

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Přírodovědecká fakulta
Katedra biologie ekosystémů

Bakalářská práce

Únikové reakce ryb před tralovými sítěmi

Vedoucí práce: doc. RNDr. Jan Kubečka, CSc.

Konzultant: RNDr. Vladislav Draštík, Ph.D.

Autorka práce: Zuzana Sajdlová

Obor: Biologie

Ročník: třetí

2010

Sajdlová, Z., 2010. Únikové reakce ryb před tralovými sítěmi. [Fish avoidance behaviour in response to a trawl gear. Bc. Thesis, in Czech] – 48 p., Faculty of Science, The University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

ANOTATION

The main objective of the thesis is an introduction to the problematics of fish avoidance behavior in response to a trawl gear towed by one or two trawlers (motor boats). Avoidance or escape reactions are dependent on many factors and ecological conditions influencing animals' behaviour therefore it is necessary to refer about fish sensory organs and perception. The content also deals with methods useful for studying fish behaviour in the wild. These are invasive and noninvasive technics and methods like acoustics, video cameras and towed gears (mainly trawls). All of them have become an important tool in recent surveys of marine environment as well as freshwater lakes and reservoirs.

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

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

V Českých Budějovicích dne 20. 3. 2010

Ráda bych poděkovala všem, kteří se svými radami a připomínkami podíleli na vzniku tohoto dokumentu. Za odborné vedení práce děkuji svému školiteli RNDr. Vladislavu Drašíkovi, Ph.D. a vedoucímu práce doc. RNDr. Janu Kubečkovi, CSc.

ANOTACE

Tato bakalářská práce by měla čtenáře seznámit s problematikou chování rybovitých obratlovců v blízkosti ústí tralových sítí, neboli souborem reakcí, které ryby vykazují během úhybných manévřů před sítí vlečenou za výzkumnými čluny. V souvislosti s tím práce pojednává o metodách, kterými lze studovat chování ryb v jejich přirozeném prostředí. Především se jedná o sonarová zařízení, která jsou pro tento účel v současnosti hojně využívána. Dále se práce věnuje způsobům lovu do sítí (zejména tralových), které se osvědčily jako vhodný „nástroj“ pro výzkum ryb také ve vnitrozemských sladkých vodách. V neposlední řadě je pojednáno o faktorech a smyslových vjemech, které mají na únikové reakce ryb zásadní vliv.

ANOTATION

The main objective of the thesis is an introduction to the problematics of fish avoidance behavior in response to a trawl gear towed by one or two trawlers (motor boats). Avoidance or escape reactions are dependent on many factors and ecological conditions influencing animals' behaviour therefore it is necessary to refer about fish sensory organs and perception. The content also deals with methods useful for studying fish behaviour in the wild. These are invasive and noninvasive technics and methods like acoustics, video cameras and towed gears (mainly trawls). All of them have become an important tool in recent surveys of marine environment as well as freshwater lakes and reservoirs.

OBSAH

1. Úvod	7
1.1. Cíl práce	8
1.2. Metodika práce	9
2. Jak studovat únikové chování ryb	10
2.1. Metody neinvazivní	12
2.1.1. Co data vypoví o chování ryb	12
2.2. Metody invazivní	15
2.2.1. Tralové sítě	16
2.2.2. Účinnost tralových sítí	19
3. Chování ryb v blízkosti tralových sítí	22
3.1. Smyslové orgány a vjemy	22
3.2. Únikové reakce	25
3.2.1. Chování ryb před ústím tralové sítě	26
3.2.2. Únik síťovinou tralu	27
3.2.3. Hejnové a individuální reakce	28
3.2.4. Pohlcení tralem	30
3.2.5. Mortalita a stres ryb způsobený lovem do tralových sítí	31
3.3. Z výzkumů únikových reakcí mořských a sladkovodních ryb	32
4. Základní faktory ovlivňující reakce ryb na tralové sítě	35
4.1. Abiotické faktory	35
4.2. Biotické faktory	37
5. Diskuze	37
6. Závěr	39
Literatura – soupis bibliografických citací	41
Seriólové publikace	41
Knihy	44
Elektronické zdroje	45
Přílohy	46
Vysvětlivky užitých odborných termínů	46
Seznam obrázků a jejich zdrojů	47
Dodatky	48

