

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**

**Fakulta rybářství a ochrany vod**

Ústav komplexních systémů

Bakalářská práce

**Hejnové chování jako odezva na změny  
prostředí, přehledová studie**

**Autor:** Jiří Jakš

**Vedoucí bakalářské práce:** Ing. Jan Urban, Ph.D.

**Konzultant bakalářské práce:** Mgr. Pavla Urbanová

**Studijní program a obor:** B4103 Zootechnika, Rybářství

**Forma studia:** Prezenční

**Ročník:** 3.

České Budějovice 2018

## **Prohlášení:**

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění, souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě, případně v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných FROV JU. Zveřejnění probíhá elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Prachaticích, dne 3. 5. 2018

Podpis .....

Jiří Jakš

## **Poděkování:**

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Janu Urbanovi Ph.D., který mi po celou dobu pomáhal tuto práci úspěšně dokončit, dával mi motivaci a předával mi všechny potřebné informace k napsání této práce. V neposlední řadě bych rád poděkoval svojí konzultantce Mgr. Pavle Urbanové, která semnou po celou dobu psaní bakalářské práce komunikovala přes všechny dostupné prostředky a při každém problému mi poradila. Samozřejmě bych rád poděkoval také svojí rodině a přátelům, kteří mě velmi podporovali a dbali na moji přípravu a pravidelné psaní této bakalářské práce.

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
Fakulta rybářství a ochrany vod  
Akademický rok: 2016/2017

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří JAKŠ**  
Osobní číslo: **V15B008P**  
Studijní program: **B4103 Zootecnika**  
Studijní obor: **Rybářství**  
Název tématu: **Hejnové chování jako odezva na změny prostředí, přehledová studie**  
Zadávající katedra: **Ústav komplexních systémů**

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

Cílem práce bude přehled známých a popsaných typů či vzorů hejnového chování ryb, jejich klasifikace a výčet relevantních příznaků.

Student v průběhu práce zpracuje úvod do hejnového chování významu změn a jejich interpretace. Hlavní důraz práce bude kladen na zpracování přehledu známých a popsaných typů či vzorů chování u sladkovodních i mořských ryb. Popsané budou nejen charakteristiky chování, ale i jejich atributy a kde bude možné rovněž objektivní (měřitelné) příčiny vzniku daného chování (reakce na podnět). Nedílnou součástí práce bude popis rozpoznávacích příznaků chování, kvalitativně i kvantitativně. Na základě těchto znalostí provede student klasifikaci typů či vzorů chování z hlediska jejich popisné parametrizace. V poslední části práce student zjistí současný stav existujících modelů hejnového chování a pokusí se zhodnotit jejich výhody a nevýhody, podmínky použití a použitelnost výsledků.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby (do 10 stran)**  
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 50 stran**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**  
Seznam odborné literatury: **viz příloha**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Urban, Ph.D.**  
Ústav komplexních systémů  
Konzultant bakalářské práce: **Mgr. Pavla Urbanová**  
Ústav komplexních systémů

Datum zadání bakalářské práce: **8. prosince 2016**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **4. května 2018**

  
prof. Ing. Otomar Linhart, DrSc.  
děkan

L.S.

  
Ing. Petr Císař, Ph.D.  
ředitel

Ve Vodňanech dne 8. prosince 2016

## Příloha zadání bakalářské práce

Seznam odborné literatury:

- Brown, C., Laland, K., Krause, J., 2011. *Fish Cognition and Behaviour*. Wiley-Blackwell, ISBN: 978-1444332216.
- Magnhagen, C., Braithwaite, V.A., Forsgren, E., 2008. *Fish Behaviour*. CRC Press, ISBN 9781578084357.
- Huntingford, F.A., 1993. *Behavioural Ecology of Fishes*. CRC Press, ISBN 9783718653461.
- Zupanc, G.K.H., 1987. *Fish and Their Behaviour*. Southern Books, ISBN: 978-3923880195.
- Reebs, S.G., 2001. *Fish Behavior in the Aquarium and in the Wild*. Cornell University Press, Ithaca.
- Barlow, G.W., 2000. *The Cichlid Fishes: Nature's Grand Experiment in Evolution*. Perseus Publishing, Cambridge MA.
- Wilson, R., and Wilson, J.Q., 1992. *Pisces Guide to Watching Fishes: Understanding Coral Reef Fish Behavior*. Gulf Publishing Company, Houston.
- DeLoach, N., and Humann, P., 1999. *Reef Fish Behavior: Florida, Caribbean, Bahamas*. New World Publications, Jacksonville FL.
- Grubb, T.C. Jr., 2003. *The Mind of the Trout*. University of Wisconsin Press, Madison.
- Ward, A., 2007. *Questions and Answers on Freshwater Aquarium Fishes: Every-thing You Need to Know to Successfully Raise Healthy Fish*. TFH, Neptune City.
- Adler, H.E., 1975. *Fish Behaviour: Why Fishes do What They Do*, TFH, Neptune City.
- Smith, C.L., 1994. *Fish Watching: An Outdoor Guide to Freshwater Fishes*. Cornell University Press, Ithaca.
- Paxton, J.R., and Eschmeyer, W.N., 1994. *Encyclopedia of Fishes*. Academic Press, San Diego.
- Parker, S., 1990. *Eyewitness Books: Fish*. Alfred A. Knopf, New York.
- Helfman, G.S., Collette, B.B., and Facey, D.E., 1997. *The Diversity of Fishes*. Blackwell Science, Malden MA.
- Bond, C.E., 1996. *Biology of Fishes*. Saunders College Publishing, Fort Worth.
- Moyle, P.B., and Cech, J.J., Jr., 2004. *Fishes: An Introduction to Ichthyology*,

Keenleyside, M.H.A., 1979. *Diversity and Adaptation in Fish Behaviour*. Springer-Verlag, Berlin.

Sloman, K.A., Wilson, R.W., and Balshine, S., 2006. *Behaviour and Physiology of Fish*. Elsevier, Amsterdam.

Godin, J.-G. (ed.), 1997. *Behavioural Ecology of Teleost Fishes*. Oxford University Press, Oxford.

Pitcher, T.J. (ed.), 1986. *Behaviour of Teleost Fishes*. Chapman & Hall, London.

Hoar, W.S., and Randall, D.J. (eds.), 1971. *Fish Physiology, Volume VI: Environmental Relations and Behaviour*. Academic Press, New York.

# Obsah

<b>1. Úvod .....</b>	<b>10</b>
<b>2. Literární přehled.....</b>	<b>12</b>
2.1. Rybí hejno a obecné sounáležitosti .....	12
2.1.1. Vznik rybího hejna .....	14
2.1.2. Typy rybího hejna a hejnová hierarchie .....	17
2.1.3. Důvody ryb pro vytvoření hejna.....	19
2.1.4. Výhody a nevýhody rybího hejna.....	22
2.1.5. Rozpoznávání ryb mezi sebou .....	24
2.1.6. Učení ryb na základě předchozí zkušenosti.....	26
2.2. Biologické vlivy ovlivňující hejnové chování ryb .....	28
2.2.1. Postranní čára a její působení na ryby .....	28
2.2.2. Vliv stresu na hejno ryb.....	33
2.2.3. Hejnové chování ryb v průběhu nemoci nebo parazitace.....	35
2.2.4. Hejnové chování ryb při hladovění .....	38
2.2.5. Přítomnost predátora a jeho působení na hejno ryb .....	40
2.2.6. Sexuální chování ryb v hejnu .....	44
2.3. Fyzikálně-chemické vlastnosti ovlivňující hejnové chování ryb .....	46
2.3.1. Působení teploty .....	47
2.3.2. Vliv pH .....	49
2.3.3. Vliv kyslíku .....	51
2.4. Ostatní faktory působící na hejno ryb .....	53
2.4.1. Vliv prostředí na ryby.....	54
2.4.2. Chování hejna při odlovu sítěmi a jinými objekty .....	55
2.4.3. Vliv prostoru a okolí.....	57
2.4.4. Působení elektřiny a magnetismu .....	59
2.4.5. Reakce ryb na zvuky .....	62
2.4.6. Chování ryb v průběhu dne a noci.....	64
2.5. Modelování chování ryb .....	66
2.5.1. Možnosti modelování chování ryb .....	66
2.5.2. Terzopoulosův model ryby.....	70
2.5.3. Multiagentní systémy .....	71
<b>3. Závěr .....</b>	<b>73</b>



<b>4. Použitá literatura .....</b>	<b>76</b>
<b>5. Abstrakt .....</b>	<b>95</b>
<b>6. Abstract.....</b>	<b>96</b>

# 1. Úvod

Ryby jsou v podstatě vrcholovými články vodních organismů. Ve světě jsou tyto vodní organismy zastoupeny ve velkém množství, které činí asi 18 000 druhů a na území České republiky je to asi jen 70 druhů. Jelikož ještě není vodní prostředí, především mořské důkladně prozkoumáno, může však být tento počet daleko vyšší. Berme to tedy pouze za přibližný počet. Ryby žijící u nás se dají řadit mezi velmi významné hospodářské druhy i ve světě (Reiser a Krejča, 1996).

V této práci se budeme zabývat rybami v hejnu. Bude se jednat o ryby mořské, sladkovodní i akvarijní. Tyto ryby žijí život více sociálně, což jim také přináší řadu výhod i nevýhod. Většinou však jde o výhody, a to je také důvodem, proč tyto ryby hejno vytváří. Hejno může mít různý počet jedinců, vytvářet různé tvary a různorodě se chovat v závislosti na druhu. Zatímco mladší jedinci ryb se raději zdržují v hejnu, starší jedinci mohou naopak hejno úplně opouštět. Existuje mnoho faktorů, které hejno ovlivňují a mají na utváření hejna vliv (teplota, pH, kyslík, prostor, nemoci atd.).

Typickou hejnovou rybou žijící na území České republiky je kapr obecný (*Cyprinus carpio*). Pokud se v létě podíváme na vodní hladinu na sluníci se kapry, můžeme se sami přesvědčit, že tyto ryby preferují společenský způsob života a neplavou příliš osamoceně. Hejno ale netvoří u nás jen kapři, ale i další kaprovité ryby jako je amur bílý (*Ctenopharyngodon idella*), tolstolobik bílý (*Hypophthalmichthys molitrix*), tolstolobik pestrý (*Hypophthalmichthys nobilis*) a další. Hejnové chování také mají ryby lososovité. Z lososovitých ryb je to například losos obecný (*Salmo salar*), pstruh obecný (*Salmo trutta*), pstruh duhový (*Oncorhynchus mykiss*) nebo siven americký (*Salvelinus fontinalis*). Mořské ryby samozřejmě tvoří hejna také, ale protože se v mořích vyskytuje podstatně více druhů hejnových ryb, uvedeme si zde pouze nejznámější druhy. Patří mezi ně treska pestrá (*Theragra chalcogramma*), tuňák obecný (*Thunnus thynnus*), makrela obecná (*Scomber scombrus*) nebo sled' obecný (*Clupea harengus*). Menší rybou žijící v hejnu je například sardel obecná (*Engraulis encrasicolus*). Tyto ryby jsou známé především díky svému využití v gastronomii. Také akvaristé zcela určitě znají hejnové druhy ryb, které mají ve svých akváriích. Často chovanou hejnovou akvarijní rybou je danio duhové (*Danio albolineatus*), danio pruhované (*Danio rerio*), tetra modrá (*Boehlkea fredcochui*) a mnoho dalších.

Hejnové ryby se také snáze chovají, a tudíž bývají častějším předmětem chovu než ryby žijící osamoceně nebo příliš teritoriálně. Tyto ryby většinou na sebe příliš neútočí a jsou i lépe ulovitelné. Pokud chytíme jednu rybu, můžeme si být jisti, že se někde nachází ještě několik dalších. Tato skutečnost je důležitá i při sportovním rybolovu. Najdeme-li jednu rybu, najdeme i spoustu dalších. I proto je znalost hejnového chování cennou informací i pro sportovní rybáře. Nicméně znalost hejna není důležitá jen pro sportovní rybolov, ale také pro již zmíněné akvaristy, vědce zabývající se rybami, ale také pro chovatele. Moře se neustále drancuje a jednou možná bude chov ryb velice zajímavou podnikatelskou sférou.

Hejnové chování ryb je také zajímavé téma, protože ryby se slučují do hejna jak v našich vodách, jako jsou rybníky, řeky nebo také potoky, tak v mořích a oceánech, avšak některé způsoby chování se mohou lišit. Záleží jak na druhu konkrétních ryb, tak na tom, kde tyto ryby žijí. Stále více lidí zajímají ryby a jsou s tímto koníčkem spjati. Zajímají se o rybolov, ale také chov ryb. Ve světě se neustále zvyšuje konzumace rybiho masa, což je jasným signálem ke stále dalším výzkumům a dále se zvyšující produkci ryb k ukojení neustále se zvyšující poptávce. Nicméně se bohužel světová spotřeba ryb neustále zvyšuje a rybí hejna jsou tak poškozena. Lov nejvýznamnějších druhů tak vede k téměř úplnému zničení rybích hejn (Pauly, 2002). Pokles dravců může například souviset i s postupně ubývajícím počtem sledů, kteří tvoří jejich důležitou potravní složku (Simmonds, 2004).

Tato práce je zameřena na hejnové ryby žijící ve všech typech vod. Cílem je popsat známé a popsané typy či vzorce hejnového chování ryb objektivě, jelikož popis kvalitativní a kvantitativní je v odborné literatuře popsán často vágně a neparametricky. V poslední části práce je uveden výčet možností modelování chování ryb, které se již provádějí a přinášejí veřejnosti značné možnosti dozvědět se něco o rybách.

## 2. Literární přehled

### 2.1. Rybí hejno a obecné sounáležitosti

Hejno je skupina ryb podobného věkového složení a biologického stavu. U hejnových druhů ryb zpravidla nenalezneme žádný antagonismus mezi jedinci, snad jen u větších exemplářů. U nás se jedná zejména o druhy ryb živící se planktonem. Může se jednat o zooplankton i fytoplankton. Například tolstolobik bílý, který je u nás poměrně hojně rozšířen se v mládí živí zooplanktonem (buchanky a vířníci) a později přechází na fytoplankton (vodní řasy a sinice). Každopádně to mohou být i ryby živící se bentosem nebo dravci. Hejno ryb může čítat stovky až tisíce jedinců, v moři to mohou být až miliardy. Větší hejna tvoří především velmi malé druhy ryb. Někdy se dokonce mohou hejna na noc rozpadat a přes den opět dávat dohromady. Malá hejna naopak vytváří ryby větších velikostí. Opravdu velká hejna může vytvářet například sled' obecný v Atlantském oceánu. Příkladem vytváření relativně malého hejna je u nás téměř nejhojnější kapr obecný nebo tolstolobik bílý, nicméně na mořské poměry se dá považovat za ryby vytvářející malá hejna téměř každý druh ryby žijící u nás (Lusk a kol., 1983).

Podle Lorenze (2003) se dá hejno považovat za jedno z nejprimitivnějších slučování živočichů, jehož jedinci jsou zpravidla méně inteligentní. V hejnu jedinci na sebe zpravidla pozitivně reagují a drží se pohromadě, což jim přináší zpravidla pozitivní vztahy. Tvoření hejna je proto typické tím, že se jedinci v hejnu drží v semknutém útvaru. Avšak chování hejna se může u jednotlivých druhů lišit. Důležité výhody hejna pramení v ochraně před nebezpečím (Godin & Smith, 1988), lepší možnosti sehnat si potravu (Seppä et al., 2001), učit se od ostatních jedinců (Veselovský, 2008) a schopnosti ryby cítit se lépe (Ranta et al., 1992). Nevýhody zase pramení z rychlejšího roznosu nemocí (Strogatz, 2003), menší svobody jednání (Bumann & Krause, 1993) a konkurence ze strany vlastního druhu (Krause, 1993).

Veselovský (2008) konstatuje, že v hejnu dochází k tzv. sociálnímu chování, které plyne z kontaktu více jedinců. Může v něm docházet k agresivitě, nebo naopak k pomoci od ostatních jedinců. Jedinec má také možnost najít si potencionálního partnera a vybudovat tak svoje potomstvo lépe než individuálně žijící druhy. Jedinec si také dokáže

podstatně lépe utvořit určité teritorium. V hejnu ryb někdy dochází k určité hierarchii mezi jedinci. Ryby si poměrně dobře pamatují souvislosti a dokonce postavení ryb v hejnu, takže nezapomenou, kdo má v hejnu jakou roli (Brown, 2001).

Velikost hejna je u každého druhu velmi rozdílná, i když ryby všeobecně preferují spíše hejna větší. Například sled' obecný je schopen utvářet hejno až téměř 5 kilometrů dlouhé. To může znamenat, že v hejnu jsou až 3 miliardy ryb (Radakov & Viktorovich, 1973). Největší hejna v moři jsou však až 7 kilometrů dlouhá a 1,5 kilometru široká. Tato hejna jsou také schopna plavat obrovskou rychlostí. Je tomu tak především kvůli predacím a bezpečnosti. Velká hejna jsou preferována spíše u ryb, které jsou menší nebo se nemají jak bránit. Jak konstatují autoři Tedeger & Krause (1995), nemůžeme očekávat, že například koljuška tříostná (*Gasterosteus aculeatus*), která má 3 ostny k obraně, bude potřebovat tak velké hejno jako potřebuje střevle potoční (*Phoxinus phoxinus*), která na sobě nemá žádné vybavení k obraně. Nicméně se podařilo prokázat, že pokud jsou tyto druhy pod stresem například z důvodu nedostatku světla, preferují raději větší hejno oba druhy. Je také dokázáno, že pokud se liší počet ryb v hejnu jen velmi málo (například jedno hejno má 6 jedinců a druhé 5), přestává docházet k preferenci většího hejna a ryby tento malý rozdíl neřeší. Velikost hejna také ryby neřeší v případech, ve kterém nemají dostatek času na zjištění daného počtu (například mají jen 10 vteřin místo potřebných 150 vteřin), pokud rozdíly v počtech jedinců v hejnu nejsou velké již na první pohled (Krause et al., 1998). Na druhou stranu existují výjimky, jako je například jelec tloušť (*Squalius cephalus*), který má na hejno ryb přísnější nároky, protože si dokáže více uvědomovat ochranu hejna před predátory (Krause & Godin, 1995).

Příkladem různorodé velikosti hejna je okoun říční (*Perca fluviatilis*). Pokud okoun chce utvořit soudržné hejno, může do hejna vpustit pouze 3 jedince. Avšak mnohdy okouni utváří hejna o stovkách jedinců. Takové větší hejno však vytváří menší soudržnost. Okoun je také dobrým ukazatelem toho, jak na utváření hejna působí velikost ryb. Jedinci menší 8 cm utváří větší hejna a jen zřídka utváří hejno s okouny nad 16 cm (Eklöv, 1997). Naopak Craig (1987) uvádí, že velcí okouni žijí svůj život osamoceně nebo pouze ve dvojicích.

Hejnové ryby jsou schopné kolektivního vědomí a přemýšlení. Platí to nejen pro nedravé druhy ryb, ale také pro dravé druhy. Příkladem je pozření mořské ryby známé pod japonským názvem fugu, která je toxická. Jakmile se jedinci otráví, ostatní ryby si

už dají příště pozor. Neplatí to ale samozřejmě jen o rybě fugu, ale i u ostatních životních nástrah, které na rybu čekají. Může to být jakákoliv špatná potrava, jakékoliv nebezpečí a další zkušenosti v rybím životě (Hirao, 1996).

Důležité jsou také vztahy, které v hejnu panují. Jestliže ryby nejsou v tak velkém hejnu, jak by si představovaly, dochází pak k celkové nespokojenosti a vytváření nadměrného stresu. U některých druhů ryb je možné, že samci začnou nadměrně obtěžovat samice a ty poté ztrácejí chuť na výtěr a v případě předchozího oplození mají problém potěr donosit. Pokud se partneři neumějí dohodnout, může tuto dohodu ukončit až smrt jednoho z páru. Příkladem může být nějaký z tlamovců, též nazývaných jako mouthbrooders. U těchto druhů bylo též zjištěno, že u samic, kterým byly jikry vyjmuty uměle, měly problém se do hejna opět začlenit (Kraut, 2008). Hejno je tedy velice složitý útvar, který představuje mnoho možností ke zkoumání, avšak kvůli nepřístupnosti všech koutů světa nejsme schopni vše důkladně prozkoumat. Nicméně i tak nám pojem hejna nabízí obrovské vědecké možnosti.



**Obr. č. 1.** Hejno ryb v Indickém oceánu (Jitka Fialová, 2010)

### **2.1.1. Vznik rybího hejna**

Hejnové ryby rády žijí v párech a společně s mnoha dalšími jedinci. Je to však především kvůli jejich přežití. Proto je pro ně vznik hejna velice důležitý. Každý druh

ryby má buď nízkou, nebo vysokou společenskou úroveň. Hejnové ryby mají společenskou úroveň poměrně vysokou a potřebují ostatní jedince kolem sebe (Launay et al., 1991). Nicméně, jak přesně vzniká rybí hejno, je i přes mnohá poznání záhadou. Neplatí to však jen pro ryby, ale i pro ptáky. I přes mnoho existujících výzkumů se lidé nedokázali dostat tak daleko. Je mnoho teorií, se kterými se pracuje. Jednou z nich je například teorie, že postupně vznikají páry a poté se přidávají další a další jedinci, až vznikne hejno (Camazine et al., 2001). Některé výzkumy nasvědčují tomu, že se při vzniku hejna uplatňuje také čich. Zajímavostí je, že čich se uplatňuje i u některých savců při výběru partnera, včetně člověka. Přesně se jedná o tzv. hlavní histokompatibilní komplex (MHC), což je označení pro několik typů glykoproteinových komplexů, které se nacházejí na vnějších stranách cytoplazmatické membrány buněk obratlovců. Hlavní histokompatibilní komplex má důležitou funkci v imunitním systému, protože se na něj v případě napadení virem připevňují určité chemické látky, které jsou vylučovány na povrch buňky a poté jsou prezentovány buňkám imunitního systému. Ryby mají na tento typ molekuly nejspíše výraznou citlivost a tento komplex jim může pomoci při vzniku rybího hejna nebo při vyhledávání partnera. Největší vliv tohoto komplexu je pravděpodobně spíše u mladých ryb, jelikož ve vyšším věku již tento komplex zřejmě nemá tak silné působení a logicky není pro staré ryby pro výběr partnera nebo vznik hejna potřeba (King et al., 2006).

Hejno ryb se může rozpadat a slučovat v různých časových intervalech nebo podmínkách prostředí. Například přes den se může hejno tvořit a na noc rozpadat, nebo naopak. Záleží vždy, zda jde o rybu s noční nebo denní aktivitou (Pavlov & Kasumyan, 2000). Hejno se také může slučovat a rozpadat v závislosti na potravní zdroje (Henzi et al., 2008) a případnou hrozbu, kdy se může oddělovat jen část hejna (Handegard et al., 2012). V neposlední řadě mohou vznik hejna ovlivnit také sensorické vjemy. Ryby jsou totiž vůči sensorickým vjemům velice citlivé. Některé druhy ryb reagují více na vizuální podněty a některé na chemické podněty. V případě, že nějaká z těchto věcí není v pořádku, může to mít negativní vliv na vznik hejna (King et al., 2006).

Podle Graye & Dentona (1991) je při vzniku rybího hejna potřeba mezi sebou udržovat vhodné vzdálenosti, aby ryby mohly mít dostatečný prostor pro pohyb a případné reakce na různé typy podnětů. Pokud jsou ryby příliš blízko u sebe, jejich reakce mohou být pomalejší. To jim znemožňuje včas zareagovat na případné nebezpečí nebo

snížené možnosti příjmu potravy. Rybám, které jsou blízko sebe, může často dělat problémy málo prostoru a v hejnu se tak může projevit dokonce kanibalismus. Pokud jsou ryby od sebe naopak příliš daleko, nemusí zareagovat na podnět od jiné ryby, protože ho včas nepostřehnou. Například při zvukových signálech od jiné ryby se vzdáleností mění frekvence zvuku a to může signály i zkreslovat. V tomto případě jsou vyšší frekvence zvuku tlumeny více než nižší (Coleman, 1962). Je tedy důležité pro ryby udržovat vhodné vzdálenosti, které však mohou být pro každý druh odlišné. V případě malých ryb nejsou příliš velké vzdálenosti potřeba a větším rybám naopak mohou větší rozestupy vyhovovat. Nutností je také znalost přesného umístění důležitých jedinců v daném hejnu, podle kterých ryby reagují. Pro určení nejdůležitějších ryb v hejnu je potřeba daného jedince umět odlišit od ostatních (Karpenko et al., 1997).

Ryby jsou schopny rozlišování jedinců, se kterými jsou ve styku za pomoci zraku a mohou si vybrat jedince, se kterými naváží vztah nejdříve. Především ryby žijící v hejnech si vybírají jedince se stejnými nebo podobnými znaky a tvoří s nimi různě početná hejna. Jak bude hejno vypadat, je tak ovlivněno několika faktory. Některými z faktorů jsou barva (McRobert & Bradner, 1998), druh (Keenleyside, 1955) a velikost ryb (Ward & Krause, 2001). Čím jsou znaky ryb v hejnu dané rybě podobnější, tím je větší pravděpodobnost, že se ryba k hejnu připojí (Peuhkuri et al., 1997).

Metcalf & Thomson (1995) popisují, že kdo do hejna půjde a kdo ne si vybírají vůdčí samci. Stejní autoři ukazují toto chování na střevli potoční, kde je jednoznačně vidět, že některé druhy berou do hejna pouze ty jedince, kteří jim nebudou příliš konkurovat v potravě. U tohoto druhu ryby se také podařilo dokázat, jaký má vliv velikost hejna a známost ryb na daný druh. Ukázalo se, že jedinci mají větší zájem o hejno známých jedinců i v tom případě, že je dvojnásobně menší. Pokud by hejno bylo tvořeno ze zcela neznámých jedinců, muselo by zaujmout svojí velikostí a být několikanásobně větší, aby se v něm jedinec cítil bezpečně (Barber & Wright, 2001).

Často si také jedinci vybírají do hejna příbuzné jedince. Dávají tak přednost známějším rybám před neznámými. Může jim to sice poskytovat nevýhodnost v genové variabilitě, ale zase je naopak větší šance, že se dané geny uchytlí a přenesou se dál. Tuto teorii podpořil Hamilton (1963) a netýká se pouze ryb, ale i mnoha dalších živočichů. Příbuzné jedince do hejna rády přivítají především ryby lososovité (*Salmonidae*),



vrubozubcovité (*Cichlidae*) nebo akvariijní ryby, především živorodé (*Poeciliidae*) a mnoho dalších (Brown & Brown, 1992; Hesse et al., 2012; Warburton & Lees, 1996).

### 2.1.2. Typy rybího hejna a hejnová hierarchie

Rybí hejna představují 2 základní typy. Prvním typem je otevřená anonymní společnost bez vytvořené hierarchie, kde se jedinci spolu neznají. Takové hejno nebývá příliš rozmanité a většinou se zde nacházejí pouze jedinci stejného druhu, věku i velikosti. Vytvoření hejna tvořeného více druhy se víceméně nevyskytuje. V případě, že by se vyskytla, byla by silně omezena věkem jedinců, a to především na rané stádium, kdy to rybě přináší řadu výhod. Jako příklad slouží chování ryb v akváriu. Jakmile dáme do akvária 2 druhy ryb, které si navzájem konkurují, dojde dříve nebo později k potlačení jednoho druhu. Potlačení jedinci velmi pomalu rostou, popřípadě může dojít i k úhynům. V přírodě je však situace naprosto odlišná. Jedinec má možnost úniku a může hejno kdykoliv opustit. Ačkoliv to není na první pohled někdy viditelné, každý jedinec má nějakou potřebu vytvářet si kolem sebe určitý prostor, i když někdy jen minimální. Odstup si ryby udržují opticky, protože ryby zdržující se v hejnech mají většinou odlišné zbarvení. Příkladem je typický svítivý modrý pruh u neonky červené (*Cheirodon axelrodi*) nebo typický znak teter žhavých (*Hemigrammus erythrozonus*), kterým je oranžový pruh (Hofman a Novák, 1996).

Pokud hejno ryb nemá vůdce, dochází k různému chování. V takovémto hejnu nemají ryby znalost globálního chování ani znalost globálního prostředí. Avšak dokáží se shromažďovat a přemisťovat na základě podnětů od ostatních jedinců. Pomocí těchto podnětů dochází k vytvoření komplexního kolektivního chování (Kennedy et al., 2001).

