	<b>40</b>
<b>9 Seznam použité literatury.....</b>	<b>41</b>
<b>10 Přílohy .....</b>	<b>51</b>

# 1 Úvod

Agresivní interakce mohou být odpovědí na nejrůznější podněty jako nedostatek potravy, zájem o určité exkluzivní teritorium či nevyjasněné pozice ve skupině. Na agresivním chování se podílí vnější, vnitřní i sociální faktory. Obdobné faktory spolu utvářejí i vznik sociálních skupin a jejich soudržnost, které mimo jiné snižují riziko napadení predátorem nebo usnadňují nalezení zdrojů potravy. Poznatky o agresivitě a utváření hejn jsou důležité v dnešních průmyslových či zájmových chovech zvířat, aby bylo zamezeno zbytečnému působení stresu a následným poruchám chování.

Agresivita i tvorba hejna a jeho soudržnost patří bezesporu k velmi důležitým typům chování v životě zvířete s celou řadou funkcí, ať se jedná o páření, reprodukci, péči o potomstvo, obranu před predátory a podobně. Mohou však být výrazně narušeny působením zbytkových léčiv, která jsou s odpadní vodou vypouštěna do vodních toků a běžně se vyskytují v povrchových i podzemních vodách. V celé řadě výzkumných prací bylo prokázáno, že psychoaktivní látky mohou závažně ovlivňovat chování vodních živočichů a tím narušovat populační dynamiku jednotlivých druhů (Fong a Molnar, 2013; Gross, 2005; Chiffre, 2016; Scott a Sloman, 2004; Werner a Hall, 1988). Z těchto důvodů jsou témata znečištění vodních toků léčivy a s tím spojených změn chování vodních organismů zejména v posledních letech často zpracovávána. Podrobné znalosti v této oblasti jsou důležité i proto, že dosud není zcela jasné jakým způsobem s odpady z výroby a užívání léčiv v masovém měřítku nakládat a znečištění vodních zdrojů těmito látkami tak pravděpodobně zůstane významným problémem i v blízké budoucnosti. Součástí této diplomové práce byl laboratorní experiment, během kterého byl zkoumán vliv antidepresiva citalopramu na chování juvenilních jedinců jelce tlouště.



## **2 Cíl práce**

Práce bude zaměřená na sledování změn chování jelce tlouště vystaveného reálným koncentracím vybraných psychoaktivních sloučenin, které se běžně vyskytují v říční síti České republiky. V laboratorních podmínkách budou studovány vlivy jednotlivých sloučenin na sledované parametry chování jelce tlouště, jmenovitě soudržnost hejna a agresivitu. Testovaná hypotéza je, že reálné koncentrace psychoaktivních sloučenin, které se běžně vyskytují v říční síti České republiky, významným způsobem ovlivňují soudržnost hejna a agresivitu jelce tlouště.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Agresivita

Agresivita je přirozený mechanismus chování, který pomáhá zvířatům zajistit klíčové nedostatkové zdroje. Je to chování, které může skutečně či potencionálně způsobit škodu jinému zvířeti. Jevy jako obranu proti dravcům či zabíjení zvířat pro potravu však řadíme do chování potravního či antipredačního (Huntingford a kol., 2012).

Agresivitu můžeme pozorovat jak na úrovni mezidruhové (mezi jedinci různých druhů), tak na úrovni vnitrodruhové (mezi jedinci stejného druhu). Plní také celou řadu funkcí, například pomocí vzájemných konfliktů nebo obhajobou teritoria rovnoměrně rozmisťuje skupiny živočichů v prostoru, či vede k ustálení sociální hierarchie (Veselovský, 2005).

#### 3.1.1 Agresivita u ryb

Agresivní chování se vyskytuje u celé řady zvířat jako přirozená reakce na konkurenci. U ryb dochází nejčastěji k bojům o potravu, partnery či reprodukční plochu (Conrad a kol., 2011). V bojových strategiích jednotlivých druhů ryb lze nalézt významné rozdíly, pravděpodobně způsobené adaptací na různá prostředí během evolučního vývoje. Platí obecné tvrzení, že ryby, žijící ve volném prostoru otevřeného moře (pelagické), jsou relativně neagresivní, zatímco ryby, které žijí v prostorově omezeném prostředí, se často stávají agresivními (např. lososovití *Salmonidae*) (Huntingford a kol., 2012). Jiným příkladem mohou být dospělí samci sapína žlutošupinného *Stegastes leucostictus* (Müller a Troschel, 1848), kteří měli konzistentní úroveň agresivity, jestliže se nacházeli na stanovištích nižší kvality. Jestliže však byli přemístěni na místa s uměle zvýšenou kvalitou prostředí, začali být při obraně těchto experimentálně posílených stanovišť velice agresivní (Snekser a kol., 2009). Rozdíly lze také nalézt mezi rybami stejného věku, druhu i velikosti (Lahti a kol., 2001).

Kromě přímých útoků, kdy dochází k napadání mezi jedinci, dochází také k celé řadě postojů či ceremoniálů. Se zvyšující se intenzitou postojů se zvyšuje také spotřeba energie a riziko zranění. Proto často souboje skončí dříve, než ke skutečnému boji dojde. Přímý souboj totiž může mít důsledky v podobě poškození ploutví, snížení plodnosti, ztrát hmotnosti apod. (Huntingford a kol., 2012).

U některých druhů ryb byla taktéž prokázána lateralizace neboli preferenční užívání levého či pravého vizuálního pole při celé škále aktivit, např. při agonistických reakcích, útěku před predátory či hledání potravy (Vallortigara a Rogers, 2005). Například u samců

bojovnice pestré *Betta splendens* (Regan, 1910) byla prokázána pravolevá asymetrie v použití oka při laterálních postaveních (Cantalupo a kol., 1996). Jiným příkladem může být výzkum Bisazzy a kol. (1997). V tomto výzkumu bylo na třech druzích živorodkovitých *Poeciliidae* zjištěno, že jestliže byla jedincům předložena scéna s predátorem či s jedinci opačného pohlaví, 90 % jedinců se otočilo doleva, tedy hledělo na scénu pravým okem. Hleděly-li ryby na jedince stejného pohlaví, popř. ztratily ze zřetele danou scénu, otočily se doprava, tedy pohlížely okem levým.

### 3.1.2 Fyziologie agresivity

Centrum pro řízení chování a agresivity nalezneme ve středním mozku: hypotalamus a tzv. periakveuktální šed'. Do hypotalamu se elektrické impulsy přenáší pomocí neurotransmiterů a jsou přímo spojeny s dalšími mozkovými strukturami jako např. amygdala či prefrontální kortex (Ganong, 2005).

#### 3.1.2.1 Hypotalamus

Hypotalamus je malý útvar, který tvoří část mezimozku. Má komplexní účinek na celý organismus. Vytváří se v něm hormony oxytocin a vazopresin, řídí činnost adenohipofýzy, podílí se na regulaci sexuálního chování, tělesné teploty, hladu a žízně. Oxytocin a vazopresin jsou nejprve dopraveny do neurohypofýzy, posléze vyplavovány do krve (Ganong, 2005). Jedním z hormonů ovlivňujících agresivitu je somatostatin, který se tvoří v hypotalamu (ale také v D-buňkách pankreatu). Ačkoliv je tento hormon studován zejména v souvislosti s růstem (inhibitor somatotropního hormonu), bylo zjištěno, že po podání jeho agonistů se agresivita snižovala, naopak po podání antagonistů se rapidně zvyšovala (Trainor a Hofmann, 2006).

#### 3.1.2.2 Periakveduktální šed'

Periakveduktální šed', neboli *Substantia grisea centralis*, je seskupení nervových buněk nacházející se ve středním mozku. Ovlivňuje vnímání bolesti (její modifikace či útlum) a také obranné chování (Orel a Facová, 2010).

#### 3.1.2.3 Amygdala

Amygdala je párový orgán mandlového tvaru uložený ve střední části spánkového laloku. Ovlivňuje celkové chování jedince, podílí se na tvorbě paměťových stop. Studie na zvířatech dokázaly, že její stimulací lze agresivní chování zvýšit a naopak dojde-li k jejímu

poškození, agresivita klesá (Ganong, 2005). V jiném výzkumu prováděném na lidech bylo dokázáno, že jedinci s větší amygdalou byli součástí větších sociálních skupin a zároveň byli schopni lépe odhadnout sociální situaci ostatních (Bzdok a kol., 2011).

#### 3.1.2.4 Neurotransmitery

Neurotransmitery jsou nízkomolekulární látky, které zajišťují jednosměrné předání impulsu z řídicí nervové buňky do buňky řízené (svalová, nervová či žlázočná buňka). Jsou vylučovány z presynaptické buňky procesem exocytosis a prochází synaptickou štěrbinou k postsynaptické buňce, kde se váží na receptory a vyvolávají určitou buněčnou odpověď. Tento proces nazýváme synapse (Kodíček, 2007). Mezi neurotransmitery řadíme např. serotonin, jehož působení je úzce spojeno se zprostředkováním účinků stresu, kdy může docházet k potlačení agrese (tento inhibiční účinek je prokázán u mnoha skupin obratlovců, včetně ryb) (Huntingford a kol., 2012). Dalším příkladem pak může být vazopresin (antidiuretický hormon), jenž se mimo jeho hlavní funkce – zvyšování krevního tlaku a resorpce vody v ledvinách – podílí také na utváření sociálního chování, hierarchie a agresivity (Ganong, 2005).

#### 3.1.2.5 Androgeny

Reprodukční hormony (zejména androgeny) u obratlovců často stimulují projevy agresivity (Huntingford a kol., 2012). Veselovský (2005) uvádí, že androgeny mohou nápadně zvyšovat útočnost. Intenzita útočnosti se u zvířat během roku mění, např. v mírném pásu je nejsilnější na jaře, kdy probíhají souboje o teritoria a samice.

Androgeny se podílejí také na regulaci agresivity u ryb, které podstoupí změnu pohlaví. Dojde-li k odstranění dominantního samce ze skupiny hlaváče modropruhého *Lythrypnus dalli* (Gilbert, 1890), dominantní samička během několika hodin mění pohlaví, což zahrnuje také významné změny v chování, např. neustále se stupňující agresi. Toto je pravděpodobně způsobeno poklesem hladiny enzymu aromatázy v mozku, která přeměňuje testosteron na estrogen, díky čemuž zůstává k dispozici více testosteronu (Black a kol., 2005).

### 3.1.3 Hierarchie dominance, teritoriální chování

Jak uvádí Veselovský (2005), dominance představuje vztah, při kterém jeden jedinec omezuje druhého, např. v přístupu k potravě, rozmnožování apod. Mnohá zvířata bojují o získání zdrojů, zahnání konkurentů či o získání dominantního postavení ve skupině (Reddon a kol., 2013). Boje tedy mohou být o určitý prostor, při kterém jedinec získává

kontrolu nad daným územím (teritorialita), či se může jednat o tzv. dominanční hierarchii, kdy se jedinec snaží získat sociální kontrolu nad poraženými (Huntingford a kol., 2012).

### 3.1.3.1 Teritorialita

Teritorialita vyjadřuje obranu určitého území kolem zvířete či skupiny zvířat proti vetřelcům většinou stejného druhu. Společné prostředí je tedy užíváno více jedinci a dochází tím k omezování určitých zdrojů, ať už potravních, vodních apod. (Huntingford a kol., 2012). Jak uvádí Nicola a kol. (2016), např. u lososotvárných *Salmoniformes* je teritorialita jedním z nejdůležitějších mechanismů udržujících hustotu. Uvádí se, že čím větší je jedinec, tím větší bývá jeho teritorium, avšak toto mohou ovlivnit klíčové faktory, jako dostupnost potravy nebo výskyt konkurentů. Se zvyšující se dostupností potravy klesala agresivita a naopak.

Thresher (1978) popsal dvě složky teritoriální agrese sapína hnědožlutého *Stegastes planifrons* (Cuvier, 1830) a to velikost bráněné plochy a prudkost obrany. K podobným závěrům došel také Colgan a kol. (1981) s jedinci slunečnice pestré *Lepomis gibbosus* (Linnaeus, 1758). Ti bránili svá hnízda proti nepřátelům odlišně, jednalo-li se o frekvenci interakcí a jednalo-li se o prostorové rozmístění nepřátel.

### 3.1.3.2 Dominanční hierarchie

Hierarchie dominance vzniká, jestliže dochází uvnitř sociální skupiny k vzájemnému ovlivňování jednotlivými členy. (Huntingford a kol., 2012). Během utváření sociální dominance dochází k opakovaným útokům a napadáním mezi zvířaty. Po vytvoření vztahu jej dominantní zvíře udržuje pomocí hrozeb různého stupně, zatímco podřízená zvířata se konfliktům vyhýbají a projevují se submisivně (Veselovský, 2005). Jedinci s úspěšným agonistickým chováním, jež zahrnuje agresi, hrozby, postoje, ale i přímý souboj, často dosahují dominance (Chase a kol., 2003).

Deşjardins a kol. (2012) zkoumali agresivní chování tlamovce *Astatotilapia burtoni* (Günther, 1894) v závislosti na sociálním kontextu. Zjistili, že jestliže je podřízený jedinec na dohled jedince dominantního, neprojevuje agresivní chování ani chování k upoutání samice, zatímco jestliže byl dominantní samec z dohledu, bylo možné u podřízených jedinců pozorovat projevy agrese.

### 3.1.4 Faktory ovlivňující agresivitu

Mezi zvířaty často dochází k vnitrodruhovému i mezidruhovému soupeření o významné zdroje, například o potravu, partnery či teritorium (Cutts a kol., 2002). Tyto souboje ovlivňuje celá řada nejrůznějších faktorů, jako je velikost soupeřících jedinců nebo hustota obsazení daného místa.

#### 3.1.4.1 Potravní zdroje

Ambice k získání potravních zdrojů a k jejich držení (tzv. *resource holding potential*, *RHP*) záleží na velikosti těla, energetickém či zdravotním stavu. Jedinci s nižším potenciálem mají během souboje většinou tendenci se vzdát. Na druhou stranu, jak uvádí Batchelor a Brifa (2010), může souboj ve výjimečných případech eskalovat, dokud nedojde k zabití jednoho ze soupeřů. Toto zkoumali u jedinců mravence lesního *Formica rufa* (Linnaeus, 1758), kdy např. zjistili, že první smrtelné zranění zasadili jedinci s průměrnou vyšší tělesnou hmotností.

Důležitou roli v boji o zdroje kromě RHP hraje i motivace jedince. Krátkodobé hladovění dokáže zvýšit agresivitu a posílit sociální vazby u ptáků (Andersson a Ahlund, 1991) či ryb (Damsgard a Dill, 1998). V průběhu hladovění dlouhodobějšího charakteru ryby naopak snižují intenzitu agresivních interakcí s cílem šetřit zbývající energetické zásoby. Dochází k bojům o minimální nezbytné množství jídla nutné k přežití (Huntingford a kol., 2012). Jak uvádí Johnsson a kol. (1996), u jedinců pstruha duhového *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) došlo prostřednictvím hladovění ke zvýšené potravní motivaci a tím ke snížení konkurenceschopnosti jedince.