1. ÚVOD

Je tomu více než 200 milionů let, kdy se za geologického údobí triasu objevili první předkové kostnatých ryb (Teleostei) a obydli jedno z nejrozmanitějších prostředí na Zemi. Vody slané, sladké a brakické jsou domovem pro více než 27 000 recentních druhů paprskoploutvých ryb (Actinopterygii), které se staly nejpočetnější skupinou obratlovců. Aby tito živočichové dokázali přežít ve vodním prostředí, musela se u nich během evoluce vyvinout mnohá fyziologická i anatomická přizpůsobení (Gaisler a Zima, 2007). Mezi ně patří také smyslové orgány, které rybám umožňují orientaci v prostoru. Účastní se při složitých komplexech chování, ať už se jedná o shánění potravy, partnera, ukrytí se před predátory či rušivými vlivy způsobenými lidskou činností.

Ryby odedávna tvořily nedílnou součást potravního spektra člověka. Každým rokem na přelomu května až června, v 18. stol. až tisíce tuňáků obecných (*Thunnus thynnus*) táhly Gibraltarským průlivem, aby se během teplých letních měsíců vytřeli ve vodách Středoziemního moře (Montaigne, 2007). Tam už na ně čekali lovci, kteří tuňáky chytali do ručně vnađených sítí ze břehu (Tunis, Sardinie), avšak lov tehdy sloužil pouze pro vlastní potřebu. Populaci nijak neohrožoval. Podobně se dělo i s jinými druhy v různých částech světa, dokud ziskuchtivost člověka po přírodních zdrojích počátkem 20. stol. nepřesáhla „únosné meze“¹.

Jak se zefektivňoval způsob lovu, byly rovněž zdokonalovány lovecké techniky, což přinášelo nové otázky týkající se rybích populací. Začali jsme se více zajímat, jak se daný druh chová, kde se zdržuje během roku, jak a kde se rozmnožuje, čím se živí. Nepočítáme-li zásahy uskutečňované pouze pro obchodní účely, jsou poznatky, získané během rybářských a vědecky orientovaných výprav, velmi cennou zkušeností pro studium chování ryb v jejich přirozeném prostředí.

Na rozdíl od terestrických živočichů jsou ryby „v terénu“ nesnadno dosažitelné a obtížně se studují. Například, pro zjištění stáří či hmotnosti, je nutné jedince odlovit mimo vodní prostředí, což bývá příčinou negativních důsledků (šok, poranění, někdy i smrt). Ryby jsou vůči manipulacím mimo vodu citlivé. Naštěstí existují metody, které nám umožňují tyto živočichy studovat, aniž bychom vážněji narušovali jejich chování. Sonarová zařízení využívají vysokofrekvenčních zvukových vln, pomocí nichž lze „vidět“ živé i neživé objekty poté, co je od nich zvuk ve formě ozvěny odražen, detekován a vyhodnocen. Počátkem 50. let 20. stol. zájem o akustiku ve sférách výzkumu vodního prostředí silně vzrůstal (Simmonds a MacLennan, 1995). Sonarová zařízení tak našla uplatnění nejen na lodích válečného

¹ V roce 2000 celosvětový výtěžek mořských živočichů (z toho cca 80.10⁶ t ryb) přesáhl 100.10⁶ t. Mnohým rybím populacím se tato situace stala osudnou (Pauly a Watson, 2003).

námořnictva (protiponorkové účely), ale také na lodích rybářských a výzkumných (topografie mořského dna, sledování rybích hejn). Ve vývoji nezůstávaly pozadu ani kamerové systémy, které patří, vedle akustiky, mezi nejdůležitější prostředky výzkumu vodních ekosystémů.

Rybolov je ve velké míře zajišťován aktivními lovnými technikami, jako jsou tralové sítě či nevodky, které umožňují získat velké množství jedinců ze značných vodních objemů a nízkých časových nákladů. Ačkoliv je tralování na moři provozováno již několik desetiletí, ojediněle bylo využíváno pro vědecké účely ve vnitrozemských vodách, kde teprve nachází své uplatnění. V Evropě se této metodě, sloužící pro studium rybích populací, věnuje jen málo vědeckých týmů. Také na území České republiky bylo v posledních letech podniknuto několik pokusů se zavedením tralovacích metod.