Druhým typem je uzavřená individuální společnost, která je však podstatně méně častá. V této skupině se všechny ryby znají a hierarchie už zde hraje roli. Mezi rybami funguje složitý systém komunikace. Jednotlivci se mohou dorozumět pomocí několika zřejmých signálů, jako je změna zbarvení či uplatňování různých tělesných postojů nebo signálními pohyby. V tomto typu společnosti už má každý jedinec svou pozici a na základě jeho schopnosti vůdcovství je tak v hejnu zařazen. Nejsilnější jedinec v hejnu je tzv. alfa jedinec, kterému jsou podřízeni ostatní členové hejna. Tento jedinec v podstatě velí celému hejnu. Alfa jedinec je nejsilnější a za svůj život se i nejvíce naučil. Určitou roli samozřejmě hrály také genetické dispozice, které dostal od svých předků. Další roli

v tom být ostatním nadřazený může mít i zbarvení. Největší postavení mají většinou ryby kontrastně zbarvené, protože tím dokazují určitou útočivost a nebezpečnost. Zajímavé je, že jedinec může pronásledovat všechny ryby včetně mlád'at, avšak mladých jedinců si příliš nevšímá. Hned pod ním najdeme, o něco slabšího jedince beta, který je sice nadřazen zbytku hejna, ale podřazen alfa jedinci. Nejslabší člen hejna se nazývá omega jedinec a ten je naopak všem jedincům podřazen. Kdo bude alfa, beta nebo omega jedinec nerozhoduje pohlaví, ale spíše dominantnost a schopnost daného jedince poprat se s nebezpečím a vytvořit si tak svoje postavení. Může se například stát, že samice bude více dominantní než samci a získá tak vyšší postavení. U mlád'at je situace také velmi zajímavá. V průběhu života se totiž může situace značně změnit, a pokud je jedinec nejvíce dominantní v mládí, neznamená to, že tomu tak bude i za nějaký čas. Mladí jedinci se však snaží co nejdříve zapůsobit na starší jedince a začlenit se tak mezi ně a mít mezi nimi určité postavení. U starších jedinců je naopak situace stabilnější, takže silnější a slabší jedinci jsou naopak na tom velmi podobně, co se postavení týče celý život (Hofman a Novák, 1996).

Rybí vůdce má velmi důležité postavení, a proto si o něm ještě krátce pohovoříme. Jak zaznělo v předchozím odstavci, musí být tato ryba nejsilnější a nejvíce dominantní v celém hejnu. Otázkou ale je, jaké musí mít tato ryba vlastnosti a schopnosti se v dané situaci rozhodnout. Samozřejmě je důležité, aby se tato ryba rozhodovala co nejlépe ve prospěch hejna. Důležité je, aby se vůdce rozhodl, jestli se vyplatí v dané situaci riskovat nebo raději uniknout. Příkladem je potrava, u které se nachází nějaký predátor. Vůdce se musí rozmyslet, jestli si pro potravu dojít nebo jestli se do toho raději nepouštět. Všichni poté vůdce následují. Nicméně záleží na dalších podmínkách, než jen na rozhodnutí vůdce. V tomto případě by záleželo na tom, jestli u ryb dochází k hladovění či nikoliv (Reuter & Breckling, 1994).

Podle Bumanna & Krause (1993) mají vůdčí ryby výhody i nevýhody oproti ostatním jedincům. Výhodou je, že na rybiho vůdce si takřka nikdo z vlastního hejna nedovolí, a tudíž se jedinec nemusí stresovat z potencionálních konfliktů. Jedinec má zároveň také jako první přístup k potravě, tudíž má vysoký příjem živin a rychleji roste. Potrava, kterou se vůdčí ryba živí, má také podstatně vyšší kvalitu. Poslední zmíněnou výhodou je možnost svobody, jelikož tato ryba nemusí nikoho následovat a má možnost plavat kam chce. Nevýhodou je naopak vysoký predáčnický tlak od predátorů, jelikož rybi vůdce bývá

odlišnou rybou v čele hejna a predátoři na něj zpravidla více útočí. Další nevýhodou jsou vysoké energetické výdeje, které vůdce vydá na svoje úkony při vedení svého hejna. Poslední nevýhodou je méně času na sociální interakce, jelikož se vůdce musí plně zabývat svými povinnostmi. Naopak u ryb, které vůdce následují, jsou výhody a nevýhody opačné. To znamená, že ostatní ryby v hejnu mají menší výdej energie, menší predanční tlak a více sociálních interakcí. Naopak postrádají velké množství potravy, kvalitní potravu, vysokou bezpečnost v hejnu a svobodu.

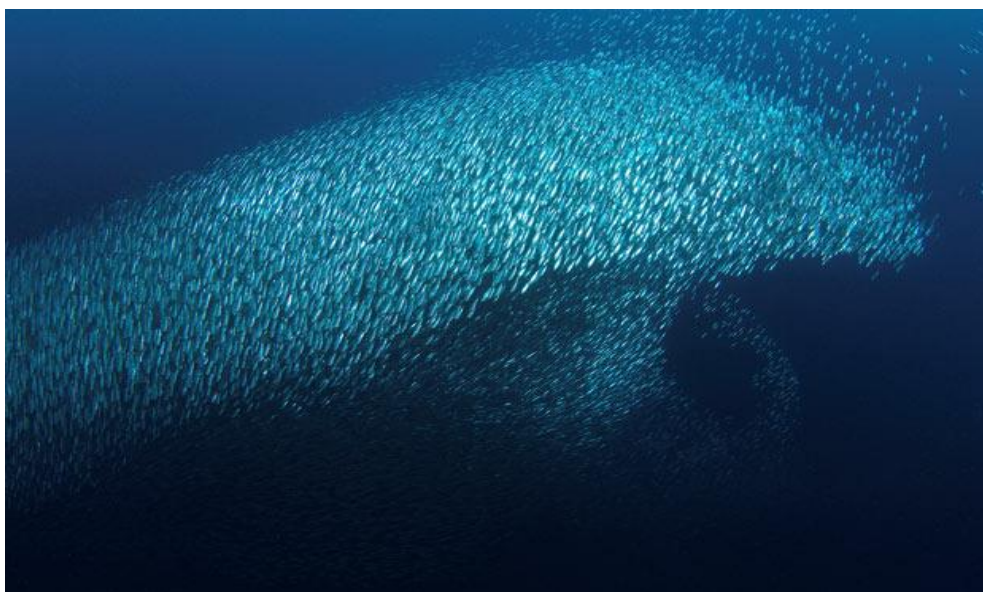


**Obr. č. 2.** Obrázek znázorňující vedení rybiho vůdce a jeho odlišnost (Deb Stambaugh, 2012)

### **2.1.3. Důvody ryb pro vytvoření hejna**

Důvodů, proč ryby tvoří hejna je celá řada. Důležité je si uvědomit, že klíčová je pro hejno jeho stabilita. Stabilní hejno je takové hejno, v němž jedinci zůstávají po delší dobu a nedochází tak k jeho rozpadu. Při nestabilitě hejna by totiž mohlo dojít k jeho rozpadu, a proto ryby raději v hejnu preferují jiné ryby jim známější, než ty, o kterých doposud nevěděly. Stabilnější hejna si tak dokáží s případným nebezpečím poradit podstatně lépe než ty, které stabilitu nemají. Nejvíce toto tvrzení platí pro ochranu před predátory, kdy se menší ryby snaží přitisknout co nejvíce k sobě a vytváří tak efekt ještě většího predátora, než je napadající predátor sám. Zároveň také vytváří vizuální mimikry predátora, kdy dochází k obrovské podobnosti právě onoho nebezpečného dravce (Springer, 1957). Jeden z výzkumů také přišel s tvrzením, že rybí hejno napodobuje

tlakové signály podobné právě větším dravcům, a to přináší matoucí efekt i bez vizuálního podnětu, kdy dravec vnímá tento podnět svou postranní čarou. Toto se uplatňuje při závěrečném útoku dravce, kterého to mnohdy odradí (New et al., 2001). Pokud by hejno stabilní nebylo, rozpadlo by se a k efektu by nedošlo. Mezi těmito rybami probíhá komunikace za pomoci feromonů, postranní čáry, vizuálních podnětů či zvuků, které ostatní jedince informují o probíhající nebezpečí (Wisenden & Smith, 1998). Některé tyto způsoby komunikace jsou popsány v dalších kapitolách.



**Obr. č. 3.** Hejno ryb vytvářející shluk vypadající jako velký predátor (Steve De Neef, 2011)

Hejno se uplatní také při hledání potravy. Jedním z hlavních kritérií je počet jedinců, kdy zde funguje přímá úměrnost během vyhledávání potravy. To znamená, že více jedinců toho více zpozoruje a tím pádem najde i více potravy. Při tomto procesu vyhledávání ryby zaujímají dvě základní postavení. Jedno postavení mají méně zdatní jedinci, kteří spíše potravu vyhledávají a druhé postavení mají silnější a vůdčí jedinci, tedy vůdci rybího hejna. Pozorovatelé, jakožto slabší ryby také ve vlastním zájmu hledají hejna ochotněji než vůdci, tedy ryby zdatnější a hierarchicky výše postavené. Jakmile se vůdce a pozorovatelé spojí, vytvoří tak velmi efektivní skupinu pro vyhledávání potravy. Hledání potravy zabere méně času a zároveň se najde potravy mnohem více, než kdyby jedinec sám proplouval vodami, a také jednotlivé ryby mají snížený výdej energie (Domenici et al., 2007). Takové chování bylo velmi často pozorováno na živoroďce

duhové (*Poecilia reticulata*), případně i na podobných rybách, též chovaných v akváriích. Nicméně toto chování mají i naše ryby, jako je plotice obecná (*Rutilus rutilus*), cejn velký (*Abramis brama*) a další (Swaney et al., 2001).

Hejno ryby také vytváří často z důvodu zimování. Toto lze vidět i u našich druhů ryb, které nějakým způsobem zimují v nejhlubších částech vod a jejich výdej energie je tak přes zimu velmi minimální. K rybám, které z tohoto důvodu vytvářejí hejno, patří většina kaprovitých ryb. Nicméně se s tímto chováním lze setkat i u sledů obecných (Copp, 1997).

S dalším důvodem vytváření hejna se můžeme setkat u sumce velkého (*Silurus glanis*). Tento náš největší žijící druh ryby vytváří hejno pro ochranu hnízda po tření. To je pro plůdek sumce velice významné, jelikož by si bez ochrany velkých sumců nemusel poradit. U sumců je také obecně známo, že jsou při svých výtěrech díky hormonům velmi agresivní a tak jsou velmi dobrými ochránci. Hejno jim tak v tomto ohledu přináší ještě větší efektivitu (Brown et al., 2006).

Jedinci žijící v hejnu vykazují menší agresivitu vůči ostatním jedincům a lepší vztahy s nimi. V hejnu tak dochází k minimálnímu počtu střetů s jiným jedincem v hejnu. Pokud však k souboji i tak dojde, netrvá většinou příliš dlouho, nekončí smrtí a většinou vyhrává nadřazený jedinec. Ryby tak snadněji poznají, kdo je jim nadřazen a na koho si příště nedovolovat. Jedinci tak zbytečně neútočí na další jedince, jelikož už ví, že proti některým jiným rybám z hejna nemají prostě šanci (Johnsson & Akerman, 1998; Höjesjö et al., 1998). Jedinci si vytvářejí respekt ze silnějších jedinců i v případě, že se sami neúčastnili žádného souboje. Stačí pouze to, že daný souboj vidí u ostatních a hned jim je jasnější, na koho si mají dát pozor. Ryby jsou natolik inteligentní tvorové, že si příště uvědomí silnějšího jedince a vyhnou se tak případné újmě na jejich zdraví. Ryba, která se utkala v souboji nebo souboj viděla, ovšem není jediná, která pozná silnější jedince. U některých druhů ryb se můžeme setkat s tím, že silnější jedinci mají jinak zbarvené tělo, než jiní jedinci stejného druhu. Typickým příkladem je losos obecný (*Salmo salar*), u kterého je tmavší jedinec většinou méně dominantní (O'Connor et al., 2000).

Posledním zmíněným důvodem je vyšší šance rozmnožování. Jelikož se v hejnu často nachází obrovské množství jedinců, je schopnost nalézt si partnera k rozmnožování poměrně jednoduchá. Je velká šance, že v hejnu se nachází dostatečný počet samců a samic ve vhodném poměru. Nemusí to být samozřejmě vždy pravda, jelikož se mohou

vyskytovat i hejna s vysokým počtem jedinců jen jednoho pohlaví. To však není příliš běžná záležitost. Nicméně se často s tímto jevem, kdy se před rozmnožováním vytváří hejna odděleného pohlaví, setkáváme třeba u pstruha obecného, kdy se vytváří taková hejna poměrně běžně (Pender & Kwak, 2002). Hejno může být složené z příbuzných a nepříbuzných jedinců, kdy pro rozmnožování je samozřejmě vhodnější určitá genetická variabilita ve formě nepříbuzného hejna (Larsson, 2009).

#### **2.1.4. Výhody a nevýhody rybího hejna**

Hejno rybám přináší řadu výhod a nevýhod. Logicky si můžeme odvodit, že převažují spíše výhody nad nevýhodami, jinak by ke sloučení ryb do hejna nedošlo. Hlavní výhody se tedy týkají především bezpečnosti, což je pro rybu klíčové pro její přežití. Ryby může ohrozit jakýkoliv predátor a hejno tedy nabízí určitou obranu proti němu, jak již bylo zmíněno v kapitole zabývající se důvody ryb pro vytvoření hejna. Větší hejna mají většinou menší ztráty na rybách, než hejna menší. Mnoho výzkumů ukázalo, že ryby, které si měly vybrat velké nebo malé hejno, téměř vždy daly přednost velkému hejnu. Bylo to zjištěno tak, že výzkumní pracovníci dávali nové ryby v nádržích k hejnům s různým počtem jedinců, a tyto nové ryby se téměř vždy připojily k největšímu možnému hejnu. Připojit se k hejnu je nejdůležitější pro mladé jedince, jelikož právě mladší kategorie ryb bývají snadnější kořistí. Na toto téma již bylo uděláno několik testů, které dokázaly, že mladé ryby mají opravdu tendence více se sdružovat s hejnem, než starší ročníky. Náchylnost k hejnu je také větší u „ustrašenějších“ mladých ryb a malých ryb, jako je například sardinka obecná (*Sardina pilchardus*) nebo u nás žijící plotice obecná a střevele potoční (Hager & Helfman, 1991).

Také ryba, která hledá potravu, je pro predátora snadnou kořistí a hejno jí tak může v mnoha ohledech pomoci. Může ostatní jedince upozornit, když se predátor objeví. Zároveň také může vytvořit případnou obranu pro ochranu teritoria. Množství potravy silně negativně ovlivňuje pozornost ryby, která se zaměří pouze na hledání potravy v daný okamžik a mnohdy zapomíná na svoje bezpečí. Jednoznačně bylo prokázáno, že zvýšené množství potravy v daném místě ovlivňuje i predaci v tomto místě. Hejno tak jedince může několika způsoby varovat, když se objeví predátor a celá skupina má tak šanci včas uniknout (Godin & Smith, 1988). Způsoby, jakým ryby běžně predátora před upozorněním jedinců ve svém hejnu detekují, jsou 2 základní. Ryby jsou schopny

predátora detekovat pouhým pohledem nebo pomocí postranní čáry (Hoekstra & Janssen, 1985). Jakým způsobem detekce probíhá, bude podrobně vysvětleno v kapitole pojednávající o postranní čáře.

Výhodou ryb v hejnu je také rychlejší růst, který je dán v návaznosti na vyšší příjem potravy. Ryby s vyšším příjmem potravy nabírají na délce i hmotnosti podstatně rychleji, než ryby s nižším příjmem potravy. Dále mají ryby často tělo s optimální stavbou, což jim umožňuje dosáhnout větší hydrodynamiky (Seppä et al., 2001).

Výhodou je také vyšší schopnost hejna učit se. Jedinec se učí od více jedinců a má více vzorů, než kdyby žil mimo hejno (Veselovský, 2008). Schopnost učit se je u některých ryb vyvinuta poměrně dobře. Jak zjistili autoři Goméz-Laplaza & Morgan (2005) u některých skalárů (*Pterophyllum scalare*), tak tyto akvariijní ryby jsou schopny se velice rychle naučit přesné místo, kde jim je krmení nabízeno a sloučit se tak na toto místo velice rychle a v hojném počtu. Rychlá schopnost učení se nám také ukazuje u péče o potomstvo, kterou mají dobře vyvinuti především sumci (*Siluriformes*), kteří chrání svoje potomstvo velice dobře i před řadou predátorů a navíc jim poskytují okysličenou vodu vlastními ploutvemi (Brown & Smith, 1994).

Samozřejmě nám hejno přináší více výhod. Některé z nich však byly zmíněné v předchozí kapitole. Pro zopakování si můžeme zmínit například zvýšenou možnost sexuálního rozmnožování (Pender & Kwak, 2002) či zlepšené sociální vztahy a tím sníženou míru agrese v rámci jedinců svého druhu (Johnsson & Akerman, 1998; Höjesjö et al., 1998).

Utváření hejna má však také řadu nevýhod, které je potřeba zmínit, jelikož mohou být klíčové pro přežití ryb stejně jako výhody. Jednou takovou nevýhodou je vyšší schopnost přenosu parazitů z jednoho jedince na druhého, jelikož jsou jedinci neustále spolu a mohou se od sebe snadno infikovat. Nemoc se pak šíří nekontrolovatelnou rychlostí mezi ostatní jedince v hejnu a v případě nebezpečných nemocí může docházet k obrovským úhynům. To samé platí i u havárií, kde můžeme nalézt na jednom místě relativně velké množství ryb (Strogatz, 2003).

Někdy se však může stát, že pokud máme za běžných podmínek výhodu, za zhoršených podmínek se nám z ní stane nevýhoda. Toto platí u hejna v rámci predace, pokud je hejno nezkušené nebo nemá tak vyvinuté ochranné mechanismy a rychlost reakcí. Pokud hejno ryb vykazuje zaostalost, je pomalé nebo se pohybuje pravidelně,

může predátor do jisté míry odhadnout reakci hejna a být tak o krok napřed. Jistě, toto se může stát i jednotlivým rybám, nicméně hejno je podstatně více vidět a predátor má tak „prostřený stůl“ přímo před svým zrakem (Vallortigara, 2006).

Další nevýhodou je již zmíněná omezená schopnost ryby dělat si co chce, jelikož je nějakým způsobem ovlivněná svým hejnem a musí se v mnoha ohledech podřít (Bumann & Krause, 1993). Občas z toho tak plyne i další nevýhoda, kterou je omezená možnost se nasytit. Ve výše zmíněném případě to byla sice výhoda, jelikož je ryba k hledání potravy více, nicméně v rámci celého hejna je tak potravy podstatně méně. Pokud na rybu zbyde dostatek potravy, tak nemusí být příliš kvalitní pro zdatný růst. Ryba by měla třeba potravu jen pro sebe, ale takhle se o ni musí dělit. Otázkou ale zůstává, jestli by vůbec dokázala nějakou potravu najít (Domenici et al., 2007).

Z výše uvedených výhod a nevýhod nám plyne, že některé výhody a nevýhody hejna jsou jednoznačné a u některých nelze zcela identifikovat, jestli jde o výhodu nebo nevýhodu. Zcela určitě záleží na mnoha faktorech. Některými z faktorů jsou velikost ryby, hmotnost ryby, zbarvení ryby, věk ryby či schopnost ryby přežít dané podmínky samostatně či nikoliv. Zcela jistě také záleží, zda jde o dravý nebo nedravý druh. Dravé ryby mají obecně vyšší šanci na přežití, jelikož jsou podstatně výše v potravním řetězci. Každá ryba má tedy již od narození jiné podmínky a co je pro jednu rybu výhodou, nemusí být výhodou pro každou rybu.

### **2.1.5. Rozpoznávání ryb mezi sebou**

Rozpoznávání ryb mezi sebou je složité téma. Na otázku co pro rybu vlastně znamená známý jedinec je jen relativní odpověď. Pro každý druh ryby to může být jinak. Některé ryby musejí daného jedince znát déle, někteří už ne tak dlouho, aby ho mohly považovat za známého. Příkladem nám je právě živorodka duhová, která má tuto vnímavost výrazně specifickou. U tohoto druhu však záleží také na pohlaví, kdy větší vnímavost vykazují spíše samice. Podařilo se prokázat, že živorodce stačí pouze 12 dní na zapamatování si konkrétního jedince a uchování si konkrétního jedince v povědomí po delší dobu (Griffiths & Magurran, 1997a).

Poznávání vlastního druhu a příbuzných či známých jedinců je pro ryby velice důležité. Na tomto základě ryby používají nejčastěji dvě základní možnosti jak poznat



známé jedince od neznámých. První možností je rozpoznat se mezi sebou na základě chemie, to znamená čichem. Tímto způsobem se dorozumívá například koljuška tříostná, se kterou je možno se setkat i u nás (Ward et al., 2004).

Komunikace za pomoci čichu je pro ryby velice výhodná, jelikož ve vodě se komunikační impulzy šíří relativně rychle. Tento druh komunikace je vhodný především v podmínkách, kde je jiná možnost komunikace jen těžko využitelná, hlavně pokud se jedná o vodu silně znečištěnou nebo zakalenou. Tento druh signálu ryby využívají také ve tmě, kde by se ryby zrakem orientovaly jen velmi těžko. Další zajímavostí je, že stejně jako u mnoha dalších živočichů zde funguje princip, kdy ryby hledají partnera na základě pachové stopy. Mohou tak dokonce zjistit i přítomnost dravé ryby a jiných predátorů, které jim mohou jejich životy znepríjemnit. Ryby dokonce dávají takto znát svoji dominanci a budují si tím i svoje postavení (Bryant & Atema, 1987). U tohoto způsobu komunikace bylo dokázáno, že i ryby, které se po delší dobu neviděly, tak neměly nejmenší problém rozpoznat se mezi sebou a zařadit se tak u protějšku mezi známého jedince (Brown & Smith, 1994).

Primárními faktory ovlivňující tyto chemické signály se stává to, čím se ryba živí, tedy její potrava a také prostředí, ve kterém žije. Tyto okolnosti totiž ovlivňují pach ryby. Ryby velice na chemické signály apelují a raději se sloučí do hejna s rybou, která se živí podobnou potravou, než s rybou příbuznou, která preferuje odlišný způsob života. Dochází tak tedy k vytvoření hejna, ve kterém jedinci nemusí být příbuzní nebo příliš známí, avšak vykazují okolí stejné chemické vlastnosti s ostatními rybami v hejnu (Ward et al., 2004).

Podle Banda (1991) je druhou možností rozpoznávání jedinců v rybím hejnu zrak. Díky vizuálnímu pohledu jsou ryby schopny rozpoznat druhého očima a nepotřebují přítomnost žádného jiného chemického signálu. Záleží však na vyvinutí zraku u jednotlivých ryb. Ryby s vyvinutějším zrakem logicky poznají jedince lépe, než ryby se zrakem horším. Dravé ryby vidí podstatně lépe, než ryby nedravé, jelikož zrak využívají k lovu. Ryby obecně vnímají rozsah vlnových délek asi 350-750 nm. V drtivé většině případů ryby vidí barevně. Co se týče pronikání světla skrze vodní sloupec, voda nejlépe absorbuje červenou a oranžovou část spektra, a z toho důvodu toto spektrum neproniká hluboko. Modrozelené a zelené spektrum je ve vodním sloupci rozptýleno, a naopak ultrafialové záření proniká nejhluběji (Hofman a Novák, 1996). Na základě vizualizace

je ryba schopna poznat konkrétně známého jedince. Tato skutečnost je potvrzena u akvariijní ryby bojovnice pestré (*Betta splendens*). O zraku tohoto druhu není nejmenší pochyb. Začínajícímu chovateli akvariijních ryb se může stát, že z důvodu neznalosti umístí k sobě 2 samce, kteří spolu začnou bojovat o teritorium. Samci se poznají od ostatních druhů ryb či dokonce od samice, což je jasným důkazem dobrého zraku. Výjimkou není ani známý druh akvariijní ryby, kterou je živorodka duhová, která však není tak agresivní, jako výše zmíněná bojovnice pestrá (Griffiths & Magurran, 1998).

Teoreticky by ryby měly být schopné rozpoznat vlastní druh i za pomoci zvuku, jelikož má každý rybí druh specifickou intenzitu vydávání zvuku, pokud je toho schopen. Jaké frekvence zvuku ryby slyší je popsáno v kapitole s názvem reakce ryb na zvuky. Nicméně použití rozpoznávání zvukem funguje spíše v rozpoznávání rybích druhů, nikoliv v rámci jedinců jednoho druhu. Jedinci v rámci konkrétního druhu mají zpravidla velice podobnou intenzitu zvuku a těžko by se tak poznávali například při hejnu o velikosti několik desítek ryb, natož pak v hejnu při velikosti několik milionů ryb. Nejlepším způsobem, jak rozpoznat konkrétní rybu tak tedy zůstává zrak a čich nebo pokud možno nejlépe kombinace obojího (Frisch, 1938).

### **2.1.6. Učení ryb na základě předchozí zkušenosti**

Učení u ryb může být definováno jako schopnost měnit chování na základě předchozí zkušenosti. Učení je právě jedním z důvodů, jaké mají ryby chování, a jak na určitý podnět zareagují. Vědci se už dlouhou dobu snaží zjistit, čeho je mozek ryby schopen. To znamená, jaké jsou vlastně vůbec limity a schopnosti ryb se učit. U pokusů se často na takové výzkumy používají řízené podmínky vnějšího prostředí, jelikož je to podstatně jednodušší, než ryby zkoumat v jejich přirozeném prostředí. Nicméně se také, i když méně, používá sledování ryb žijících v přirozených podmínkách na běžných místech, kde se projeví jejich normální chování ve volných vodách. Učení je důležité i pro hejnové druhy, jelikož se ryba učí i jedna od druhé (Gleitman & Rozin, 1971).

Z ohlasů lidí občas vyplývá, že ryby, jakožto nižší obratlovci nemají tak dobrou schopnost učit se jako vyšší obratlovci a tudíž nejsou častým předmětem zkoumání, jako vyšší obratlovci. To je ovšem mylná myšlenka. Ryby nejenže mají velmi dobrou schopnost se učit, ale jsou i velmi často zkoumanými živočichy a zajímají řadu výzkumných pracovníků či dokonce širokou veřejnost. Téměř v každé oblasti, ve které

můžeme najít schopnost se něčemu naučit u ptáků či savců, můžeme najít podobný příklad i u ryb. Je ovšem pravda, že některé těžší úkoly, které mohou někteří savci dělat, ryby dělat nemohou. Jedná se však především o schopnosti spojené s technickou manipulací, například manipulací s potravou či jiným předmětem, které by rybám nepřinesly příliš velký užitek. Zkoumat rovnocennost inteligence tak není správným předpokladem (Ehlinger, 1989).

Učení u ryb je velmi důležitým aspektem jejich života a může mít rozdílné podoby. Je možné klasifikovat mnoho rozdílných podob učení, ale my si rozebereme jen 2 nejdůležitější, které se týkají spíše učení psychologického. Zmíněnými typy učení jsou klasické (Pavlovianovo) učení a instrumentální (operativní) učení (Mackney & Hughes, 1995). Klasické učení nastává tehdy, když se subjekt dozví, že jedna konkrétní událost je obvykle následována jinou. U ryb bychom si mohli jako příklad dát to, že když jdeme s hrstí krmení k akváriu ryby krmí, tak nás ryby vidí a začínají plavat v blízkosti předního skla. Postupně se tak naučily spojovat si člověka, který drží kyblík s dodáváním potravy a vyjadřují toto chování s předběžnými pohyby daleko dříve, než se skutečně potrava objeví. Ryby mohou své očekávání krmení projevovat jakkoliv. Mohou například také zvýšit svoji aktivitu pohybu nebo mohou začít hromadně vyplavávat z úkrytů. Bylo také zjištěno, že pokaždé, když bylo rozsvíceno světlo, které signalizovalo dodávku krmení, tak po chvíli způsobilo, že se ryby začaly shromažďovat u zdroje světla kdykoliv, kdy se světlo objevilo. Z těchto příkladů je patrné, že ryby si dokáží s dodávkou potravy spojit prakticky cokoli a zároveň tak je dokázáno, že si ryby spojují konkrétní události (Hollis et al., 1997).