#### 3.1.4.2 Zbarvení

Během noci tvoří žláza s vnitřní sekrecí, epifýza, hormon melatonin, který potlačuje činnost pohlavních žláz. U ryb a plazů se melatonin rovněž podílí na zesvětlení či ztmavnutí tělního povrchu, což může být použito např. k ochraně před predátorem či vnitrodruhové komunikaci. U ryb například změnou barvy těla dochází k vyjádření dominance či podřízenosti (Veselovský, 2005). Jak uvádí Höglund a kol. (2002), žijí-li lososovité ryby na tmavém substrátu, ztmavuje se jejich vybavení, díky čemuž se snižuje agresivita. Dalším příkladem může být mečovka Cortezova *Xiphophorus cortezi* (Rosen, 1960). Na bocích má jasně viditelný svislý pruh, jenž se mění v závislosti na situaci při souboji, nejtmaší je před kousnutím (Morris a kol., 1995). U druhu tlamovce *Maylandia mbenjii* (Stauffer, Bowers, Kellog, McKaye, 1997) bylo zjištěno, že samci vykazují větší agresivitu proti podobně

zbarveným jedincům, zatímco odlišně zbarvené samce více tolerují (Pauers a kol., 2008). Jiným příkladem mohou být jedinci leguána *Urosaurus ornatus* (Baird a Girard, 1852). Samci s modrým krčním lalokem jsou dominantní a agresivně si brání teritorium, zatímco samci s lalokem žlutým vykazují mnohem nižší agresivitu (Taylor a Lattanzio, 2016).

#### 3.1.4.3 Velikost

Velikost potenciálního soupeře ovlivňuje mimo jiné délku souboje nebo míru agresivity. Zvířata s podobnými schopnostmi mohou bojovat mnohem déle a agresivněji, než zvířata rozdílná. Jestliže se ve skupině ryb nachází stejně či podobně velcí jedinci, dochází ke zvýšení agresivních interakcí a destabilizaci sociální hierarchie (Boscolo a kol., 2011). Jak uvádí Beeching (1992), jedinci vrubozubce pavího *Astronotus ocellatus* (Agassiz, 1831) napadají stejně velké či menší ryby, vyhýbají se však větším protivníkům. Jsou-li rozdíly mezi protivníky výrazně velké, trvá souboj kratší dobu, než mezi protivníky vyrovnanými. Podobné mechanismy byly prokázány např. u pavouka skákavky červenonohé *Zygoballus rufipes* (Peckham a Peckham, 1885) (Faber a Baylis, 1993) či mravence lesního *Formica rufa* (Linnaeus, 1758) (Batchelor a kol., 2012). Naopak Reddon a kol. (2013) ve svém výzkumu teritoriálního chování pestřence zubatého *Neolamprologus pulcher* (Trewavas a Poll, 1952) zjistili, že malí jedinci byli více agresivní bez ohledu na velikost jejich oponenta.

#### 3.1.4.4 Početnost, hustota obsazení

Množství jedinců na dané ploše značně ovlivňuje jejich agresivitu. Zvyšující se hustota konkurentů zvyšuje úroveň agresivity, avšak dosáhne-li koncentrace jedinců určité prahové úrovně, agresivita opět poklesne. Náklady na obranu proti takovému množství soupeřů totiž převažují nad výhodami (Huntingford a kol., 2012). Mezi důsledky nadměrné agresivity lze zařadit snižování spotřeby potravy a tím i rychlosti růstu, zvyšování náchylnosti k nemocem, zhoršování kondice apod. (Hecht a Uys, 1997).

#### 3.1.4.5 Sociální zkušenost

Agresivní interakce mohou být ovlivněny i tím, zda se jedná o první či opakované setkání nebo zda se jedinec v předchozím souboji stal vítězem či poraženým. U většiny živočišných druhů platí, že vítězové z minulého boje budou s vyšší pravděpodobností opět vítězové, zatímco poražení budou nejspíš prohrávat i další souboje (Hsu a Wolf, 1999). Předchozí zkušenosti však mění pouze informace, které má jedinec o svých bojových

schopnostech, nikoliv jeho skutečné schopnosti. Při výsledcích samotných soubojů proto rozhodují pouze skutečné schopnosti jedince (Hsu a Wolf, 2001).

Samci čichavce šedého *Trichogaster trichopterus* (Pallas, 1770) byli uměle vystaveni podmínkám, kdy museli hájit svá teritoria. Po třech dnech byl každý vítěz i poražený nucen hájit teritorium proti novému jedinci. Původní vítězové spíše vyhrávali i druhý souboj, zatímco poražení tento druhý střet znovu prohráli (Hollis a kol., 1995). Laskowski a kol. (2016) vystavili geneticky identické jedince živorodky křížené *Poecilia formosa* (Girard, 1859) v prvních dvou měsících života opakovaným výhrám/prohrám. Když tito jedinci dosáhli pohlavní zralosti, zařadili se do hierarchie skupiny. Ti, kteří opakovaně pouze vyhrávali, se ihned zařadili na vrchol hierarchického žebříčku. Opakovaně prohrávající se zařadili do středu, zatímco na konec žebříčku se zařadili jedinci, kteří zažívali výhry i prohry. Johnsson a Akerman (1988) prováděli série pokusů na párech pstruha duhového *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792). Během nich zjistili, že jedinec, pozorující boj dvou jedinců, je schopen se z tohoto pozorování poučit. Při následující interakci s jedním z dvojice se „pozorovatel“ byl schopen rychleji rozhodovat.

### 3.2 Hejnové chování

Nejobecnějším seskupením je sdružení ryb pohybujících se na stejné lokalitě ve skupině. Tato skupina může být nestrukturovaná (různé druhy a velikosti, které se náhodně shromáždily, např. u potravních zdrojů) nebo strukturovaná. Jestliže ve skupině dochází k sociálním interakcím, považujeme ji za hejno (Sloman a kol., 2006). Ryby se mohou hejnovat fakultativně či obligátně. Obligátní hejna tvoří například tuňáci či sardele. Ryby tráví veškerý čas v hejnech a nechtějí být odděleny od skupiny. Fakultativní hejna tvoří např. tresky. Ta vznikají pouze na určitý čas a k danému účelu (např. reprodukce) (Partridge a kol., 1980). Přibližně jedna čtvrtina všech rybích druhů se zdržuje v hejnech po celý život, přibližně jedna polovina alespoň určitou část života (Shaw, 1978).

Nejdůležitějšími smysly, které ryby v hejnu zapojují, jsou bezesporu zrak a systém postranní čáry. Toto umožňuje velice rychlou výměnu informací a následně dokonale koordinované pohyby (Pitcher a Parish, 1993). Jak uvádí např. Engeszer a kol. (2004), ryby jsou schopné poznat jak společníky ze svého hejna, tak i podobně zbarvené jedince v hejnu.

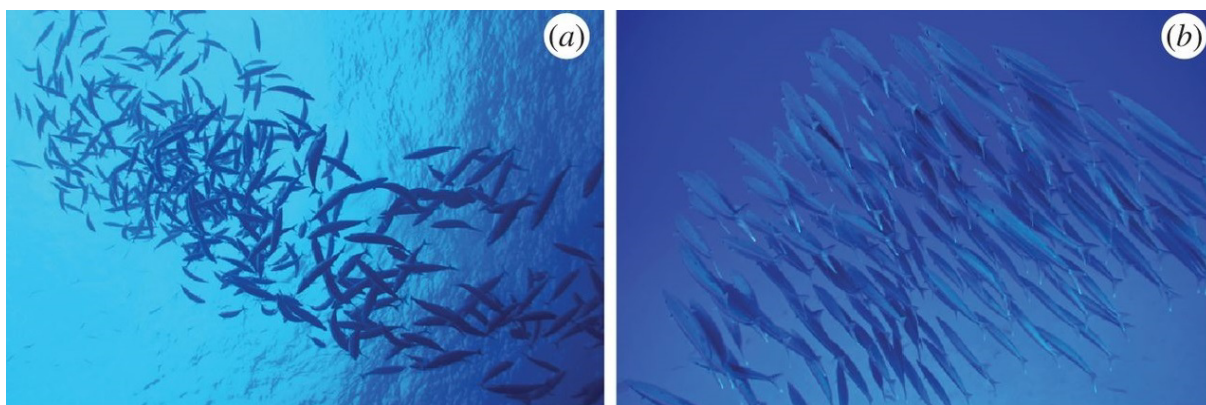
V laboratorních podmínkách bylo pozorováno, že ryby žijící ve skupině vykazují stálejší cirkadiánní rytmy než zvířata izolovaná. Toto bylo dokázáno např. u pakaprovce severního *Catostomus commersonii* (Lacépède, 1803) (Kavaliers, 1980) či karase zlatého *Carassius auratus* (Linnaeus, 1758) (Kavaliers, 1981).



### 3.2.1 Druhy hejnového chování

Do hejnování ryb zahrnujeme jakoukoliv skupinu, která drží pohromadě z určitých sociálních důvodů (tzv. shoaling). V této skupině se ryby pohybují nezávislým směrem, avšak udržují se ve stálé blízkosti ostatních ryb ve skupině. Toto seskupení je typické pro skupiny ryb různých druhů a velikostí. Pokročilejším systémem pak je, pokud ryby plavou synchronně stejným směrem a rychlostí ve shodných vzdálenostech mezi jedinci (tzv. schooling) (Pitcher and Parish, 1993).

Gimeno a kol. (2016) zkoumali rozdíly mezi pohyby hejn dvou sociálních druhů ryb dánia pruhovaného *Danio rerio* (Hamilton, 1822) a neonky černé *Hyphessobrycon herbertaxelrodi* (Géry, 1961) v závislosti na velikosti skupiny, prostředí, či výšce vodního sloupce. Bylo zjištěno, že neonky se pohybují v hejnu synchronně (schooling), zatímco dánia v hejnu nezávisle (shoaling).



Obrázek 1. Skupiny ryb s různým uspořádáním: (a) shoaling; (b) schooling (zdroj: <http://rsfs.royalsocietypublishing.org/content/2/6/693>)

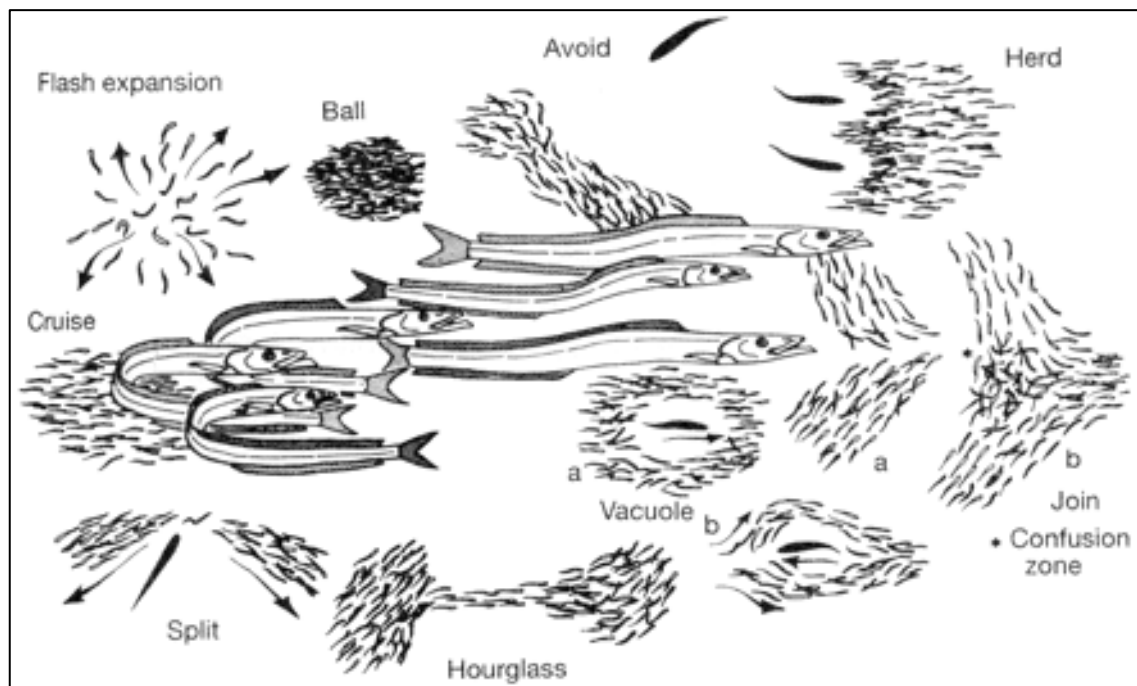
### 3.2.2 Funkce hejna

Ze života v hejně plyne pro zvířata celá řada výhod, například lepší obrana proti predátorům (jejich dřívější detekce a snížení šance, že bude daný konkrétní jedinec uloven), zvýšený úspěch při hledání potravy či společníka (Gimeno a kol., 2016). Ryby si preferenčně vybírají jedince stejného druhu, podobné velikosti a vzhledu (Krause a kol., 2000).

#### 3.2.2.1 Ochrana před predátory

Jak uvádí Milinski a Heller (1978), jednou z možností, jak hejno snižuje pravděpodobnost dopadení predátorem, je obtížnost dopadení individuální kořisti mezi tolika

různými pohybujícími se cíli – tyto mohou způsobit zmatení zraku predátora. Větší hejna ryb také „více vidí“, pozornost je rozložena mezi všechny jedince hejna. Zároveň také pro jednotlivce zbývá více času na ostatní aktivity (Roberts, 1996). Lze také uvažovat o tom, že v čím větším hejnu se jedinec nachází, tím menší je pravděpodobnost, že bude uloven právě tento konkrétní jedinec (Turner and Pitcher, 1986).



Obrázek 2. Příklady koordinovaného pohybu v hejnu sloužícího k obraně proti predátorům (zdroj: <http://www.biolbull.org/content/202/3/296/F2.expansion.html>)

Jestliže nějaká ryba „vyčnívá“ z hejna, zvyšuje se pravděpodobnost, že bude ulovena predátorem (tzv. Oddity effect) (Landeau a Terborgh, 1986). Díky nestejnornému růstu lze v mnoha populacích ryb nalézt širokou škálu různě velkých jedinců. Velikost je často jedním z kritérií výběru společníka v hejnu a stejně tak hejna jsou často velikostně roztříděna. Toto snižuje risk predace pomocí minimalizace fenotypových odlišností a také kompetici mezi různě velkými jedinci hejna (Hoare a kol., 2000). To dokázali také Krause a Godin (1994), kdy jedincům fundula páskovaného *Fundulus diaphanus* (Lesueur, 1817) poskytli možnost vybrat si mezi dvěma hejny různé velikosti a složení během simulovaného ptačího útoku. Testovaní jedinci preferovali větší z obou hejn, avšak pouze jestliže byly ryby v hejnu podobné velikosti. V opačném případě preferovali hejno s podobně velkými jedinci nehladě na velikost samotného hejna.