Důvodem volby tématu této práce je můj dlouholetý zájem o studium vodních obratlovců v přirozeném prostředí se zaměřením na jejich chování. Jakkoliv je toho o biologii ryb mnoho známo, k pochopení únikových reakcí, které ryby vykazují v blízkosti tralových sítí, nám mnohé znalosti scházejí. K této tematice by mohla přispět případná diplomová práce. V následujících kapitolách se pokusím přiblížit alespoň některé z těchto znalostí lépe známých.

1.1. Cíl práce

Hlavním cílem této práce je seznámit čtenáře s problematikou chování rybovitých obratlovců v blízkosti tralových sítí, neboli souborem reakcí, které ryby vykazují během úhybných manévřů před sítí vlečenou za výzkumnými čluny. V souvislosti s tím dokument pojednává o metodách, kterými lze studovat chování ryb v jejich přirozeném prostředí. Především se jedná o akustická a kamerová zařízení, která jsou pro tento účel v současnosti hojně využívána. Dále se práce věnuje způsobům lovu do sítí (zejména tralových), které se osvědčily jako vhodný „nástroj“ pro výzkum ryb také ve vnitrozemských sladkých vodách. V neposlední řadě je pojednáno o faktorech a smyslových vjemech, které mají na únikové reakce ryb zásadní vliv.

Ačkoliv na moři se v dnešní době s uvedenými technikami běžně pracuje, v posledních několika letech je snaha aplikovat některé poznatky při výzkumu méně probádaných ryb sladkovodních nádrží Evropy a Severní Ameriky.

1.2. Metodika práce

Dokument je členěn do šesti hlavních kapitol, z nichž druhá se týká metod studia ryb v jejich přirozeném prostředí (neinvazivních a invazivních). V kapitole třetí je blíže rozebrána podstata smyslových vjemů a receptorových orgánů, jejichž znalost je pro výzkum chování ryb důležitá. Tato kapitola se zabývá reakcemi ryb na tralové sítě. Na závěr nechybí seznámení s hlavními faktory, které ovlivňují rybí chování v blízkosti a uvnitř tralových sítí.

Práce je psána formou kritické rešerše. Vychází ze zdrojů zahraniční odborné literatury. Čerpá zejména z prací, které byly publikovány na základě uskutečněných námořních výzkumů, neboť v rámci výzkumů vod vnitrozemských je dostupných zdrojů málo. Jedná se o oblast vědy, která je v rámci studií ryb sladkých vod zatím jen „okrajově“ známa a která se teprve těší na nové objevy.

2. JAK STUDOVAT ÚNIKOVÉ CHOVÁNÍ RYB

Ryby, ve srovnání s terestrickými obratlovci, obývají pro nás jen stěží dostupné prostředí, které podléhá odlišným přírodním zákonům. Přesto je dnes k dispozici moderní technika, která výzkum pod vodní hladinou usnadňuje. Pro studium únikového chování ryb se jako vhodné jeví jednak neinvazivní metody, založené na sonarových a kamerových pozorovacích zařízeních. Zadruhé jsou k dispozici invazivní metody, které zahrnují různé typy tralových sítí a jejich přídatného zařízení (vaky apod.).

2.1. Metody neinvazivní

O první pokusy sledování ryb pod vodou pomocí zvuku se pokusil Kimura již v roce 1929, kdy do chovné nádrže umístil zdroj a detektor zvuku a pomocí osciloskopu sledoval vibrace, jak se zvukové vlny odrážely od rybiho hejna (Simmonds a MacLennan, 2005). Hojně byla akustika pro vědecké účely používána až v 50. letech 20. stol. Jedny z prvních výzkumů, které napomáhaly jejímu rozvoji, uskutečnili Norové po roce 1935, když studovali chování sledů v severním Atlantiku. Mezi hlavní přednosti sonaru² patří neomezenost světelnými podmínkami pod vodou, možnost „zmapování“ velkých vodních objemů s vysokou přesností a v krátkých časových intervalech včetně neinvazivního způsobu získávání dat. Zvláště v řekách, jezerech nebo sladkovodních rezervoárech je vzhledem k nevelké hloubce (řádově desítky metrů) možné detekovat ryby ve značném rozsahu vodního sloupce (Taylor a Maxwell, 2008). Nevýhodou sonarů může být neschopnost rozlišovat mezi „živými“ a „neživými“ objekty, a tudíž často jen velmi přibližné a nepřímé určování živých objektů do druhů.