U instrumentálního učení je to trochu jinak. Zde místo toho, že ryba obdrží vnější signál, vychází celá akce ze samotné ryby, která na základě své činnosti očekává odměnu nebo trest. Ryba se v podstatě učí ze svých vlastních činů. Například se ryba může dozvědět, že když začne vyvíjet sílu do páky u krmítka, dojde k výdeji potravy. Toto však není záležitost jednoho okamžiku, jako to může být u vyšších živočichů, ale vše jde postupně. Pokud bychom tedy ryby chtěli naučit, aby vyvíjely sílu na páku, musíme zpočátku dodávat krmení pokaždé, když se ryby blíží k páce. Poté ryby začnou trávit spoustu času u tohoto objektu. Krmení je pak vypuštěno pouze tehdy, když se ryba skutečně dotýká páky, což se nejprve děje pouze náhodou, ale později už se ryba toto naučí a páka už je tlačena pouze v případě, když má ryba hlad. Toto vše však ryba dělá

pouze za odměnu. Nemusí se však jednat pouze o krmení. Můžeme také využít automatické zvyšování teploty vody, které ryba může vnímat pozitivně či zvyšování rozpuštěného kyslíku, zmizení konkurenta či soupeře nebo dokonce zajistit přístup k opačnému pohlaví stejného druhu. Chceme-li toto ryby naučit, musíme ryby naučit posunovat různé objekty nebo plavat po předem stanovených cestách (Dodson, 1998).

Co je ovšem velkou zajímavostí je to, že můžeme k sobě dát dravce s nedravými rybami a odnaučit ho dané ryby lovit. Musíme však využít nějaké překážky, které dravci znemožní průchod k nedravým rybám, které jsou běžně jeho kořistí. Například pokud dáme candáta obecného (*Sander lucioperca*) nebo jiného dravce do akvária s nedravými rybami a umístíme do akvária průhlednou překážku, tak dravec je v neustálém kontaktu s rybami, nemůže je však ulovit. Po čase lze však docílit toho, že i po vyndání překážky z akvária už je candát na ostatní ryby zvyklý a nepokouší se je tak ohrožovat. Ovšem jen tehdy, když je candát krmen a nehladoví (Magurran, 1990).

## **2.2. Biologické vlivy ovlivňující hejnové chování ryb**

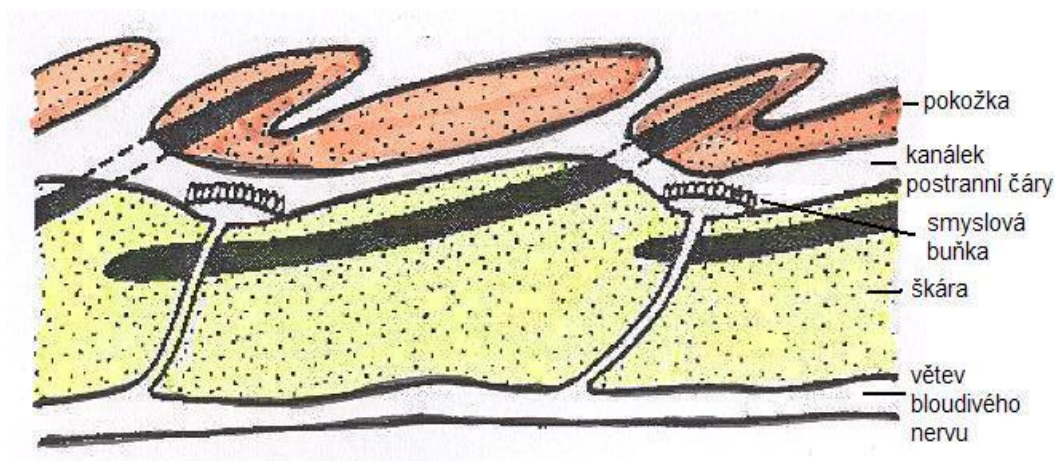
Podle Bandy a kol. (2006) jsou biologické faktory takové faktory, které se týkají přímo života ryb. Mezi tyto faktory patří vliv postranní čáry, stres, nemoci, hlad, útok predátora a další. Tyto faktory u ryb silně ovlivňují jak jednotlivce, tak celé hejno. Ryby jsou již od vylíhnutí napadány predátory, nemocemi a po vstřebání žloutkového vajíčku mohou také trpět hladem. To všechny ryby velmi stresuje. Ryby tedy na své cestě mohou potkat mnoho problémů, které musí vyřešit. Zároveň musí všechny ryby i za těchto nepříznivých podmínek vyplodit další potomstvo, aby život pokračoval. V tomto všem rybám může pomoci právě schopnost učení, která byla zmíněna v předchozí kapitole, jelikož ryby mohou způsoby chování přebrat od jiných jedinců, kteří již všechny aspekty života zvládají dobře. V následujících kapitolách je popsáno, jak biologické faktory ryby ovlivňují a jak se ryby chovají během sexuálních námluv.

### **2.2.1. Postranní čára a její působení na ryby**

Postranní čára nebo také proudový orgán je mechanicko-senzorický orgán, který je vyvinutý jen u určitých skupin obratlovců. Nachází se u všech ryb bez výjimky, a to bez ohledu na vývojová stádia (Coombs et al., 2001). Tento orgán slouží rybám jako

smyslový orgán a s největší pravděpodobností je mechanicky stimulován. V podstatě bychom mohli říci, že jde o jakýsi mechanicko-receptivní orgán sloužící rybám pro život ve vodě (Pitcher, 1993).

Princip postranní čáry se rozděluje na 2 základní typy. Prvním typem je mechanorecepce. Při tomto typu využívá ryba receptory, kterým se říká neuromasty, které vnímají vibrace. Druhým typem potom je elektrorecepce, kdy ryba vnímá elektrické pole pomocí elektroreceptorů. Oba tyto typy se vyvíjí z ektodermálních plakod, které se roznášejí do různých míst po těle. Oba typy jsou také inervovány některým z šesti nervů proudového orgánu (Smith, 1996).

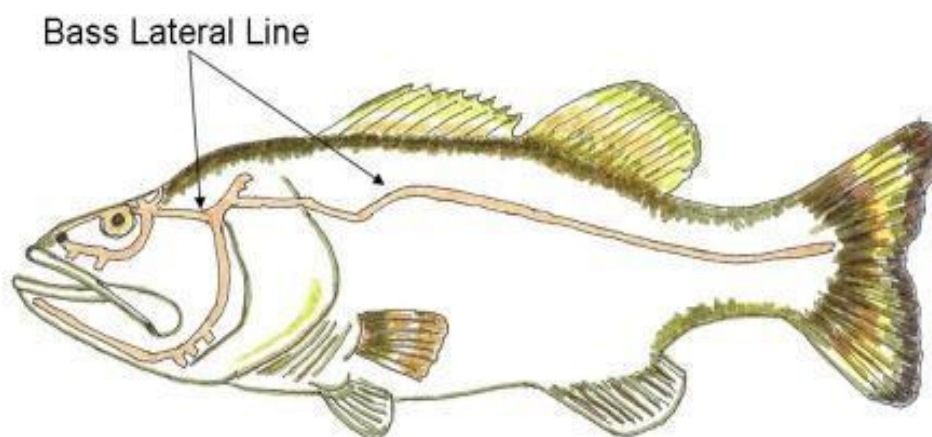


**Obr. č. 4.** Schéma postranní čáry (Koňarik Jaroslav, 2015)

Při pečlivém pozorování pod mikroskopem můžeme zjistit, že postranní čára je v podstatě řada pórů. Podobné, avšak kratší řady pórů můžeme vidět i v oblasti hlavy na její straně. Bez ohledu na to, kde se tyto póry nacházejí, každá řada pórů proniká do kanálku, který je zahlouben v kůži nebo také někdy uvnitř kosti podobně, jako je například potrubí v zemi. Kvůli neustálé nutnosti vícenásobného připojení k vnějšímu prostředí je kanálek naplněn vodou. Průtok vody uvnitř kanálku ohýbá tenké chloupky, které vyčnívají z receptorů uvnitř stěn kanálku. Ohýbání chloupků způsobuje, že receptorové buňky posílají do mozku informace. Některé chloupky se mohou ohýbat podle jedné osy, jiné chloupky podél další osy a poté může mozek ryby odvodit směr pohybu vody z identity senzoryckých buněk, které vydávají signály v jednom okamžiku.

Stručně řečeno, postranní čára umožňuje rybám vnímat proudění vody kolem jejich těla (Dijkgraaf, 1962).

Mnohem méně nápadné než postranní čára nebo póry na hlavě je řada volně umístěných pórů rozptýlených po celém těle ryby, někdy ve volných řadách nebo také ve dvojicích či samostatně. Tyto póry představují otvory subkutánních jamek, které také obsahují senzorké buňky a chloupky. Tyto póry jsou považovány za součást stejného systému nazývaného postranní čára, stejně jako póry na hlavě a samostatná čára po straně těla ryby. Avšak funkce není stejná jako funkce kanálků. Obecně je známo, že jamky většinou reagují na směrovost posunu vody, zatímco kanálky jsou citlivé na zrychlení pohybu vody. Jak tyto principy fungují lze nejspíše zjistit tak, že vyrazíme do terénu a sami se přesvědčíme, jak je určitými parametry ovlivněno chování ryb (Dijkgraaf, 1962).



**Obr. č. 5.** Pozice postranní čáry a hlavových kanálků na okounku pstruhovém (Wesley Anderson, 2012)

Jako jedna dlouhodobá metoda blokování celého systému postranní čáry bylo ponoření ryb na několik hodin do roztoku iontů kobaltu nebo do antibiotika zvaného streptomycin. Obě látky současně potlačují správné fungování receptorů. Ponořením ryby do slabého roztoku antibiotické látky gentamycin došlo ke zničení jamek, zatímco kanálky byly ušetřeny. Dokonce je možné u chirurgicky nadaných lidí porušit nerv, který spojuje postranní čáru s mozkem. Metoda, kde se jemně oškrabává kůže, kde jsou jamky na známých místech, funguje také dobře (Hoekstra & Janssen, 1985).

Schopnost vnímat tok vody a krátké změny rychlosti má mnoho užitečných výhod pro ryby. Díky systému postranních linií může ryba vycítit přítomnost blízkých objektů, může synchronizovat svůj plavecký pohyb s jinými rybami nebo může odhalit směr tekoucí vody a udržovat polohu v ní či dávat informace jiným rybám. Mechanismus detekce funguje takto. Ryba při plavání tlačí vodu před sebe. Při konstantní rychlosti v otevřeném prostoru je odpor, který poskytuje voda konstantní a tok během vody kolem ryb je stabilní. Pokud se ale ryby přiblíží ke stacionárnímu předmětu, tento předmět přispívá k odolnosti vody a narušuje tok vody kolem těla ryb. Ryby mohou tento odhad použít nejen k tomu, aby se vyhnuly překážce, ale také k získání úžasně přesného obrazu o své konformaci (Hoekstra & Janssen, 1985).

Ve vodách, které jsou charakteristické nižší viditelností, kde se ryby velmi těžko orientují pomocí zraku je tento orgán velice důležitý i pro hejnové ryby. Jeho funkcí je, jak už bylo řečeno detekce vibrujících předmětů ve vodě, kterými také jsou další živočichové žijící ve vodě nebo celé hejno plavajících ryb. Vibrace také mohou samotnému jedinci dodat potřebné informace o hejnu a jeho okolí a jsou tak velmi důležité pro vztahy v rámci druhu (Ćurčić & Blake, 2006). Díky postranní čáře při snížené viditelnosti, kdy se ryba nemůže orientovat zrakem a pozorovat tak ostatní jedince v hejnu nedochází ke srážení ryb (Fain, 2003). Proudový orgán dále umožňuje hejnu vyhnout se případnému predátorovi nebo umožňuje lépe najít svoji potravu. Čím více jedinců v daném hejnu je, tím snažší je potravu najít (Liao, 2006).

U kostnatých ryb (*Teleostei*) je postranní čára nejen důležitá pro nalezení jedinců stejného druhu, ale je důležitá i pro soudržnost hejna již vzniklého. Pokud je nějakým způsobem u ryb postranní čára narušena, hejno se zpravidla není schopné udržet při horších podmínkách viditelnosti. V případě narušení jen části postranní čáry je potřeba pro zachování hejna, aby byli jedinci na kratší vzdálenosti od sebe, jinak též dochází k odloučení hejna. Záleží také na tom, která část postranní čáry je vyřazena (Faucher et al., 2010).

Nejlepším subjektem ke zkoumání jsou jeskynní ryby. Většina těchto druhů je slepá a tudíž nemůže lokalizovat stacionární předměty zrakem. Ovšem jsou i takové druhy ryb, které žijí celý život ve tmě a zrak vyvinutý mají. Toto tvrzení bohužel není doposud zcela vysvětleno. Každopádně druhy jeskynních ryb, které vyvinutý zrak nemají, díky evoluci musejí používat více postranní čáru jako detekční prostředek, který se u některých těchto

ryb vyvinul ve velké míře. Nejznámějšími druhy jeskynních ryb jsou *Typlichthys subterraneus* nebo mexická jeskynní ryba známá jako *Anoptichthys jordani*. Při pokusu, kde byl těmto rybám umístěn předmět do akvária, tak se tyto ryby k předmětu nakonec přiblížily a zdánlivě to vypadalo, že se ryby s tímto předmětem srazí. Nakonec se však náhle odvrátily od předmětu a začaly plavat vedle něj, a to jen několik milimetrů. Poté ryby trávily spoustu času plaváním po celém akváriu, vždy blízko objektu, kterého se však příliš nedotýkaly. Skoro jako by dokázaly prozkoumat a určit tvar objektu. Později během dne cestou, která se provádí při nedokonalých cestách v nádrži, rozhodně vyvolávaly dojem, že ryby věděly o tvaru a umístění objektu (Poulson, 1963).

Jeskynní ryby také často plavou rychleji než obvykle, když jsou umístěny v prostředí, které je pro ně nové. Nejprve se to nejevilo jako správný nápad. Jistě bychom sami utíkali, kdybychom byli v místnosti se zavázanýma očima plné předmětů ležících na neznámých místech. Ale postranní čára tuto funkci plní výborně. Vzhledem k fyzice proudění vody kolem pohybujícího se těla ryby bylo zjištěno, že čím rychleji se ryba pohybuje, tím je tenčí průtokové pole a tím je snažší, aby boční vedení zjistilo změny v tokovém poli. Takže slepé jeskynní ryby pravděpodobně plavou rychleji, aby maximalizovaly množství informací, které mohou shromáždit ze svého systému postranních linií (Hassan, 1986).

Další pokus byl proveden na jeskynních rybách při vyhledávání potravy. Guttenbergova univerzita v Německu povolala 2 výzkumné pracovníky, aby tento pokus provedli. Zkoumali, jak ryby umí rozlišovat malé detaily u stacionárních objektů. Poskytli svým zkoumaným subjektům 2 tunely, aby v nich mohly plavat a sehnat si tak potravu. Na stěnách u vstupu do tunelů byla vždy mřížka malých svislých tyčí s průměrem 1 mm. Mezera mezi tyčemi se lišila v obou tunelech. Pokud ryby přeplavaly přes první tunel, byly odměněny potravou. V případě průplavu přes druhý tunel byly ryby potrestány elektrickým proudem nebo proudem vody. Tento pokus tak zaznamenal, že ryby musely rozlišovat mezi oběma tunely na základě uspořádání mřížkové struktury u vchodu. Ryby si jsou schopné také v hejnu dané informace předat a další jedinci si tak budou vybírat místo, kde naleznou potravu na rozdíl od místa, kde se jim může něco přihodit (Weissert & Campenhausen, 1981).



### 2.2.2. Vliv stresu na hejno ryb

Stres je velmi důležitým faktorem ovlivňující život ryby a celé hejno. I když je stres reakcí na případné nebezpečí, zcela jistě lze říci, že stres působí na ryby stejně jako na ostatní živočichy negativně. Všeobecně lze konstatovat, že hejno působí na ryby z hlediska stresu pozitivně. Nejčastějším důvodem stresu je zpravidla predace, i když jsou zde další důvody, jako například nedostatek potravy, kyslíku nebo jiné vlastnosti vody. Rybu za svůj život ohrožuje mnoho predátorů a hejno tak rybě dává určitou ochranu. Ta se poté méně stresuje a nedochází u ní k takovému počtu nepříznivých dopadů, které stres vyvolává (Shiraishi et al., 1996).

Nicméně dopadů, které stres vyvolává, je hned několik. Například ryba pod stresem může dokonce změnit svoje zbarvení. Příkladem je střevle potoční, kterou napadl nějaký predátor. Nejenže u této ryby dojde k únikové reakci před predátorem, ale dokonce dochází k zvýraznění černého pruhu z boku těla ryby (Malyukina et al., 1980). Další příklad nám přináší poměrně neznámý druh, který se jmenuje hořavka amurská (*Acanthorhodeus asmussii*). Nikolsky (1974) konstatuje, že pokud je tento druh ve stresu, dochází u něj k zesvětlení černé skvrny na hřbetní ploutvi. Zároveň také dochází k rychlejšímu pohybu ploutví během plavání ryby. Izolace od hejna a s tím spojený stres vede k různým změnám zbarvení. U některých dominantnějších ryb dochází k výstražnému tmavšímu zbarvení a u některých dochází při stresu naopak k zesvětlení určitých partií na těle. Nicméně nám postačí tyto 2 příklady.

Za další může mít ryba problémy s rozmnožováním nebo se dokonce nemusí vytrít vůbec. Nicméně i když se ryba vytře, tak samice nemusí být schopna potěr donosit nebo může svoje jikry či potěr později sežrat. S tímto se často setkávají akvaristé, kteří jikry nebo potěr nedají jinam. V akváriích jsou totiž chovány ryby zpravidla ve velkých počtech ryb a zároveň je zde spousta druhů, které u ryb stres vyvolávají. Navíc často lidé akvárium pozorují a občas na sklo akvária klepou rukou. To rybu velice stresuje, a pokud není ryba hladová, tak často právě toto bývá důsledkem požívání vlastních jiker (Novák, 2004).

U jedinců může také docházet k velmi zvýšené agresi vůči ostatním jedincům, což způsobuje silnou nerovnováhu hejna. Při nerovnováze právě hejnové druhy ryb mají velký problém začlenit se do hejna mezi ostatní. Dokonce v některých případech může docházet až ke kanibalismu. Ten je velkým problémem v chovech u nespočtu dravých

ryb a stres je právě jedním z důvodů, proč k němu dochází (Ryer & Olla, 1992). Samozřejmě kanibalismus vzniká také z nedostatku potravy. Nicméně se může stát, že za nedostatečným nasycením ryby může stát právě stres. Je známo, že ryby ve stresu potravu přijímají v podstatně menším množství nebo ji nemusí přijímat vůbec. Velmi početná hejna, jako tvoří například sled' obecný, mohou na nedostatek potravy při stresu dokonce i uhynout. Lze tedy říci, že při nedostatečném množství potravy dochází u ryb ke stresu, ale zároveň při stresu může docházet k nedostatečným příjmům potravy (Lebedeva et al., 2000).



**Obr. č. 6.** Kanibalismus, který může být také důsledkem stresu (Michael Jensen, 2017)

Problém také nastává tehdy, když se jedinec například nechtěně oddělí od hejna. Izolace jedince od hejna vyvolává u ryb značný stres. V pokusu, kde byly hejnové druhy ryb od hejna izolované a zároveň jim bylo znemožněno vidět svůj odraz, který jim mohl naznačovat jiného jedince, byly ryby velmi stresovány a už se poté nebyly schopny začlenit do hejna (Shaw, 1970). Ryby, které byly v izolaci pod velkým stresem, také zároveň silně zvýšily své nároky na obsah kyslíku ve vodě (Malyukina et al., 1962).

Mimo jiné u ryb, které jsou v permanentním stresu, dochází ke špatnému růstu, zhoršení tvorby ochranného slizu a poruše dalších tělesných funkcí. Stres tak nepříznivě ovlivňuje v podstatě celý život ryby. Co se týče čistě hejnového chování, tak při stresu často dochází k odlučování ryb od hejna a celkové izolaci ryby, stejně jako u mnoha

jiných nepříznivých faktorů. Nicméně v případě stresu z predace může naopak docházet k slučování ryb do hejna, které jim přináší větší bezpečí. Záleží tedy vždy na situaci, ve které se ryba nachází (Lebedeva et al., 2000). Příčin, které stres způsobuje je tedy mnoho a zároveň je mnoho faktorů, které stres ovlivňuje. Ačkoliv je tedy stres důležitý pro únik ryb či jakýchkoliv jiných živočichů, přináší také mnoho problémů, kterým je lepší se vyhnout. V tomto ohledu rybě pomůže právě hejno, které ji ochrání před mnoha problémy, které by jako samostatný a izolovaný tvor mohla mít.

### **2.2.3. Hejnové chování ryb v průběhu nemoci nebo parazitace**

Jak se vlastně chová hejno v průběhu nemoci je dosud poměrně neprobádaná věc. Nicméně s tím, co víme, to spíše vypadá, že hejno je pro ryby v průběhu nemoci spíše nevýhodné než výhodné. Nemoc tedy pravděpodobně není tím důvodem, proč ke slučování do hejn dochází (Alexander 1974). Pokud se nemoc mezi hejno dostane, dochází tak k přenosu z jednoho jedince na druhého, a pokud je nemoc nebezpečná, značně to tak ohrozí životnost celého hejna. Z tohoto důvodu tak často dochází k opačnému jevu, než je slučování ryb hejna a tím je oddělování ryb od hejna (Godin, 1986). Bylo zjištěno, že pokud jsou jedinci izolováni od hejna, může docházet k významnému snížení infikovaných jedinců a omezení přenosu parazitů na další jedince (Gudelj & White, 2004). Hejna ryb napadené parazitem také většinou mívají menší počet jedinců na rozdíl od zdravých ryb, které mívají v hejnu větší počet jedinců. Bylo také prokázáno, že ryby, které napadl nějaký pták, a byly infikované, neudržovaly takovou soudržnost hejna jako ty ryby, které infikované nebyly (Seppälä et al., 2008).

Podobně jako u jiných živočichů zpravidla platí, že nejlepší imunitní reakce a vypořádáním s nemocí či parazitem mají spíše mladší jedinci. Starší jedinci už jsou na tom s imunitní reakcí podstatně hůře (Bond, 1979). Mladším jedincem samozřejmě není myšlen plůdek, který je k nemocem často velmi náchylný, ale spíše juvenilní jedinec. Vždy však záleží na konkrétních nemocech, jelikož nemoci jsou jak druhově specifické, tak specifické pro každou věkovou kategorii ryb, přičemž při každém stáří mohou mít jiný průběh (Pitcher, 1986).

V přírodě je možné se setkat s hejnem zahrnujícím více druhů ryb. To je velmi vhodné pro parazity zahrnující několik různých hostitelů. Příkladem je okoun říční a ježdík obecný (*Gymnocephalus cernuus*), kteří tvoří významná hejna. Zejména tyto druhy

mohou být dobrými možnostmi pro přechod parazita *G. Cernuae*, který se objevuje u obou ryb (Gläser, 1974). To samé platí i pro ryby, které nemusí vždy žít spolu v hejnu, ale mohou se za určitých podmínek spolu setkat. Nyní nám jako příklad poslouží plotice obecná a střevle potoční. Každá z těchto ryb preferuje jiný typ vod. Plotice může žít pelagiálně v jezerech a střevle zase na malých tocích a příbřežních zónách jezer. Na těchto místech se mohou tyto ryby potkat a vyměnit si tak svoje parazity (Mills & Eloranta, 1985).

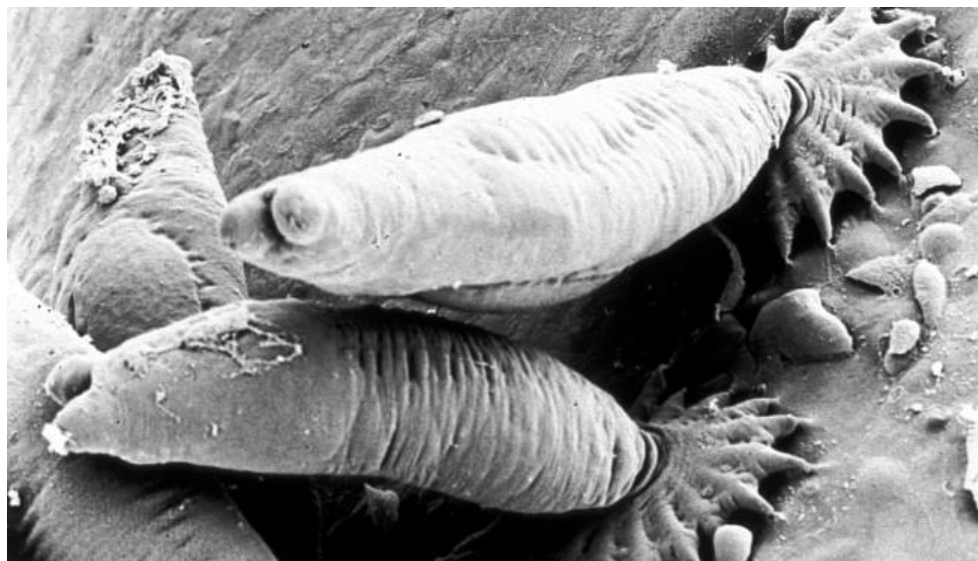
Zajímavostí je, že největší imunitu vůči patogenům mají ryby v hejnu, které se skládá z co nejméně příbuzných jedinců. Pokud jsou si ryby v hejnu příbuzné, mají i podobné geny a postrádají tak určitou genetickou variabilitu. To se může projevit silnější vnímavostí vůči patogenům a silnějším průběhem onemocnění, jelikož dochází k určité degeneraci imunitní reakce (Griffiths & Armstrong 2001).

Nyní si vezmeme konkrétní příklady dopadů parazitů či nemocí ryb. V případě napadení parazitem je u ryb možnost změny v jejich normálním chování. Například motolice oční (*Diplostomum spathaceum*) silně zhoršuje vidění ryb a dochází tak ke snadnějšímu ulovení predátorem. Ryba totiž vnímá zákal ve svém zorném poli, a to ovlivňuje její orientaci v prostoru. Zároveň také mění únikové reakce ryb a jejich ochranné zbarvení. Ryby napadené tímto parazitem v hejnu tak nestíhají reagovat tak rychle, jako ryby ostatní (Seppälä et al., 2004).



**Obr. č. 7.** Cysty motolice oční zhoršující zrak v oku ryby (Ernesto Lopez, 2017)

Nyní si uvedeme další příklad na parazitovi, který se nazývá *Gyrodactylus spp.* Tímto parazitem jsou ryby infikovány bez nějakého přímého mezihostitele. Tento nepříjemný parazit přímo napadá pokožku svých hostitelů (Cable & Harris, 2002). Poté je přenášen přímým kontaktem ryb mezi sebou (Scott & Anderson, 1984). Zátěž ryb parazity se může velmi často lišit. Jedinci mohou mít od 1 parazita až po třeba 100 parazitů (Oosterhout et al., 2006). Bylo zjištěno, že hejno ryb s tímto parazitem, který se přenáší z jednoho jedince na druhého je podstatně pomalejší, než hejno neinfikované. Zároveň také dochází ke zpomalení reakcí na všechny typy podnětů. Zajímavé je, že více se toto chování projevovalo v době velkých záplav. Nicméně je jasné, že v období záplav dochází k vymílání břehů, a to do vody zanesou různé parazity (Oosterhout et al., 2007). Hejnové chování tedy hraje významnou roli v přenosu parazitů. Předpokládá se, že se neinfikovaní jedinci snaží držet dál od infikovaných jedinců. Toto chování se tak projevuje změnou struktury rybího společenstva na úrovni populace (Richards et al., 2010).



**Obr. č. 8.** Typický rybí parazit *Gyrodactylus spp.* (Samiksha Jaiswal, 2014)

Ačkoliv hejnové druhy ryb chtějí tvořit hejno za různých podmínek, tak neinfikovaní jedinci se vyhýbají infikovaným jedincům i při tvoření hejna. Nicméně při výběru vhodných jedinců k tvorbě hejna pravděpodobně vadí neinfikovanému jedinci infikovaný, ale pokud je jedinec infikovaný, tak mu už ostatní infikovaní jedinci nevadí. Takový jedinec už v podstatě nemá co ztratit, jelikož už sám infikován je. Hejno mu tak je tedy spíše ku prospěchu. To tedy znamená, že pokud jsou ryby zdravé, nemocným

rybám se spíše vyhýbají. Pokud jsou ryby nemocné, už jedince zdravé a nezdravé nerozlišují a nemají problém s nimi tvořit hejna. Pokud jde o rozlišování zdravých a nezdravých jedinců, poznají to ryby poměrně snadno. Ryby jsou často malátné, zpomalené, mění barvu nebo mají viditelné parazity již na první pohled. Nemoc se tedy vždy nějakým způsobem projeví a ryby tak mají šanci nezaplést se s případným infikovaným jedincem, který by jim mohl znepríjemnit jejich život (Krause & Ruxton, 2002).