Hejnování dokáže zmást jak signály postranní čáry, tak i elektrosenzorický systém predátora (Larsson, 2009). Elektrosenzorický systém je dnes známý přibližně u 10 % vodních obratlovců (Hopkins, 2010). Mezi ně patří např. sumci *Siluriformes*, jeseteři *Acipenesriformes*, rejnoci *Rajiformes*, žraloci *Selachii*, chimérotvární *Chimaeriformes* či ocasatí *Urodela* (Collin a Whitehead, 2004). Prostřednictvím elektrorecepce mohou tyto živočichové detekovat objekty ve svém okolí (elektrolokace), nebo je používat k vnitrodruhové komunikaci. Elektroreceptci řadíme společně s mechanoreceptory do tzv. systému postranní čáry (Smith, 1996).

Predátoři používají nejrůznější způsoby jak tyto mechanismy překonat. Například liškoun pelagický *Alopias pelagicus* (Nakamura, 1935) loví kořist pomocí svého ocasu, jímž opakovaně mrská a vytváří tak sloupec bublin (Oliver a kol., 2013). Jiní predátoři, např. delfíni, loví kořist ve skupinách. Jak uvádí Gazda a kol. (2005), ve skupinách delfína skákavého *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821) pozorovaných poblíž Floridy vždy jeden jedinec „naháněl“ kořist ke zbývajícím delfínům, kteří vytvořili jakousi bariéru.

### 3.2.2.2 Zdroje potravy

Jak uvádí Webster a Hart (2006), život ve skupině umožňuje jednotlivcům najít snadněji potravu, ale zároveň může v rámci skupiny docházet ke kompetici o potravní zdroje. Jednotlivci se zvýšenou rychlostí metabolismu pak mohou vykazovat sníženou socialitu, aby co nejvíce snížili kompetici s ostatními jedinci (Killen a kol., 2016). Příkladem mohou být jedinci pavouka třesavky jižní *Holocnemus pluchei* (Scopoli, 1763). Ti mohou žít jak sami, tak ve skupině dalších třesavek. Bylo dokázáno, že jestliže jsou součástí skupiny, přijímají méně potravy, než jsou-li bez skupiny. Ve skupině získal potravu ve většině případů největší pavouk. Navzdory tomu se pavouci nacházeli častěji ve skupině, a to díky vysokým energetickým nákladům na utkání sítí (Jakob, 1991).

Jak uvádí Sloman a kol. (2006), ryby, které jsou součástí velkých hejn, jsou neochotné je opustit, jelikož tato větší hejna poskytují větší ochranu. Nicméně ryby z menších hejn jsou méně nuceny zůstat pohromadě, což poskytuje větší příležitost k pátrání po potravě pro jednotlivce. Day a kol. (2001) prováděli výzkum na jedincích živorodky duhové *Poecilia reticulata* (Peters, 1859). Zjistili, že jestliže hejno o místě se zdroji potravy nemělo informace, menší skupiny ryb toto místo byly schopny najít rychleji než větší skupiny. Jestliže však byl zdroj potravy viditelný skrze průhlednou bariéru, byl nalezen rychleji větší skupinou. U čeledi kaprovitých *Cyprinidae* bylo zjištěno, že čím je větší skupina ryb, tím rychleji je schopna nalézt potravu (Pitcher a kol., 1982). Krause a kol. (1992) uvádí, že v hejnu plotice obecné

*Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758) se nejvíce hladoví jedinci vyskytovali častěji v čele hejna spolu s dobře živěnými společníky, čímž získali lepší přístup k potravním zdrojům.

### 3.2.2.3 Rychlost metabolismu

Mnohá zvířata žijí ve skupinách kvůli tzv. „uklidňujícímu efektu“ (*calming effect*) na jednotlivce, kdy dochází k celkovému snížení stresu a bdělosti a tím k pomalejšímu metabolismu (Nadler a kol., 2016; Parker, 1973). Toto dokazuje např. Lefrancois a kol. (2009), porovnávající dechovou aktivitu a aktivitu obecně u jedinců cípala zlatého *Liza aurata* (Risso, 1810). V hejnu byla aktivita ryb vyšší než u jednotlivců, avšak dechová frekvence byla shodná. Jiným příkladem může být výzkum prováděný na laboratorní myši domácí *Mus musculus* (Linnaeus, 1758) a pískomilovi mongolském *Meriones unguiculatus* (Milne-Edwards, 1867), kdy byl dokázán vyšší metabolismus jedinců testovaných individuálně (Martin a kol., 1980). Výkyvy počasí jako bouře a následné záplavy mohou vést k narušení skupiny a následné izolaci jedince. Tito izolovaní jedinci poté mají vyšší hladiny stresových hormonů a také vyšší výdej energie (Yoon a kol., 2011). Abrahams a Colgam (1985) dokázali, že je-li ryba odstraněna z hejna, má vyšší dechovou frekvenci než ryby zůstávající v hejnu. Nadler a kol. (2016) pak uvádí, že přítomnost v hejnu u sapínů zelených *Chromis viridis* (Cuvier, 1830) snížila rychlost metabolismu, zatímco izolace jedince od hejna způsobila snížení tělesné kondice ve srovnání s jedinci, kteří zůstali součástí hejna. Jiným příkladem může být snížená energie potřebná k pohybu, jestliže se ryba nachází v hejnu. Bylo dokázáno, že ryby v hejnu mají nižší spotřebu kyslíku a také jim stačí méně pohybu ocasním svalstvem než rybám soliterním (Hemelrijk a kol., 2015). Obdobně šetří energii ptáci letící v hejnu (Weimerskirch a kol., 2001) či myši při termoregulaci (Scantlebury a kol., 2006). Jedinci dánie pruhovaného *Danio rerio* (Hamilton, 1822) v hejnu se šíří ve větším prostoru více a zároveň disperze hejna je závislá na tomto prostoru (Shelton a kol., 2015).

### 3.2.2.4 Ochrana před parazity

Parazité mohou ovlivňovat normální vzory chování u ryb celou řadou způsobů (Sloman a kol., 2006). Bylo prokázáno, že ryby napadené parazity jsou často neatraktivní pro společníky v hejnu při sociálních interakcích. Například ve výzkumu Rosenqvista a Johanssona (1995) se samci jehly mořské *Syngnathus typhle* (Linnaeus, 1758) vyhýbali samicím napadeným parazity, projevujícími se viditelnými černými skvrnkami na pokožce. V jiném výzkumu na jelečkovi velkohlavém *Pimephales promelas* (Rafinesque, 1820) bylo dokázáno, že se hejna jedinců napadených motolicí *Ornithodiplostomum ptychocheilus*

(Faust) rozdělovala častěji, byla méně kompaktní a častěji se vyskytovala u hladiny než kontrolní nenakažené ryby (Radabaugh, 1980).

Někteří parazité jsou přenášeni přímým kontaktem mezi jedinci. Hladiny infekcí těmito parazity jsou nejvyšší u zvířat, patřících do velkých v těsné blízkosti se pohybujících skupin (Brown a Brown, 1986). Jiní parazité mají vysoce mobilní infekční stádia, která aktivně hledají hostitele. V těchto případech naopak může být výskyt v hejnu výhodou (s podobnými principy jako při ochraně před predátory) (Rutberg, 1987). Poulin a FitzGerald (1989) zkoumali hypotézu, že větší hejna juvenilních jedinců koljušky tříostné *Gasterosteus aculeatus* (Linnaeus, 1758) či koljušky tečkované *Gasterosteus wheatlandi* (Putnam, 1867) snižují risk napadení ektoparazitem *Argulus canadensis* (Wilson, 1616). Bylo zjištěno, že se zvětšující se velikostí hejna se snižoval průměrný počet napadení jednotlivce daným parazitem, avšak nedošlo k žádnému negativnímu efektu na úspěšnosti parazita. Zároveň ve velkých hejnech byla větší přítomnost těchto parazitů. V jiném výzkumu zjistili Brown a Brown (1986), že u koloniálně hnízdících vlaštovek pestrých *Hirundo pyrrhonota* (Vieillot, 1817) vzrůstalo množství štěnic *Oeciacus vicarius* (Horvath, 1912) a blech *Ceratophyllus celsus* (Jordan, 1926) v hnízdě v souvislosti s hustotou a velikostí hnízdní kolonie.

### 3.2.3 Soudržnost hejna

Rybí hejna se liší svou soudržností při určitých podmínkách, jako je riziko predace, velikost hejna či nedostatek potravních zdrojů. Při výzkumech s jedinci jelečka *Pimephales notatus* (Rafinesque, 1820) bylo zjištěno, že soudržnost se zvyšovala společně se zvětšováním hejna a benefitů na jednotlivce a zároveň také objevil-li se v blízkosti hejna predátor. Naopak soudržnost hejna klesala, jestliže se snižovalo množství dostupných potravních zdrojů (Morgan, 1988). Killen a kol. (2016) prováděli výzkum s parmičkami *Spinibarbus sinensis* (Bleeker, 1871). Jedna skupina byla 21 dní bez potravy, druhá byla standardně krmena (kontrolní). Kontrolní ryby ukázaly sníženou společenskost při kontaktu s rybami z hejna bez potravy. Toto zjištění bylo v kontrastu s předchozími zjištěními, že jedinci bez potravy po několika dnech sníží socialitu s ostatními členy svého druhu.

V jiném výzkumu bylo zjištěno, že v hejnu danií pruhovaných *Danio rerio* (Hamilton, 1822) docházelo k pravidelným oscilacím v pohybu ryb blíže a dále od svých společníků v časových intervalech 10 – 15 sekund, což bylo v rozporu s tvrzeními, že soudržnost hejna závisí na výše uvedených podmínkách jako je predace, velikost nebo potrava (Miller a Gerlai, 2008).

Andorfer (1980) vysvětluje, že jakmile je hejnem spatřen predátor, hejno se stává více soudržné. Toto přetrvává ještě určitý čas po tom, co již predátor není v dohledu. Jak uvádí Hoare a Krause (2003), formování sociální struktury v hejnu je nenáhodné, se sklony k třídění podle fenotypu jedinců ve skupině. Frekvence setkání hejn je vysoká u druhů sladkovodních a nižší u druhů pelagických.

### 3.2.3.1 Vedoucí postavení v hejnu

Jedinec s vedoucím postavením v hejnu může být definován jako ten, jenž zahájí nový směr pohybu a je pak následován ostatními členy skupiny. Tento pohyb může zahájit jednatlivec (Bumann a Krause, 1993) i několik jedinců (Huth a Wissel, 1992). Krause a kol. (2000) popisuje, že ryby s vedoucím postavením se často vyznačují větší délkou těla a nižším výživovým stavem. Dále uvádí, že je možné, že se ryby účinně střídají ve vůdčí pozici. Např. hladová ryba zaujímá vůdčí pozici pouze na dobu, po kterou hejno znovu získá potravní zdroje. Také Bumann a Krause (1993) předpokládají, že rybí hejna mohou mít vůdce po určité časové období. To může být způsobeno např. tím, že někteří členové skupiny mohou mít informace o výskytu zdrojů potravy, kterými ostatní nedisponují. Jejich následování je tedy pro zbytek hejna prospěšné (Reebs, 2000).

	<b>Vedení</b>	<b>Následování</b>
<b>výhody</b>	snížená pravděpodobnost konfliktu	snížení energetických výdajů
	Volba směru	více času na shánění potravy a sociální interakce
	vysoký příjem potravy	nízký risk predace
	přístup k nejlepším zdrojům	přístup k informaci dočasného a/nebo prostorově omezeného zdroje
	přístup k nebezpečným místům v bezpečí skupiny	
<b>náklady</b>	vysoký risk predace	nižší příjem potravy
	vysoké energetické výdaje	redukovaný přístup k vysoce kvalitním zdrojům
	méně času na sociální interakce a shánění potravy	potenciální konflikt mezi volbou jednotlivce a skupiny

Tabulka 1. Potenciální výhody a náklady vedení a následování v rybím hejnu. (Upraveno dle: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1467-2979.2000.tb00001.x/full>)

Toto vedoucí postavení v hejnu bylo popsáno u celé řady druhů, např. u koljušky tříostné *Gasterosteus aculeatus* (Linnaeus, 1758) (Bumann a Krause, 1993), tetry *Aphyochara erythrurus* (Eigenmann, 1912) (Gueron a kol., 1996) nebo střevle potoční *Phoxinus phoxinus* (Linnaeus, 1758) (Partridge, 1980).

### 3.3 Znečištění vod v ČR

Z dlouhodobého hlediska je v České republice patrné zlepšování kvality povrchových vod a to zejména z pohledu tzv. klasických polutantů. Například organické znečištění se od 90. let 20. století v důsledku rozšíření čistíren odpadních vod snížilo o desítky procent, což se projevilo např. výrazným zvýšením okysličení na dolním a středním toku Labe (Horký, 2015). Patrný je rovněž pokles rizika kontaminace těžkými kovy, polycyklickými aromatickými uhlovodíky (PAH), polychlorovanými bifenyly (PCB) nebo dichlordifenyltrichlorethanem (DDT) v důsledku snížení jejich produkce a zlepšení účinnosti čističek odpadních vod. Tyto látky však zůstávají významnými znečišťujícími činiteli zejména na dolních tocích velkých řek protékajících průmyslovými oblastmi, kde působí především v důsledku jejich uvolňování ze sedimentů. Během výzkumu toxicity ryb prováděného v období 2006 – 2010 bylo dokázáno, že nejdůležitějším kontaminantem nalezeným v mase ryb je ve volných vodách ČR rtuť (Randák a kol., 2006).

S poklesem rizik plynoucích ze znečištění vod klasickými polutanty ale souběžně rostou rizika související s výskytem řady nových látek ve vodním prostředí, jako jsou zbytková farmaceutika nebo tzv. zboží denní potřeby (např. kosmetické přípravky) (Hanselman a kol., 2003). Nejvyšší koncentrace těchto látek jsou nalézány v malých až středních tocích a to zejména v důsledku jejich malého průtoku a související snížené schopnosti ředit do nich přitékající odpadní vody (Li a kol., 2011).

### 3.4 Psychoaktivní látky

Psychoaktivní látka (jinak také psychotropní či psychofarmaceutická látka, návyková látka, droga) je chemická látka, která působí na centrální nervovou soustavu a to zejména na mozek, tedy na vnímání, nálady a celkový psychický stav organismu (Seth a Seth, 2009). Jako příklady změn chování se zřejmým přímým ekologickým efektem můžeme uvést příjem potravy, sociální chování, úspěšnost při páření a následnou rodičovskou péči. Změny v těchto typech chování mají přímé důsledky pro fitness jedince (Gross, 2005; Scott a Sloman, 2004; Werner a Hall, 1988).

Psychiatrické látky jako anxiolytika (proti úzkosti), sedativa, hypnotika, či antidepresiva jsou nejvíce předepisovaná léčiva na celém světě. Společně s dalšími farmaceutiky vstupují do vodních zdrojů, a to za pomoci průmyslové výroby a lidské exkrece, veterinárního užití, akvakultury či zemědělství (Lagesson a kol., 2016). Díky tomu je lze nalézt napříč celým životním prostředím (odpadní, povrchové, podzemní a pitné vody, půdy, sedimenty, tkáně živočichů). Jejich vysoká odolnost a toxicita pro necílové organismy zapříčiňuje rostoucí obavy z jejich schopnosti znečišťovat prostředí (Calisto a Esteves, 2009; Chiffre a kol., 2016). Benzodiazepiny, které se používají na léčbu úzkosti, nespavosti či svalových křečí (Tallman a kol., 1980) přetrvávají v odpadních vodách v koncentracích od 0,01 do několika mg na litr. Některé benzodiazepiny (oxazepam, diazepam, lorazepam alprazolam) jsou také odolné vůči fotodegradaci (Calisto a kol., 2011).