Zvuk se ve vodě šíří rychlostí přibližně čtyřikrát větší oproti vzduchu. Při teplotě okolní sladké vody 25 °C dosahuje rychlosti³ cca 1500 m.s⁻¹. Sonarová zařízení využívají ultrazvuku, neboli zvuku o frekvencích nad 20 kHz při „ohledávání“ svého okolí. Sonar pracuje na základě zvuku vyslaného generátorem do prostoru, kde se šíří ve formě tlakových vln k objektu, od kterého se (v závislosti na hustotě objektu) s různou intenzitou odráží zpět a je zaznamenán detektorem jako ozvěna, tzv. „echo“. Jednotlivé zvukové vlny mají charakter sinusového vlnění⁴, které se šíří rychlostí zvuku v jednotlivých sériích, impulsech o určité délce trvání (τ - ms). Vlnová délka (λ - nm) je nepřímo úměrná frekvenci, což v praxi souvisí s velikostí a vzdáleností objektů, které chceme detekovat (Schmidt, 2006). Sonar o frekvenci

² SONAR („Sound Navigation And Ranging“) je zařízení, umožňující výzkum prostředí pomocí vysokofrekvenčních zvukových vln.

³ Odkaz na zdroj citace: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/Hbase/Tables/soundv.html>

⁴ Odkaz na zdroj citace: <http://paws.kettering.edu/~drussell/Demos/wave-x-t/wave-x-t.html>

500 kHz (svým výkonem ekvivalentní „biologickému“ sonaru některých ozubených kytovců) je schopen na krátkou vzdálenost (do 1 m) detekovat objekt o velikosti 3 mm. Chceme-li naopak zaměřit cíl vzdálený stovky až tisíce metrů, musíme použít sonar o frekvencích nižších. Jak se vlna šíří prostorem, způsobuje mezi vibrujícími molekulami vody přenos energie, která směrem od zdroje zvuku postupně slábne (Simmonds a MacLennan, 2005). Míru zvuku vyjadřujeme častěji, nežli v podobě tlaku, v jednotkách decibelů (dB), které jsou logaritmickou mírou poměru hodnot intenzit I_1 a I_2 , kde I_1 je referenční hodnotou zvuku a I_2 je intenzita ozvěny. Vztah těchto dvou intenzit je velmi důležitý pro stanovení intenzity ozvěny zaměřených objektů (tzv. TS - „target strength“); (Schmidt, 2006). Target strength má vždy zápornou hodnotu a vyjadřuje velikost objektu. Ačkoliv je TS pokusně stanovována, ve skutečnosti pro ni neexistuje univerzální vztah. Závisí přitom na mnoha faktorech (Simmonds a MacLennan, 2005). Především se jedná o tvar objektu (tj. i druh ryb) a jeho pozici vůči dopadajícím zvukovým vlnám. V této souvislosti je určován úhel náklonu objektu - „tilt angle“ úhel mezi podélnou osou objektu a dopadajícím vlněním, který vypovídá o energii odražené ozvěny, která je závislá na vzájemné sumaci nebo interferenci vln odražených od různých částí objektu.

Detektorem zvuku bývá zařízení zvané piezoelektrický měnič - „transducer“, který tlakové vlny ozvěny převádí zpět na elektrický signál (funguje i naopak)⁵. Ještě před tím, než jsou data zobrazena v počítači prostřednictvím barevného echogramu, dochází v sonaru k detekci jednotlivých ozvěn, zesílení a celkovému vyhodnocení signálů (Simmonds a MacLennan, 2004). Transducer je složen ze vzájemně izolovaných keramických součástí, které se rozpínají a smršťují v závislosti na elektrickém poli. Transducer slouží jako generátor i detektor zvuku zároveň.