#### **2.2.4. Hejnové chování ryb při hladovění**

Vysoká hustota ryb jednoznačně negativně ovlivňuje příjem potravy a jejich výživný stav (Ellis et al., 2002). Snižující se schopnost konkurovat jiným rybám v hejnu se často projevuje hladověním. Při nedostatku potravy začnou silnější jedinci vytvářet dominantní postavení a začnou konkurovat vlastním jedincům. Často však závisí na počtu jedinců v hejnu. Zpravidla při stoupajícím počtu jedinců v hejnu vzniká i vyšší dominance silnějších jedinců o potravu (McCarthy et al., 1992). Příkladem je pstruh duhový, kdy je vyšší dominance pozorována až při hejnu tvořícím 20 a více jedinců (Landless, 1976). Nedostatečný příjem potravy se poté vždy musí projevit v růstu ryby. Ryba je slabší, pomalu roste a její tělo špatně hospodaří s energií, což se projevuje při ukládání zásob tuku nebo při skladování energie v játrech. Tento problém může mít zároveň vliv na rozmnožování. Může docházet ke špatné produkci gamet a jejich množství a dochází i k ovlivnění při výběru partnera (Barber et al., 2008).

Pokud jsou jedinci v hejnu opravdu hladoví, mohou považovat velká hejna za nepřijatelná, protože větší hejno znamená vyšší míru konkurence a ryby tak vytváří pouze malá hejna. Když se ponechá velké hejno delší dobu bez potravy, rozpadne se na menší, protože ryba má tendenci zaměřit se pouze na ukojení vlastního hladu. Ryby si totiž velice dobře uvědomují konkurenci a dostupnost potravy kolem sebe. Velikost hejna tedy bývá přímo úměrná dostupnosti potravy. To znamená, že když je v prostředí málo potravy, ryby budou dělat malá hejna. Pokud je však potravy dostatek, ryby budou dělat velká hejna, která je lépe chrání před nebezpečím. Tato hypotéza byla také otestována v jedné nádrži. Do nádrže bylo nasazeno několik desítek ryb. Z každé strany nádrže byly instalovány 2 trubky a do nich byla vypouštěna potrava. Konkrétně šlo o vajíčka hmyzu a jikry jiných ryb. Potrava byla vypouštěna v různých časových intervalech a poté se

počítal počet ryb pod každou trubkou. Pokud bylo na 1 konci vypouštěno 2x více potravy, bylo tam také 2x více ryb. Tento pokus byl zkoušen na lososovitých a vrubozubcovitých rybách, ale dá se se stejným výsledkem uplatnit i na jiných druzích ryb (Gotceitas & Colgan, 1991).

Jaká je tedy ideální velikost hejna pro ryby z hlediska dostupnosti potravy? Je lepší mít větší hejno a dokázat tak najít více potravy nebo menší hejno a omezit tak konkurenci? Odpověď na tuto otázku se samozřejmě liší u všech druhů ryb. Částečnou odpověď nám ukázal test u samic koljušek tříostných. Bylo zjištěno, že hladoví jedinci, kteří byli 1 den zatíženi stresem a predací upřednostňovali větší hejna a u jedinců, kteří byli 1 den bez zatížení predací a stresem, bylo upřednostňováno menší hejno. Avšak v některých případech se stalo, že byly vždy upřednostňovány velká hejna i při velkém hladu ryb a nulové predaci, takže toto tvrzení neplatí ve všech případech. Když to vezmeme z hlediska toho, že ryba potřebuje zároveň být chráněna před predátory a zároveň mít dostatek potravy, dojdeme k závěru, že pro ryby je nejlepší tvořit středně velké hejno. Takové hejno totiž ryby uchrání a zároveň nebude docházet k příliš velkému hladovění z důvodu příliš vysoké konkurence (Krause, 1993).

Schulz & Berg (1987) uvádí, že při nedostatku potravy dochází k nevyzpytatelným migračním přesunům celých hejn různých velikostí na lokality s větší nabídkou potravy. Tento jev byl zjištěn pomocí radiového sledování u cejnů a bylo zjištěno, že jde o jev poměrně častý a vyskytuje se u mnoha druhů ryb. U ryb žijících v moři bylo zjištěno, že velká hejna migrují do míst, kde je hodně potravy. U ryb žijících ve sladkých vodách už nejsou migrace tak velké ohledně prostoru a množství jedinců žijících v hejnu. To však neznamená, že k migracím za potravní nabídkou nedochází (Nottestad et al., 1999). Například při sledování hejn na Labi bylo dokázáno, že nejen na jaře, ale i v létě a začátkem podzimu byly pozorovány migrace ryb za bohatší potravní nabídkou. Pozorovanými druhy ryb byly například hejna plotice obecné, parmy obecné (*Barbus barbus*) nebo jelce proudníka (*Leuciscus leuciscus*), které nebyly jedinými druhy. Docházelo k tvoření hejn jednodruhových a dokonce k utváření hejn stejných věkových kategorií, což může mít význam při hledání potravy i k ochraně před predací (Prchalová a kol., 2011).

Nesmíme také opomenout jednu z hlavních věcí, která již byla zmíněna jako projev stresu, kterou je kanibalismus. Pokud ryba přijímá málo potravy, snaží se najít potřebné

živiny někde jinde. Jedná se především o zdroj bílkovin, jejichž dobrým zdrojem jsou právě ryby. Proto se ryby při nedostatku potravy často požívají navzájem, čímž si potřebné živiny doplňují. Toto chování lze pozorovat především u dravých ryb, nicméně se můžeme setkat s kanibalismem i u ryb nedravých. Hlad tedy může na rybu působit jakkoliv. Ryby tedy mohou využívat i takovou potravní nabídku, kterou by při normálním stavu potravy nepozřely (Ryer & Olla, 1992).

### 2.2.5. Přítomnost predátora a jeho působení na hejno ryb

Wysujack (2005) konstatuje, že tvorba hejn patří k nejlepším strategiím na ochranu ryb před predátorem. Predátor si snadno splete hejno s něčím větším, než je on sám a může se tak stát, že se hejna zalekne. Popřípadě může hejno využít predační pauzy, kdy predátor loví jen omezeně. U několika predátorů byl také určen tzv. konfuzeční efekt, kdy predátor nemá čas zaměřit se pouze na jednu kořist. Dochází tedy k zaměřování se na několik kořistí současně a tím predátor má problém vůbec nějakou ulovit. Rozdíly v aktivní predaci je také možné pozorovat u různých věkových kategorií dravých druhů ryb. Například juvenilní jedinci některých dravých druhů ryb loví kořist v různých vzdálenostech od sebe a starší jedinci už se zdají být línější a loví kořist pouze na malé vzdálenosti (Turesson & Brönmark, 2004).



**Obr. č. 9.** Rychlá reakce hejna ryb při napadení několika žraloky  
(National Geographic, 2013)



Když predátor začíná útočit, zpravidla se snaží jednotlivce od hejna dostat, protože téměř nikdy nemůže ulovit celé hejno, ale jen jedince či několik jedinců. Dravci se také zaměřují především na ryby, které na krátkou dobu opouští hejno a jsou tak snadnější kořistí. Z tohoto tvrzení tedy vyplývá, že je pro rybu důležité být součástí hejna. Ryba tak získává pocit bezpečí a nemusí se predátorů tolik obávat a do značné míry to tak zvýší její ochranu. Tento jev můžeme vidět i v oblasti jiné živočišné říše nebo dokonce i u člověka, kde je možné to taktéž dokázat (Lorenz, 2003).

Predátoři se také mohou soustředit více na ryby, které jsou nějakým způsobem odlišné od ostatních. Odlišností může být jiná velikost nebo jiná barva oproti ostatním jedincům v hejnu. U predátorů je pozorována zvýšená soustředěnost na barevné ryby. Můžeme se ale také setkat s vyšší citlivostí predátorů na albinismus. Teoretickou vyšší šanci na přežití by tedy nabízelo rybám s odchylkou jiné hejno, které je těmto rybám podobnější, i když by se jednalo o jiný druh. Tento jev byl dokonce již několikrát pozorován i ve volné přírodě. Druhy, které si mohou být vzhledově podobné a dorůstají se stejných velikostí, často tvoří hejna s jinými druhy. Avšak po útoku predátora je téměř vždy možné pozorovat, že se ryby v případě nebezpečí reorganizují a drží se pouze v hejnu vlastního druhu. Že velikost je důležitá, bylo také zjištěno během jednoho experimentu z Finska, který dělala skupina vědců, kteří odlovili přes 20 hejn koljušek tříostných a zjistili, že v každém hejnu jsou přibližně stejně velké ryby a rozdíly ve velikostech jednotlivých ryb jsou opravdu velmi malé. Vzhledem k tomu, že vzorek ryb byl opravdu velký, nemohlo jít o náhodu. Pokud si chce tedy ryba zajistit co nejlepší možné bezpečí, musí se snažit příliš neodlišovat od ostatních (Peuhkuri et al., 1997).

Někteří predátoři však vyvinuli strategie, které jsou navrženy speciálně proti anti-predačním výhodám rybího hejna. Predátoři vytvoří zmatek tím, že zapomenou na jednotlivce a soustředí se na největší část hejna. Například marlín modrý (*Makaira nigricans*) a mečoun obecný (*Xiphias gladius*), typičtí zástupci mořských ryb se k rybám dostávají skrz jejich hejno pomocí tlčení svojí pily nebo meče. Tyto druhy jsou navíc velmi rychlí lovci, takže ryby často ani nestihnou patřičně zareagovat. Další způsob lovu používá mořský zástupce žraloků, který se nazývá liškoun obecný (*Alopias vulpinus*) a je velice známý svou schopností omračování ryb pomocí svého ocasu. Liškoun loví tak, že úderem do vody poblíž rybího hejna omráčí několik ryb a paralyzovanou kořist už snadno pozře. Jedinec liškouna však musí doufat, že poblíž není jiný a rychlejší jedinec,

který mu jeho omráčenou kořist pozře dřív. Například kormoráni a pelikáni jsou totiž opravdu rychlími lovci a nezřídka se stane, že liškoun omráčí svou kořist a některý z těchto predátorů mu ji uloví dřív, než to zvládne on sám (Krause et al., 1996).

Rybožraví ptáci také mají rádi velká hejna ryb proto, že jsou snadno vidět ze vzduchu a nemusí nikde pracně hledat svou kořist. U těchto ptáků platí pravidlo, že čím je hejno větší, tím mají větší šanci na úspěšnost a tím lépe dané hejno vidí. Většinou se však ryby i v případě napadení těmito predátory cítí v hejnu bezpečněji (Ranta et al., 1992). U tzv. dravců lovících ze zálohy je však situace trošku odlišná. Příliš už jim nezáleží na velikosti hejna a dokáží se vyrovnat stejně s velkým i malým hejnem. Jedna laboratorní studie ukázala, že slunečnice červenooká (*Ambloplites rupestris*), která loví nic netušící ryby z úkrytů, dokáže lovit ryby se stejnou úspěšností bez ohledu na to, kolik ryb v hejnu je (Krause et al., 1998).

V případě vysokého tlaku predátora se hejno ryb může stěhovat z pelagiálu do litorálu, i když v něm nachází často méně potravy a celkově tak může hladovět. Predace tedy ovlivňuje to, kde se ryba nachází a jak hluboko se nachází (Okun & Mehner, 2005). U planktonofágů dochází k většímu slučování hejn při napadení predátorem než za bezpečného stavu (Gaudreau & Boisclair, 1998).

Nejvíce se predace projevuje u juvenilních jedinců a u menších ryb. Velkým rybám je dopřána určitá imunita vůči dravcům, jelikož je mají dravci větší problém ulovit, což by ovšem neplatilo o predátorech v obřích rozměrech. Proto u malých ryb můžeme pozorovat jejich tzv. antipredační chování v největší míře. Ohrožené druhy ryb se proto přesouvají více do litorálu s hustými porosty, které využívají jako svoji ochranu. Predátor poté nemůže jednotlivé ryby či hejno v hustém porostu najít, a to mu zhoršuje schopnost svoji kořist ulovit (Hanych et al., 1983). Jistou ochranou může být hejnu ryb také vyšší teplota a okysličenost vody, což může též působit jako bariéra na ochranu před predátory, protože tyto podmínky někdy lépe vyhovují juvenilům než rybám dravým (Kaufmann & Wieser, 1992). Jak konstatuje Cerri (1983), tak jako ochrana před predátory může hejnu i jednotlivým rybám posloužit světlo, kdy s vyšší intenzitou může klesat predace a juvenilové tak často čekají na soumrak.

Nicméně i když se ryby snaží nebezpečnému predátorovi ubránit a nestát se tak jeho kořistí, zajímavostí zůstává, jak jsou někdy ryby schopny se zajímat o svého nepřítel. Pokud máme hejno pavích oček, koljušek nebo střevlí umístěných v nádrži a vedle nich

máme nějakou dravou rybu umístěnou v lahvi, stane se něco úžasného. Nejprve se hejna těchto ryb drží na nejbzdálenějším místě od dravce. Poté se ale někteří z nich, ať už samostatně nebo jako malá skupina snaží váhavě přiblížit k dravci a důkladně ho prozkoumat. Postupně se ryby k dravci přibližují rychlým výpadem vpřed, poté se zastaví a dávají si pauzu, pak se opět přibližují výpadem vpřed, a toto ryby opakují tak dlouho, dokud se nedostanou do blízkosti dravce na zhruba 30 centimetrů. Jakmile se ryby dostanou k dravci na tuto vzdálenost, berou ho za prozkoumaného a vrací se zpátky ke svému hejnu. Zdá se to jako velmi paradoxní věc. Otázkou tedy zůstává, proč se ryby vlastně snaží k dravci přiblížit (Magurran & Girling, 1986).

Při pohledu na ryby přibližující se k dravci můžeme vidět zajímavé posunky jejich celého těla. Ryby jsou velmi bdělé, vizuálně zaměřené na hrozbu a pohybují se velice trpělivě. Ryby opatrně kontrolují stav situace a vyhodnocují nebezpečí. Vědci zabývající se rybami toto vysvětlují tak, že přístup těchto ryb k dravcům je způsob, jak se podrobněji podívat na novou rybu. Ryby se snaží přijít na to, co je v nádrži nového. Zároveň se ale snaží zjistit, zda je dravec nebezpečný a chystá se zaútočit. Nebezpečného dravce však některé ryby instinktivně nepoznají. Každopádně ryby mají často za nebezpečnou takovou rybu, která má velkou tlamu a velké oči (Altbäcker & Csányi, 1990). Nicméně se jedná spíše o kontrolu bezpečnosti, než o samotný pozitivní přístup k dravci. Je známo, že některé mořské i sladkovodní druhy ryb, které vidí novou rybu, zahájí pokus o kontrolu. Více na toto chování jsou náchylné právě hejnové druhy ryb (Keeley & Grant, 1993).

To, že se ryby nechtějí příliš „kamarádit“ s dravou rybou a spíše je zajímají nové předměty, dokazuje také experiment. V experimentu se střevličkou východní bylo 10 hejn těchto ryb ulovených ve volných vodách. Těmto rybám byl předložen realisticky vypadající model štiky. Tento model znázorňoval dravce, ze kterého šel pro dané ryby strach, tedy dravce s velkými ústy a velkýma očima. Zajímavý byl pokus na tomto dravci o znázornění těchto očí. Pokud byla na ocas modelu štiky nakreslena velká černá skvrna, která měla znázorňovat oči, střevličky se k zadní části těla nepřibližovaly a držely se spíše u prostředku modelu dravce. Dokonce se střevličky ani tolik nebály přiblížit k přední části dravce s menšíma znázorněnými očima. Jakmile ale model dravce černou skvrnu na ocase neměl, střevličky se přibližovaly jen k prostředku dravce a poměrně se bály i znázorněných očí. Bály se tedy takového „oka“, které bylo větší. Z tohoto chování lze

dokázat, že ryby se bojí velkých očí. Dále zde v tomto experimentu byl vytvořen jednoduchý model válce, který byl umístěn asi 1 metr od střevliček. U tohoto válce často střevličky trávily svůj čas jeho zkoumáním bez jakýchkoliv pauz. Na rozdíl od toho k modelům štiky se střevličky blížily vždy po pauzách, které trvaly několik desítek vteřin. Oba předměty navštěvovaly proto, že je nikdy neviděly. Musely si ale také uvědomit, že válec není hrozbou. Naopak se střevličky držely po prozkoumání od modelu štiky zpět, což znamená, že štiky jako hrozbu uznaly. Důvodem ryb tedy je prozkoumání daných předmětů a zároveň zjištění bezpečnosti situace. Ryby se snaží prozkoumat celé svoje okolí, včetně dravých ryb. Jakmile ale vyhodnotí nebezpečí, nesnaží se zbytečně riskovat a raději od nebezpečného objektu ustoupí (Karplus et al., 1982).

Občas se také můžeme setkat s útokem jedinců na vlastní druh. Může to být v rámci hejna, ale i u zcela jiných jedinců stejného druhu. Výsledek souboje je poté ovlivněn několika parametry. Kupříkladu u koljušek to je velikost těla, viditelnost ve vodě, zastrasování nepřítele různými signály (vzprímené trny, zúžení úst, postavení hlavy) nebo také předchozí zkušenost jednoho z bojovníků (Bakker & Sevenster, 1983).

### **2.2.6. Sexuální chování ryb v hejnu**

Sexuální chování ryb je velmi odlišné v závislosti na pohlaví ryby. Samci i samice vykazují při reprodukci podstatně jiné chování, které je samozřejmě často druhově specifické. Nicméně určité základní znaky reprodukčního chování je možné najít téměř u všech druhů ryb (Parker, 1983). Samicím velmi záleží na kvalitě jejich potomků a z tohoto důvodu si svého partnera velice dobře vybírají. Proto můžeme často pozorovat u mnoho druhů ryb, že se samci snaží před svou potencionální partnerskou předvést jako nejlepší a nejvíce dominantní samci, kteří vyprodukují jen to nejkvalitnější potomstvo (Sih, 1994). Samci proto často mění před výtěrem svoje zbarvení do velmi pestrých barev, které na první pohled samici vyprovokují k výtěru. Toto se děje především u lososů, kde samci získávají výrazně červenou barvu. Zároveň se také některým druhům zvětšuje hrb a spodní čelist se mění do tvaru háku. U lososů je také zajímavé, že během migrace tvoří tzv. rodinná hejna, ve kterých migrují společně samci a samice (Lacroix & Knox, 2005). U kaprovitých ryb se zase můžeme setkat s třetí výrazkou (Hanel a Lusk, 2005). Samci tedy vábí svoje samice vzhledem, aby měli alespoň nějakou šanci vybojovat si co nejlepší samici i při vysoké konkurenci ostatních samců. U některých ryb také dochází

k zajímavému chování, kdy se samci snaží udržet samičku za každou cenu a zamezí tak přístup ostatním samcům k samicím nebo obsadí jejich zdroje, které jsou pro jiné samce nezbytné. Nicméně i když se samci snaží dát do rozmnožování opravdu všechno, sami už tak vybíraví nejsou (Clutton-Brock & Parker, 1995).



**Obr. č. 10.** Typické znaky lososa v průběhu rozmnožování (nahore samice, dole samec)  
(Dave Menke, 2008)

Obě pohlaví také vykazují jiné specifické chování v rámci hejna. Například samice živorodky duhové tráví více času v hejnu a investují více úsilí do bezpečnosti hejna než samci. Zároveň také bylo zjištěno, že samice preferují především hejna jednoho pohlaví. Samci zase naopak jeví větší zájem o samice a predaci řeší podstatně méně (Magurran et al., 1994). Samice také často žijí déle než samci. Pravděpodobně je to dáno tím, že právě ony jsou důležitými nositelkami mladého potěru, zatímco u samců stačí pouze samice oplodnit. Nicméně i samci jsou velice důležití, jelikož často svoje mladé potomky chrání před predací a v tomto případě jsme se bavili o rybách živorodých, kde samice musí potěr donosit. Nicméně nesmíme samice a samce zatracovat u žádných druhů ryb, jelikož jsou oba neméně důležití pro předávání svých genů (Constantz, 1989).

Bylo zjištěno, že pro přežití druhu a hejna je důležité, aby samice měly po svém boku silné samce. Ty ochrání je i jejich potomstvo před všemi hrozbami. Nicméně se také prokázalo, že samice preferují při výběru partnera nejznámější jedince z hejna. Samcům

je naopak jedno, jestli samici znají, či nikoliv a jsou schopni se rozmnožovat prakticky s jakoukoliv samicí (Sih, 1994).

Dalším příkladem nám je cejn velký. Právě období tření má na celá hejna cejna velkého největší vliv. Během tohoto období dochází ke zvýšeným migračním přesunům, avšak toto chování a jeho rozsahy nejsou vždy stejné pro všechny jedince (Lucas a Baras, 2001; Hladík a Kubečka, 2003). Před výtěrem se zpravidla v hejnu oddělují generační ryby od juvenilních jedinců. Hejno se tedy před rozmnožováním oddělí a ke znovuvytvoření odděleného hejna dochází až po výtěru, kdy se pohlavně nevyzrálí jedinci přesunují k trdlištím, kde se snaží požrat vytřené jikry (Krupauer a Pekař, 1965; Holčík a Hruška, 1965).

Jako poslední příklad nám poslouží méně známé druhy ryb. U pelagických druhů z rodu *Cyprichromis* z jezera Tanganika se vyvinulo specifické tření, kdy se samice vytřené ve stejnou dobu spojí v obrovská hejna, ve kterých společně pečují o mláďata. Vypuzení jedinci se tak po nějaké době také shluknou v několik velkých hejn a drží se těsně pod hladinou, kde je pro ně poměrně bezpečno. Tyto ryby jsou také známé tím, že kladou jikry na místa, kde k nim dravci mají špatný přístup. Ryby, které se cítí v bezpečí, mají zároveň vyšší schopnost oplození a mají více jiker (Konings, 1998).

Co je ovšem velice zajímavé je fakt, že velká migrující hejna nedravých ryb mohou být během rozmnožování doprovázena dravými druhy a na krátkou dobu mezi sebou udržují jakési příměří (Kotusz et al., 2006).

### **2.3. Fyzikálně-chemické vlastnosti ovlivňující hejnové chování ryb**

Teplota, rozpuštěný kyslík a další faktory hrají v chování ryb velkou roli. Ačkoliv můžeme po většinu roku pozorovat relativně ustálené podmínky, v létě, kdy rychle rostou rostliny a je dlouhý den může docházet k obrovským výkyvům hodnot těchto parametrů. Teplota stoupá a množství rozpuštěného kyslíku klesá. Některé ryby na to zareagují tak, že tráví svůj den u hladiny, kde je v tuto dobu více kyslíku. Jiné ryby se zase raději stáhnou na místa, kde voda více proudí a řeší svoje kyslíkové deficity jinak. Každá ryba má vyvinutou určitou taktiku, jak svoje problémy vyřeší (Butcher et al., 1928). Jak vlastně jsou ryby ovlivněny určitými parametry, je uvedeno v následujících kapitolách.

### 2.3.1. Působení teploty

Teplota vody je kritickým faktorem životního prostředí silně ovlivňující fyziologii ryb a jejich chování. Ryby jakožto ektotermní živočichové mají tělesnou teplotu podle svého okolního prostředí. Větší aktivitu tedy můžeme u ryb sledovat při vyšších teplotách, což samozřejmě neplatí pro studenomilné druhy ryb, kterým vyhovuje teplota vody naopak nižší (Mora & Ospina, 2001).

Pokud se teplota pohybuje v optimálním rozmezí pro daný druh ryb, jejich chování je přiměřené a nedochází k žádným velkým odchylkám chování. Velké odchylky v chování ale můžeme sledovat, pokud se daná teplota pohybuje daleko od optimálních hodnot. Optimální hodnoty pro ryby jsou různé a jsou odvozené od zeměpisného rozložení lokalit, ve kterých se daný druh vyskytoval původně (Caissie, 2006). Uvedeme si zde optimální teploty pro nejčastěji chované čeledi v České republice, kterými jsou kaprovité a lososovité druhy ryb. Kaprovité druhy ryb vyžadují teplotu vody v rozmezí 18-28 °C, zatímco ryby lososovité vyžadují teploty výrazně nižší, ideálně kolem 8-16 °C. Pokud ryby žijí v kvalitním prostředí s dobrou teplotou, mají rychlý metabolismus, rychle si dokáží najít potravu a rychlost jejich pohybu je přiměřená. Pokud jsou teplotní podmínky pro ryby špatné, dochází k opačným jevům. Ryby špatně tráví, pohybují se pomalu a rozpačitě nebo jim dělá problém nalézt potravu (Lucas & Baras, 2001). Nesmí být také opomenuto, že teplota má výrazný vliv i na hejnové migrace, které jsou teplotou nepřímou řízeny (Prchalová a kol., 2011).

Hejnové migrace se dějí z několika důvodů. My si nyní vysvětlíme 2 z nich, které ovlivňuje právě teplota. Prvním důvodem migrace mohou být nepříznivé podmínky prostředí, kdy se ryby snaží dostat pryč z místa, které pro ně není úplně vhodné. Jedním z parametrů, který je velmi důležitý pro život ryb, je teplota. Pokud pro ryby není teplota příliš vhodná, dochází často k přesunům ryb na prostředí, kde už je teplota pro ryby podstatně vhodnější. Toto chování celých hejn ryb lze samozřejmě pozorovat i u ostatních nepříznivých parametrů vody, kdy stačí, aby byl nepříznivý jen 1 z nich (Lucas & Baras, 2001). Druhým důvodem, za kterým vzniká migrace, je reprodukce. Jakmile nastane správná teplota vody, některé ryby migrují k výtěru. Podle Bonda (1996) se jedná se o různé druhy ryb, které mohou migrovat buď ze sladkých vod do slaných nebo ze slaných vod do sladkých (diadromní migrace), či pouze v rámci sladkých vod (potamodromní migrace), nebo také pouze v rámci slaných vod (oceánodromní migrace). Typickými

diadromními druhy jsou losos obecný a úhoř říční (*Anguilla Anguilla*). Z toho losos migruje za účelem rozmnožování ze slané vody do sladké (anadromní migrace) a úhoř naopak ze sladké vody do slané (katadromní migrace). Tyto druhy ryb samozřejmě v určité fázi vývoje (u lososa obvykle ve stádiu smolta a u úhoře ve stádiu monté) plavou zpět do vod, odkud jejich rodiče připlavali (Lusk a kol., 1983).



**Obr. č. 11.** Hejnová migrace mladých lososů (smoltů) do moře (Kevin Belcher, 2016)

Teplota vody je také důležitá pro rozvoj živočišné potravy. Při vyšších teplotách může být potravy více a při nižších teplotách naopak méně. Pokud se vyskytne méně potravy, ryby tak mohou začít hladovět a může docházet ke kanibalismu ryb i v rámci hejna. Teplota má tedy vliv i na potravní nabídku ryb, která se v dané oblasti vyskytuje. Největší potravní nabídku samozřejmě můžeme vidět v létě, kdy je teplota vody nejvyšší a organismům se obecně nejlépe daří. Zároveň je také ve vodě nejvíce planktonu a bentosu, což je potrava, kterou nepohrdne většina ryb v nejrůznějších vývojových stádiích (Klimeš a Kouřil, 2003).

Jak jsme tedy mohli zaregistrovat, teplota vody ryby ovlivňuje jak přímo, tak nepřímo. Přímo v takovém případě, kdy je teplota nevhodná pro daný druh a rybám se celkově méně daří. Ryby z těchto oblastí raději migrují jinam (Bond, 1996). Poté také teplota přímo ovlivňuje u ryb metabolismus a rozmnožování, kdy každé rybě vyhovují jiné teploty (Lucas & Baras, 2001). Nepřímo teplota vody ovlivňuje ryby tak, že ovlivňuje



různé faktory, které poté ovlivňují rybí chování. Teplota tedy ovlivňuje faktory, jako je množství potravy (Klimeš a Kouřil, 2003), výskyt a průběh nemoci (Pitcher, 1986) nebo také aktivita predátorů (Cerri, 1983).

### 2.3.2. Vliv pH

Vliv pH je pro hejno ryb také poměrně důležitý, jelikož tento parametr dokáže ryby taktéž ovlivňovat. Pokud jsme v optimálních hodnotách, rybám se podstatně více daří a jsou spokojenější. Optimální hodnota pH je pro většinu ryb 6,5 - 8,5, nicméně mohou být menší rozdíly pro každý druh. Zejména u lososovitých ryb můžeme pozorovat negativní vlivy u pH pod 4,8 a nad 9,2. Takovými negativními vlivy může být například poleptání kůže při příliš nízkém pH. Výjimkou je snad jen siven americký (*Salvelinus fontinalis*), který je schopen snést i pH kolem 4. Kaprovité ryby snáší pH v rozmezí 5 – 10,8 a mimo tyto hodnoty může též dojít k poškození ryb (Hanel & Lusk, 2005).