Alygizakis a kol. (2016) uvádí, že během studie výskytu léčiv ve východní části Středozemního moře byla prokázána přítomnost několika těchto léčiv jako je citalopram či tramadol ale i antibiotik, např. amoxicilinu, či anestetika lidokainu v mořské vodě. Jiný výzkum probíhal v Indii, kdy byly odebrány vzorky z čističek odpadních vod v blízkosti výroben léků. Všechny tyto vzorky byly kontaminovány léčivy, např. citalopramem, enoxacinem nebo ciprofloxacinem. Golovko a kol. (2014) zkoumali koncentrace 21 látek ve vzorcích odebraných z čističek odpadních vod v České republice. U citalopramu byly zjištěny koncentrace v průměru 0,073-0,083 µg/l. Znamky po přítomnosti těchto léčiv byly nalezeny v povrchových vodách (Minagh a kol., 2009), podzemních vodách (Silva a kol., 2012) i v mořské vodě (Pait a kol., 2006). Ford a Fong (2015) ve svém výzkumu zjistili, že se koncentrace antidepresiv ve vodním prostředí pohybují v hodnotách nanogramů až mikrogramů na litr, přičemž nejčastěji se vyskytují pod hodnotou 100ng/l. Richmond a kol. (2016) dále ve svém výzkumu uvedli, že nejnižší koncentrace, u kterých bylo prokázáno, že ovlivňují vodní bezobratlé, je 20 µg/l.

Kromě vlivu psychoaktivních látek na chování vodních živočichů mohou také koncentrace antibiotik zvyšovat rezistenci (Fick a kol. 2009). V jiném výzkumu bylo dokázáno, že u samců bojovnice pestré *Betta splendens* (Regan, 1910) při vystavení látce fluoxetinu (540 ng/l) klesala míra specifického teritoriálního chování po vytření a vylíhnutí potěru. To může negativně ovlivňovat obranné chování během rodičovské péče a následně reprodukční úspěch a populační dynamiku daného druhu (Forsatkar a kol., 2014).

Znečišťování životního prostředí léčivy je považováno za hlavní hrozbu pro vodní ekosystémy po celém světě. Je obecně pouze malé povědomí o ekologických důsledcích léčiv v povrchových vodách. Např. benzodiazepinový lék oxazepam (anxiolytikum) mění chování a



rychlost příjmu potravy okouna říčního *Perca fluviatilis* (Linnaeus, 1758). Při koncentraci látky 1,8 mikrogramu na litr vykazovali jedinci zvýšenou aktivitu, snížené sociální chování a zvýšený příjem potravy. Je tedy dokázáno, že anxiolytika v povrchových vodách mění chování, která mají ekologické a evoluční důsledky (Brodin a kol., 2013). Brodin a kol. (2014) uvádí, že behaviorální účinky léčiva se mohou lišit mezi druhy. Během zkoumání vlivu benzodiazepinů na okouna říčního *Perca fluviatilis* (Linnaeus, 1758) a jeho bezobratlou kořist šidélko kopovité *Coenagrion hatulatum* (Charpentier, 1825) byl prokázán vliv na chování okouna, zatímco chování jeho kořisti nebylo ovlivněno. Brodin a kol. (2014) dále uvádí, že v běžných programech monitorujících koncentrace psychoaktivních látek ve vodních tocích není zahrnuto pozření exponované kořisti predátorem, kdy se v průměru 45 % látky nahromaděné v kořisti nadále akumuluje v predátorovi.

### 3.4.1 Citalopram

Citalopram je antidepresivní lék, který působí zpětným vychytáváním serotoninu ze synaptické štěrby (patří do skupiny selektivních inhibitorů zpětného vychytávání serotoninu – SSRI) (Seth a Seth, 2009). Koncentrace serotoninu ovlivňuje jak fyziologii (Meston a Frohlich, 2000) tak i chování u celé řady organismů, včetně ryb (Gunnarsson a kol., 2008). Hraje klíčovou roli v hladinách agresivity, v reprodukčním chování i v aktivitě (Kreke a Dietrich, 2008). Díky tomu, že je citalopram vysoce lipofilní, lze jej často nalézt v čistírnách odpadních vod či v povrchových vodách po celém světě. Koncentrace citalopramu a dalších selektivních inhibitorů, které se běžně vyskytují v přírodě, prokazatelně ovlivňují chování ryb a dalších organismů (Kellner a kol., 2016).

Bylo prokázáno, že u samců kněžníka dvoupruhého *Thalassoma bifasciatum* (Bloch, 1791) snížila antidepresiva teritoriální agresivitu (Perreault a kol., 2003), u bojovnice pestré *Betta splendens* (Regan, 1910) pak agresivní chování a pohyblivost (Kohlert a kol., 2012). Některá farmaceutika mají potenciál měnit socialitu jedinců a tím i jejich tendenci tvořit hejna (Brodin a kol., 2013). Jedinci koljušky tříostné *Gasterosteus aculeatus* (Linnaeus, 1758) vystavení určitým koncentracím citalopramu vykazovali vyšší pohybovou aktivitu než kontrolní ryby (Kellner a kol., 2016) a změněné potravní chování (Kellner a kol., 2015). Podobně při vystavení citalopramu i dalším anxiolytikům (oxazepam) vykazoval plůdek medaky japonské *Oryzias latipes* (Temminck a Schlegel, 1846) zvýšenou aktivitu (Chiffre, 2016).

Fong a Molnar (2013) uvádí, že koncentrace antidepresiv, včetně citalopramu, mohou způsobovat oddělení nohy mořských mlžů (např. kotoučovití *Trochidae*, donkovití *Turbinidae*) od substrátu, a to v závislosti na koncentraci daných látek. Podobně je tomu i u

mlžů sladkovodních, např. *Leptoxis carinata* (Bruguière, 1792) (Fong a Hoy, 2012). Henry a kol. (2004) uvádí, že u druhu břichatky *Ceriodaphnia dubia* (Richard, 1894) citalopram negativně ovlivnil reprodukční chování, avšak pouze v koncentracích mnohem vyšších než těch očekávaných v prostředí. Taktéž Richmond a kol. (2016) prokázali vliv citalopramu na vývojové cykly hmyzu a to konkrétně dvoukřídlých *Diptera* (Linnaeus, 1758). Minguez a kol. (2013) zkoumali vliv nejpoužívanějších depresiv (amitriptylin, clomipramin, citalopram, paroxetin) na imunokompetenci ušně mořské *Haliotis tuberculata* (Linnaeus, 1758). Bylo zjištěno, že citalopram prokázal nejnižší účinky, amitriptylin byl nejúčinnější.

Holmberg a kol. (2015) naopak nedokázali významný vliv na agresi či chování plůdku pstruha duhového *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) či samce živorodky duhové *Poecilia reticulata* (Peters, 1859), kdy během pokusu jedince vystavili běžným koncentracím citalopramu. Neprokázaní vlivu může být vysvětleno právě relativně nízkou koncentrací účinné látky, případně krátkou dobou jejího působení. Lesch a Merschdorf (2000) dále uvádí, že mezi hladinami serotoninu a agresivitou byla prokázána negativní korelace.

## 4 Shrnutí úvodní části, odvození hypotéz

V úvodní části bylo popsáno, že agresivita je typ chování, který jednomu nebo více jedincům pomáhá zajistit nedostatkové zdroje, zatímco druhému jedinci působí škodu. Konkrétně u ryb pak dochází zejména k bojům o potravu, partnery či reprodukční plochu. Ne vždy končí interakce mezi jedinci přímo soubojem. Častěji dochází k situaci, kdy si protivníci pouze hrozí prostřednictvím nejrůznějších postojů a ceremoniálů. Toto se většinou obejde bez zranění a účastníci zároveň ušetří energetické zásoby. Agresivní interakce ovlivňuje celá řada faktorů, mezi něž řadíme například dostupnost potravních zdrojů, zbarvení jedinců, jejich velikost, hustotu obsazení daného místa či předchozí sociální zkušenost.

Dalším mechanismem chování může být utváření skupin zvířat a následná soudržnost této skupiny. Skupiny mohou vznikat strukturované či nestrukturované (náhodné). Dochází-li ve skupině k sociálním interakcím, můžeme ji považovat za hejno. V hejnu dochází k velice rychlému přenosu informací a následné koordinované činnosti. Ze života v něm plyne pro zvířata mnoho výhod. Mezi ně řadíme například lepší obranu proti predátorům, snadnější nalezení potravy (ale zároveň ve skupině získávají jedinci méně potravy), snížení stresu a tím zpomalení metabolismu, nižší míra nakažení parazity s mobilními infekčními stádii (ale naopak vyšší míra napadení parazity, kteří se přenášejí přímým kontaktem). Rybí hejna se taktéž liší soudržností dle podmínek jako je velikost tohoto hejna či nedostatek potravy.

Psychoaktivní látky jako antidepresiva patří mezi nejčastěji předepisovaná léčiva vůbec. Tyto látky ovlivňují chování vodních živočichů působením na centrální nervovou soustavu. Agresivní chování i utváření hejn a jejich soudržnost mohou být ovlivněné působením psychoaktivních látek, které se běžně vyskytují ve vodních zdrojích.

Na základě těchto poznatků byly odvozeny hypotézy že:

- soudržnost hejna ryb vystavených působení citalopramu se bude lišit,
- ryby vystavené citalopramu budou vykazovat odlišnou míru agresivního chování než ryby kontrolní.

## 5 Experiment

### 5.1 Pokusná zvířata

Během experimentu byli využiti juvenilní jedinci jelce tlouště. Tito byli rozděleni na 2 skupiny: experimentální (vystavenou látce) a kontrolní. Každá ze skupin byla umístěna do jiné laboratoře, aby bylo zamezeno ovlivnění kontrolní skupiny výpary dané chemické látky. V obou laboratořích byly skupiny rozděleny do dvou 200l akvárií. V nádržích bylo udržováno umělé osvětlení v režimu 12:12 (světlo/tma). Ryby byly jednou denně krmeny granulovaným krmivem, denně pak byly také měřeny parametry vody. Každý druhý den se ve všech akváriích měnilo 150 l z objemu vody, jelikož nemohl být používán filtr, aby se neporušila koncentrace látky. Následně bylo experimentální skupině (do dvou nádrží) přidáno léčivo citalopram v určené koncentraci 1 µg/l.

#### 5.1.1 Jelec tloušť

Jelec tloušť *Squalis cephalus* (Linnaeus, 1758) ze třídy paprskoploutví *Actinopterygii*, z řádu máloostní *Cyprinidae*, z čeledi kaprovití *Cyprinidae* je středně velká sladkovodní ryba, která může dosahovat celkové délky těla až 60 cm a hmotnosti okolo 5 kg. Barva těla je zelenohnědá, hřbet je tmavší, spodní strana světlejší. Břišní ploutve a výrazně zaoblená řitní ploutev jsou u dospělců zbarveny jasně červeně (Baruš a Oliva, 1995). U dospělých jedinců stejného stáří je možné na základě velikosti rozlišit pohlaví z důvodu odlišné velikosti samice a samce – samice dosahují větších rozměrů (Libosvářský a Baruš, 1978).



Foto 1. Jelec tloušť – dospělý jedinec

Tloušť se vyskytuje takřka ve všech typech vod od nižších pstruhových úseků po velké toky typu Labe. Areál výskytu se rozprostírá téměř přes celou Evropu. Je považován za všežravce, který využívá různé zdroje potravy (Baruš a Oliva, 1995).

## **5.2 Popis pokusu**

Základem experimentu bylo vystavení pokusné skupiny léčivu citalopramu v předem dané koncentraci 1 µg/l. Experiment probíhal po dobu 8 týdnů, přičemž ryby byly látce vystaveny po dobu šesti týdnů, poslední dva týdny docházelo k purifikaci organismu ryb. Testovací dny byly ihned první den, poté 24 hodin po expozici a následně po prvním, třetím, šestém a osmém týdnu. Kromě testu na agresivitu a soudržnost hejna probíhaly na rybách ještě 4 odlišné výzkumy. Každá série testování byla realizována na osmi exponovaných a osmi kontrolních jedincích. Po ukončení pokusu byly jednotlivé ryby usmrceny, změřeny, zváženy a zamraženy pro analýzu koncentrace dané látky v těle.

## **5.3 Metodika**

Na začátku testu bylo z každé skupiny náhodně vybráno 8 jedinců. Test probíhal ve dvou 5l obdélníkových akváriích vzájemně se dotýkajících delší stranou. Do jednoho akvária byla vložena hlavní (experimentální/kontrolní) ryba, do druhého byli umístěni 3 náhodně vybraní jedinci (experimentální/kontrolní). Pokus snímaly dvě kamery: jedna shora, dle které bylo posléze vyhodnocováno prostorové rozmístění jedinců vůči sobě; druhá z boku, blíže k experimentální rybě, dle které byly vyhodnocovány jednotlivé projevy agresivního chování. Natáčení probíhalo po dobu 6 minut a postupně bylo pořízeno od všech šestnácti testovaných jedinců, přičemž tři sparing partneři ze sousedního akvária byli vyměněni při každém otočení. Celkem tedy bylo pořízeno 96 videí, která byla následně zpracována pomocí programu Microsoft Office Excel a Etholog.

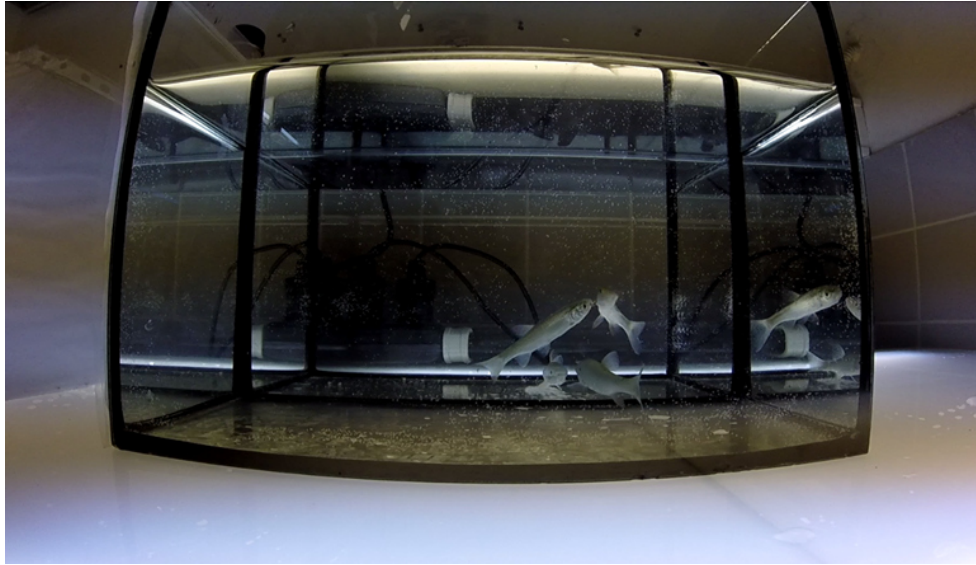


Foto 2. Experimentální akvária při pohledu z boku



Foto 3. Experimentální akvária při pohledu shora

## 5.4 Statistická analýza

Zpracování a analýza dat byly realizované pomocí programu SAS verze 9.4 (Statistical Analyses System; [www.sas.com](http://www.sas.com)). Data o agresivitě sledovaných jedinců v jednotlivých částech experimentální nádrže byla analyzována jako celkový počet jednotlivých projevů jedince, zatímco data o vzdálenosti jako kategorická vzdálenost nabývající hodnot od nuly do tří (nula = přímý kontakt). Vzhledem k odlišnému charakteru těchto dvou proměnných byl pro každou z nich použitý odlišný model. Agresivita byla vyhodnocená procedurou GLIMMIX s Poissonovým rozdělením, zatímco vzdálenost byla vyhodnocená procedurou GLIMMIX s multinomiálním rozdělením. V obou procedurách byly závislé proměnné modelované se započítáním náhodných faktorů identifikujících jedince v průběhu pokusu.