Sladkovodní akustika používá dva základní typy sonarů – horizontální a vertikální, z nichž oba se podílí na studiu rybích obsádek, často ve spojení s aktivními lovnými prostředky (sítě, elektrody). Tyto sonary pracují většinou na frekvencích 38 kHz – 200 kHz, které jsou mimo dosah sluchu většiny ryb (Taylor a Maxwell, 2008). Pro sledování únikových reakcí ryb před tralovými sítěmi je nicméně vhodnější vertikální sonar, který směřuje zvukové vlny kolmo ke dnu vodního tělesa a sleduje ryby téměř v plném vodním sloupci. Výjimkou je oblast v blízkosti hladiny, kde se nachází jeho „slepá zóna“⁶ (Tušer, 2004). U horizontálního sonaru, jehož akustický kužel směřuje rovnoběžně vůči hladině, je nevýhodou omezená

⁵ Odkaz na zdroj citace: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/602499/transducer> a http://www.htisonar.com/what_are_hydroacoustics.htm#

⁶ Jedná se o určité oblasti v blízkosti dna nebo hladiny, jejichž ozvěna je silnější, než je tomu v případě vlastního zkoumaného objektu. Tím je znesnadněna jeho detekce. Silnější signál se vlivem omezené šířky akustického kuželu dříve odrazí ode dna a maskuje tak slabší ozvěnu zájmového objektu.

možnost určení orientace objektu vzhledem k akustické ose, kolmici vedoucí od transduceru k objektu. Nicméně, i tento typ je během výzkumu rybího chování hojně používán (Draščík a Kubečka, 2005). Sonarová zařízení poskytují mnoho informací o zkoumaném objektu, ať již se jedná o jednotlivce nebo celé hejno ryb. Umožňují určit velikost zaměřeného objektu (jedince či hejna). Jsou důležitým nástrojem pro výpočet biomasy či hojnosti jedinců (Draščík, et al., 2009). Vypovídají o časoprostorovém výskytu objektu a v neposlední řadě se podílí při monitorování rybího chování.

Sledování ryb pod vodou pomocí optických zařízení je ovlivněno podmínkami pronikání světla pod vodou. K hlavním dnes užívaným podvodním kamerám patří typ SIT (Silicon-diode Intensified Target) s vysokou citlivostí (Graham, et al., 2004). Jejich nevýhodou je, že jsou uplatnitelné pouze v malých hloubkách, kam proniká dostatek světla z hladiny. Pro práci v hlubokých vodách byly vyvinuty tzv. intenzifikované SID kamery, jejichž využití je zatím omezeno pro oblast hlubinného výzkumu a námořnictva. V současnosti se také používají UV a IR kamery, pracující ve vlnových délkách, které většina ryb není schopna vnímat. Světlo je tudíž během výzkumu neruší. Optické kamery mohou být dálkově řízené (připevněné u ústí sítě nebo vlečené za lodí) či manuálně ovládané potápěči.