Tento parametr je obecně často ovlivňován množstvím oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) ve vodě. Čím více je oxidu uhličitého ve vodě, tím je pH nižší. Platí to samozřejmě i naopak. Při nižším množství oxidu uhličitého je pH vyšší. Ke zvyšování pH dochází zejména při letním spotřebovávání oxidu uhličitého řasami, které oxid uhličitý v důsledku prováděné fotosyntézy odbourávají. V takovém případě se můžeme dostat na hodnoty pH klidně až v rozmezí 9-10. Výjimkou nemusí být ani hodnoty pH vyšší. Nejvíce se toto projevuje především v rybníční vodě, kde je voda silně eutrofizovaná (Pokorný a kol., 1998). Nicméně nesmíme také opomenout, že určitý vliv na změnu pH také hraje jarní tání sněhu. Za takového stavu často bývají naměřeny opravdu nízké hodnoty pH. Důsledkem je patrně acidifikace toku díky kyselým dešťům nebo vymývání činitelů z půdy (Kulasová, 2006).

Podobně jako u teploty, také pH ovlivňuje ryby přímo a nepřímo. Přímo ovlivňuje ryby tím, že při nepříznivých podmínkách může ryby poškodit, což se děje hlavně při nízkém pH, kdy často dochází k poleptání svaloviny (Hanel & Lusk, 2005). Přímo může pH ovlivnit také rozmnožování, kdy se ryby mohou chovat jinak, než při vhodných hodnotách (Kitamura & Ikuta, 2001). Nepřímo pH ryby ovlivňuje tak, že ovlivňuje jiné organismy, které slouží jako potrava. Další možností nepřímého ovlivnění je ovlivnění mnoha látek, které poté nepříznivě působí na ryby. My si zmíníme jen dvě z nejdůležitějších a tím jsou amoniak a dusitany (Svobodová, 2008).

V případě amoniaku lze jednoznačně říci, že čím je pH větší, tím je větší i koncentrace amoniaku. Toto samé tvrzení platí také u teploty. Pro ryby je klíčový zejména volný amoniak ( $\text{NH}_3$ ), který je silně toxický již při velmi nízkých koncentracích. Při vysokém pH však nejde jen o nějaké malé rozdíly koncentrací, které by neměly vliv. Jde o rozdíly opravdu velké, kdy pH a teplota jsou obecně jedny z nejdůležitějších parametrů, které amoniak ovlivňují. Při ještě relativně nízkých koncentracích, avšak již ne úplně příznivých, migrují celá rybí hejna pryč, protože se jim tato voda jeví jako nevhodná. Při vysokých koncentracích amoniaku jsou však často důsledky fatální, kdy dochází k obrovským úhynům ryb (Svobodová, 2008).

Dalším důležitým parametrem ovlivňovaným hodnotou pH jsou dusitany. Ty jsou meziproduktem amoniaku ve fázi nitrifikace. Platí prakticky to samé jako u amoniaku, kdy vyšší hodnoty pH jsou pro tvorbu dusitanů klíčové. Dochází totiž k redukci dusičnanů na zmiňované dusitany. Dusitany jsou toxické, protože ovlivňují schopnost hemoglobinu vázat kyslík. Dusitany jsou také stejně jako amoniak nebezpečné již při velmi nízkých koncentracích (Timmons et al., 2005).

Teď si zmíníme, jak vlastně působí pH na ryby přímo. Vliv pH silně působí na ryby podobně, jako teplota během rozmnožování a působí na jejich celkové chování. Během pokusu, který provedl Kitamura & Ikuta (2001) na pstruhovi obecném bylo zjištěno, že se samice nesnaží vyvinout takovou snahu při vytváření prostoru pro ukrytí jiker, pokud pH nepřekročí hodnotu 5-6. Nad tyto hodnoty se postupně úsilí zvětšuje. Nicméně hodnoty pH nesmí být ani příliš vysoké.

K ovlivnění také dochází během migrace k vhodným místům k výtěru. Bylo zjištěno, že lososí hejna dokáží během migrace rozeznat vodu s nízkým pH, které poté juvenilům znesnadňuje správný vývoj. Další provedený pokus byl proveden stejnými autory tak, že se pozorovali 2 jedinci lososa, kteří migrovali na svá trdliště. Jedinci byli umístěni do nádrže se dvěma přítoky. V prvním pokusu měly oba přítoky vodu s neutrálním pH. V tomto případě nedostal přednost ani jeden typ vody a ryby se držely v obou přítocích stejně. Ve druhém pokusu byl jeden přítok s nízkým pH a druhý přítok opět s neutrálním pH. V tomto případě ryby vždy daly přednost vodě s neutrálním pH, které muselo být nad již zmíněnou hranicí hodnoty 6. Toto dokazuje, že ryby vždy migrují na místa, kde jsou vhodné podmínky pro daný druh ryby (Kitamura & Ikuta, 2001).

Hejna sivena alpského (*Salvelinus alpinus*) pro změnu reagují na nízké pH hyperaktivitou. Ryby vykazují v nižším pH větší snahu plavat, nicméně jsou překvapivě méně agresivnější. Tyto ryby také mají menší tendenci vyhledávat potravu (Smith & Haines, 1995). S tímto chováním se každopádně lze setkat i u pstruha obecného (Laitinen & Valtonen, 1995). Samozřejmě nesmíme opomenout, že nízké pH u ryb způsobuje až skokové zvýšení stresu. Ze všech těchto důvodů tedy vyplývá, že udržování správného pH je pro život ryby stejně klíčové, jako u ostatních parametrů (Rosseland et al., 1992).

### 2.3.3. Vliv kyslíku

Obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě je velmi důležitým ukazatelem pro chování ryb. Kyslík se do vody dostává nejčastěji ze vzduchu a za pomoci fotosyntézy rostlin. Fotosyntéza je asimilační činnost řas a vyšších rostlin (Pokorný a kol., 1998). Při vytváření kyslíku těmito organismy platí přímá úměrnost. Čím je organismů vyskytujících se ve vodě více, tím je ve vodě i více kyslíku (Heteša a Kočková, 1997). Průměrné nasycení povrchových vod se běžně pohybuje kolem 90 %. Nicméně množství kyslíku ve vodě neustále kolísá. Nejméně kyslíku bývá ve vodě brzy ráno a nejvíce kyslíku zase v poledne (Grünwald, 1993). Pokud je kyslík v nevyrovnaném stavu, dochází k jeho postupnému vyrovnání s kyslíkovou atmosférou. Rychlost vyrovnání je závislá na několika faktorech. Mezi tyto faktory patří rozdíl hodnot nasycení, velikost vodní plochy a rychlost promíchávání vody a vzduchu (Heteša a Kočková, 1997).

K negativním důsledkům na rybách dochází především při nedostatečném nasycení vody kyslíkem. V případě, že je ve vodě pro ryby málo kyslíku, můžeme na nich pozorovat několik příznaků. Mezi tyto příznaky patří nechutenství, pomalejší růst, snížená schopnost využití krmiva, sdružování celých hejn v částech vod více okysličených a podobně. U kaprovitých ryb se můžeme setkat s typickým tzv. troubením ryb, kdy se ryby snaží získat kyslík z hladiny, protože se jim ho jinde nepodařilo naléznout. Ryby však tento kyslík nepolykají, ale opět ho vypuštějí. Souběžně ryby však stále provádějí i žaberní dýchání. U dravců se zase setkáváme při nedostatku kyslíku s otevřenými skřelovými víčky. Různé druhy ryb i věkové kategorie mají různé požadavky na obsah kyslíku ve vodě (Jirásek a kol., 1977).

Rané stádia ryb jsou na obsah kyslíku ve vodě často náročnější než dospělé ryby. Ryby totiž potřebují v raných stádiích efektivněji využívat potravu. Často však záleží na

konkrétním druhu ryby. Každý druh má svoji tzv. optimální koncentraci kyslíku. To jsou takové hodnoty, kdy ryby nejvíce prosperují. Uvedeme si zde opět dvě základní čeledi hejnových druhů ryb chovaných v České republice. U lososovitých ryb je tato hodnota stanovena na 8-10 mg.l<sup>-1</sup>. Pokud klesne koncentrace kyslík pod 3 mg.l<sup>-1</sup>, tak se tyto ryby začínají dusit. U kaprovitých ryb je tato koncentrace o něco nižší. Pohybuje se v rozmezí 6-8 mg.l<sup>-1</sup>. Ryby jsou však ještě schopny tolerovat hodnoty 2 mg.l<sup>-1</sup>. Pod tyto hodnoty však také dochází ke zmíněným projevům dušení. Nicméně i když je nedostatečné nasycení kyslíkem největší problém, který v tomto ohledu ryby poškozují, může být pro ryby problém i přesycení vody kyslíkem. Tento problém občas rybáři mívají při převozech ryb v transportních pytlích napuštěných kyslíkem (Svobodová a kol., 1987).

Největší problém s kyslíkem mají ryby především v letních měsících. V tuto dobu dochází k rozvoji fytoplanktonu a sedimentů. Plankton i sedimenty v tomto období silně vyčerpávají kyslík a zároveň se ze sedimentů uvolňují nepříznivé látky, kterými jsou amoniak a fosfáty. Neustále také dochází k zatížení vod organickými látkami, což silně stimuluje právě rozvoj fytoplanktonu. Výsledek je takový, že ve vyšších vrstvách vodního sloupce dochází k přesycení vody kyslíkem a u dna je kyslík v silných deficitech. Problémem, který tuto kyslíkovou nevyváženost způsobuje, je nedostatek světla, které chybí právě z důvodu nárůstu fytoplanktonu, který vodní hladinu zastiňuje. Zároveň také zvýšený obsah organické hmoty ve vodě podléhá bakteriálnímu rozkladu, který neustále z vody odčerpává kyslík (Adámek a kol., 2010).



**Obr. č. 12.** Hejno ryb při letních deficitech kyslíku (Michael Piskor, 2015)

Kyslík je významným faktorem i pro celá hejna ryb. Migrace hejn při nepříznivých podmínkách platí i pro nedostatek kyslíku, nebo jeho přesycení. Kyslík má vysoký vliv na ryby tehdy, když je na relativně malou plochu velká hustota ryb, které si kyslík navzájem vyčerpávají. Toto se děje právě u hejna, u něhož lze u některých druhů ryb při deficitech kyslíku pozorovat zmenšení hejna (McFarland & Moss, 1967). Malé hejno vyčerpá méně kyslíku, nicméně se sníží jeho šance na přežití z důvodu predace. Predace poté zvýší stres ryb, které pak musí více dýchat, takže je otázkou, zda jim je zmenšení hejna prospěšné v celkovém hledisku (Domenici et al., 2007). Někdy ale ryby nedostatek kyslíku vyřeší jen tak, že mezi sebou zvětší rozestupy a tím se sníží hustota ryb na danou plochu (Gueron et al., 1996).

Kyslík tedy taktéž, jako ostatní parametry vody působí na ryby přímo a nepřímo. Přímě kyslík ovlivňuje dušení ryb, nechutenství, pomalejší růst, přesun hejna na přítok, oddělení hejna a další (Jirásek a kol., 1977). Nepřímo jsou kyslíkem ryby ovlivněny rozvojem, nebo snížením stavu potravních organismů a nárůstem, nebo snížením nepříznivých látek pro jejich život. Prakticky totéž by se dalo říci i o předešlých parametrech vody, které zrovna tak ovlivňovaly nejen ostatní parametry, ale i přímo ryby (Timmons et al., 2005).

## **2.4. Ostatní faktory působící na hejno ryb**

Na hejno ryb působí i jiné faktory, než jsou fyzikálně-chemické vlastnosti vody a biologické faktory. Pro jednodušší rozdělení je ideální označit si je jako ostatní faktory. Tyto faktory mohou na ryby působit různě. Na ryby může působit prostředí, ve kterém se právě nachází, a to příznivě i nepříznivě. Každý druh ryby má také jiné únikové reakce při odlovu sítěmi (Ryer, 2008). Na ryby také může působit světlo, to znamená i roční období, kdy je různě dlouhý den a dlouhá noc (Lyon & Lucas, 2002).

Například u cejna velkého (*Abramis brama*) se ukázalo, že kterákoliv denní i noční hodina má na hejno jiný vliv. Ukázal to průzkum v Anglii na řece Temži. Během denních hodin se hejno seskupovalo proti proudu u jezu a na začátku stmívání se hejno začalo oddělovat, dokud nedošlo k úplnému oddělení celého hejna. Jedinci strávili noc samostatně a během začátku dne se opět začalo hejno spojovat na stejném místě, jako se rozpadlo. Kdyby k rozpadu nedošlo, ryby by si pak více konkurovaly v potravě a mohl

by nastat problém. Dočasné odloučení od hejna tedy přináší logický a jasný efekt (Lyon & Lucas, 2002).

Na ryby samozřejmě také působí zvuky, které ryby dokážou dobře vnímat, což jsme si dříve možná ani nedokázali představit (Frisch, 1938). Ryby jsou také ovlivňované elektřinou a magnetismem, kdy dokonce některé ryby dokáží elektřinu vytvářet (Kalmijn, 1982). Všechny tyto faktory jsou zajímavé z toho důvodu, že ještě nejsou vždy zcela prozkoumané. V kapitolách, které následují je popsán alespoň nějaký náznak toho, jak jednotlivé parametry mohou ryby ovlivňovat.

#### **2.4.1. Vliv prostředí na ryby**

Prostředí má na ryby opravdu velký vliv. Pokud se ryby cítí bezpečně, mohou žít poklidným životem. Pokud ne, mají život daleko těžší. Vlivy prostředí opět souvisejí s různými parametry, jako je predace, teplota a pH. To znamená, že se zde znovu některý z těchto parametrů objeví. Když se ryby nacházejí v novém prostředí, většina ryb se skrývá v různých zákoutích nebo úkrytech, a neodvážá se příliš zvedat ploutve. Reagují tak vždy při počátečních chvílích strávených v nových vodách. Snaží se tak na sebe neupoutávat přílišnou pozornost případných predátorů, kteří se mohou v prostředí vyskytovat také. Ovšem tato reakce na nové prostředí rybám způsobuje často velké problémy v jejich životním stylu. Za prvé, nemohou vždy shánět potravu tam, kde chtějí. Tímto se zabíralo několik studií, které se zabývaly chováním ryb, a to jak v nádržích, kde bylo bezpečno, tak v nádržích, kde rybám hrozilo nějaké nebezpečí (Werner et al., 1983). Tyto studie byly prováděny se slunkou obecnou (*Leucaspius delineatus*) a okounkem pstruhovým, či střevlí potoční a štikou obecnou. Zpočátku byly všechny nedravé ryby v novém prostředí v ústraní, ať už bylo jejich prostředí nebezpečné či nikoliv. Postupně se však ryby, které byly v bezpečí, začaly objevovat na otevřené a mělké vodě, zatímco ryby v nebezpečí zůstávaly výlučně v úkrytech a na volné vodě se neobjevovaly. Zátěž nebezpečí na ryby v úkrytech zpravidla vedla k pomalejšímu tempu růstu, neboť se zde nacházelo méně potravy a ryby zde byly ve velkých hustotách na konkrétních místech. Tyto ryby také měly velmi štíhlé tělo, které se dravcům v případě jejich ulovení snadněji polyká. Ovšem ryby zde byly také ve větším bezpečí, než by byly na volné vodě, jelikož je má dravec horší možnost ulovit (Tonn et al., 1992).

Tonn et al. (1992) také popisuje, že dravé ryby ovšem mají takový nehezky zvyk přizpůsobit se a odvážit se i do oblastí, kde se jejich kořist schovává. Například okounek pstruhový může přejít od plavby ve volných vodách k plavbě poblíž husté vegetace. Nedravé ryby si myslí, že v mělké vodě plné různých porostů a předmětů se udrží v bezpečí, ovšem pravdou je, že pokud se vyhnou v mělké vodě predaci dravých ryb, snadněji je zde uloví kormorán nebo volavka. Poté také může nastat již zmíněná situace přizpůsobování se dravců na jiné prostředí. Štika obecná (*Esox lucius*) má dokonce tendence se často v prostředí s předměty zdržovat. Bezpečnost tedy ryby nenachází takřka v žádném prostředí. Nicméně pravdou zůstává fakt, že nejbezpečnější prostředí pro ryby zůstává mělká voda s hustou vegetací a velkým množstvím překážek, kde alespoň nějakým způsobem dochází k minimalizaci možnosti ulovení. Podle Gotceitase (1990) je výhodné v tomto prostředí přebývat co nejdéle, a po nějaké době si jen vyplavat na volnou vodu sehnat nějakou potravu. Ovšem ryby musí být náležitě ostražité. Poslední jmenovanou možností vhodného prostředí pro ryby je takové prostředí, ve kterém ryby snadno splynou s okolím. Ryby se snaží ukrývat v prostředí s podobnou barvou, jako má jejich tělo a s dostatečnou velikostí pro ukrytí. Některé mořské ryby také dokáží podle prostředí měnit svoji barvu (Eklöw & Persson, 1996). Tyto ryby to dokáží díky speciálním pigmentovým buňkám (chromatoforům), které se vyskytují v různých částech těla. Chromatoforů je několik druhů a každý vytváří zcela odlišné zbarvení, kdy jejich kombinace dokáže vytvořit zbarvení charakteristické danému prostředí a ryby jsou tak poměrně dobře chráněny před nebezpečím (Spurný, 2000).

#### **2.4.2. Chování hejna při odlovu sítěmi a jinými objekty**

Při odlovu sítěmi dochází u ryb k různým únikovým reakcím. Ryby v hejnu (v moři především ryby žijící v pelagiálu) reagují při odlovu menším stresem a podstatně koordinovanějším chováním, než samostatní jedinci. Nicméně i tak neznámým objektům příliš nevěří (Pitcher & Parrish, 1993; Wardle, 1993). Hejno jako celek zároveň jedná impulzivněji (Gerlotto et al., 2004). Vždy trvá nějaký čas, než si všechny ryby na neznámý objekt zvyknou. Pokud se v hejnu stane, že se jedna méně ostražitá ryba, která se otočila k objektu zády, nechá do sítě chytit, většinou ji následuje i zbytek hejna. Takto hejno spolupracuje jako celek. Takovéto reakce však často dělají i samostatně žijící jedinci či jedinci žijící v párech (Kim & Wardle, 2003).

Pokud se ryba dostane do blízkosti sítě, nejprve se jí snaží nějakým způsobem vyhnout. Kterým místem má ryba tendence unikat je často dáno jejím způsobem života. Zatímco ryby žijící u hladiny se snaží uniknout spíše vrchem sítě, ryby žijící u dna se budou snažit spíše sít' podplavat (Ryer, 2008). Vědci, kteří se snažili přijít na to, v jakých světelných podmínkách ryby nejlépe reagují, provedli svůj výzkum pomocí televizních kamer v různých intenzitách světla. Ryby za velmi nízké intenzity záření se nebyly schopné držet v hejnu a nechaly se často snadno do sítě chytit. Při vyšší intenzitě světla naopak docházelo k daleko menšímu počtu ulovených ryb. Tento výzkum probíhal především u tresek a makrel žijících v moři. Tím lze jednoznačně dokázat, že schopnost utvářet hejno je silně podmíněna tím, co ryba vidí (Glass & Wardle, 1989).

Mořské ryby žijící v horních vrstvách vody jsou nejspíše více hejnové, než jakékoliv sladkovodní druhy ryb a žijí v podstatně větších hejnech. Velké hejno může být snadněji nalezeno a při větší hustotě ryb se snadněji loví. S tím, jakým způsobem ryby ze sítě unikají, souvisí i tvar celého hejna. Jakmile se hejno vyhýbá objektu, projevuje se podélným tvarem, jak ukázal výzkum echogramu, jež zkoumal tvar a velikost hejna. Hejno bylo několikrát delší než vyšší. Takovéto hejno je možné pozorovat i z hladiny, protože se drží v horních vrstvách. Jakmile však k žádnému lovení sítě nedocházelo, tak jev byl zcela opačný. Hejno bylo naopak vyšší než delší, ačkoliv se jeho hustota nezměnila. Tyto ryby reagují na objekty asi ze vzdálenosti 10 metrů. Bohužel při takovýchto pokusech se vždy nedá přesně rozlišit, o jaké druhy ryb se jedná (Gerlotto et al., 2004).

S jinou reakcí se můžeme setkat u ryb žijících spíše u dna (pelagiálové). Mezi tyto ryby patří například platýs bradavičnatý (*Platichthys flesus*) nebo kambala velká (*Psetta maximus*). U těchto ryb dochází spíše ke kamufláži, než k nějakým uhýbným manévřům. Tyto ryby se snaží vyhnout živému i neživému objektu tak, že se přitisknou ke dnu a snaží se splynout se dnem. Využívají tedy jejich zbarvení, které mnohdy mohou podle dna i měnit. Zatímco ryby žijící ve vyšších vrstvách vody reagují na poměrně velké vzdálenosti, tyto ryby reagují až ve vzdálenosti mnohdy menší než 1 metr. Dalším zajímavým faktem též je to, že úniková reakce je ovlivněna nejen velikostí celého hejna, ale i velikostí jedinců v hejnu (Ryer, 2008).

Rozdíl mezi únikovými reakcemi je rozdílný jak u mořských, tak i sladkovodních ryb (Gerlotto et al., 2004). Druhy ryb žijící v našich údolních nádržích se pohybují v pelagiálu



a utváří malá hejna. V noci je jejich aktivita poté velmi malá. Tyto ryby jsou velmi rozptýlené a snadno naleznutelné v případě jejich lovu (Draštík a kol., 2009). Při odlovu se dokonce může projevit i to, zda jde o rybu adultní nebo jde o plůdek. Starší ryby jsou sice zkušenější, nicméně jsou také větší a se svojí velikostí těla do sítí také snadněji ulovitelní (Jůza a Kubečka, 2007).



**Obr. č. 13.** Možný tvar hejna při únikové reakci před neznámým objektem  
(Bo Pardau, 2018)

### **2.4.3. Vliv prostoru a okolí**

Jakým způsobem působí prostor na ryby je dalším poměrně zajímavým, avšak málo probádaným tématem. Akvaristé a chovatelé ryb, kteří často chovají ryby ve velkých hustotách, mohou občas ve svých nádržích pozorovat, že při nedostatečném prostoru jejich ryby velice pomalu rostou. Zároveň ryby postihnuté nedostatkem prostoru bývají velmi často ve stresu (Viscido et al., 2004). Je proto na místě si uvědomit, že hejnové druhy ryb zabírají určitý prostor a určitý prostor také potřebují. Především mořské druhy ryb často plavou v obrovských hustotách, ve kterých zabírají obrovské množství prostoru, kdy tato hejna mohou mít rozpětí klidně až několik kilometrů. Je sice pravdou, že tyto ryby často jsou schopny plavat blízko sebe, nicméně určitý osobní prostor také potřebují (Krause, 1993).

Jakmile ryba nemá určitý osobní prostor, může začít požírat i ostatní jedince v hejnu a může vykazovat přílišnou agresi vůči dalším rybám. Ryby, které nemají dostatek prostoru, také podstatně pomaleji reagují, což může vést až k ulovení predátorem. Proto je důležité udržovat mezi jednotlivými rybami určité rozestupy, které jsou velké v závislosti na velikosti jednotlivých ryb a velikosti hejna. Nicméně rozestupy nesmí být ani příliš velké, aby se ryby cítily v dostatečné pohodě (Gray & Denton, 1991).

Ve volné přírodě se sice většinou s nedostatečným prostorem pro ryby setkáme méně, než v umělých chovech, nicméně existuje velmi silná interakce mezi velikostí vlastní populace konkrétního hejna ryb a velikostí populací dalších živočichů, včetně jiných druhů ryb žijících na stejném území. Ostatní žijící organismy v okolí silně ovlivňují jednak velikost hejna ryb, a jednak prostorové uspořádání ryb a stálost hejna. Když je hustota ostatních žijících živočichů menší nebo stejná, jako daného hejna ryb, ryby zůstávají v hejnu poměrně stálé, i když někteří jedinci mohou být v hejnu nerovnoměrně rozpoloženi. Jakmile je ale hustota okolních organismů vyšší, než u daného hejna, dochází k větší mobilitě hejna. Pokud jsou okolní organismy v takovém počtu a hustotě, která silně převažuje dané hejno ryb, může dojít dokonce až k úplnému rozpadu celého hejna. Jedinci v hejnu ryb pravděpodobně nejsou schopni vyřešit prostorový problém mnoha konkurenčních vlivů, který se v prostředí v nepříznivé situaci vyskytne (Viscido et al., 2004).

S velikostí prostoru a množstvím okolních organismů také souvisí i tvar hejna a rozestupy mezi jednotlivými jedinci v hejnu. Formování a struktury skupin ovlivňuje kromě hustoty okolních žijících organismů také predace (Viscido & Vethey, 2002) a reprodukce (Burger & Gochfeld, 1991). Nicméně největší vliv na hejnové uspořádání mají samotní jedinci v hejnu. Největší vliv na hejno mají jedinci v tom případě, kdy je hejno složené z co nejmenšího počtu jedinců. V případě, kdy už je v hejnu ryb více jedinců, vliv jednotlivých ryb už je podstatně menší. Velký problém, který v hejnu nastává, je při příliš velké velikosti hejna. Jedinci mají velký problém při tak velkých počtech reagovat vždy stejně a vždy být soudržní jako tým. Dochází tak k občasnému zmatku, kdy každý jedinec může vykazovat lehce odlišné chování. Prostor tedy musí mít ryby vždy dostatečně velký, jelikož je dalším parametrem, který ovlivňuje všechny živočichy, včetně rybího hejna (Viscido et al., 2004).

#### 2.4.4. Působení elektřiny a magnetismu

Působení elektřiny a magnetismu je důležitým tématem, jelikož i elektřina slouží k sociální interakci a dorozumívání se mezi jednotlivými rybami (Scheffel & Kramer, 1997). Navíc je zde souvislost s postranní čarou, která působí i na hejnové ryby a je schopna elektrorecepce (Smith, 1996). Působení těchto faktorů může objasnit vybraný druh ryby. Tímto druhem je gymnarch nilský (*Gymnarchus niloticus*). Gymnarch nilský patří mezi typické ostnojazyčné ryby (*Osteoglossiformes*). Tato ryba je velice zajímavá tím, že má na zádech zvlněnou ploutvičku, která jí umožňuje pohybovat se dopředu i dozadu stejným tempem. Gymnarch je schopen se velmi dobře vyhýbat překážkám při plavání dopředu, ale překvapivě dobře i při plavání dozadu. Nabízí se nám tak otázka, jestli oči nemá za hlavou. Pokud oči za hlavou opravdu má, dalo by se předpokládat, že jsou lepší, než ty v přední části hlavy, které má velmi degenerované a sotva funkční. Další častou domněnkou může být, že tato ryba má postranní čáru na ocase, která jí umožňuje vyhýbat se překážkám i při plavání dozadu. Pravdou ovšem je, že žádná známka postranní čáry na ocase není. Nicméně, i když je zrak gymnarchů tak špatný a postranní čáru na ocase nemají, tak si velmi dobře uvědomují překážky před nimi i za nimi (Kalmijn, 1982).

Podle Kalmijna (1982) se zkoumáním tohoto druhu ryb dostáváme někam do cizího, elektrického světa. Funkčnost není stejná, jako u našich smyslových vnímání či smyslových vnímání některých jiných živočichů. Uvnitř těla těchto ryb se nachází elektrické orgány, ve kterých jsou stovky diskovitých buněk nahromaděných v dlouhých řadách. Gymnarch má struktury tohoto orgánu umístěny na několika místech. Jedná se zejména o obě strany na boku ryby, na ocasu nebo také na hlavě. Tyto struktury mohou vytvářet elektrický proud ve vodě obklopující ryby. Stejně důležité jsou také elektroreceptory. Tyto elektroreceptory pracují na stejném principu a jsou inervovány stejným nervem jako postranní čára. Známe 2 typy elektroreceptorů, kterými jsou ampulární a hlíznaté. Ampulární jsou používány v pasivní elektrolokaci, tzn. detekci nízkofrekvenčních elektrických událostí generovaných všemi živými organismy, jako vedlejší produkt jejich fyziologických procesů a pohybů. Využití je především při vyhledávání skryté kořisti na krátké vzdálenosti. Druhý typ elektroreceptorů je zčásti vytvořen pro aktivní elektrolokaci, tzn. vnímání středních až vysokofrekvenčních elektrických polí vytvářených buď samotnou rybou, nebo jinou rybou stejného druhu.