## 6 Výsledky

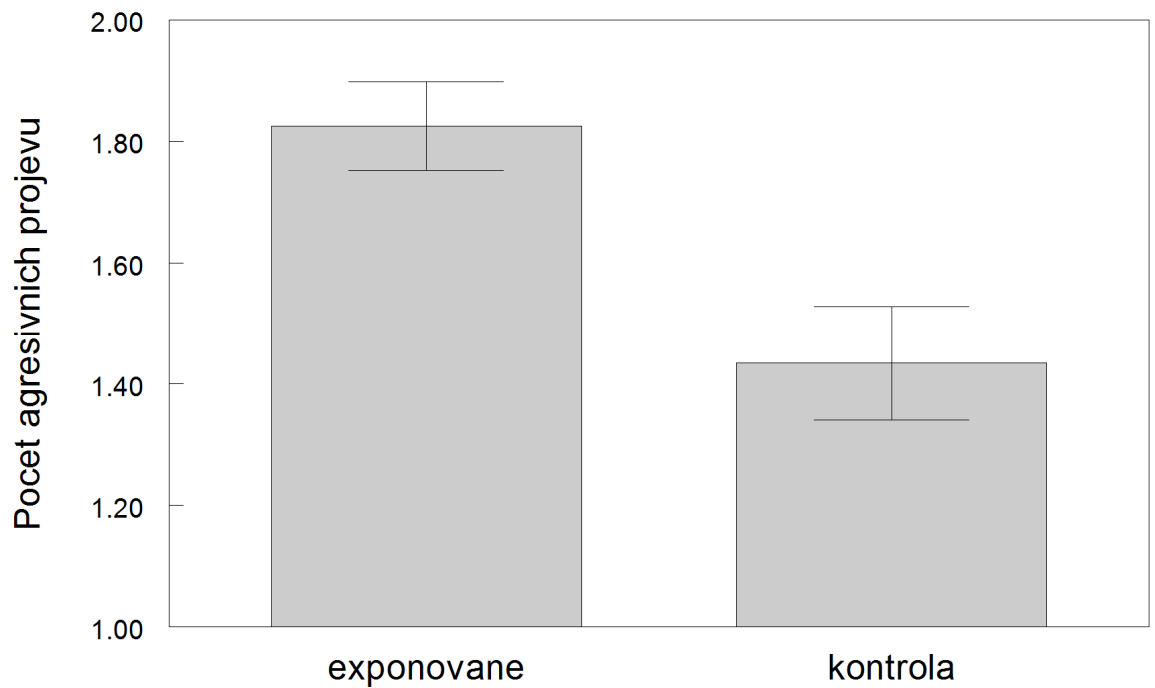
V průběhu realizace celé série testů bylo zaznamenáno 725 různých projevů agresivního chování a bylo vyhodnoceno více než dvacet tisíc vzájemných vzdáleností použitých jako ukazatel soudržnosti hejna.

Během pokusu bylo zaznamenáno, že exponovaní tloušti byli celkově více agresivní ( $F_{1, 114.5} = 10.78$ ,  $P < 0.0014$ ; Obr. 1). Dále byla sledována a zaznamenávána četnost 4 typů chování (lateralizace, kruhové plavání, vertikální plavání, přímý útok). Prokazatelně vyšší počet jednotlivých typů chování byl u exponovaných tloušťů nalezen v případě lateralizace, přímého útoku i vertikálního plavání ( $F_{6, 201} = 35.16$ ,  $P < 0.0001$ ; Obr. 2; Adj.  $P < 0.01$ ). U intenzity kruhového plavání nebyl mezi exponovanými a kontrolními jedinci nalezen rozdíl (Adj.  $P = 1.00$ ). Den experimentu (tj. 1, 7, 21, 42 a 56 den od zahájení expozice) neměl na agresivitu prokazatelný vliv.

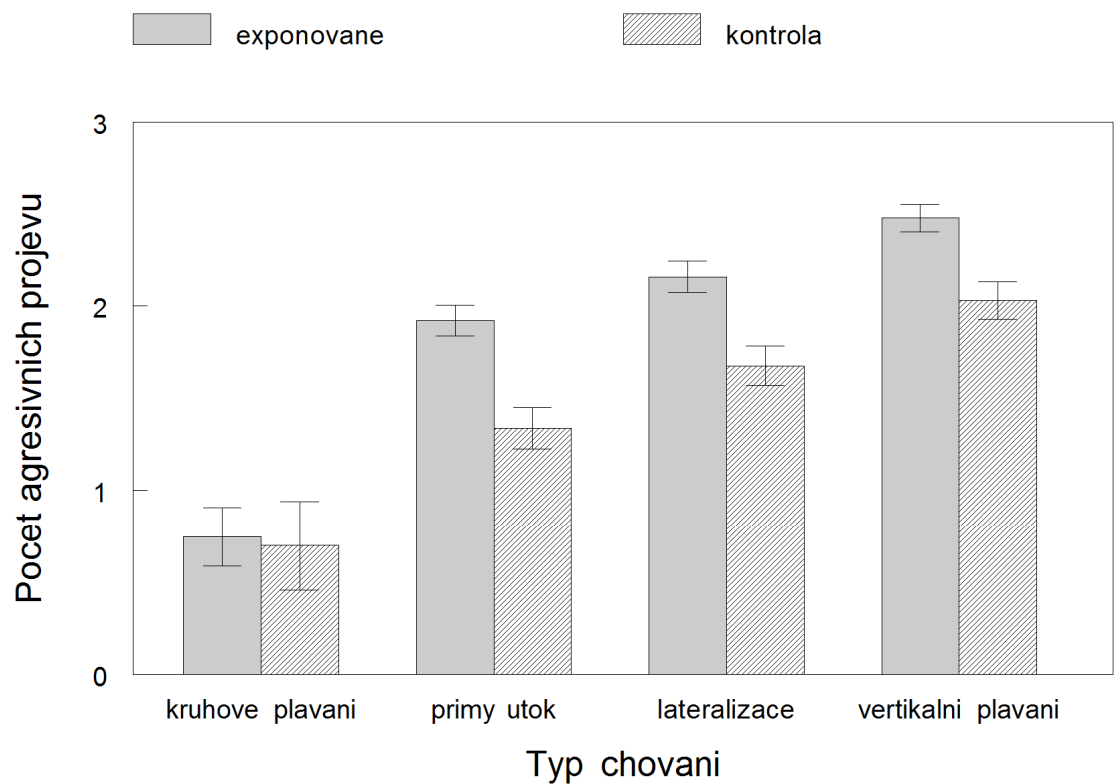
Exponovaní tloušti mezi sebou udržovali větší vzdálenost ( $F_{9, 429.8} = 4.93$ ,  $P < 0.0001$ ; Obr. 3). Jinými slovy bylo experimentální hejno exponovaných ryb méně soudržné. Menší soudržnost hejna se projevovala od začátku do konce expozice (tj. 1 – 42 den; Adj.  $P < 0.05$ ). Po dvoutýdenní depuraci, tj. 56 den od zahájení experimentu, nebyl mezi soudržností exponovaných a kontrolních ryb nalezený rozdíl (Adj.  $P > 0.1$ ).



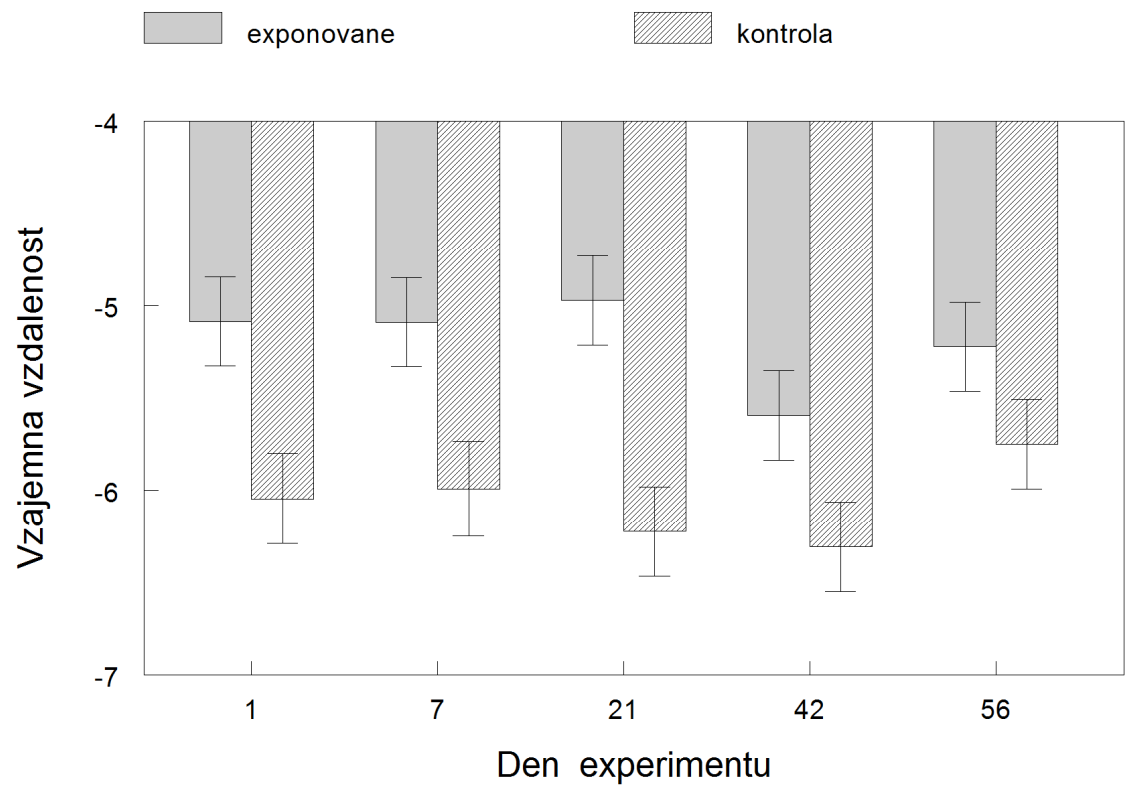
Graf č. 1 popisuje celkový počet agresivních projevů kontrolních a exponovaných jedinců jelce tlouště.



Graf č. 2 ukazuje počet agresivních projevů kontrolních a exponovaných jedinců jelce tlouště podle jednotlivých typů chování.



Graf č. 3 popisuje vzájemnou vzdálenost kontrolních a exponovaných jedinců jelce tlouště v experimentálních hejnech v průběhu pokusu.



## 7 Diskuze

V této diplomové práci jsme zkoumali možné ovlivnění chování jelce tlouště *Squalis cephalus* (Linnaeus, 1758) antidepresivem citalopramem v environmentálně relevantní koncentraci. Jmenovitě se experiment zabýval ovlivněním agresivních projevů a soudržnosti hejna. Bylo zjištěno, že jedinci vystavení citalopramu byli agresivnější než jedinci kontrolní. Zvýšený výskyt agresivního chování u jedinců vystavených citalopramu může potvrzovat domněnku, že jsou jedinci zároveň i méně sociální. Důsledkem toho může být například zvýšení rizika zranění jedince, snížení reprodukční úspěšnosti nebo efektivity rodičovské péče, čímž je ovlivněno celkové fitness jedince (Gross, 2005; Scott a Sloman, 2004; Werner a Hall, 1988).

Naše výsledky s vyšším výskytem agresivních interakcí u exponovaných jedinců jsou v rozporu s výzkumem Kellnera a kol. (2016), který sice dokázal u jedinců koljušky tříostné *Gasterosteus aculeatus* (Linnaeus, 1758) po vystavení citalopramu vyšší pohybovou aktivitu, avšak v agresivním chování nebyly nalezeny statisticky významné rozdíly oproti kontrolním jedincům. Podobně Holmberg a kol. (2011) nedokázali vliv na míru agresivních interakcí jak u plůdku pstruha duhového *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) tak u samce živorodky duhové *Poecilia reticulata* (Peters, 1859). Tyto rozdíly mohou být způsobeny mezidruhovou variabilitou v agresivních projevech, ale i odlišným charakterem sběru dat. V současné práci bylo během osmi týdnů pokusu realizováno sledování opakovaně, zatímco v předchozích studiích se jednalo o jednorázové experimenty.

Díky tomu, že se jelec tloušť přirozeně vyskytuje v téměř všech typech vodních toků, lze předpokládat, že podobné odlišnosti v chování budou tloušti vykazovat v celé říční síti České republiky. Nicméně toto zobecnění nelze jednoznačně vztáhnout na celá společenstva ryb. Vzhledem k mezidruhovým odlišnostem ve schopnosti akumulovat různé látky je možné předpokládat, že se bude taktéž lišit i míra ovlivnění chování. To dokazují např. Lagesson a kol. (2016), kteří zkoumali akumulace pěti farmaceutik (diphenhydramin, oxazepam, trimethoprim, diclofenac a hydroxyzin) v jedincích okouna říčního *Perca fluviatilis* (Linnaeus, 1758) a čtyřech druzích bezobratlých. Zjistili, že existují rozdíly v akumulaci jak mezi jednotlivými léčivými, tak mezi jednotlivými živočišnými druhy. V jiném výzkumu bylo zjištěno, že u jedinců pstruha duhového *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) vystavených odpadním vodám z čistírny odpadních vod, byl nalezen citalopram, sertralin a venlafaxin u většiny ryb ve tkáni mozku a jater, nikoliv v plazmě či svalch (Grabicova a kol., 2014). V důsledcích působení psychoaktivních látek na vodní živočichy se taktéž mohou vyskytovat

sezónní výkyvy vzhledem ke změnám koncentrací látek ve vodním prostředí. To potvrzují například Valcarcel a kol. (2013), kteří ve Španělsku prokázali vyšší koncentrace venlafaxinu či trimethoprimu v zimě než v létě. Podobný vývoj byl dokázán ve Spojených státech, např. u látky karbamzepin (Verlicchi a kol., 2012). Golovko a kol. (2014) ve svém výzkumu uvádí, že v České republice docházelo v zimě v čističkách odpadních vod ke zvyšování koncentrací antibiotik, zatímco v létě naopak koncentrace klesaly. Podobně pak docházelo také ke zvyšujícím se koncentracím antidepresiv během zimního období (viz příloha 2). To je nejspíš zapříčiněno zvýšeným výskytem poruch léčených těmito léky. Např. Lam a Levitan (2000) uvádí, že během zimního období prokazatelně vzrostla frekvence výskytu depresí, úzkostné poruchy či sociální fobie. Podobně tomu bude v případě napadení bakteriemi a následné léčbě antibiotiky. Lze tedy předpokládat, že působení farmak na populace ryb ve volných vodách může mít sezónní charakter, ovlivňovaný různou koncentrací těchto látek ve vodním prostředí.