2.1.2. Co data vypoví o chování ryb

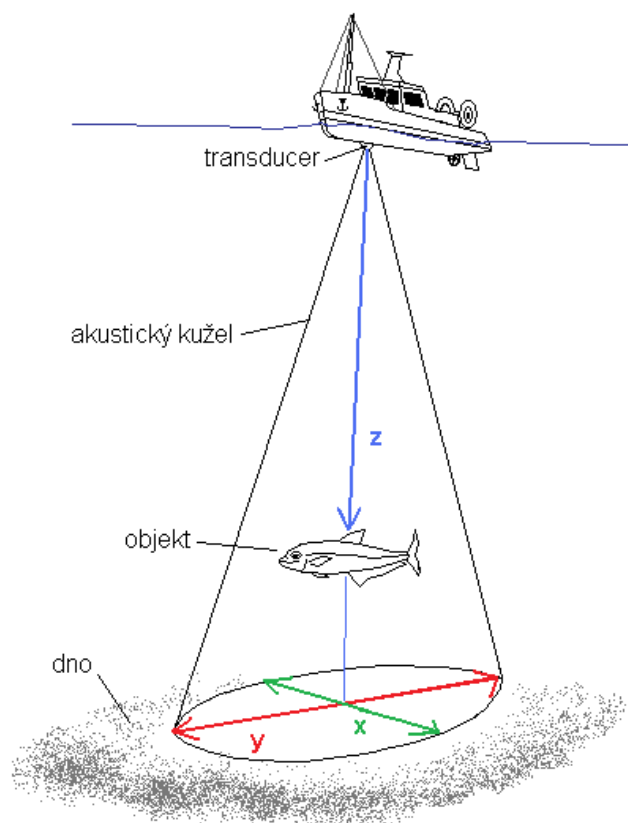
V rámci studia reakcí na tralové sítě nás více zajímá určování pozice jednotlivců, než velikost hejna, což lze provést např. pomocí software Sonar 5 (Balk, 2007). Jedná se o program, který slouží pro zpracovávání akustických dat a se kterým jsem měla možnost se osobně seznámit. Chování ryb sonar nevyhodnotí jako přímý sled biologických reakcí, ale pomocí souřadnic akustického kuželu⁷, údajích o času a síle ozvěny, může informovat o velikostech i pohybech jednotlivých objektů (Simmonds a MacLennan, 2005); (Obr. 1). Na základě těchto údajů lze usuzovat o chování (poloha ve vodním sloupci, rychlost a směr pohybu). Předpokladem pro vyhodnocování pozic zkoumaných objektů je nastavení vhodných parametrů programu (např. hodnoty pro „threshold“⁸, rozsah vodního sloupce, v němž chceme data analyzovat a mnoho dalších). Důležité je, aby se jednotlivé objekty nepřekrývaly a bylo možné určit jejich intenzitu ozvěny (TS). Tato hodnota vychází z počtu jednotlivých odražených impulsů ozvěny („pings“), kterými stihl sonar objekt zvukovými

⁷ Akustický kužel je prostorový úhel, pod kterým sonar vysílá zvukové vlny.

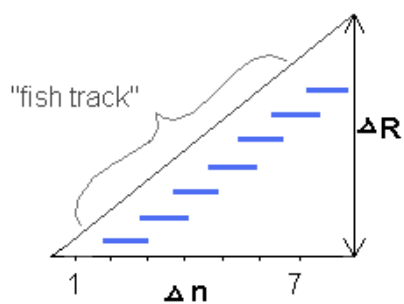
⁸ Je prahová hodnota nastavovaná v souvislosti s eliminováním nežádoucích vlivů (lodní motory, příboj, hluk způsobený jinými organismy), které ruší ozvěny zkoumaných objektů. Každý program je před vlastní analýzou dat kalibrován (Taylor a Maxwell, 2008). Mezi hlavní parametry patří rychlost zvuku a jeho ztráty vzniklé během šíření v závislosti na hustotě vody, salinitě či teplotě.

vlnami „zaznamenat“ (Simmonds a MacLeannan, 2005; Schmidt, 2006). Při zpracování dat v programu Sonaru 5 lze postupovat manuálně nebo automaticky. Většinu údajů však, v rámci námi nastavených požadovaných parametrů (souřadnice x, y, z v akustickém kuželu, datum, čas apod.) program vyhodnotí sám. Pokud chceme určit např., zda ryba klesala či stoupala ve vodním sloupci, vycházíme z hodnot pro souřadnici „z“ – vzdálenosti objektu na akustické ose vůči transduceru. Je-li hodnota záporná, pak se ryba přibližovala k transduceru a naopak (Drašík a Kubečka, 2005). Dále je užitečné zjistit tzv. „sklon“ objektu („slope“), který odpovídá poměru rozdílu vzdálenosti (ΔR) mezi počáteční a konečnou ozvěnou a počtem jednotlivých odrazů ozvěny („pings“), kterými byl objekt zasažen (Δn). Zjistíme tak polohu ryby ve vodním sloupci vůči transduceru (Obr. 2).