Vnímání změn v elektrickém poli je užitečné především pro lokalizování předmětů na kratší vzdálenosti před rybou a za rybou, nebo pro registrování ostatních ryb v okolí. Toto rybám otevírá určitou možnost mezi sebou také komunikovat. Pasivní elektrolokace není schopno mnoho druhů ryb. Mezi vybrané patří například jeseteři (*Acipenseriformes*), pasumcovití (*Malapteruridae*) známí též jako električtí sumci, električtí úhoři (*Electrophorus*), nebo některé další africké druhy ryb. Tyto ryby používají elektrolokaci, aby našly kořist zahrabanou na dně v písku nebo bahně. Některé druhy využívají aktivní elektrolokaci při vyhledávání potravy. Lokalizují kořist pomocí elektorecepce a zároveň dokáží tuto kořist nějakým způsobem zneškodnit, případně zpomalit. Princip funguje podobně, jako při odlovu ryb elektrickým proudem, který se často využívá u nás i ve světě pro výzkumné účely, nebo před umělým výtěrem ryb, avšak v tomto případě samozřejmě elektrický proud nebývá tak silný. Elektrický proud dokáže také odradit mnoho predátorů, kteří se snaží lovit. Na usmrcení větších živočichů jsou sice elektrické výboje těchto ryb většinou slabé, avšak na omráčení kořisti jsou dostačující. Například výše zmíněný elektrický úhoř může dát krátkodobý výboj až 500 voltů (Lissmann, 1963).

Menší elektrické výboje, než vydávají ryby s výbojem určeným pro ulovení kořisti, slouží především k mapování okolí, především z důvodu zjištění žijících živočichů v okolí. To jim může posloužit pro včasný únik při útoku predátora, nebo i při vyhledávání ostatních jedinců. Mezi ryby se slabšími výboji patří nahohřbetí (*Gymnotiformes*) a rypounovití (*Mormyridae*). Tyto ryby vypouštějí slabé výboje velmi náhle, v závislosti na druhu. Výboje těchto ryb probíhají téměř nepřetržitě, ale jsou natolik slabé, že nedokáží ani omráčit kořist. Na druhou stranu jsou výboje dostatečně silné na to, aby dokázaly vytvořit stabilní elektrické pole kolem těla ryby (Cain et al., 1994).

Slabé elektrické výboje, jak již bylo řečeno, mohou sloužit také ke komunikaci. Elektrická komunikace je nápadně podobná akustické komunikaci. Ta může sloužit při vyhledávání jedince opačného pohlaví do páru. U některých druhů samci během aktivního vyhledávání partnera vydávají elektrické signály s pravidelnými intervaly až do ukončení výtěru. U ryb má vždy samec i samice svůj specifický vzorec chování, který je vždy přitahován opačným pohlavím. U ryb vydávajících elektrický signál k vyhledávání partnera se tomuto stavu také říká „jiskra lásky“. Samice jsou při hledání protějšku natolik fixované na komunikaci elektřinou, že mohou být dokonce přitahovány místem, kde dochází k výbojům elektřiny, což často může vést až k úmrtí samice, která je zasažena

elektrickým proudem. Zajímavostí je, že každý druh má specifické elektrické výboje, tudíž je každý druh přitahován zejména stejným druhem (Scheffel & Kramer, 1997).

Další funkce elektrických výbojů se vztahuje k agresí. Agresivní jedinci často předcházejí útokům nepřátel silnější mírou elektrických výbojů, zatímco méně agresivní jedinci nemusí vyvíjet žádnou snahu vytvářet elektrické výboje. To vede k tomu, že submisivnější jedinci jsou často náchylnější k predacím, než jejich dominantnější oponenti. Týká se to však především napadení jiným druhem, jelikož i dominantní jedinci jen zřídka útočí na vlastní druh, který jim často může určitým způsobem nadbíhat a snažit se udržovat dobré přátelské vztahy. Elektrické výboje slouží také k udržení teritoria, které se ryby i tímto způsobem chrání a označují. Ryby jsou tak schopny rozpoznat, že určité teritorium je již obsazeno jiným jedincem, který to takto dává najevo. Nabízí se však zajímavá otázka. Jak je možné, že když ryby samy vypouští elektrické výboje po celý život, rozpoznají elektrické výboje jiných jedinců? Odpovědí je, že po každém elektrickém výboji se na nepatrnou chvíli zastaví jejich vydávání. Další částí odpovědi je to, že některé druhy dokáží i elektrické signály odrážet. To může být jistou výhodou při zmatení nepřítele, který si není přesně jist polohou lovené ryby, ale i nevýhodou v případě vyhledávání partnera. Nicméně je jisté, že elektrické výboje jsou pro některé druhy ryb nepostradatelným způsobem komunikace (McGregor & Westby, 1992).

Své opodstatnění hejno nachází i při nebezpečí, které některé ryby využívající elektrinu představují. Zatímco osamocená ryba je snadno lokalizovatelná, tak hejno ryb dokáže celý elektrický systém zmást. Elektrické pole ryb v hejnu se totiž silně překrývá. Aby byly elektrické signály pro rybu, která je využívá plnohodnotné, musí být detekované ryby od sebe vzdáleny, což v hejnu většinou příliš nebývají. Ryby tak mohou uniknout případnému nebezpečí, které může ryba využívající ke svému lovu elektrinu představovat (Babineau et al., 2007). Pro úplnost lze také konstatovat, že celé hejno ryb v případě silnějšího působení elektřiny reaguje únikem (Říha, 1986).

Pro doplnění je možné ještě zmínit lososa, který je schopen vnímat magnetické pole Země a využívá také, mimo jiné faktory, magnetismus při migracích. Nicméně stále není ještě úplně jisté, zda se losos orientuje magnetismem při všech svých životních migracích. Není ani jisté, že se losos orientuje magnetismem po celou dobu migrace. Zatím to vypadá podle nedávných studií tak, že se losos snaží najít pomocí magnetorecepce ústí svojí rodné řeky, jelikož v obrovském oceánu se jen těžko orientuje čichem (Taylor, 2006).

### 2.4.5. Reakce ryb na zvuky

Až do třicátých let minulého století spoustu lidí věřilo, že ryby nemohou slyšet. Přece jenom všichni viděli, že na hlavě ryby není žádný otvor, který umožňuje spojení s vnitřním uchem. Když je člověk pod vodou, slyší jen tlumené zvuky, což možná vyvolalo dojem, že voda nevede zvuk. Byly tam samozřejmě různé protiargumenty. Už tenkrát bylo známo, že měkké tkáně ryb mají téměř stejnou hustotu jako voda, což znamená, že podvodní zvuky mohou cestovat skrz tělo ryby, a proto není zapotřebí přímého spojení mezi vnitřním uchem a vnějším prostředím. Bývalo to také vysvětlováno tak, že voda je nestlačitelná, což znamená, že zvuk může cestovat velmi rychle a velmi daleko ve vodě. Říkávalo se už tenkrát, že ačkoliv zvuku není tolik ve vodě, jako ve vzduchu, vodní prostředí může poskytnout bohatý zdroj akustických informací. Přesto to byly jen argumenty až do toho okamžiku, kdy nebylo přesvědčivě prokázáno, že ryby opravdu zvuk vnímají. Ve třicátých letech však bylo publikováno několik různých experimentů, které vedly informace o sluchové kapacitě ryb. Pro svou demonstraci, že ryby slyší, nechal von Frisch (1938) zaslepené sumečky americké (*Ameiurus nebulosus*) ve své laboratoři otestovat. Tito sumečci strávili většinu svých dnů uvnitř jílovité trubky. Když von Frisch pustil jídlo do vody, ryby ho ucítily a vyplavaly z úkrytu, aby ho chytily. Po chvíli začel von Frisch pískat několik vteřin předtím, než hodil jídlo. Po pár takových situacích pískání a dodávky potravin začali sumečci vyplavávat ven z přístřešku ihned, jak Frisch zapískal ještě předtím, než potravina spadla na zem. Zvuk se tak propojil s jídlem v mysli sumečků. Tím pádem od té doby bylo zřejmé, že ryby jsou schopny zvuk slyšet.

I když ryby slyší poměrně dobře a dokáží se zvukem i kontaktovat o případném nebezpečí, tak se zdá, že ryby slyší spíše zvuky s nižším tónem. Většina ryb může slyšet pouze zvuky v rozmezí 30-3000 Hz. Pro srovnání si uvedeme příklad lidí, kteří slyší zvuk 30-16000 Hz. Každý druh ryby má však jinou frekvenci, kterou silněji vnímá a na jinou je jeho reakce poměrně slabá. Pokud tedy chceme očekávat reakci ryby na zvuk, musí být využito nižších tónů (Hawkins, 1981). Pro reakci ryb je důležité také to, odkud zvuk pochází. V případě, že se setká ryba ve svém teritoriu s rybou, která jí teritorium narušila, může ji začít zastrašovat zvukem. Pokud ryba brání své teritorium vydává zvuk ze svého obvyklého území teritoria, tak rybu, která připlavala na cizí území, příliš nezastraší, jelikož jí ryba narušující teritorium vidí a nebere její zastrašování příliš vážně, a dokonce

ani nejeví velké reakce. Pokud ale ryba narušující cizí teritorium neví, odkud zvuk pochází, vyvolává to u ní zvýšenou míru agrese a rozpačitého chování. Laicky se to dá říci tak, že ryby vystraší více zvuky, u kterých není jisté, odkud pochází, než zvuky, u kterých jsou přesně schopny určit místo vzniku (Myrberg & Spires, 1979).

Zajímavými rybami ohledně zvuku je rod česky označován jako vrčivky (*Trichopsis*). Z českého pojmenování lze usuzovat, že ryba vydává vrčivé a vrzavé zvuky. Tento zvuk můžeme slyšet u samců v době vzrušení při vábení samičky. Vrčivý zvuk je také možné u tohoto rodu slyšet při odhánění protivníka jako obranný mechanismus. Dokonce je tento zvuk možné slyšet během přelovování těchto ryb, kdy vydávají zvuk, jako určitý vzdor proti přelovení. Aparát k vydávání tohoto zvuku mají pravděpodobně jen samci, protože samičky tento aparát příliš nepotřebují. Důvod a způsob vydávání tohoto zvuku ještě není zcela zjištěn, takže nelze na otázky s tímto spojené s jistotou odpovědět. Nicméně existuje teorie, že může být souvislost s kalnou, absolutně znečištěnou vodou s nulovou viditelností. Tento zvuk je také považován za způsob akustické komunikace mezi jedinci (Marshall, 1966).

Ryby reagují na zvuky různě. Nicméně pokud jsou zvuky, které jim nevyhovují, snaží se jim vyhnout stejně jako jiným nepříznivým faktorům. To samé lze praktikovat i u člověka, který se snaží příliš nízkým nebo příliš vysokým frekvencím zvuků také vyhnout, jelikož na něj působí velmi nepříjemně. U ryb je toto chování zcela podobné a může být toho i využito (Ruggles, 1993).

Zvuku bylo mnohokrát využito již v minulosti, kdy bylo vyzkoušeno mnoho pokusů s cílem dosáhnout odpuzování sledů pomocí zvuku od turbín, které je mohly zabít. Některé studie hlásily úspěch, jiné zase neúspěch. Zřejmě vždy záleželo na frekvenci použitého zvuku (Dunning et al., 1992). Na tomto druhu ryby se pokusili udělat další experiment také Haymes & Patrick (1986). Tito autoři používali zvuk k odstrašení ryb od přítoku z jaderné elektrárny na jezeře Ontario. Bylo použito přístrojů produkujících širokopásmový zvuk o frekvenci 20-1000 Hz. Tento zvuk udržoval většinu ryb od elektrárny, ale bohužel ne úplně všechny. Nicméně i tak byly výsledky přijatelné a zvuku tak mohlo být využito. Dokonce zvuk může odstrašovat od elektráren i ostatní hejnové druhy ryb, zejména okouna žlutého (*Perca flavescens*) a slunečnici pestrá (*Lepomis gibbosus*).

Při zkoumání, jak vlastně působí zvuky na hejno ryb, byly zjištěny zajímavé informace u placky americké (*Alosa aestivalis*). Tyto ryby byly zavřeny do obřích nádrží, kde vykazovaly určité chování i v rámci hejna. Bylo zjištěno, že tyto ryby reagovaly jen na zvuky v rozmezí 80-150 kHz. Při této frekvenci zvuku se ryby pohybovaly daleko od zdroje zvuku, jelikož jim byl nepříjemný. Zároveň také ryby na tento zvuk reagovaly až s prodlevou 10-15 vteřin. Po této době placka vytvořila hejno s úzkým tvarem a celé hejno se začalo postupně přesouvat od zdroje nepříjemného zvuku do co největší vzdálenosti (Nestler et al., 1992).

Dříve se předpokládalo, že by nějakým způsobem mohl hrát roli zvuk i v migraci lososovitých ryb. Z toho důvodu se Burner & Moore (1962) ujmulí možnosti vyzkoušet tuto myšlenku v praxi. Nicméně bohužel se při jakékoliv frekvenci nepodařilo prokázat, že by zvuk měl na nějakou z lososovitých ryb nějaký migrační vliv. Zkouška vlivu zvuku proběhla i u mladých lososů. Výsledek byl nicméně stejný, jako ten předchozí. Každopádně pokusní lososi, ačkoliv nejevili žádné migrační chování při jakékoliv zvukové frekvenci, byli schopni přece jen vykazovat alespoň nějakou minimální odezvu na zvuk (Van Derwalker, 1967). Nicméně lososi všeobecně pravděpodobně méně reagují na zvuky. Reakce byla zjištěna jen v několika málo případech při použití velmi nízkých frekvencí zvuku. Pokud se lososi umístili do prostředí, ve kterém byla nízká frekvence zvuku, reagovali stejně jako jiné ryby tím, že se od zdroje snažili dostat na co největší vzdálenost. Nicméně reagovali jen na velmi malé vzdálenosti, na větší vzdálenosti už téměř žádné reakce nevykazovali (Hawkins & Johnstone, 1978).

U dalších druhů ryb bylo také prokázáno, že některé druhy ryb reagují na zvuky jiným způsobem také v různých světelných podmínkách a v různé části dne. Většinou se to projevovalo v jednotlivých pokusech tak, že ryby byly buď ve stresu, nebo vykazovaly jiné podrážděné chování. Druhou možností bylo, že rybám zvuk vůbec nevadil. Nicméně toto chování se liší v závislosti na druhu, frekvenci zvuku a také na podmínkách okolního prostředí (Dunning et al., 1992).

#### **2.4.6. Chování ryb v průběhu dne a noci**

Každá denní a noční hodina má odlišný vliv na chování ryb. Vliv fotoperiody na ryby je opravdu velký a řídí prakticky každé chování ryb. Fotoperioda má vliv na množství přijímané potravy, na dobu přijímání potravy, na odpočinek ryb a na celkovou aktivitu



ryb. V neposlední řadě je pro ryby důležité se co nejvíce vyhýbat predaci. Ryby na všechny tyto faktory reagují a přizpůsobují se všem faktorům okolí (Helfman, 1978).

Většina ryb žijících v tropických a mírných pásmech aktivně vyhledává potravu v průběhu dne, nebo v průběhu noci. Je jen několik málo druhů, které ochotně vyhledávají potravu během úsvitu nebo soumraku (Emery, 1978). Nicméně je možné se setkat s případem, kdy se ryby potravně adaptují na podmínky prostředí. To znamená, že běžně ryby s noční aktivitou jsou schopny přijímat potravu přes den, a naopak ryby s denní aktivitou jsou schopny přijímat potravu v noci (Larkin, 1979).

Potravní aktivita ryb v určitou dobu je naprosto logická. V jakou denní nebo noční dobu budou ryby aktivní ve vyhledávání potravy, je totiž ovlivněno několika faktory. Mezi tyto faktory patří také potravní nabídka, na kterou ryby vždy zareagují. Je logické, že pro ryby by nemělo smysl hledat potravu v době, kdy potravu není. Dalším faktorem jsou časové návyky ryb, kdy ryby jsou často zvyklé být v určitý čas na určitém místě v případě, že tam několikrát za sebou v určitý čas našly potravu. Pokud vezmeme v potaz tyto faktory, zjistíme, že většina ryb je s denní aktivitou. Podílově to odpovídá asi na 1/2 až 2/3 ryb. Zhruba 1/4 je poté s aktivitou noční. Zbytek ryb má aktivitu během úsvitu nebo soumraku. Po zbytek času, kdy ryby potravu nehledají, jsou pak méně aktivní a nějakým způsobem mohou šetřit energii (Helfman, 1978).

Pozoruhodné chování vykazují některé druhy ryb v průběhu rozmnožování, které přes den hledají potravu a v noci poté hledají úkryt, kam se schovají. Některé druhy ryb se dokonce dokáží v noci i rozmnožovat (Nash, 1982). Příkladem takového druhu může být okoun žlutý. Noční rozmnožování může být dokonce velice časté u mnoha druhů ryb, jen o tom nemusíme vědět. Ve většině případů totiž nejsme schopni detailně prozkoumat reprodukční chování ryb v noci (Helfman, 1981). Nicméně byly zjištěny případy, kdy se ryby staraly v noci i o potomstvo. Podle Helfmana (1981) bylo zjištěno toto chování například u sumečka amerického (*Ameiurus nebulosus*).

Co se týče chování vůči predaci, je pro rybu ideální být aktivní v takovou dobu, kdy loví co nejméně dravců. To je ovšem velice těžké, jelikož i dravci jsou schopni se adaptovat na jakoukoliv situaci a třeba tak i změnit dobu svojí aktivity. Navíc téměř v jakoukoliv dobu loví nějaký dravec, jelikož jsou i dravci jak s denní aktivitou, tak s noční. U dravců také velmi záleží na zbarvení jejich těla, jelikož každý z nich má zbarvení a tvar těla přizpůsobený pro lov v určitou dobu. Dravci s tmavým tělem jsou

často přizpůsobeni pro lov v noci a dravci se světlým tělem zpravidla pro lov ve dne. Žádný z dravců totiž nesmí vyčnívat, aby byl jejich lov dostatečně efektivní. Samozřejmě to nemusí být vždy pravidlo. Záleží vždy také, z jaké části vodního sloupce dravec loví. Nicméně přizpůsobovat se prostředí a době aktivity zvládají jak dravci, tak jejich potencionální kořisti (Hobson, 1968).

Rozdílné chování mezi dnem a nocí také vykazují celá hejna ryb. Ryby s denní aktivitou v noci hejnově příliš nežijí, takže se často hejno v noci rozpadá. Pohyb hejna je totiž také částečně vizuální záležitostí, takže by se rybám orientovaným na denní aktivitu nedařilo příliš s hejnem spolupracovat. Nicméně jakmile nastane ranní hodina, kdy už ryby alespoň něco vidí, tak se hejno opět sloučí. Občas sice dochází k chování, kdy se jednotlivci mohou na krátký čas od hejna odtrhnout, nicméně i tito jedinci se k hejnu po krátké době opět vrací. Důvodem tak rychlého sloučení hejna, ke kterému dochází prakticky hned po prvním náznaku toho, že by ryby mohly něco vidět, je pravděpodobně opět predace, která je jedním z hlavních důvodů sloučení ryb do hejna všeobecně (Helfman, 1981). Jako jedním z příkladů nám může posloužit například cejn velký, který byl zmíněn na začátku celé této hlavní kapitoly pojednávající o ostatních vlivech působících na hejno ryb.

## **2.5. Modelování chování ryb**

Podle Kennedyho et al. (1995) modelování a simulace hejna sahají už do období minulého století, kdy se již v roce 1980 simulacím hejna ryb věnovala řada vědců. Na začátku byla myšlenka, že jedinci hejna mají prospěch z objevů celého hejna. Toto by nám potvrdilo, že sdílení informací jedincům přináší značné evoluční výhody. Od té doby již začalo existovat mnoho modelů. Některé přinesly do vědy něco zajímavého a některé už tak zajímavé nebyly. Nicméně v některých oblastech toho ještě nevíme mnoho a proto je nezbytně nutné i nadále provádět další a další modelování a zkoumání, které nám umožní objevit dosud neprobádané.

### **2.5.1. Možnosti modelování chování ryb**

Modelování chování ryb přináší do vědy neskutečné možnosti. Nejenže jsme schopni vytvářet za pomoci různých matematických operací a informačních technologií unikátní

3D modely, ale můžeme se dostat hluboko do světa organismů, kam lidské oko reálně nedohlédne. Vytvořením modelu, který se velmi podobá reálné rybě, je možné zjistit, jak na ni budou faktory okolí působit. To by mohlo jít v reálném světě jen velmi těžko. Stále nemáme možnosti prozkoumat opravdu všechno, takže modely nám v tomto ohledu mohou značně usnadnit situaci.

Ryby v modelech mají většinou vyvinuty schopnosti pohybu, smyslů a myšlení. Zároveň mohou ryby reagovat autonomně, takže je vše řízeno automatizovanou technologií. Podobná technologie bývá často použita i v počítačových hrách. Ryby jsou schopny se učit na základě podnětů z vnějšího prostředí a mají vytvořenou určitou paměť, kde si jsou schopny to nejdůležitější zapamatovat. Jsou to tedy poměrně dokonalí virtuální živočichové a mohou reagovat na různé situace, které by mohly mít i reálný základ. I když jsou principy často složité a běžný člověk jim nemusí porozumět, zkušený člověk se dokáže v těchto modelech velmi dobře orientovat. Takovýchto poměrně zajímavých modelů existuje několik (Stephens et al., 2003).

Modelovat je možné různé situace a vlastnosti ryb. První si zmíníme pohyb, který je velmi důležitým aspektem pro vytvoření dokonalého modelu. Každý druh ryby má odlišný způsob pohybu. Je možné si je tedy rozdělit do několika skupin, kterými jsou *anguilliform*, *carangiform* a *subcarangiform*. První zmíněná skupina *anguilliform* je charakteristická dlouhým, tenkým a pružným tělem. Typickými zástupci jsou úhoři (*Anguilla*) a žraloci (*Selachimorpha*). Tyto ryby se při plavání pohybují vlnivě celým tělem s výjimkou hlavy. Do druhé skupiny, která se nazývá *carangiform*, patří ryby s vřetenovitým tělem a úzkým ocasem. Typickými zástupci jsou hlavně mořské ryby, jako jsou makrely (*Scomber*), sledi (*Clupea*) a tuňáci (*Thunnus*). U těchto ryb se při plavání vlní zadní část těla a ocas. Poslední skupinou z hlediska pohybu je skupina s názvem *subcarangiform*. Do této skupiny patří také ryby s vřetenovitým tvarem těla. Typickými zástupci jsou pstruzi (*Salmo*) a tresky (*Gadus*). U těchto ryb se během plavání vlní až 2/3 těla (Stephens et al., 2003).

Nedílnou součástí rybích modelů je modelování smyslů ryb. Ryby mají mnoho sensorických schopností, z nichž nejdůležitější pro modelování jsou 4. Mezi tyto smysly patří zrak, sluch, vůně a chuť (Helfman, 1999). Všechny modely musí nějakým způsobem brát v potaz skutečnou schopnost ryb využívat tyto smysly a zároveň brát v úvahu druhovou specifičnost, protože každá ryba má tyto smysly odlišné (Stephens et al., 2003).

Další možnost pro modelování ryb nám přináší vztah predátora a kořisti. U simulace chování vztahu mezi predátorem a kořistí je důležité, aby model počítal se všemi fázemi lovu. Fáze lovu zahrnuje pronásledování kořisti dravým predátorem, zaútočení na kořist, zachycení kořisti a manipulaci s kořistí (Helfman, 1999). V modelech je často rozdíl mezi jednotlivými fázemi rozmazaný. Například útok na kořist a její zachycení může probíhat současně. Hledání kořisti může být aktivní nebo pasivní. Aktivní způsob lovu využívá všech smyslů ryby a pasivní způsob lovu využívá maskování predátora a jeho čekání na kořist. Velkou výzvou pro modelování rybiho chování je útok predátora na hejno ryb. V modelech se většinou ukazuje, že čím je více ryb v daném hejnu, tím je predátor zmatenější. Nicméně se často ryby po útoku predátora od sebe oddělí a predátor už útočí pouze na jednotlivé ryby (Stephens et al., 2003).

Modelování představuje také simulaci parametrů, které na ryby působí. Příkladem může být hlad nebo strach. Hlad je model úrovně rybí energie. V modelu se hodnotí chuť k jídlu a trávení ryb. V podstatě se jedná o míru toho, kolik potravy ryby pozřely, kolik potravy potřebují pozřít, aby měly určitou energii, a také pauza mezi každou zkonsumovanou potravou. Naopak modelování strachu představuje vnímání hrozby ze strany predátorů, blízkost, ze které loví a jejich počet (Stephens et al., 2003).

Mezi důležité aspekty modelování patří také vytváření animací. Animační model určuje, jak ryby vypadají, jak se pohybují a jak se chovají v prostředí. V animacích je potřeba vytvořit nejprve kostru ryb, kůži a poté ji doplnit pohyby. Proces mapování rybí kostry zahrnuje nejprve import vhodného rybiho pletiva, které představuje kůži a poté ho umístit na kostru ryby. Kostra se skládá z různého počtu segmentů o stejné délce a každý segment má různý počet kostí. Počet kostí závisí na velikosti ryb, tvaru ryb a na požadovaném pohybu ryb (Stephens et al., 2003). Po dokončení vzhledu ryb je potřeba vytvořit pohyb ryb. Způsob modelování pohybu ryb při plavání je vytvořen za pomoci matematických operací (Tu, 1996). Modelování pohybu ryb musí být přizpůsobeno rychlosti a způsobu plavání (Reynolds, 1999).

Další důležitou součástí modelu je také vnímání ryb. Ryby v modelu sledují prostředí, ve kterém žijí. Ryby jsou zároveň také v interakci s jinými rybami a používají všechny smysly. Nicméně schopnost vnímání ryb je omezena jejich zorným polem. Jedná se o poměrně složitý systém modelování, který však lze optimalizovat pomocí lokalizačních

technik. Důležitým aspektem je také schopnost vnímání překážek, kdy překážkou je myšlen nejen nějaký objekt, ale i jiná ryba (Stephens et al., 2003).

Neméně důležitou součástí modelu je i mysl ryb. Mysl ryb je zodpovědná za volbu chování ryb a funguje na základě motivací a informací z vnějšího prostředí. Zároveň jsou ryby schopny učit se a na základě svých zkušeností a utvářet volbu svého chování. Pro výběr chování jsou důležité motivace, zvyky ryb a konkurenční chování. Motivací ryb může být například hlad nebo predace. Když rybu napadne nějaký predátor, motivuje jí to z daného místa utéct. Naopak při hladu má ryba motivaci nalézt nějakou potravu. Oba tyto faktory, to znamená míra predace a hladu se dají vyjádřit určitou hodnotou za pomoci algoritmů. Zvyky u ryb znamenají opakující se činnosti v určitý čas. Tyto zvyky mohou ryby vykonávat i ve virtuálních modelech. Chování ryb může mít vliv na animaci, pohyb nebo obojí. Zvyky jsou z velké části přizpůsobené řízenému chování (Reynolds, 1999). Řízené síly na pohybový model vytvářejí pohyb. Použity mohou být různé síly působící na ryby v libovolném okamžiku a výsledná síla je součtem vynaložených sil, kdy každá síla má přidruženou hodnotu (Stephens et al., 2003). Samozřejmě lze modelovat i hejnové chování ryb a jejich sociálních interakcí. Hejnové ryby jsou schopny kolektivního přemýšlení a jejich modelování vytváří velikost hejna, soudržnost hejna a jeho oddělení (Reynolds, 1987).

Další možností, kterou lze modelovat je výběrové chování ryb. Každé chování je modelováno jako samostatný stav, kdy jedna možnost je u ryb upřednostňována. Například strach ryby vede k upřednostnění ostražitosti před predátorem, než hledat potravu a dostatečně se nasytit. Samozřejmě každé chování je typické pro daný druh a může se měnit i individuálně (Stephens et al., 2003).

Pro modelování je klíčové mít kvalitní vybavení. Počítačový program na vytváření modelů by měl mít co nejlepší schopnosti vytvářet 3D modely a animace. Zároveň by měl být aktualizovaný na nejnovější verzi. Jednou z možností je použít program Maxscript a 3DSMax. Nicméně existuje mnoho dalších a novějších programů, které jde taktéž s úspěchem použít (Stephens et al., 2003). Důležitými počítačovými komponenty je operační paměť, grafická karta a procesor. Operační paměť a procesor se starají o bezproblémový chod a rychlost celého modelování. Grafická karta má na starost vytvářet co nejkvalitnější obraz a vizuální důvěryhodnost celého modelu (Dostál, 2011). Při spuštění virtuálního modelu ryb má uživatel na výběr 2 základní režimy ovládání. První

režim je volný pohyb, který umožňuje uživateli pohybovat se libovolně do jakýchkoliv míst. Druhý režim umožňuje sledování konkrétních ryb. Problémem vytváření modelů může být nedostatečná výkonnost počítačů, které modely vytváří. Nicméně optimalizací jednotlivých parametrů lze dosáhnout pozitivních výsledků a vytváření velmi kvalitních modelů (Stephens et al., 2003).