Agresivní chování tloušťů v pokusu však nemuselo být ovlivněno pouze koncentracemi citalopramu. Míra agresivity taktéž vzrůstá se vzrůstajícím počtem jedinců v rámci daného území (např. nádrže), ale také v závislosti na vytvoření stabilní hierarchie. Toto potvrzuje např. Zavorka a kol. (2015) u pstruha obecného *Salmo trutta* (Linnaeus, 1758), Laursen a kol. (2015) u pstruha duhového *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) či Hecht a Uys (1997) u sumce *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). Je tedy možné, že míra agresivních interakcí byla ovlivněna také rozvržením počtu juvenilních jeliců použitých při pokusu (tedy jeden testovaný proti třem partnerům). Tyto rozdíly by však měly být minimalizovány stejnými podmínkami kontrolních i experimentálních ryb v průběhu pokusu a zároveň dlouhodobějším charakterem pokusu. Jak uvádí Laursen a kol. (2015), při nižších hustotách dochází ke zvýšené intenzitě agresivních interakcí a k formování dominantní hierarchie. Se stoupající denzitou naopak agresivita klesá, jelikož se zvyšují náklady a úsilí k udržení hierarchie. Je možné, že díky ovlivnění citalopramem byla hierarchie exponované skupiny narušena bez souvislosti s početností, čímž mohlo docházet k častějším soubojům mezi jedinci o postavení v dané skupině, zatímco ve skupině kontrolní byla hierarchie stabilnější. Hecht a Uys (1997) dále uvádějí, že od určité hustoty obsazení dochází ke snižování agresivity, k tvoření hejn a k rychlejšímu příjmu potravy. Tento hustotní práh, dnes již všeobecně známý, je často aplikován v produkční akvakultuře. Ryby jsou dle druhu chovány ve specifických hustotách, kdy již neobhajují teritoria a naopak dochází k tvorbě hejn. Jak uvádí Miki a kol. (2011), při vyšší hustotě také může docházet ke zvyšování agresivních interakcí v případě omezení frekvence krmení ryb.

Dalším možným faktorem ovlivňujícím agresivní interakce mohly být předchozí sociální zkušenosti. Ty experimentální jedinci získávali v akváriích, kde byli chováni společně s ostatními jedinci. Toto dokazuje např. Dzieweczynski a kol. (2017), kteří během svého výzkumu se samicemi bojovnice pestré *Betta splendens* (Regan, 1910) zjistili, že jsou tyto ryby schopny si zapamatovat společníka ze skupiny a následně proti němu vykazují nižší míru agresivity. Jiným příkladem může být výzkum Alcazara a kol (2014), kdy u tlamovce jikroskvrnného *Astatotilapia burtoni* (Günther, 1894) zjistili, že větší jedinci sice měli výraznou výhodu proti menším, avšak byl-li oponent jen o několik málo dní starší (a tedy zkušenější), tuto výraznou výhodu získal během souboje právě on, a to bez ohledu na velikost. Starší jedinci kromě toho používali výhodnější bojovou strategii než jejich mladší protivníci. Také např. u netopýra *Tadarida teniotis* (Rafinesque, 1814) byla prokázána mnohem větší míra agresivních interakcí mezi jedinci neznámými než již známými (Ancillotto a Russo, 2014). Hsu a Wolf (2001) uvádí, že rozhodování jedince o změně chování během vystavení nové situaci ovlivňuje mimo jiné výsledek předchozí zkušenosti. Byl-li poražen, má tendenci chovat se více pokorně, zatímco byl-li vítězem, má vyšší pravděpodobnost na to stát se jím opakovaně.

S agresivními interakcemi souvisí také pozorování jednotlivých typů chování. Hodnotili jsme konkrétně čtyři typy chování, a to „vertikální plavání“, „kruhové plavání“, „lateralizaci“ a „přímý útok“. Výskyt všech těchto typů chování byl vyšší u experimentální skupiny, avšak u typu „kruhové plavání“ nebyl prokázán statisticky významný rozdíl mezi výskytem u skupiny kontrolní a experimentální. Zjišťování přesných důvodů změn těchto typů chování však nebylo předmětem tohoto výzkumu.

Dále jsme zjistili, že exponovaní jedinci mezi sebou udržovali větší vzdálenost, jinými slovy vykazovali nižší soudržnost hejna. Kellner a kol. (2016) ve své práci o ovlivnění chování jedinců koljušky tříostné *Gasterosteus aculeatus* (Linnaeus, 1758) po vystavení citalopramu neprokázali žádný účinek na intenzitu hejnového chování. Tyto rozdílné výsledky oproti našemu výzkumu však podobně jako u intenzity agresivního chování mohou být způsobeny odlišným mezidruhovým působením látky na organismy či rozdílnou délkou expozice ryb. Jak uvádí Brodin a kol. (2013), některá farmaceutika mají potenciál měnit socialitu jedinců, a tím i jejich tendenci tvořit hejna. Brodin a kol. (2014) dále uvádí, že jedinci okouna říčního *Perca fluviatilis* (Linnaeus, 1758) vystavení oxazepamu vykazovali sníženou socialitu a zároveň zvýšenou aktivitu. Tyto projevy se zvyšovaly se zvyšující se koncentrací látky, které byli okouni vystaveni.

V důsledku snížené soudržnosti hejna v závislosti na vystavení citalopramu může také docházet k negativnímu ovlivňování funkcí hejna jako je ochrana před predátory, parazity, úspora energie, nalezení potravních zdrojů v kratším čase nebo jejich přijímání. To potvrzují Brodin a kol. (2014), kteří uvádí, že skupiny ryb vystavené vyšší koncentraci oxazepamu zahájily krmění dříve a vyčerpaly zdroje potravy rychleji než ty, které byly vystaveny nižší koncentrací této psychoaktivní látky. Halford a kol. (2005) vysvětlují, že SSRI jsou kromě léčby deprese používány také v boji proti obezitě lidí, protože hladiny serotoninu souvisí s kontrolováním chuti k jídlu. To může kromě potravního chování celkově ovlivnit rovnováhu potravních řetězců. Je-li například farmaceutikům vystaven sekundární konzument, může dojít ke zvýšené potřebě příjmu potravy, čímž jsou potlačováni konzumenti primární a naopak pozitivně ovlivňováni producenti (Brodin a kol., 2013). Taktéž může v hejnu vzrůstat agresivita mezi jedinci v závislosti na možnostech přijímání potravy. S tím souvisí i antipredační chování. Je obvyklé, že vyhýbání se predátorům zahrnuje snížení aktivity vedoucí k minimalizaci pravděpodobnosti setkání s predátorem. Snížení aktivity však také mimo jiné znamená snížení příjmu potravy a zpomalený růst způsobující celkové snížení fitness jedince. Jestliže však ryby nereagují na predační risk a nesnižují aktivitu, dochází i tak ke snížení fitness z důvodu většího rizika predace i přes vyšší příjem potravy a tím celkový růst (Brodin, 2004). Lze předpokládat, že se snížená kooperace způsobená nižší socialitou, popř. zvýšenou agresí mezi členy hejna bude u jedinců projevovat zvýšením stresu, vyšším rizikem predace, méně efektivním šetřením energie či zhoršením přijímání potravy. To pak může mít za následek celkově ztížené životní podmínky a zhoršení úspěšnosti jedinců, popřípadě celého druhu.

Změny v chování způsobené farmaceutiky mohou v průběhu času ovlivňovat složení společenstev i celkovou funkci vodních ekosystémů a mohou tak mít pro vodní živočichy evoluční i ekologické důsledky (Brodin a kol., 2014). Psychofarmaka ovlivňují druhy chování, které mohou mít přímý či nepřímý ekologický vliv. Příklad: příjem potravy, kooperace, rozmnožování či rodičovská péče mají přímý vliv na fitness jedince, stejně jako obrana před predátory. Nepřímo je pak ovlivňována například populační dynamika druhu, potravní řetězce či celkové funkce ekosystému. (Brodin a kol., 2014). Mezi nepřímé efekty patří i mezidruhová a vnitrodruhová kompetice či predace (Brooks a Dodson, 1965). V důsledku změn nejrůznějších typů chování může početnost populace daného druhu kolísat oběma směry či dokonce vést k jeho lokálnímu vyhynutí (Balvanera a kol., 2006).

Přítomnost zbytkových léčiv či kosmetických přípravků nepředstavuje riziko pouze pro organismy ve vodním prostředí. V souvislosti s konzumací vodních živočichů existuje

vysoká pravděpodobnost kumulace těchto látek v těle kořisti, čímž se látky přenáší taktéž do konzumentů, ať se jedná o ptáky či savce, včetně člověka. Následky působení těchto látek ve vodním prostředí tak nesou i další druhy, které jsou součástí dané trofické sítě, včetně přilehlých terestrických ekosystémů (Poulin a kol., 2010; Epanchin a kol., 2010). To potvrzují například Brodin a kol. (2014), kteří uvádí, že se v průměru 45 % látky nahromaděné v kořisti nadále akumuluje v predátorovi. Působení psychoaktivních látek v potravních řetězcích je však dosud v běžných monitorovacích programech podhodnocené, stejně jako synergické či antagonistické působení jednotlivých látek rozpuštěných ve vodním prostředí.

## 8 Závěr

Ve své diplomové práci jsem se zabývala agresivním chováním, soudržností hejna ryb a také znečištěním životního prostředí léčivými a dalšími chemikáliemi. Během experimentu jsem testovala hypotézy, že se budou měnit frekvence agresivního chování a soudržnost hejna po vystavení ryb antidepressivu citalopramu. Na základě shromážděných výsledků mohu tyto hypotézy potvrdit: množství agresivních interakcí stoupalo u ryb vystavených citalopramu a stejně tak u nich docházelo k oslabení soudržnosti hejna. Jelikož koncentraci citalopramu použitou v experimentu lze reálně nalézt v přírodě (např. v odpadních vodách), může docházet k ovlivňování chování vodních organismů zbytkovými léčivými vypouštěnými do vodního ekosystému. Změny chování se následně mohou projevit ovlivněním růstu a vývoje, snížením reprodukčního úspěchu a ovlivněním následné rodičovské péče. Důsledky změn chování mohou ovlivnit úspěšnost jedince, ale i celkovou populační dynamiku daného druhu.



## 9 Seznam použité literatury

- Abrahams, M., Colgan, P.** 1985. Risk of predation, hydrodynamic efficiency, and their influence on school structure. *Environmental Biology of Fishes*. 13. 195 – 202.
- Alcazar, R. M., Hilliard, A. T., Becker, L., Bernaba, M., Fernald, R. D.** 2014. Brains over brawn: experience overcomes a size disadvantage in fish social hierarchies. *Journal of Experimental Biology*. 217. 1462 – 1468.
- Alyzgiakis, N. A., Gago-Ferrero, P., Borova, V. L., Pavlidou, A., Hatzianestis, I., Thomaidis, N. S.** 2016. Occurrence and spatial distribution of 158 pharmaceuticals, drugs of abuse and related metabolites in offshore seawater. *Science of the Total Environment*. 541. 1097 – 1105.
- Ancillotto, L., Russo, D.** 2014. Selective aggressiveness in European free-tailed bats (*Tadarida teniotis*): influence of familiarity, age and sex. *Naturwissenschaften*. 101. 221 – 228.
- Andersson, S., Ahlund, M.** 1991. Hunger affects dominance among strangers in housesparrows. *Animal Behaviour*. 41. 895 – 897.
- Andorfer, K.** 1980. The shoal behaviour of *Leucaspius delineatus* (Heckel) in relation to ambient space and the presence of a pike, *Esox lucius*. *Oecologia*. 47. 134 – 140.
- Balvanera, P., Pfisterer, A. B., Buchmann, N., He, J. S., Nakashizuka, T., Raffaelli, D., Schmid, B.** 2006. Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecology Letters*. 9. 1146 – 1156.
- Baruš, V., Oliva, O.** 1995. *Mihulovci a ryby*. Academia, 623 stran.
- Batchelor, T. P., Briffa, M.** 2010. Influences on resource-holding potential during dangerous group contests between wood ants. *Animal Behaviour*. 80. 443 – 449.
- Batchelor, T. P., Santini, G., Briffa, M.** 2012. Size distribution and battles in wood ants: group resource-holding potential is the sum of the individual parts. *Animal Behaviour*. 83. 111 – 117.
- Beeching, S. C.** 1992. Visual assessment of relative body size in a cichlid fish, the Oscar, *Astronotus ocellatus*. *Ethology*. 90. 177 – 186.
- Bisazza, A., Pignatti, R., Vallortigara, G.** 1997. Laterality in detour behaviour: interspecific variation in poeciliid fish. *Animal Behaviour*. 54. 1273 – 1281.
- Black, M. P., Balthazart, J., Baillien, M., Grober, M. S.** 2005. Socially induced and rapid increases in aggression are inversely related to brain aromatase activity in a sex-changing fish, *Lythrypnus dalli*. *Proceedings of the Royal Society B – Biological Sciences*. 272. 2435 – 2440.
- Boscolo, C. N. P., Morais, R. N., Goncalves-de-Freitas, E.** 2011. Same-sized fish groups increase aggressive interaction of sex-reversed males Nile tilapia GIFT strain. *Applied Animal Behaviour Science*. 135. 154 – 159.