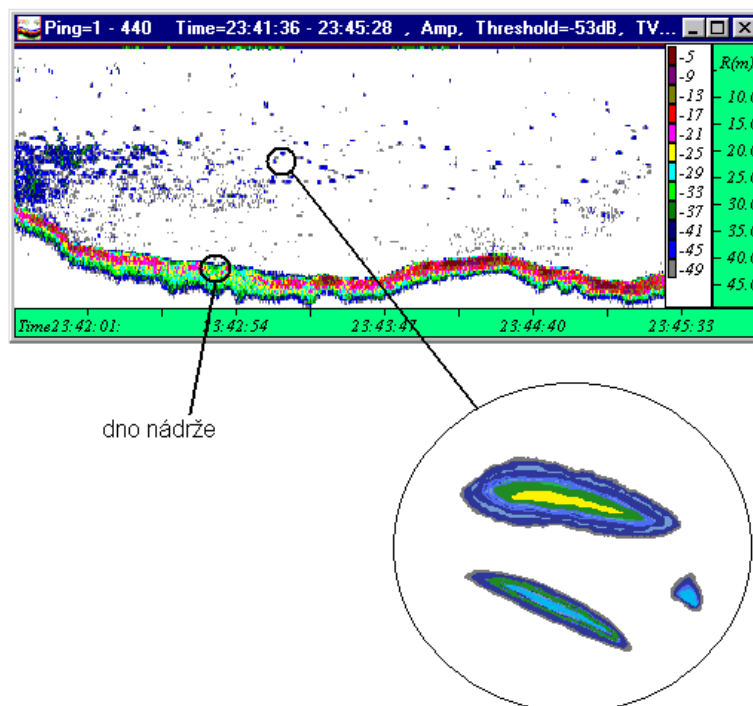
Jak již bylo zmíněno, elektrické signály se po výstupu z transduceru zobrazí obvykle v podobě dvourozměrného echogramu. Osa „x“ zobrazuje čas (min, s) či pořadí jednotlivých odrazů ozvěny, osa „y“ ukazuje hloubku v metrech (Schmidt, 2006). V případě vertikálního sonaru vidíme hloubkový profil vodního tělesa včetně zkoumaných objektů a dále objektů nežádoucích, které je při analýze nutné vynechat (metanové bubliny uvolněné ze dna, šum vzniklý lodními šrouby aj.). Sonar 5 nabízí dva základní typy echogramů pro analýzu dat (Balk a Lindem, 2007); (Obr. 3 a 4). V rámci jednotlivých ryb je vhodné použít Echogram jednotlivých ozvěn SED („Single Echo Detection“), který zobrazuje objekty formou jednotlivých skupin tracků. Amplitudový echogram Amp (Amplitude echogram) se lépe hodí pro práci s objekty o vysoké hustotě, které se těsně překrývají a není tak možné určit velikost individuálních objektů. V obou případech jsou zobrazovány jako barevné body v času a prostoru.



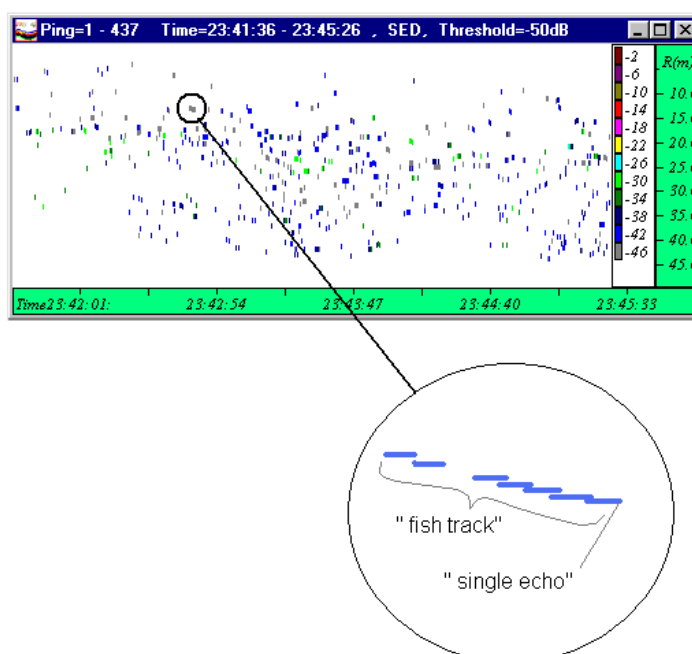
Obr. 1. Zaměřování objektu vertikálním sonarem.



Obr. 2. Sklon ryby („Slope“) je podílem $\Delta R / \Delta n$, kde ΔR odpovídá rozdílu (vzdálenost na ose „y“ v metrech) mezi konečnou a počáteční ozvěnou a Δn je rozdíl konečné a počáteční hodnoty jednotlivých impulsů ozvěny („number of pings“); (osa „x“).