### **2.5.2. Terzopoulosův model ryby**

Typickým příkladem kvalitního modelování ryb je Terzopoulosův model ryby. Demetri Terzopoulos et al. (1994) dokázali vytvořit poměrně složité modely rybiho chování. Jeden z těchto modelů je právě Terzopoulosův model ryby, což je 3D model, který má představovat různé chování u ryb. Během celého modelování model postupně vytváří jednotlivé stavy chování. Nejprve model přechází od vyhýbání se překážce po vyhýbání se ostatním rybám, včetně neutrálních ryb. Poté model přechází ke konzumaci potravy, rozmnožování, úniku před nebezpečím, až po prozkoumávání hejna a sdružování se do hejna. Tento model také simuluje zorné pole ryby, které činí neuvěřitelných téměř 300 °. Ryby tak v podstatě nevidí jen za sebe, jinak vidí všude. Ryby jsou tedy schopné otáčet okem do různých směrů a vidět více, než mnoho jiných živočichů.

Tyto modelové ryby mají neskutečně realistické chování a smysly. V modelu jsou obsaženy dravé ryby a nedravé ryby (kořistní a neutrální). Výhodou je, že model dokáže simulovat jak fyzické chování ryb (pohyb různých svalů), tak psychické. V tomto modelu jsou také obsaženy prvky samoučení, kterými je dosaženo realistického chování za pomoci algoritmů. Ryby tedy zpočátku jsou téměř bez znalostí a neumí ovládat jednotlivé svaly, nicméně postupně získávají schopnost jednotlivé svaly ovládat a dosáhnout tak potřebného manévrování. Model sice zpočátku působí méně realisticky, nicméně poté, co se ryby naučí ovládat jednotlivé svaly, začíná působit velmi realisticky a působí velmi věrohodným dojmem. V tomto modelu také bez problému funguje i slučování ryb do hejna, které je poměrně málo probádaným tématem. Jde o naprosto složitý a dokonalý model na úrovni. Žádné nevýhody tedy u tohoto modelu nejsou, nebo jsou zcela minimální. Jde však o zcela složité algoritmy, kterým mnohdy méně zdatný matematik nebo informatik příliš neporozumí. To ale nic nemění na použitelnosti výsledků, které jsou v literatuře odborně vysvětleny. Například u hejnového chování ryb v případě ohrožení predací je jasně vidět, že ryby reagují až od určité vzdálenosti od predátora.

Vysvětlené výsledky jsou tedy ideálním vodítkem pro pochopení hejnového chování ryb (Terzopoulos et al., 1994). Nicméně tento model je již poněkud méně používaný a v dnešní době jsou více používány tzv. multiagentní systémy.

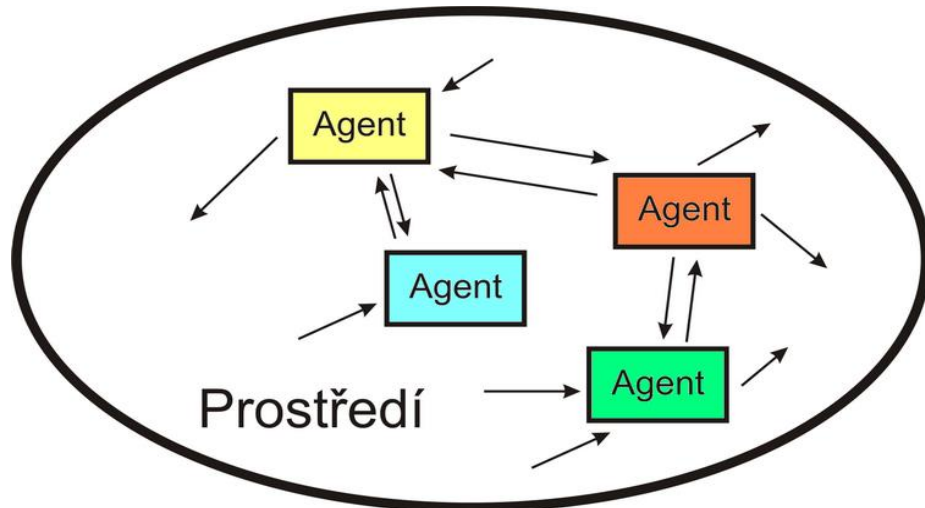


**Obr. č. 14.** Žralok před útokem na hejno ryb (Demetri Terzopoulos et al., 1994)

### 2.5.3. Multiagentní systémy

Poměrně zajímavým tématem jsou multiagentní systémy. Multiagentní systém je simulované prostředí se síťovým charakterem, v němž dochází k interakcím určitých typů aktérů (agentů). K interakcím dochází buď přímo mezi agenty, nebo mezi agenty a prostředím, ve kterém se nacházejí. Všichni tito agenti řeší společně problémy, které přesahují možnosti i znalosti každého z nich. Agenti fungují autonomně a jejich vazby mezi sebou jsou většinou volné. Vazby se mohou dle aktuální situace měnit, nebo dokonce i zanikat. Agenty lze chápat jako prvky, které jsou vytvořeny za určitým účelem. Agenti, jakožto hlavní aktéři se v každém okamžiku nacházejí v určitém stavu, který se označuje jako lokální stav. Tento stav obsahuje veškerou agentům dostupnou informaci, kterou je možné označit jako znalost. Jako prostředí agentů lze označit vše, s čím agent přichází do styku. Nicméně je možné odlišit prostředí v rámci konkrétního modelu od prostředí pro celou animaci. To je však otázkou pro počítačové experty, kteří se v tomto systému dobře orientují. Multiagentní systémy mají všeobecně široké využití téměř ve všech směrech. Využívat multiagentní systémy v rybářství je možné v součinnosti

s monitoringem, kdy jsme schopni na jejich základě předvídat nejen chování hejna, ale také nemoci, dospívání, optimalizace lovu a krmení ryb. Předpokládá se, že se multiagentní systémy budou i nadále rozvíjet a jejich využití v budoucnu bude ještě podstatně větší (Sycara, 1998).



**Obr. č. 15.** Multiagentní systémy jsou tvořeny prostředím a populací s více agenty (Wikipedie, 2017)



### 3. Závěr

V této práci bylo jednoznačně poukázáno na pozitivní i negativní dopady rybiho hejna. Hejno se ukázalo jako důležité útočiště ryb, bez kterého si mladé ryby, především ryby nedravé neporadí. Pokud by mladé ryby hejno nevytvořily, staly by se zanedlouho kořistí nějakého predátora, který s ulovením mladých jedinců nemá téměř žádný problém. Mohlo by se také stát, že by ryby trpěly nedostatkem potravy, jelikož individuálně žijící ryba nemá ve vodním spektru takový rozhled, jako větší počet ryb. Nicméně teritoriálním a velkým rybám by hejno příliš nevyhovovalo. Teritoriálním rybám chybí v hejnu určitý osobní prostor, který pro svoji prosperitu potřebují. Velké ryby jsou zase méně ohroženy predací, jsou zkušenější a schopnější najít si potravu. Těmto rybám by hejno přinášelo spíše konkurenční prostředí a jejich prosperita by se výrazně snížila.

Ryby v hejnu se také musí nějakým způsobem poznávat a mezi sebou komunikovat. Jak již bylo v této práci popsáno, ryby pro komunikaci používají několik možností. Komunikace rybám slouží k vytváření obranných taktik proti predátorům, k vytváření vztahů s jinými rybami a samcům také k námluvě samic. Zároveň bylo také poukázáno na jednoznačnou výhodu známosti ryb. Pokud se ryby v hejnu znají, mají výrazné výhody a lepší vztahy oproti hejnu s neznámými jedinci. Známost ryb je tedy určitý stimulant, který rybám dodává v hejnu určitou důvěru.

Pokud jde o reakci hejna na změny prostředí, pro shrnutí si uvedeme působení několika parametrů jednotlivě. Jako první ovlivňující parametry hejna ryb byly v této práci zmíněny biologické faktory (postranní čára, stres, nemoci, hlad, predace, rozmnožování). Postranní čára má na hejno ryb velký vliv, jelikož jsou ryby schopné s její pomocí detekovat predátora a v lepším případě včas uniknout. Velký dopad na ryby má také stres. Stres u ryb způsobují obecně špatné podmínky k životu. Ryby ve stresu jsou agresivnější a mohou požírat ostatní jedince svého druhu, a to i v rámci hejna. Při stresu u ryb také dochází ke zhoršeným schopnostem růstu. V případě napadení hejna nemocí dochází k izolaci zdravých jedinců od nemocných, což slouží jako určitá obrana proti patogenům. Největší imunitu mají pravděpodobně hejna vytvářená z co nejvíce nepříbuzných jedinců. Trochu jinak se ryby chovají, když mají hlad. Pokud je v prostředí, ve kterém ryby žijí nedostatek potravy, ryby vytvářejí většinou malá hejna, v nichž není tak vysoká potravní konkurence. Na ryby také často útočí mnoho predátorů. Pokud hejno ryb napadne nějaký predátor, často se ryby zdržují poblíž husté vegetace v litorálu. Hejno

je základní ochrana před predátorem, jehož se může i sám predátor z důvodu jeho velikosti zaleknout. Nicméně v případě stálého kontaktu nehladového predátora a kořisti bylo prokázáno jakési sblížení a neútočení. Další velký vliv na ryby má rozmnožování, kdy některé druhy migrují ve velkých hejnech (losos). Na výtěr tyto ryby také spotřebují mnoho energie. Z fyzikálně-chemických vlastností jsme si jmenovali teplotu, pH a kyslík. Tyto parametry přímo ovlivňují výskyt ryb v daném prostředí a nepřímo ovlivňují ryby skrze ovlivňování mnoha nepříznivých faktorů (amoniak, dusitany). V případě nedostatku kyslíku ryby vyjíždějí k hladině a kaprovité ryby tzv. troubí. U dravých ryb se v případě nedostatku kyslíku otevírají skřelová víčka. Zajímavé působení na ryby mají také ostatní faktory (prostředí, odlov sítěmi, prostor, elektřina a magnetismus, zvuk, den a noc). Pro ryby je důležité žít v kvalitním prostředí. Ačkoliv jsou ryby poměrně adaptabilní tvorové, pokud se jim něco nelíbí, nemají důvod v daném prostředí setrvat. Zajímavé je rovněž chování hejna při odlovu sítěmi. V případě odlovu sítěmi u hejn vzniká úniková reakce. Každý druh ryby má na únik ze sítí trochu odlišné strategie, nicméně pro všechny platí to, že se sítím snaží vyhnout. Obecně platí, že ryby žijící u dna jsou méně hejnové, než ryby žijící u hladiny, které od sebe mají i menší rozestupy. Velikost prostoru, ve kterém se ryby nacházejí, ovlivňuje velikost hejna. Čím více prostoru ryby mají, tím je větší pravděpodobnost vytvoření velkého hejna. Elektřina a magnetismus zase rybám slouží ke komunikaci. Nicméně v případě detekce elektřiny v prostředí u ryb rovněž dochází k opuštění dané oblasti. Toto samé tvrzení se dá použít i u zvuku. Jak již bylo zmíněno v kapitole pojednávající o zvuku, tak k jeho využívání dochází například při odpuzování ryb od elektráren, které by rybám mohly vážně ublížit. Posledním zmíněným parametrem bylo chování ryb v průběhu dne a noci. Podstatná většina ryb je s denní aktivitou, a proto se ryby snaží hejna udržovat převážně přes den. Několik druhů ryb hejna dokonce v noci opouští a vrací se k hejnu až další den ráno. Toto chování se projevuje například u cejna velkého.

V poslední části této práce byly zmíněny možnosti modelování ryb a 2 ukázkové příklady. Modelování ryb se ukazuje jako relativně kreativní záležitost do budoucna. Technologie, která jde dopředu, bude vytvářet stále dokonalejší modely ryb a jejich chování. V budoucnu bude tedy možné lidem ukazovat stále kvalitnější modely rybiho chování a lidé budou moci pronikat do celé vodní říše. Modely přináší příležitost nejen výzkumným pracovníkům a studentům rybářství (monitoring a odhady chování ryb), kteří si na modelech osvojí nějaké vědomosti, udělají experimenty a podívají se, jak to v rybím

světě vlastně vypadá, ale určitě i výrobcům počítačových her, médiím a různým herním konzolám, kde se dnes již běžně vyskytují 3D modely podvodního světa.

## 4. Použitá literatura

- Adámek, Z., Helešic, J., Maršálek, B., Rulík, M.,** 2010. Aplikovaná hydrobiologie. 2. rozš. upr. vydání., Vodňany: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, s. 350.
- Alexander, R.,** 1974. The evolution of social behavior., *Ann Rev Ecol Syst.* 5., pp. 325-383.
- Altbäcker, V., Csányi, V.,** 1990. The role of eyespots in predator recognition and antipredator behaviour of the paradise fish, *Macropodus opercularis* L. *Ethology*, 85, pp. 51-57.
- Anderson, W.,** 2012. Bass Fishing and Catching. In: Where Bass Bums [online]. Ontario: Gather, [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <http://www.bassfishingandcatching.com>
- Babineau, D., Lewis, J., Longtin, A.,** 2007. Spatial acuity and prey detection in weakly electric fish. *PLoS Comput. Biol.*, 3, pp. 402-411.
- Bakker, T. C. M., Sevenster, P.,** 1983. Determinants of dominance in male sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus* L.). *Behaviour*, 86, pp. 55-71.
- Bando T.,** 1991. Visual perception of texture in aggressive behavior of *Betta splendens*. *Journal of Comparative Physiology A*, 169, pp. 316-396.
- Barber I., Wright, H. A., Arnott S. A., Wootton, R. J.,** 2008. Growth and energetics in the *stickleback-Schistocephalus* host-parasite system: a review of experimental infection studies. *Behaviour*, 145, pp. 647-668.
- Barber, I., Wright, H.,** 2001. How strong are familiarity preferences in shoaling fish? *Animal Behaviour*, 61, pp. 975-979.
- Belcher, K.,** 2016. Chinook Salmon Smolt Migration. Youtube [online]. New Zealand: Belcher, [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?v=9P2WO\\_3ZuZ4](https://www.youtube.com/watch?v=9P2WO_3ZuZ4)
- Benda, V., Babůrek, I., Kotrba, P.,** 2006. Základy biologie. 1. vyd., Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha, s. 89-92.
- Bond, C.,** 1979. *Biology of fishes.* Saunders, Philadelphia, pp. 156-221.
- Brown, C.,** 2001. Familiarity with the test environment improves escape responses in the crimson spotted rainbowfish, *Melanotaenia duboulayi*. *Animal Cognition*, 4, pp. 109-113.

- Brown, C., Laland, K., Krause J.,** 2006. Fish Cognition and Behavior. Blackwell Publishing, London, pp. 315.
- Brown, G. E., Brown, J.,** 1992. Do rainbow trout and Atlantic salmon discriminate kin? Canadian Journal of Zoology, 70, pp. 163-164.
- Brown, G. E., Smith, R. J. F.,** 1994. Fathead minnows use chemical cues to discriminate shoalmates from unfamiliar conspecifics. Journal of Chemical Ecology, 20, pp. 305-306.
- Bryant, B. P., Atema, J.,** 1987 Diet manipulation affects social-behavior of catfish – importance of body odor. Journal of Chemical Ecology, 13, pp. 164-166.
- Bumann, D., Krause, J.,** 1993. Front individuals lead in shoals of three-spined sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*) and juvenile roach (*Rutilus rutilus*). Behaviour, 125, pp. 189-198.
- Burger, J., Gochfeld, M.,** 1991. The Common Tern: its Breeding Biology and Social Behavior. first ed., Columbia University Press, New York, pp. 185-211.
- Burner, C., Moore, H. L.,** 1962. In Attempts to guide small fish with underwater sound. U.S. Fish and Wildlife Service Special Scientific Report-Fisheries, pp. 403.
- Cable, J., Harris, P.,** 2002. Gyrodactylid developmental biology: historical review, current status and future trends. Int J Parasitol, 32(3), pp. 255-280.
- Cain, P., Gerin, W., Moller, P.,** 1994. Short-range navigation of the weakly electric fish, *Gnathonemus petersii* L. (*Mormyridae, Teleostei*), in novel and familiar environments. Ethology, 96, pp. 33-45.
- Caissie, D.,** 2006. The thermal regime of rivers: a review. Freshw. Biol., 51 (8), 138-140.
- Camazine, S., Deneubourg, J. L., Franks, N. R., Sneyd, J., Theraulaz, G., Bonabeau, E.,** 2001. Self-Organization in Biological Systems. Princeton, Princeton University Press, New Jersey, pp. 15-38.
- Cerri, D. R.,** 1983. The effect of light intensity on predator and prey behaviour in cyprinid fish: factors that influence prey risk. Animal Behaviour, 31, pp. 736-742.
- Clutton-Brock, T. H., Parker, G. A.,** 1995. Sexual coercion in animal societies. Animal Behaviour, 49, pp. 1345-1365.

- Coleman P.**, 1962. Failure to localize the source distance of an unfamiliar sound. *J. Acoust., Soc. Am.*, 34, pp. 345-346.
- Constantz, G. D.**, 1989. Reproductive biology of Poeciliid fishes. In: *Ecology and Evolution of Livebearing Fishes (Poeciliidae)* (Ed. by G. K. Meffe & F. F. Snelson, Jr). Englewood Cliffs-Prentise Hall, New Jersey, pp. 33-50.
- Coombs, S., Braun, C. B., Donovan, B.**, 2001. The orienting response of Lake Michigan mottled sculpin is mediated by canal neuromasts. *The Journal of Experimental Biology*, 2 nd, 204, pp. 337-348.
- Copp, G. H.**, 1997. Importance of marinas and off-channel waters bodies as refuges for young fishes in a regulated river. *Regulated Rivers: Research and Management*, 13, pp. 303-307.
- Craig, J.**, 1987. *The biology of Perch and Related Fish*. Croom Helm, London, pp. 233.
- Ćurčić, B., Blake, J.**, 2006. Spatial and Temporal Characteristics of Fish Lateral Line Detection, partly Groningen: University of Groningen, partly Research School for Behavioral and Cognitive Neuroscience. Branislava, pp. 93.
- De Neef, S.**, 2011. Picture of the Day., In: *The Telegraph* [online]. South Berwick: Solent, 2011 [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <https://www.telegraph.co.uk/news/picturegalleries/picturesoftheday/8428982/Pictures-of-the-day-5-April-2011.html>
- Derwalker, J. G. V.**, 1967. "Response of salmonids to low frequency sound." Edited by: W. N. Tavolga. In *Marine bio-acoustics*, Pergamon Press, New York, 2, pp. 192-208.
- Dijkgraaf, S.**, 1962. The functioning and significance of the lateral-line organs, *Biological Review*. 39, pp. 51-105.
- Dodson, J. J.**, 1998. The nature and role of learning in the orientation and migratory behaviour of fishes. *Environmental Biology of Fishes*, 23, pp. 82-161.
- Domenici, P., Lefranc, O. C., Shingles, A.**, 2007. Hypoxia and the antipredator behaviours of fishes. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.*, 362, pp. 210-212.
- Dostál, J.**, 2011. *Hardware moderního počítače*. 1. vyd., Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, s. 77.

**Drašík, V., Kubečka, J., Čech, M., Frouzová, J., Říha, M., Juza, T., Tušer, M., Jarolím, O., Prchalová, M., Peterka, J., Vašek, M., Kratochvíl, M., Matěna, J., Mrkvička, T., 2009.** Hydroacoustic estimates of fish stocks in temperate reservoirs: day or night surveys? *Aquatic Living Resources*, 22, pp. 69-77.

**Dunning, D. J., Ross, E. Q., Geoghegan, P., Reichle, J. J., Menezes, J. K., Watson, J. K., 1992.** Alewives in a cage avoid high-frequency sound. *North American Journal of Fisheries Management*, 12, pp. 407-416.

**Ehlinger, T. J., 1989.** Learning and individual variation in bluegill foraging: Habitat-specific techniques. *Animal behaviour*, 38, pp. 58-643.

**Eklöv, P., 1997.** Effect of habitat complexity and prey abundance on the spatial and temporal distributions of perch (*Perca fluviatilis*) and pike (*Esox lucius*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54, pp. 15-152.

**Eklöv P., Persson, L., 1996.** The response of prey to the risk of predation: Proximate cues for refuging juvenile fish. *Animal Behaviour*, 51, pp. 15-105.

**Ellis, T., North, B., Scott, A. P., Bromage, N. R., Porter, M., Gadd, D., 2002.** The relationships between density and welfare in farmed rainbow trout. *Journal of Fish Biology*, 61, pp. 493-531.

**Emery, A., 1978.** 'The Basis of Fish Community Structure: Marine and Freshwater Comparisons'. *Environmental Biology of Fishes*, 3, pp. 33-47.

**Fain, G. L., 2003.** Sensory transduction. Mass: Sinauer Associates, Sunderland, pp. 288.

**Faucher, K., Parmentier, E., Becco, Ch., Vandewalle, N., Vandewalle, P., 2010.** Fish lateral line system is required for accurate control of shoaling behaviour. *Animal Behaviour*, 3 nd, 79, pp. 433-477.

**Fialová, J., 2010.** Mozambik - co se děje pod hladinou oceánu. In: Idnes [online]. Praha, [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <https://jitkafialova.blog.idnes.cz/blog.aspx?c=145708>

**Frisch, K., 1938.** The sense of hearing in fish. *Nature*, 141, pp. 8-11.

**Gaudreau, N., Boisclair, D., 1998.** The influence of spatial heterogeneity on study of fish horizontal daily migration. *Fisheries Research*, 35, pp. 65-73.

- Gerlotto, F., Castillo, J., Saavedra, A., Barbieri, M. A., Espejo, M., Cotel P.,** 2004. Three-dimensional structure and avoidance behaviour of anchovy and common sardine schools in central southern Chile. *ICES Journal of Marine Science*, pp. 1120-1126.
- Gläser, H. J.,** 1974. Sechs neue Arten der *Gyrodactylus wagneri* Gruppe (*Monogenea, Gyrodactylidae*) nebst Bemerkungen zur Preparation, Determination, Terminologie und Wirtsspezifisitat. *Zoologischer Anzeiger*, 192, pp. 56-76.
- Glass, W. C., Wardle, S. C.,** 1989. Comparison of of the Reactions of Fish to Trawl Gear, at High and Low Light Intensities. *Fisheries research*, pp. 249-266.
- Gleitman, H., Rozin, P.,** 1971. Learning and memory, in *Fish Physiology. Enviromental Relations and Behavior*, Academic Press, New York, pp. 191-278.
- Godin, J. G. J., Smith, S. A.,** 1988. A fitness cost of foraging in the guppy. *Nature*, 333, pp. 69-71.
- Godin, J., G.,** 1986. Antipredator function of shoaling in teleost fishes: a selective review. *Nat Can*, 113, pp. 241-250.
- Gómez-Laplaza, L. M., Morgan, E.,** 2005. Time-place learning in the cichlid angelfish, *Pterophyllum scalare*. *Behavioural processes*, 70, pp. 177-181.
- Gotceitas V., Colgan, P.,** 1991. Assessment of patch profitability and the ideal free distribution: The significance of sampling. *Behaviour*, 119, pp. 65-76.
- Gotceitas, V.,** 1990. Variation in plant stem density and its effects on foraging success of juvenile bluegill sunfish. *Environmental Biology of Fishes*, 27, pp. 63-70.
- Gray, J., Denton, E.,** 1991. Fast pressure pulses and communication between fish. *J. Marine. Biol. Assoc., United Kingdom*, 71, pp. 83-106.
- Griffiths, S. W., Armstrong,, J. D.,** 2001. The benefits of genetic diversity outweigh those of kin association in a territorial animal. *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society*, 168, pp. 1293-1296.
- Griffiths, S. W., Brockmark, S., Hojesjo, J., Johnsson, J. I.,** 2004. Coping with divided attention: the advantage of familiarity. *United Kingdom*, 271, pp. 695-699.



- Griffiths, S. W., Magurran, A.,** 1997a. Familiarity in schooling fish: how long does it take to acquire? *Animal Behaviour*, 53, pp. 945-949.
- Griffiths, S. W., Magurran, A.,** 1998. Sex and schooling behaviour in the Trinidadian guppy. *Animal Behaviour*, 56, pp. 689-693.
- Grünwald, A.,** 1993. *Hydrochemie*. Vydavatelství ČVUT, Praha, s. 87-96.
- Gudelj, I., White, K.,** 2004. Spatial heterogeneity, social structure and disease dynamics of animal populations. *Theor. Popul. Biol.*, 66 (2), pp. 139-149.
- Gueron, S., Levin, S. A., Rubenstein, D. I.,** 1996. The dynamics of herds: From individuals to aggregations. *J. Theor. Biol.*, 182, pp. 85-98.
- Hager M. C., Helfman, G. S.,** 1991. Safety in numbers: Shoal size choice by minnows under predatory threat. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 29, pp. 76-271.
- Hamilton, W. D.,** 1963. The Evolution of Altruistic Behavior. *The American Naturalist*, 97, pp. 354-356.
- Handegard, N. O., Boswell, K. M., Ioannou, C. C., Leblanc, S. P., Tjøstheim, D. B., Couzin, I. D.,** 2012. The dynamics of coordinated group hunting and collective information transfer among schooling prey. *Current Biology*, 22 (13), pp. 121-127.
- Hanel, L., Lusk, S.,** 2005. Ryby a mihule České Republiky – rozšíření a ochrana. Český svaz ochránců přírody, Vlašim, s. 256-364.
- Hanych, D. A., Roos, M. R., Magnien, R. E., Suggars, A. L.,** 1983. Nocturnal inshore movement of the mimic shiner (*Notropis volucellus*): a possible predator avoidance behaviour. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 40, pp. 888-894.
- Hassan, E. S.,** 1986. On the discrimination of spatial by the blind cave fish (*Anoptichthys jordani*). *Journal of Comparative Physiology A*, 159, pp. 10-70.
- Hawkins, A. D.,** 1981. The hearing abilities of fish, in *Hearing and Sound Communication in Fishes*. ed. W. N. Tavolga, A. N. Popper, and R. R. Fay, pp. 33-199.
- Hawkins, A. D., Johnstone, A. D. F.,** 1978. The hearing of the Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Journal of Fish Biology*, 13, pp. 655-674.

- Haymes G. T., Patrick, P. H.,** 1986. Exclusion of adult alewife (*Alosa pseudoharengus*) using low frequency sound for application at water intakes. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science, 43, Pp. 855-862.
- Helfman, G. S.,** 1981. 'Twilight Activities and Temporal Structure in a Freshwater Fish Community'. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 38, pp. 20-140.
- Helfman, G. S.,** 1978. 'Patterns of Community Structure in Fishes: Summary and Overview'. Environmental Biology of Fishes, 3, pp. 48-129.
- Helfman, G. S.,** 1999. The Diversity of Fishes. 3rd ed., Blackwell Science, London, pp. 2-8.
- Henze, M., van Loosdrecht, M. C. M., Ekama, G. A., Brdjanovic D.,** (Eds) 2008. Biological Wastewater Treatment: Principles, Modeling, and Design. IWA Publishing, pp. 18-28.
- Hesse, S., Bakker, T. C. M., Baldauf, S. A., Thünken, T.,** 2012. Kin recognition by phenotype matching is family-rather than self-referential in juvenile cichlid fish. Animal Behaviour, 84, pp. 451-457.
- Heteša, J., Kočková, E.,** 1997. Hydrochemie. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno, s. 28-36.
- Hirao, S.,** 1996. "Fugu" Museum's Mission Said at End Now. Japan Times Weekly, 36, pp. 22-26.
- Hladík, M., Kubečka, J.,** 2003. Fish migration between a temperate reservoir and its main tributary. Hydrobiologia, 504, pp. 251-266.
- Hobson, E. S.,** 1968. 'Predatory Behavior of Some Shore Fishes in the Gulf of California'. United States Bureau of Sport Fisheries and Wildlife, Research Report, 73, pp. 1-92.
- Hoekstra, D., Janssen, J.,** 1985. Non-visual feeding behavior of the mottled sculpin, *Cottus bairdi*, in Lake Michigan. Environmental Biology of Fishes, 12, 17-111.
- Hofman, J., Novák, J.,** 1996. Akvaristika. - Jak chovat tropické ryby jinak a lépe. X-EGEM, Praha, s. 148-150.
- Höjesjö, J., Johnsson, J. L., Petersson, E., Järvi, T.,** 1998. The importance of being familiar: individual recognition and social behavior in sea trout (*Salmo trutta*). Behavioral Ecology, 9, pp. 445-451.