- Brodin, T., Johansson, F.** 2004. Conflicting selection pressures on the growth predation risk trade-off in damselfly. *Ecology*. 85. 2927 – 2932.
- Brodin, T., Fick, J., Jonsson, M., Klaminder, J.** 2013. Dilute concentrations of a psychiatric drug alter behavior of fish from natural populations. *Science*. 339. 814 – 815.
- Brodin, T., Piovano, S., Fick, J., Klaminder, J., Heynen, M., Jonsson, M.** 2014. Ecological effects of pharmaceuticals in aquatic systems – impacts through behavioural alterations. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 369.
- Brooks, J. L., Dodson, S. I.** 1965. Predation body size and composition of plankton. *Science*. 150. 28 – 35.
- Brown, C. R., Brown, M. B.** 1986. Ectoparasitism as a cost of coloniality in cliff swallows (*Hirundo pyrrhonota*). *Ecology*. 67. 1206 – 1218.
- Bumann, D., Krause, J.** 1993. Front individuals lead in shoals of 3-spined sticklebacks (*Gasterosteus-aculeatus*) and juvenile roach (*Rutilus-rutilus*). *Behaviour*. 125. 189 – 198.
- Bzdok, D., Langner, R., Caspers, S., Kurth, F., Habel, U., Zilles, K., Laird, A., Eickhoff, S. B.** 2011. ALE meta-analysis on facial judgments of trustworthiness and attractiveness. *Brain structure & Function*. 215. 209 – 223.
- Calisto, V., Domingues, M. R. M., Esteves, V. I.** 2011. Photodegradation of psychiatric pharmaceuticals in aquatic environments – Kinetics and photodegradation products. *Water research*. 45. 6087 – 6106.
- Calisto, V., Esteves, V. I.** 2009. Psychiatric pharmaceuticals in the environment. *Chemosphere*. 77. 1257 – 1274.
- Cantalupo, C., Bisazza, A., Vallortigara, G.** 1996. Lateralization of displays during aggressive and courtship behaviour in the Siamese fighting fish (*Betta splendens*). *Physiology & Behavior*. 60. 249 – 252.
- Chase, I. D., Tovey, C., Murch, P.** 2003. Two's company, three's a crowd: Differences in dominance relationships in isolated versus socially embedded pairs of fish. *Behaviour*. 140. 119 – 1217.
- Chiffre, A., Clerandau, C., Dwoinikoff, C., Le Bihanic, F., Budzinski, H., Geret, F., Cachot, J.** 2016. Psychotropic drugs in mixture alter swimming behaviour of Japanese medaka (*Oryzias latipes*) larvae above environmental concentrations. *Environmental Science and Pollution Research*. 23. 4964 – 4977.
- Colgan, P. W., Nowell, W. A., Stokes, N. W.** 1981. Nest defence by male Pumpkinseed Sunfish (*Lepomis gibbosus*): Stimulus features and an application of catastrophe theory. *Animal Behaviour*. 29. 433 – 442.
- Collin, S. P., Whitehead, D.** 2004. The functional roles of passive electroreception in non-electric fishes. *Animal Biology*. 54. 1 – 25.

- Conrad, J. L., Weinersmith, K. L., Brodin, T., Saltz, J. B., Sih, A.** 2011. Behavioural syndromes in fishes: a review with implications for ecology and fisheries management. *Journal of Fish Biology*. 78. 395 – 435.
- Cutts, C. J., Metcalfe, N. B., Taylor, A. C.** 2002. Fish may fight rather than feed in a novel environment: metabolic rate and feeding motivation in juvenile Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology*. 61. 1540 – 1548.
- Damsgard, B., Dill, L. M.** 1998. Risk-taking behavior in weight-compensating coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. *Behavioral Ecology*. 9. 26 – 32.
- Day, R. L., MacDonald, T., Brown, C., Laland, K. N., Reader, S. M.** 2001. Interactions between shoal size and conformity in guppy social foraging. *Animal Behaviour*. 62. 917 – 925.
- Desjardins, J. K., Hofmann, H. A., Fernald, R. D.** 2012. Social context influences aggressive and courtship behavior in a cichlid fish. *Plos One*. 7.
- Dzieweczynski, T. L., Greaney, N. E., Portrais, K. B., Stevens, M. A.** 2017. I remember you: female Siamese fighting fish recognise prior social partners. *Behaviour*. 154. 19 – 35.
- Engeszer, R. E., Ryan, M. J., Parichy, D. M.** 2004. Learned social preference in zebrafish. *Current Biology*. 14. 881 – 884.
- Epanchin, P. N., Knapp, R. A., Lawler, S. P.** 2010. Nonnative trout impact an alpine-nesting bird by altering aquatic-insect subsidies. *Ecology*. 91. 2406 – 2415.
- Faber, D. B., Baylis, J. R.** 1993. Effects of body size on agonistic encounters between male jumping spiders (*Araneae, salticidae*). *Animal Behaviour*. 45. 289 – 299.
- Fick, J., Soderstrom, H., Lindberg, R. H., Phan, C., Tysklind, M., Larsson, D. G. J.** 2009. Contamination of surface, ground, and drinking water from pharmaceutical production. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 28. 2522 – 2527.
- Fong, P. P., Hoy, C. M.** 2012. Antidepressants (venlafaxine and citalopram) cause foot detachment from the substrate in freshwater snails at environmentally relevant concentrations. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*. 45. 145 – 153.
- Fong, P. P., Molnar, N.** 2013. Antidepressants cause foot detachment from substrate in five species of marine snail. *Marine Environmental Research*. 84. 24 – 30.
- Ford, A. T., Fong, P. P.** 2015. The effects of antidepressants appear to be rapid and at environmentally relevant concentrations. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 35. 794 – 798.
- Forsatkar, M. N., Nematollahi, M. A., Amiri, B. M., Huang, W. B.** 2014. Fluoxetine inhibits aggressive behaviour during parental care in male fighting fish (*Betta splendens*, Regan). *Ecotoxicology*. 23. 1794 – 1802.
- Ganong, W. F.**, 2005. Přehled lékařské fyziologie. Galén, 890 stran.

- Gazda, S. K., Connor, R. C., Edgar, R. K., Cox, F.** 2005. A division of labour with role specialization in group-hunting bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) off Cedar Key, Florida. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*. 272.135 – 140.
- Gimeno, E., Quera, V., Beltran, F. S., Dolado, R.** 2016. Differences in shoaling behavior in two species of freshwater fish (*Danio rerio* and *Hyphessobrycon herbertaxelrodi*). *Journal of Comparative Psychology*. 130. 358 – 368.
- Golovko, O., Kumar, V., Fedorova, G., Randak, T., Grabic, R.** 2014. Seasonal changes in antibiotics, antidepressants/psychiatric drugs, antihistamines and lipid regulators in wastewater treatment plant. *Chemosphere*. 111. 418 – 426.
- Grabicova, K., Lindberg, R. H., Ostman, M., Grabic, R., Randak, T., Larsson, D. G. J., Fick, J.** 2014. Tissue-specific bioconcentration of antidepressants in fish exposed to effluent from a municipal sewage treatment plant. *Science of the Total Environment*. 488. 46 – 50.
- Gross, M. R.** 2005. The evolution of parental care. *The Quarterly Review of Biology*. 80. 37 – 45.
- Gueron, S., Levin, S. A., Rubenstein, D. I.** 1996. The dynamics of herds: From individuals to aggregations. *Journal of Theoretical Biology*. 182. 85 – 98.
- Gunnarsson, L., Jauhiainen, A., Kristiansson, E., Nerman, O., Larsson, D. G. J.** 2008. Evolutionary conservation of human drug targets in organisms used for environmental risk assessments. *Environmental Science & Technology*. 42. 5807 – 5813.
- Halford, J. C. G., Harrold, J. A., Lawton, C. L., Blundell, J. E.** 2005. Serotonin (5-HT) drugs: Effects on appetite expression and use for the treatment of obesity. *Current Drug Targets*. 6. 201 – 213.
- Hanselman, T. A., Graetz, D. A., Wilkie, C.** 2003. Manure-borne estrogens as potential environmental contaminants: a review. *Environmental Science & Technology*. 37. 5471 – 5478.
- Hecht, T., Uys, W.** 1997. Effect of density on the feeding and aggressive behaviour in juvenile African Catfish, *Clarias gariepinus*. *South African Journal of Science*. 93. 537 – 541.
- Hemelrijk, C. K., Reid, D. A. P., Hildenbrandt, H., Padding, J. T.** 2015. Fish and Fisheries. 16. 511 – 521.
- Henry, T. B., Kwon, J. W., Armbrust, K., L., Black, M. C.** 2004. Acute and chronic toxicity of five selective serotonin reuptake inhibitors in *Ceriodaphnia dubia*. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 23- 2229 – 2233.
- Hoare, D. J., Krause, J., Peuhkuri, N., Godin, J. G. J.** 2000. Body size and shoaling in fish. *Journal of Fish Biology*. 57. 1351 – 1366.
- Hoare, D. J., Krause, J.** 2003. Social organisation, shoal structure and information transfer. *Fish and Fisheries*. 4. 269 – 279.

- Hollis, K. L., Dumas, M. J., Singh, P., Fackelman, P.** 1995. Pavlovian conditioning of aggressive-behavior in blue gourami fish (*Trichogaster-trichopterus*) – winners become winners and losers stay losers. *Journal of comparative psychology*. 109. 123 – 133.
- Holmberg, A., Fogel, J., Albertsson, E., Fick, J., Brown, J. N., Paxeus, N., Forlin, L., Johnsson, J. I., Larsson, D. G. J.** 2011. Does waterborne citalopram affect the aggressive and sexual behaviour of rainbow trout and guppy? *Journal of Hazardous Materials*. 187. 596 – 599.
- Hopkins, C. D.** 2010. Electroreception. In *Encyclopedia of Perception: Volume 1* (Goldstein, E. B.). USA. Sage Publications, 1180 stran.
- Horký, P.** 2015. Freshwater resources and fisheries in the Czech Republic. *Freshwater Fisheries Ecology*. 201 – 207.
- Höglund, E., Balm, P. H. M., Winberg, S.** 2002. Behavioural and neuroendocrine effects of environmental background colour and social interaction in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Journal of Experimental Biology*. 205. 2535 – 2543.
- Hsu, Y, Wolf, L. L.** 1999. The winner and loser effect: integrating multiple experiences. *Animal Behaviour*. 57. 903 – 910.
- Hsu, Y., Wolf, L. L.** 2001. The winner and loser effect: what fighting behaviours are influenced? *Animal Behaviour*. 61. 777 – 786.
- Huntingford, F., Jobbling, M., Kadri, S.,** 2012. *Aquaculture and behavior*. Blackwell Publishing, 340 stran.
- Huth, A., Wissel, C.** 1992. The simulation of the movement of fish shoals. *Journal of Theoretical Biology*. 156. 365 – 385.
- Jakob, E. M.** Costs and benefits of group living for pholcid spiderlings – losing food, saving silk. *Animal Behaviour*. 41. 711 – 722.
- Johnsson, J. I., Jönsson, E., Björnsson, B. T.** 1996. Dominance, nutritional state, and growth hormone levels in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Hormones & Behaviour*. 30. 13 – 21.
- Johnsson, J. I., Akerman, A.** 1998. Watch and learn: Preview of the fighting ability of opponents alters contest behaviour in rainbow trout. *Animal Behaviour*. 56. 771 – 776.
- Kavaliers, M.** 1980. Circadian activity of the white sucker, *Catostomus commersoni*: Comparison of individual and shoaling fish. *Canadian Journal of Zoology*. 58. 1399 – 1403.
- Kavaliers, M.** 1981. Period lengthening and disruption of socially facilitated circadian activity rhythms of goldfish by lithium. *Physiology & Behavior*. 27. 625 – 628.
- Kellner, M., Porseryd, T., Porsch-Hallstrom, I., Hansen, S. H., Olsen, K. H.** 2015. Environmentally relevant concentrations of citalopram partially inhibit feeding in the three-spine stickleback (*Gasterosteus aculeatus*). *Aquatic Toxicology*. 158. 165 – 170.

- Kellner, M., Porseryd, T., Hallgren, S., Porsch-Hallstrom, I., Hansen, S. H., Olsen, K. H.** 2016. Waterborne citalopram has anxiolytic effects and increases locomotor activity in the three-spine stickleback (*Gasterosteus aculeatus*). *Aquatic Toxicology*. 173. 19 – 28.
- Killen, S. S., Fu, C., Wu, Q. Y., Wang, Y. X., Fu, S. J.** The relationship between metabolic rate and sociability is altered by food deprivation. *Functional Ecology*. 30- 1358 – 1365.
- Kodíček, M.** Biochemické pojmy: výkladový slovník [online]. 2007 [cit. 2016-09-29]. Dostupné z <[http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_es-002\\_v1/motor/index.CS.html](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-002_v1/motor/index.CS.html)>.
- Kohlert, J. G., Mangan, B. P., Kodra, C., Drako, L., Long, E., Simpson, H.** 2012. Decreased aggressive and locomotor behaviors in *Betta splendens* after exposure to fluoxetine. *Psychological Reports*. 110. 51 – 62.
- Krause, J., Bumann, D., Todt, D.** 1992. Relationship between the position preference and nutritional state of individuals in schools of juvenile roach (*Rutilus-rutilus*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 30. 177 – 180.
- Krause, J., Godin, J. G. J.** 1994. Shoal choice in the banded killifish (*Fundulus-diaphanus*, Teleostei, Cyprinodontidae) – effects of predation risk, fish size, species composition and size of shoals. *Ethology*. 98. 128 – 136.
- Krause, J., Hoare, D., Krause, S., Hemelrijk, C. K., Rubenstein, D. I.** 2000. Leadership in fish shoals. *Fish and Fisheries*. 1. 82 – 89.
- Krause, J., Butlin, R. K., Peuhkuri, N., Pritchard, V. L.** 2000. The social organization of fish shoals: a test of the predictive power of laboratory experiments for the field. *Biological Reviews*. 75. 477 – 501.
- Kreke, N., Dietrich, D. R:** 2008. Physiological endpoints for potential SSRI interactions in fish. *Critical Reviews in Toxicology*. 38. 215 – 247.
- Lagesson, A., Fahlman, J., Brodin, T., Fick, J., Jonsson, M., Bystrom, P., Klaminder, J.** 2016. Bioaccumulation of five pharmaceuticals at multiple trophic levels in an aquatic food web – insights from a field experiment. *Science of the Total Environment*. 568. 208 – 215.
- Lahti, K., Laurila, A., Enberg, K., Piironen, J.** 2001. Variation in aggressive behaviour and growth rate between populations and migratory forms in the brown trout, *Salmo trutta*. *Animal Behaviour*. 62. 935 – 944.
- Lam, R. W., Levitan, R. D.** 2000. Pathophysiology of seasonal affective disorder: a review. *Journal of Psychiatry & Neuroscience*. 25. 49 – 480.
- Landeau, L., Terborgh, J.** 1986. Oddity and the confusion effect in predation. *Animal Behaviour*. 34. 1372 – 1380.
- Larsson, M.** 2009. Possible functions of the octavolateralis system in fish schooling. *Fish and Fisheries*. 10. 344-355.
- Laskowski, K. L., Wolf, M., Bierbach, D.** 2016. The making of winners (and losers): how early dominance interactions determine adult social structure in a clonal fish. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*. 283.