- Holčík, J., Hruška, V.,** 1965. On the spawning substrate of the roach - *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758) and bream - *Abramis brama* (Linnaeus, 1758) and notes on the ecological characteristic of some European fishes. Věstník Československé společnosti zoologické, 1, pp. 22-29.
- Hollis, K. L., Pharr, V. L., Dumas, M. J., Britton, G. B., Field, J.,** 1997. Classical conditioning provides paternity advantage for territorial male blue gouramis (*Trichogaster trichopterus*). Journal of Comparative Psychology, pp. 25-219.
- Jacobsen, L., Berg, S., Jepsen, N., Skov, C.,** 2004. Does roach behaviour differ between shallow lakes of different environmental state? Journal of Fish Biology, 65, pp. 135-147.
- Jaiswal, S.,** 2014. Gyrodactylus salaris. Alchetron [online]. Indaur: Jaiswal, [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <https://alchetron.com/Gyrodactylus-salaris#->
- Jensen, M.,** 2017. Eat or be eaten. Michael Jensen's angling [online]. Denmark: Jensen, [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <https://michaeljensens.com/angling/>
- Jirásek, J., Adámek, Z., PHA, N.,** 1977. Vliv různé potravy na spotřebu kyslíku u kapřího plůdku. In: Živočišná výroba, 11, s. 83-88.
- 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, pp. 771-776.
- JŮZA, T., Kubečka, J.,** 2007. The efficiency of three fry trawls for sampling the freshwater pelagic fry community. Fisheries research, pp. 285-290.
- Kalmijn, A. J.,** 1982. Electric and magnetic field detection in elasmobranch fishes. Science, 218, pp. 18-916.
- Karpenko, V. I., Kovalenko, M. N., Vasilets, P. M., Bagin, B. N., Kondrashenkov, E. L., Erokhin, V. G., Adamov, A. A., Smorodin, V. P., Maximenkov, V. V., Yakovlev, V. M.,** 1997. Method in sea life Pacific salmon investigations. KamchatNIRO, Petropavlovsk-Kamchatskii, pp. 64.
- Karplus, L., Goren, M., Algom, D.,** 1982. A preliminary experimental analysis of predator face recognition by *Chromis caeruleus* (*Pisces, Pomacentridae*). Zeitschrift für Tierpsychologie 58, pp. 53-65.

- Kaufmann, E., Wieser, W.,** 1992. Influence of temperature and ambient oxygen on the swimming energetics of cyprinid larvae and juveniles. *Environmental Biology of Fishes*, 33, pp. 87-95.
- Keeley, E. R., Grant, J. W. A.,** 1993. Visual information, resource value, and sequential assessment in convict cichlid (*Cichlosoma nigrofasciatum*) contests. *Behavioral Ecology*, 4, pp. 49-345.
- Keenleyside, M. H. A.,** 1955. Some aspects of the schooling behaviour of fish. *Behavior*, Groningen, 8, pp. 83-248.
- Kennedy, J. R. C., Eberhart, R.,** 1995. Particle swarm optimization. In: *Neural Networks, Proceedings., IEEE International Conference on.* IEEE, pp. 192-194.
- Kennedy, J. R. C., Eberhart, R.,** 2001. *Swarm intelligence.* Morgan, San Francisco, pp. 366-392.
- Kim, Y. H., Wardle, S.,** 2003. Clem. Optomotor response and erratic response: quantitative analysis of fish reaction to towed fishing gears. *Fisheries research*, pp. 455-470.
- King, R. C., Stansfield, W. D., Mulligan, P. K.,** 2006. *A Dictionary of Genetics.* 7nd, Oxford University Press, Oxford, pp. 18-24.
- Kitamura, S., Ikuta, K.,** 2001. Effects of acidification on salmonid spawning behavior. *Water, Air, and Soil Pollution*, 130, pp. 875-880.
- Klimeš, J., Kouřil J.,** 2003. Odchov rychleného plůdku a ročka candáta obecného (*Sander lucioperca*) v rybnících. *VÚRH JU Vodňany*, s. 43-48.
- Konings, A.,** 1998. *Tanganica cichlids in their natural habitat.* Cichlid Press, pp. 272.
- Kotusz, J., Witkowski, A., Baran, M., Blachuta, J.,** 2006. Fish migrations in a large lowland river (Odra R., Poland) – based on fish pass observations. *Folia Zool.*, 55, pp. 386-398.
- Krause J., Godin, J. G. J.,** 1995. Predator preferences for attacking particular prey group sizes: Consequences for predator hunting success and prey predation risk. *Animal Behaviour*, 50,, pp. 73-465.
- Krause J., Ruxton G.,** 2002. *Living in groups.* Oxford University Press, Oxford, pp. 12-24.

- Krause, J.**, 1993. The influence of hunger on shoal size choice by three-spined sticklebacks, *Gasterosteus aculeatus*. *Journal of Fish Biology*, 43, pp. 77-80.
- Krause, J., Godin, J. G. J., Brown, D.**, 1996. Size-assortativeness in multi-species fish shoals. *Journal of Fish Biology*, 49, 221-225.
- Krause, J., Godin, J. G. J., Rubenstein, D.**, 1998. Group choice as a function of group size differences and assessment time in fish: The influence of species vulnerability to predation. *Ethology*, 104, pp. 68-74.
- Krause, J., Ruxton, G. D., Rubenstein, D.**, 1998. Is there always an influence of shoal size on predator hunting success? *Journal of Fish Biology*, 52, pp. 494-501.
- Kraut M.**, 2008. Tlamovci v akváriu. Grada, Praha, s. 152.
- Krupauer, V., Pekař, Č.**, 1965. Přirozené rozmnožování hospodářsky významných druhů ryb v lipenské údolní nádrži. 1. vyd., Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický, Vodňany, s. 123-145.
- Kulasová, A.**, 2006. Kvalita vody v zimě a v období tání sněhu v roce 2006 na experimentálním povodí ČHMÚ Uhlířská – tok Černá Nisa. Jablonec nad Nisou, s. 4-8.
- Lacroix, G., Knox, D.**, 2005. Distribution of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolts of different origins in the Bay of Fundy and Gulf of Maine and evaluation of factors affecting migration, growth, and survival. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 62, pp. 1363-1376.
- Laitinen, M., Valtonen, T.**, 1995. Cardiovascular, ventilatory and haematological responses of brown trout (*Salmo trutta* L.), to the combined effects of acidity and aluminium in humic water at winter temperatures. *Aquatic Toxicology*, 31, pp. 99-112.
- Lakomá, Š., Lakomý, M., Koňarik, J., Švecová, M., Jiříková, M.**, 2015. Biologie živočichů. [online]. Olomouc: ELUC, [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2659>
- Landless, P. J.**, 1976. Demand-feeding behavior of rainbow trout. *Aquaculture*, 7, pp. 11-22.
- Larkin, P. A.**, 1979. 'Predator-Prey Relations in Fishes: an Overview of the Theory' in H. Clepper (ed.), *Predator-Prey Systems in Fisheries Management*. Sport Fishing Institute, Washington, DC, pp. 13-22.

- Larsson M.**, 2009. Possible functions of the octavolateralis system in fish schooling. *Fish and Fish*. 10, pp. 344-355.
- Launay, F., Mills, A. D., Mills, J. M.**, 1991. FaureSocial motivation in Japanese quail *Coturnix coturnix* japonica chicks selected for high or low levels of treadmill behaviour. *Behav. Process*, 24, pp. 95-110.
- Lebedeva, N. E., Kasumyan, A. O., Golovkina, T. V.**, 2000. Correction of the Physiological Status of the Carp Using Natural Chemical Signals. *Vopr. Ikhtiol.*, 40 (2), pp. 247-255.
- Liao, J. C.**, 2006. The role of the lateral line and vision on body kinematics and hydrodynamic preference of rainbow trout in turbulent flow. *The Journal of Experimental Biology*, 209, pp. 5-7.
- Lissmann, H. W.**, 1963. Electric location by fishes. *Scientific American*, 208, pp. 50-59.
- Lopez, E.**, 2017. Aquaculture. In: Pinterest [online]. Puerto Rico: Lopez, [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <https://cz.pinterest.com/pin/272327108687729737/>
- Lorenz, K.**, 2003. Takzvané zlo. *Academia, Praha*, s. 124-129.
- Lucas, M. C., Baras, E.**, 2001. Migration of fresh waters fishes. *Blackwell Science Ltd., Oxford*, pp. 399-418.
- Lusk, S., Baruš, V., Vostradovský, J.**, 1983. *Ryby v našich vodách*. 1. vyd., ČSAV, Praha, s. 39-168.
- Lyons, J., Lucas, M. C.**, 2002. The combined use of acoustic tracking and echosounding to investigate the movement and distribution of common bream (*Abramis brama*) in the River Trent, England. *Hydrobiologia*, 48, pp. 265-273.
- Mackney P. A., Hughes, R. N.**, 1995. Foraging behaviour and memory window in sticklebacks. *Behaviour*, 132, pp. 53-124.
- Magurran, A. E., Pitcher, T. J.**, 1987. Shoal Size and the Sociobiology of Predator Evasion Behaviour in Minnow Shoals., *Proceedings of the Royal Society B. Biological Sciences*, 229, pp. 439-465.
- Magurran, A. E., Seghers, B. H., Shaw, P. W., Carvalho, G. R.**, 1994. Schooling preferences for familiar fish in the guppy, *Poecilia reticulata*. *Journal of Fish Biology*, 45, pp. 401-406.

- Magurran, A. F.**, 1990. The inheritance and development of minnow anti-predator behaviour. *Animal behaviour*, 39, pp. 48-52.
- Magurran, A. F., Girling, S.**, 1986. Predator model recognition and response habituation in shoaling minnows. *Animal Behaviour*, 34, pp. 18-51.
- Malyukina, G. A., Aleksandryuk, S. P., Shtefanesku, M.**, 1962. On the Role of Vision in the Schooling Behavior of Minnows (*Phoxinus phoxinus*) and the Crucian Carp (*Carassius carassius*). *Vopr. Ikhtiol.*, 3, pp. 511-516.
- Malyukina, G. A., Kasumyan, A. O., Marusov, E. A.**, 1980. The Role of Olfaction in Fish Behavior, in *Sensornye osnovy: Obonyanie i vkus (Sensory Bases: Olfaction and Gustation)*. Nauka, Leningrad, pp. 30-44.
- Marshall, J. A.**, 1966. The social behavior and role of sound production in *Trichopsis vittatus*, with a comparison to *Trichopsis pumilus*. Ph.D. diss. University of Maryland.
- Mccarthy, I. D., Carter, C. G., Houlihan, D. F.**, 1992. The effect of hierarchy on individual variability in daily feeding of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Journal of Fish Biology*, 41, pp. 257-263.
- McFarland, W. N., Moss, S. A.**, 1967. Internal behavior in fish schools. *Science*, 156, pp. 260–262.
- McGregor P. K., Westby, W. M.**, 1992. Discrimination of individually characteristic electric organ discharges by a weakly electric fish. *Animal Behaviour*, 43, pp. 86-97.
- McRobert, S. P., Bradner, J.**, 1998. The influence of body coloration on shoaling preferences in fish. *Animal Behaviour*, 56, pp. 611-615.
- Ward, A., Krause, J.**, 2001. Body length assortative shoaling in the European minnow, *Phoxinus phoxinus*. *Animal Behaviour*, 62, pp. 617-621.
- Menke, D.**, 2008. *Oncorhynchus nerka*. Wikimedia Commons [online]. United States: National Geographic, [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Oncorhynchus\\_nerka\\_2.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Oncorhynchus_nerka_2.jpg)
- Metcalfe, N. B., Thomson, B. C.**, 1995. Fish recognize and prefer to shoal with poor competitors. *London*, 259, pp. 207-210.

- Mills, C. A., Eloranta A.,** 1985. The biology of *Phoxinus phoxinus* (L.) and other littoral zone fishes in Lake Konnevesi, central Finland. *Annales Zoologici Fennici*, 22(1), pp. 1-12.
- Mora, C., Ospina, A.,** 2001. Tolerance to high temperatures and potential impact of sea warming on reef fishes of Gorgona Island (tropical eastern Pacific). *Mar. Biol.*, 139 (4), pp. 765-769.
- Myrberg, A. A., Spires, J.,** 1972. Sound discrimination by the bicolor damselfish, *Eupomacentrus partitus*. *Journal of Experimental Biology*, 57, pp. 32-72.
- Nash, R. D. M.,** 1982. "The Diel Behaviour of Small Demersal Fish on Soft Sediments on the West Coast of Scotland Using a Variety of Techniques: with Special Reference to *Lesuerigobius friesii* (*Pisces: Gobiidae*)". *Marine Ecology*, 3, pp. 78-161.
- National geographic,** 2013. The Greatest Shoal on Earth. Awesome Ocean [online]. Africa: National Geographic, [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <http://awesomeocean.com/video/national-geographic-captures/>
- Nestler, J. M., Ploskey, G. R., Pickens, J., Menezes J., Schilt, C.,** 1992. Responses of blueback herring to high-frequency sound and implications for reducing entrainment at hydropower dams. *North American Journal of Fisheries Management*, 12, pp. 667-683.
- New, J., Fewkes, L., Khan, A.,** 2001. Strike feeding behavior in the muskellunge *Esox masquinongy*: Contributions of the lateral line and visual sensory systems. *J. Exp. Biol.*, 204, pp. 120-122.
- Nikolsky, G. V.,** 1974. *Ekologiya ryb* (Fish Ecology). Vysshaya Shkola, Moscow, pp. 18-21.
- Nottestad, L., Giske, J., Holst, J. Chr., Huse, G.,** 1999. A length-based hypothesis for feeding migrations in pelagic fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 56, pp. 26-34.
- Novák J.,** 2004. Deprivanti u ryb. *Akvárium terárium*, 47, s. 48-52.
- O'Connor, K. I., Metcalfe, N. B., Taylor, A. C.,** 2000. Familiarity influences body darkening in territorial disputes between juvenile salmon. *Animal behaviour*, 59, pp. 1095-1101.
- Okun, N., Mehner, T.,** 2005. Distribution and feeding of juvenile fish on invertebrates in littoral reed (*Phragmites*) stands. *Ecology of Freshwater Fish*, 14, pp. 139-149.



- Oosterhout, C., Joyce, D., Cummings, S., Blais J., Barson, J., Ramnarine, I., Mohammed, R., Persad, N., Cable, J.,** 2006. Balancing selection, random genetic drift, and genetic variation at the major histocompatibility complex in two wild populations of guppies (*Poecilia reticulata*). *Evolution*, 60 (12), pp. 256-257.
- Oosterhout, C., Mohammed, R., Hansen, H., Archard, G., McMullan, M., Weese, D., Cable, J.,** 2007. Selection by parasites in spate conditions in wild Trinidadian guppies (*Poecilia reticulata*). *Int J Parasitol*, 37(7), pp. 805-812.
- Pardau, B.,** 2018. Huge School of Fish Loved by Photographers Almost Captured by Fishermen. Under Photography Guide [online]. Hawaii: Pardau, [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <http://www.uwphotographyguide.com/akule-school-captured-kona>
- Parker, G. A.,** 1983. Mate quality and mating decisions. In: *Mate Choice* (Ed. by P. P. G. Bateson), Cambridge University Press, Cambridge, pp. 141–161.
- Pauly, D.,** 2002. Towards sustainability in world fisheries. *Nature*, pp. 408.
- Pavlov, D. S., Kasumyan, A. O.,** 2000. Patterns and Mechanisms of Schooling Behavior in Fish: A Review. *Journal of Ichthyology*, 40, pp. 163-231.
- Pender, D., Kwak T.,** 2002. Factors influencing brown trout reproductive success in Ozark tailwater rivers. *Trans Am Fish Soc.*, 131, pp. 698-717.
- Peuhkuri, N., Ranta, E., Seppä, P.,** 1997. Size-assortative schooling in free-ranging sticklebacks. *Ethology*, 103, pp. 24-31.
- Piskor, M.,** 2015. Rybí sročení pod lávkou. *Bystrcník* [online]. Brno: Piskor, [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <http://www.bystrcnik.cz/tag/michael-piskor/>
- Pitcher, J. T., Parrish, K. J.,** 1993. Functions of shoaling behaviour in teleosts. In *Behaviour of Teleost Fishes*. 2nd, Chapman & Hall, London, pp. 363-425.
- Pitcher, T. J.,** 1993. *Behaviour of Teleost Fishes*. 2 nd, Chapman & Hall, United Kingdom, pp. 36-72.
- Pitcher, T.,** 1986. Functions of shoaling behaviour in teleosts. In: Pitcher TJ (ed) *The behaviour of teleost fishes*. Croom Helm, London, pp. 294-337.

- Pokorný, J., Adámek, Z., Dvořák, J., Šrámek, V.,** 1998. Pstruhařství. 2 vyd., Informatorium, Praha, s. 28-36.
- Poulson, T. L.,** 1963. Cave adaptation in amblyopsid fishes. *American Midland Naturalist*, 70, 257-90.
- Prechalová, M., Horký, P., Slavík, O., Vetešník, L., Halačka, K.** 2011. Fish occurrence in the fishpass on the lowland section of the River Elbe, Czech Republic, with respect to water temperature, water flow and fish size. *Folia Zoologica*, 60, pp. 104-114.
- Radakov, D., Viktorovich D.,** 1973. Schooling in the ecology of fish. John Wiley & Sons Inc., pp. 8-15.
- Ranta, E., Lindstrom, K., Peuhkuri, N.,** 1992. Size matters when three-spined sticklebacks go to school. *Animal Behaviour*, 43, pp. 62-160.
- Reiser, F., Krejča, J.,** 1996. Ryby našich vod. 1. vyd., Brázda, Praha, s. 143.
- Reuter, H., Breckling, B.,** 1994. Selforganization of fish schools - an object-oriented model. *Ecological Modelling*, 75, pp. 147-159.
- Reynolds, C.,** 1987. Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model, *Computer Graphics (Proceedings of ACM SIGGRAPH 87)*. ACM Press / ACM SIGGRAPH, United Kingdom, pp. 92-108.
- Reynolds, C.,** 1999. Steering Behaviors For Autonomous Characters, Paper presented at the Game Developers Conference, San Jose, California, pp. 68-92.
- Richards, E., Oosterhout, C., Cable, J.,** 2010. Sex-specific differences in shoaling affect parasite transmission in guppies. *PLoS ONE*, 5(10), pp. 83-105.
- Ruggles, C. P.,** 1993. "What's new in downstream fish passage?". Edited by: D. Mills. In *Salmon in the sea and new enhancement strategies*, Fishing News Books, London, pp. 391-490.
- Ryer, C. H., Olla, B. L.,** 1992. Social Mechanisms Facilitating Exploitation of Spatially Variable Ephemeral Food Patches in a Pelagic Marine Fish. *Animal Behavior*, 44, pp. 956-961.
- Ryer, H. C.,** 2008. A review of flatfish behavior relative to trawls. *Fisheries research*, pp. 138-146.

**Říha, J.**, 1986. Lov ryb elektřinou. Druhé přepracované vydání, Vydal Český rybářský svaz v Praze ve vydavatelství Naše vojsko, n. p., Praha, s. 192.

**Scott, M., Anderson, R.**, 1984. The population-dynamics of *Gyrodactylus bullatarudis* (Monogenea) within laboratory populations of the fish host *Poecilia reticulata*. *Parasitology*, 89, pp. 159-194.

**Seppä, T., Laurila, A., Peuhkuri, N., Piironen, J., Lower, N.**, 2001. Early familiarity has fitness consequences for Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) juveniles. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 58, pp. 1380-1385.

**Seppälä, O., Karvonen A., Valtonen, E. T.**, 2008. Shoaling behaviour of fish under parasitism and predation risk. *Animal Behaviour*, 75, pp. 145-150.

**Seppälä, O., Karvonen, A., Valtonen, E. T.**, 2004. Parasite-induced change in host behaviour and susceptibility to predation in an eye fluke-fish interaction. *Animal Behaviour*, 68, pp. 257-263.

**Shaw, E.**, 1970. Schooling in fishes: Critique and review. - In: *Development and Evolution of Behaviour* (Aronson, L. R., Tobach, E., Lehrman, D. S. & Rosenblatt, D. S., eds.). Freeman, San Francisco, pp. 452.

**Shiraishi, M., Azuma, N., Aoki, I.**, 1996. Large Schools of Japanese Sardines, *Sardinops melanostictus*, Mate in Single Pair Units at Night, *Environ., Biol. Fishes*, 45, pp. 405-409.

**Scheffel, A., Kramer, B.**, 1997. Electrocommunication and social behavior in *Marcusenius senegalensis* (*Mormyridae*). *Ethology*, 103, pp. 20-40.

**Schulz, U., Berg, R.**, 1987. The migration of ultrasonic-tagged bream, *Abramis brama* (L.), in Lake Constance (Bodensee-Untersee). *Journal of Fish Biology*, 31, pp. 409-414.

**Sih, A.**, 1994. Predation risk and the evolutionary ecology of reproductive behaviour. *Journal of Fish Biology*, 45, pp. 111-113.

**Simmonds, M.**, 2004. *Velryby a delfini světa*. New Holland (Publisher) Ltd., s. 128.

**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*, 4, pp. 727-733.

- Smith, T. R., Haines, T. A.,** 1995. Mortality, growth, swimming activity and gill morphology of Brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) exposed to low pH with and without aluminum. *Environmental Pollution*, 90, pp. 33-40.
- Springer, S.,** 1957. Some observation on the behavior of schools of fishes in the Gulf of Mexico and adjacent waters. *Ecology*, 38, pp. 166-171.
- Spurný, P.,** 2000. *Ichthyologie (obecná část)*. MZLU, Brno, pp. 138.
- Stambaugh, D.,** 2012. Are Leaders Born or Can They Be Made? In: *Digitalist Magazine* [online]. New York: Sap Talent Marketing, [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <http://www.digitalistmag.com/lob/human-resources/2012/12/12/are-leaders-born-or-can-they-be-made-023025>
- Stephens, K., Pham, B., Wardhani, A.,** 2003. Modelling fish behaviour. In: *Proceedings of the 1st International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*. Graphite, ACM, New York, pp. 71-78.
- Strogatz S.,** 2003. *Synch: The Emerging Science of Spontaneous Order*. Hyperion, New York, pp. 25-31.
- Svobodová, Z.,** 1987. *Toxikologie vodních živočichů*. SZN, s. 232.
- Svobodová, Z.,** 2008. *Otravy ryb*. Profi Press s. r. o., Praha, s. 205-207.
- Swaney, W., Kendal, J., Capon, H., Brown, C., Laland, K.,** 2001. Familiarity facilitates learning of foraging behaviour in the guppy. *Animal Behaviour*, 62, pp. 591-598.
- Sycara, K.,** 1998. Multiagent systems. *AI Magazine*, London, s. 79-92.
- Taylor, P. B.,** 2006. Experimental evidence for juvenile Chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha* Walbaum, orientation at night and in sunlight after a 7° change in latitude. *Journal of Fish Biology*, 31 (1), pp. 89-111.
- Tedeger R. W., Krause, J.,** 1995. Density dependence and numerosity in fright stimulated aggregation behaviour of shoaling fish. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 350, pp. 90-381.

- Terzopoulos, D., Tu, X., Grzeszczuk, R.:** 1994. Artificial fishes: Autonomous locomotion, perception, behavior, and learning in a simulated physical world. *Artificial Life*, 1 (4), pp. 327-351.
- Timmons, M., B., Ebeling, J., M., Wheaton, F., W., Summerfelt, S., T., Vinci, B., J.,** 2005. Recirculating aquaculture systems. Second edition. Cayuga Aqua Ventures, USA, pp. 87-98.
- Tonn, W. M., Paszowski, C. A., Holopainen, I. J.,** 1992. Piscivory and recruitment: Mechanisms structuring prey populations in small lakes. *Ecology*, 73, pp. 58-65.
- Tu, X.,** 1996. Artificial Animals for Computer Animation: Biomechanics, Locomotion, Perception, and Behavior. Phd thesis, University of Toronto, pp. 28-72.
- Turesson, H., Brönmark, C.,** 2004. Foraging behaviour and capture success in perch, pikeperch and pike and the effects of prey density. *Journal of Fish Biology*, 65, pp. 363-375.
- Vallortigara G.,** 2006. The evolutionary psychology of left and right: Costs and benefits of lateralization. *Dev. Psychobiol.*, 48, pp. 418–427.
- Veselovský, Z.,** 2008. *Etologie*. Academia, Praha, s. 231.
- Viscido, S., Julia, V., Parrish, K. J., Grünbaum, D.,** 2004. The effect of population size and number of influential neighbors on the emergent properties of fish schools. Elsevier, 183, pp. 347-363.
- Viscido, S., Wethey, D.,** 2002. Quantitative analysis of fiddler crab flock movement: evidence for “selfish herd” behaviour. *Anim. Behav.*, 63, pp. 735-741.
- Warburton, K., Lees, N.,** 1996. Species discrimination in guppies: learned responses to visual cues. *Animal Behaviour*, pp. 371-378.
- Ward, A., Hart, P., Krause, J.,** 2004. The effects of habitat- and diet-based cues on association preferences in three-spined sticklebacks. *Behavioral Ecology*, 15, pp. 92-99.
- Wardle, C. S.,** 1993. Fish and fishing gear. In *Behaviour of Teleost Fishes*. 2nd, Chapman & Hall, London, pp. 609-641.
- Weissert. R., Campenhausen, C.,** 1981. Discrimination between stationary objects by the blind cave fish *Anoptichthys jordani* (*Characidae*). *Journal of Comparative Physiology A*, 143, 81-375.

**Werner, E. E., Gilliam, J. F., Hall, D. J., Mittelbach, G. G.,** 1983. An experimental test of the effects of predation risk on habitat use in fish. *Ecology*, 64, pp. 48-154.

**Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Multiagentní systém** [online]. c2017 [citováno 30. 04. 2018]. Dostupný z WWW: <<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Multiagentní%20systém&oldid=14877842>>

**Wisenden, B., Smith, R.,** 1998. A re-evaluation of the effect of shoalmate familiarity on the proliferation of alarm substance cells in ostariophysan fishes. *Journal of Fish Biology*, 53, pp. 84-86.

**Wysujack, K., Mehner, T.,** 2005. Can feeding of European catfish prevent cyprinids from reaching a size refuge? *Ecology of Freshwater Fish*, 14 (1), pp. 87-95.

## 5. Abstrakt

### **Hejnové chování jako odezva na změny prostředí – přehledová studie**

Cílem této práce bylo vytvoření přehledové studie, která pojednává o působení určitých parametrů na hejno ryb. V této práci je možné nalézt informace o působení různých parametrů na hejno sladkovodních, mořských a akvariálních ryb. Uvedeno je zde nejen několik parametrů, které na ryby působí různým způsobem, ale je možné zde nalézt i mnoho informací o hejnovém chování ryb obecně. Práce je informačně obsažná a postupně přechází od obecné definice hejna, vzniku hejna, typů hejna, výhod a nevýhod hejna, komunikace a poznávání ryb v hejnu, až po výčet parametrů, které ryby ovlivňují pozitivně i negativně. Na závěr je zde možné najít možnosti modelování ryb a jejich chování se dvěma modelovými příklady. Všechny informace pochází nejen z české literatury, ale také ze zahraniční literatury, což dělá práci jistě kreativnější a objektivnější. Hejnové chování ryb je dosud poměrně neprobádané téma, na jehož otázky nelze vždy jednoznačně odpovědět. Prozkoumávat a hodnotit chování hejna ryb je poměrně složité a proto jsou odpovědi mnohdy jen názorem autorů nebo výsledkem několika pokusů, kterých zatím není mnoho. Nicméně i když existují dohady o mnoha informacích, které se tohoto tématu týkají, je i mezi autory a jednotlivými pokusy mnohdy shoda. Tato práce by mohla být dobrým vodítkem pro ty, kteří se o toto chování zajímají a jsou ochotni se tím zabývat. Pro velké využití a zároveň menší informovanost veřejnosti o tomto tématu je důležité začít se hejnovým chováním ryb a modelováním ryb zabírat v širším měřítku, než tomu bylo doposud.

**Klíčová slova:** ryby, hejno, změny prostředí, predace, postranní čára, modely ryb

## **6. Abstract**

### **Shoal behaviour as a response to environmental changes – review**

The aim of my bachelor thesis was to create a review about effect of some parameters on shoal of fish. In my thesis may be found information about effects of different parameters on shoal of freshwater, marine and aquarium fish species. Review describes several parameters that effect fish in several ways and it is also contains a lot of information about shoal behaviour in general. Review gradually passes from general definition of shoal, creation of shoal, types of shoal, advantages and disadvantages of shoal, communication and recognizing of fish inside the shoal, to enumeration of parameters that effect fish both positively and negatively. In conclusion may be found possibilities of modeling fish and their behaviour on two model examples. Information come from Czech literature, but also from foreign literature, which makes my thesis more creative and objective. Shoal behaviour is still relatively unexplored topic and many questions still remain unanswered. Exploring and assesing of shoal behaviour is relatively complicated, therefore the answers are only author's opinions and several experiments results. Although there are speculations about this topic, many authors and experiments have similar opinion. My bachelor thesis may appreciate those, who want to know more about the shoal behaviour. In future it is necessary to realize more research about shoal behaviour and fish modeling because of its use and and less public awareness.

**Keywords:** fishes, shoal, environmental changes, predation, lateral line, fish models