- Laursen, D. C., Larsen, B. K., Skov, P. V., Hoglund, E.** 2015. Improved growth performance in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* reared at high densities is linked to increased energy retention. *Aquaculture*. 442. 69 – 73.
- Lefrancois, C., Ferrari, R. S., da Silva, J. M., Domenici, P.** 2009. The effect of progressive hypoxia on spontaneous activity in single and shoaling golden grey mullet *Liza aurata*. *Journal of Fish Biology*. 75. 1615 – 1625.
- Lesch, K. P., Merschdorf, U.** 2000. Impulsivity, aggression, and serotonin: A molecular psychobiological perspective. *Behavioral Sciences & The Law*. 18. 581 – 604.
- Li, Z. H., Žlábek, V., Turek, J., Velíšek, J., Pulkrabová, J., Kolářová, J., Sudová, E., Beránková, P., Hrádková, P., Hajslová, J., Randák, T.** 2011. Evaluating environmental impact of STPs situated on streams in the Czech Republic: an integrated approach to biomonitoring the aquatic environment. *Water Research*. 45. 140, - 1413.
- Libosvářský, J., Baruš, V.** 1978. Computed growth and survival of chub, *Leuciscus cephalus*, from the Rokytná stream. *Acta Sci. Nat. Brno*. 12. 1 – 45.
- Martin, R. A., Fiorentini, M., Connors, F.** 1980. Social facilitation of reduced oxygen-consumption in mus-musculus and meriones-unguiculatus. *Comparative Biochemistry and Physiology A –Physiology*. 65. 519-522.
- Meston, C. M., Frohlich, P. F.** 2000. The neurobiology of sexual function. *Archives of General Psychiatry*. 57. 1012 – 1030.
- Miki, T., Nakatsukasa, H., Takahashi, N., Murata, O., Ishibashi, Y.** 2011. Aggressive behaviour and cannibalism in greater amberjack, *Seriola dumerili*: effects of stocking density, feeding conditions and size differences. *Aquaculture Research*. 42. 1339 – 1349.
- Miller, N. Y., Gerlai, R.** 2008. Oscillations in shoal cohesion in zebrafish (*Danio rerio*). *Behavioural Brain Research*. 193. 148 – 151.
- Milinski, H., Heller, R.** 1978. Influence of a predator on the optimal foraging behavior of sticklebacks. *Nature*. 275. 642 – 644.
- Minagh, E., Hernan, R., O'Rourke, K., Lyng, F. M., Davoren, M.** 2009. Aquatic ecotoxicity of the selective serotonin reuptake inhibitor sertraline hydrochloride in a battery of freshwater test species. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 72. 434 – 440.
- Mingues, L., Halm-Lemeille, M. P., Costil, K., Bureau, R., Lebel, J. M., Serpentine, A.** 2014. Assessment of cytotoxic and immunomodulatory properties of four antidepressants on primary cultures of abalone hemocytes (*Haliotis tuberculata*). *Aquatic Toxicology*. 153. 3 – 11.
- Morgan, M. J.** 1988. The effect of hunger, shoal size and the presence of a predator on shoal cohesiveness in bluntnose minnows, *Pimephales-notatus* Rafinesque. *Journal of Fish Biology*. 32. 963 - 971.
- Morris, M. R., Mussel, M., Ryan, M. J.** 1995. Vertical bars on male *Xiphophorus multilineatus*: a signal that deters rival males and attracts females. *Behavioral Ecology*. 6. 274 – 279.

- Nadler, L. E., Killen, S. S., McClure, E. C., Munday, P. L., McCormic, M. I.** 2016. Shoaling reduces metabolic rate in gregarious coral reef fish species. *Journal of Experimental Biology*. 219. 2802 – 2805.
- Nicola, G. G., Ayllon, D., Elvira, B., Almodovar, A.** 2016. Territorial and foraging behaviour of juvenile Mediterranean trout under changing conditions of food and competitors. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 73. 990 – 998.
- Oliver, S. P., Turner, J. R. Gann, K., Silvosa, M., Jackson, T. D.** 2013. Threshes sharks use tail-slaps as a hunting strategy. *Plos One*, 8.
- Orel, M., Facová, V.** 2010. Člověk, jeho smysly a svět. Grada, 248 stran. Dostupné z <<http://books.google.cz/books?id=2BxajsPkmueC&printsec=frontcover&dq=člověk,+jeho+smysly+a+svět&hl=cs&sa=X&ei=V1IhVKL0DaTmyQOKt4KICQ&ved=0CCoQ6AEwAA#v=onepage&q=%C4%8Dlov%C4%9Bk%2C%20jeho%20smysly%20a%20sv%C4%9Bt&f=false>>.
- Pait, A. S., Warner, R. A., Hartwell, S. I., Nelson, J. O., Pacheco, P. A. Mason, A. I.** 2006. Human use pharmaceuticals in the estuarine environment: A survey of Chesapeake Bay, Biscayne Bay and Gulf of the Farallones. Center for Coastal Monitoring and Assessment, Silver Spring.
- Parker, F. R.** 1973. Reduced metabolic rates in fishes as a result of induced schooling. *Transactions of the American Fisheries Society*. 102. 125 – 131.
- Partridge, B. L.** 1980. The effect of shoal size on the structure and dynamics of minnow shoals. *Animal Behaviour*. 28. 68 – 77.
- Partridge, B. L., Pitcher, T., Cullen, M., Wilson, J.** 1980. The three-dimensional structure of fish schools. *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 6. 277 – 288.
- Pauers, M. J., Kapfer, J. M., Fendos, C. E., Berg, C. S.** 2008. Aggressive biases towards similarly coloured males in Lake Malawi cichlid fishes. *Biology Letters*. 4. 156 – 159.
- Perreault, H. A. N., Semsar, K., Godwin, J.** 2003. Fluoxetine treatment decreases territorial aggression in a coral reef fish. *Physiology & Behaviour*. 79. 719 – 724.
- Pitcher, T. J., Magurran, A., Winfield, I.** 1982. Fish in larger shoals find food faster. *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 10. 149 – 151.
- Pitcher, T. J., Parish, J. K.** 1993. Functions of shoaling behavior in teleosts. 363 – 439 in *Behaviour of Teleosts Fishes* (Chapman and Hall, London).
- Poulin, R., FitzGerald, G. J.** 1989. Shoaling as an anti-ectoparasite mechanism in juvenile sticklebacks (*Gasterosteus* spp). *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 24. 251 – 255.
- Poulin, B., Lefebvre, G., Paz, L.** 2010. Red flag for green spray: adverse trophic effects of Bti on breeding birds. *Journal of Applied Ecology*. 47. 884 – 889.
- Radabaugh, D. C.** 1980. Changes in minnow, pimephales-promelas Rafinesque, schooling behavior associated with infectins of brain-encysted larvae of the fluke, *Ornithodiplostomum-ptychocheilus*. *Journal of Fish Biology*. 16. 621 – 628.



- Randák, T., Žlábek, V., Kolářová, J., Svobodová, Z., Hajšlová, J., Šíroká, Z., Jánská, M., Pulkrabová, J., Čajka, T., Jarkovský, J.** 2006. Biomarkers detected in chub (*Leuciscus cephalus* L.) to evaluate contamination of the Elbe and Vltava Rivers, Czech Republic. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 76. 233 – 241.
- Reebs, S. G.** 2000. Can a minority of informed leaders determine the foraging movements of a fish shoal? *Animal Behaviour*. 59. 403 – 409.
- Reddon, A. R., Balk, D., Balshine, S.** 2013. Probing aggressive motivation during territorial contests in a group-living cichlid fish. *Behavioural Processes*. 92. 47 – 51.
- Richmond, E. K., Rosi-Marshall, E. J., Lee, S. S., Thompson, R. M., Grace, M. R.** 2016. Antidepressants in stream ecosystems: influence of selective serotonin reuptake inhibitors (SSRIs) on algal production and insect emergence. *Freshwater Science*. 35. 845 – 855.
- Roberts, G.** 1996. Why individual vigilance declines as group size increases. *Animal Behaviour*. 51. 1077-1086.
- Rosenqvist, G., Johansson, K.** 1995. Male avoidance of parasitized females explained by direct benefits in a pipefish. *Animal Behaviour*. 49. 1039 – 1045.
- Rutberg, A. T.** 1987. Horse fly harassment and the social-behavior of feral ponies. *Ethology*. 75. 145 – 154.
- Scantlebury, M., Bennett, N. C., Speakman, J. R., Pillay, N., Schradin, C.** 2006. Huddling in groups leads to daily energy savings in free-living African Four-Striped Grass Mice, *Rhabdomys pumilio*. *Functional Ecology*. 20. 166 – 173.
- Scott, G. R., Sloman, K. A.** 2004. The effects of environmental pollutants on complex fish behaviour: integrating behavioural and physiological indicators of toxicity. *Aquatic Toxicology*. 68. 369 – 392.
- Seth, S. D., Seth, V.,** 2009. Textbook of pharmacology, third edition. Elsevier, 1020 stran.
- Shaw, E.** 1978 Schooling fishes. *American scientist*. 66. 166 – 175.
- Shelton, D. S., Price, B. C., Ocasio, K. M., Martins, E. P.** Density and Group Size influence shoal cohesion, but not coordination in Zebrafish (*Danio rerio*). *Journal of Comparative Psychology*. 169. 72 – 77.
- Silva, L. J. G., Lino, C. M., Meisel, L. M., Pena, A.** 2012. Selective serotonin reuptake inhibitors (SSRIs) in the aquatic environment: An ecopharmacovigilance approach. *Science of the Total Environment*. 437. 185 – 195.
- Sloman, K. A., Wilson, R., W., Balshine, S.,** 2006. Behaviour and Physiology of Fish. Gulf Professional Publishing, 480 stran.
- Smith., S. C.** 1996 Pattern formation in the urodele mechanoreceptive lateral line: what features can be exploited for the study of development and evolution? *The International Journal of Developmental Biology*. 40. 727 – 733.

- Sneckser, J., L., Leese, J., Ganim, A., Itzkoitz, M.** 2009. Carribean damselfish with varying territory quality: correlated behaviors but not a syndrome. *Behavioral Ecology*. 20. 124 – 130.
- Tallman, J., Paul, S., Skolnick, P., Gallanger, D.** 1980. Receptors for the age of anxiety – pharmacology of the benzodiaepines. *Science*. 207. 274 – 281.
- Taylor, J. N., Lattanzio, M. S.** 2016. Boldness, Dominance, and Territoriality in the Color Polymorphic Tree Lizard, *Urosaurus ornatus*. *Ethology*. 122. 892 – 901.
- Thresher, R. E.** 1978. Territoriality and Aggression in the Threespot Damselfish (Pisces: Pomacentridae): an Experimental Study of Causation. *Zeitschrift für Tierpsychologie*. 46. 401 – 431.
- Trainor, B. C., Hofmann, H. A.** 2006. Somatostatin regulates aggressive behavior in an African cichlid fish. *Endocrinology*. 147. 5119 – 5125.
- Turner, G. Pitcher, T.** 1986. Attack abatement: a model for group protection by combined avoidance and dilution. *American Naturalist*. 128. 228-240.
- Valcarcel, Y., Alonso, S. G., Rodriguez-Gil, J. L., Castano, A., Montero, J. C., Criado-Alvarez, J. J., Miron, I. J., Catala, M.** 2013. Seasonal variation of pharmaceutically active compounds in surface (Tagus River) and tap water (Central Spain). *Environmental Science and Pollution Research*. 20. 1396 – 1412.
- Vallortigara, G., Rogers, L. J.** 2005. Survival with an asymmetrical brain: advantages and disadvantages of cerebral lateralization. *The Behavioral and Brain Sciences*. 28. 575 – 589.
- Verlicchi, P., Al Aukidy, M., Zambello, E.** 2012. Occurrence of pharmaceutical compounds in urban wastewater: Removal, mass load and environmental risk after a secondary treatment-A review. *Science of the Total Environment*. 429. 123 – 155.
- Veselovský, Z.**, 2005. *Etologie: Biologie chování zvířat*. Academia, Praha, 408 stran.
- Webster, M. M., Hart, P. J. B.** 2006. Kleptoparasitic prey competition in shoaling fish: effects of familiarity and prey distribution. *Behavioral Ecology*. 17. 959 – 964.
- Weimerskirch, H., Martin, J., Clerquin, Y, Alexandre, P., Jiraskova, S.** 2001. Energy saving in flight formation. *Nature*. 413. 697 – 698.
- Werner, E., Hall, D.** 1988. Ontogenetic habitat shifts in bluegill – the foraging rate predation risk trade-off. *Ecology*. 69. 1352 – 1366.
- Yoon, J.-D., Jang, M.-H., Joo, G.-J.** 2011. Effect of flooding on fish assemblages in small streams in South Korea. *Limnology*. 12. 197 – 203.
- Zavorka, L., Naslund, J., Aldven, D., Hojesjo, J., Johnsson, J. I.** 2015. Effects of familiarity and population density on competitive interactions and growth: an experimental study on a territorial salmonid fish. *Ethology*. 121. 1202 – 1211.

## 10 Přílohy

**Příloha č. 1** – koncentrace jednotlivých léčiv nalezené během výzkumu probíhajícího v letech 2011 – 2012 ve vzorcích odebraných z čistíren odpadních vod v Českých Budějovicích. Žlutě označen citalopram a jeho koncentrace.

Dostupné z <<http://www.sciencedirect.com.infozdroje.czu.cz/science/article/pii/S0045653514005104>>

Compounds	Influent			Effluent			Removal efficiency (%)
	Median ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Min ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Max ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Median ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Min ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Max ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	
<b>Antibiotics (ATB)</b>							
Norfloxacin	0.55	0.13	1.33	0.083	0.020	0.25	86
Levofloxacin	0.022	0.005	0.069	0.006	0.004	0.018	75
Ciprofloxacin	0.41	0.08	0.86	0.065	0.008	0.19	86
Azithromycin	0.14	0.014	0.51	0.050	0.008	0.22	69
Erythromycin	0.077	0.02	0.30	0.11	0.030	0.35	-30
Clarithromycin	1.48	0.31	3.09	0.93	0.21	2.31	40
Trimethoprim	0.32	0.12	0.53	0.25	0.083	0.44	20
Sulfapyridine	0.20	0.018	0.66	0.055	0.014	0.20	70
Sulfamethoxazole	0.22	0.043	0.49	0.090	0.031	0.26	58
Sulfasalazine	0.10	0.029	0.73	0.050	0.017	0.83	44
<b>Psychiatric drugs</b>							
Carbamazepine	0.46	0.21	0.71	0.51	0.22	0.73	-12
Oxazepam	0.056	0.024	0.077	0.062	0.026	0.094	-17
Memantine	0.006	0.004	0.058	0.006	0.005	0.010	1
<b>Antidepressants</b>							
Mirtazapine	0.048	0.023	0.17	0.034	0.013	0.068	32
<b>Citalopram</b>	<b>0.083</b>	<b>0.027</b>	<b>0.18</b>	<b>0.073</b>	<b>0.03</b>	<b>0.12</b>	<b>18</b>
Sertraline	0.012	0.007	0.027	0.003	0.003	0.006	81
Venlafaxine	0.29	0.12	0.80	0.28	0.12	1.11	1
<b>Antihistamine</b>							
Fexofenadine	0.18	0.068	0.40	0.17	0.064	0.25	11
Meclozine	0.093	0.031	0.21	<LOQ	<LOQ	<LOQ	100
<b>Lipid regulators</b>							
Rosuvastatin	0.19	0.062	0.46	0.054	0.008	0.32	68
Atorvastatin	0.30	0.070	0.75	0.013	0.004	0.24	93

**Příloha č. 2** – sezónní výkyvy v koncentracích psychiatrických léčiv nalezené během výzkumu probíhajícího v letech 2011 – 2012 ve vzorcích odebraných z čistíren odpadních vod v Českých Budějovicích.

Dostupné z <<http://www.sciencedirect.com/infodroje.czu.cz/science/article/pii/S0045653514005104>>