Obr. 3. Amplitudový echogram. Osa „x“ zobrazuje čas (h, min, s), osa „y“ hloubku (m). Detail představuje objekty o různé velikosti TS. Žluté zbarvení jednoho z objektů signalizuje, že má silný akustický odraz.



Obr. 4. SED echogram. Osa „x“ zobrazuje čas (h, min, s), osa „y“ hloubku (m). Detail představuje „soubor impulsů ozvěny“ zaměřeného objektu („track“) včetně jednotlivých odrazů ozvěny tohoto objektu („single echo“), které nemusí být vždy kontinuální.

2.2. Metody invazivní

Je známo mnoho druhů lovných prostředků (klece, vlečené háky, nevody⁹, tenata apod.), které jsou využívány jak při lovu na moři ve „velkém měřítku“, tak během výzkumů vnitrozemských vod. Sítě, známé již ve 12. století, původně sloužily pro lov ze břehu, v mělkých vodách (Searce, 2009). Postup spočíval v obklíčení rybího hejna z pláže a pozvolném směřování úlovku v uzavírajících se sítích směrem ke břehu. Rybáři však byli limitováni hloubkou, průzračností vody a lov tak nebyl příliš efektivní. Zásadní převrat nastal počátkem 19. stol., kdy začaly být používány lodě s parními pohony. Lovilo se ve větších hloubkách, ve vzdálenějších oblastech a především ve větších měřících (Montaigne, 2007). V Norsku, jakož evropské rybářské velmoci, se lovilo pomocí vlečných sítí pod 100m hloubkovou hranicí již v roce 1894. Další zásadní změny nastaly poté, co byly lodě vybaveny sonary a dieselovými pohony. Byly rychlejší a s mrazíci mohly pronásledovat ryby celé měsíce. K nejběžněji běžně užívaným sítím rybářského průmyslu patří tenaty, nevody a traly. Zatímco lov do nevodů vyžaduje rozměrné prostory (sít' může mít délku až 2000 m a výšku 200 m) a uplatnění nachází především v hlubokých mořských vodách, tralové sítě se v současnosti jeví jako vhodné také pro výzkum sladkovodních těles.

2.2.1. Tralové sítě

Tralování je aktivní lovná metoda, ve sladkých vodách využívaná hlavně pro lov a vzácněji pro výzkum rybích obsádek nádrží a jezer především v Evropě (Finsko, Česká republika, Německo, Rakousko, Maďarsko apod.) a Severní Americe (Velká Kanadská jezera). První traly pochází již ze 40. let 20. století (Kristjonsson, 1971). Tralování využívá sítě vlečené za jedním nebo dvěma čluny, jak ve volné vodě - pelagiálu, tak u dna (Obr. 6). Výhodou této metody je možnost vzorkovat velký objem vody, a tím získat větší množství ryb, v krátkém časovém intervalu. Tralování lze provozovat i ve vodách se silnějším prouděním (ústí řek), které může dosáhnout až 7 km/h (Wolter a Freyhof, 2004). Nevýhodou je potřeba dostatečně výkonných plavidel, vyšší počet členů posádky, vysoké ceny sítí či potřeba značné rozlohy vodního tělesa (Graham, et. al., 2004). Moderní traly jsou přizpůsobované výzkumu ryb a je snaha o co nejvyšší selektivitu s cílem minimalizovat vedlejší úlovek.

⁹ Běžným druhem nevodů je košelkový nevod. Tato sít' je používána pro lov velkých pelagických ryb (tuňáci, kranasi). Funguje tak, že loď se sítí obklíčí hejno a nevod uzavře do válcovitého tvaru. Poté je zatažena spodní žíně sítě, čímž vznikne obří „koš“ a ryby tak nemají šanci uniknout. Horní žína drží při hladině mohutné plováky. Sít' pojme až dvoutisícové hejno dospělých tuňáků obecných (*Thunnus thynnus*).

Tralová síť má tvar nálevky se silně otevřeným ústím (10 m v průměru a více) a vakovitým – zúženým koncem na opačné straně, tzv. „codend“, kam jsou soustředěny chycené ryby (Obr. 5). Zpravidla se skládá ze 2 - 4 částí¹⁰ panelů o různých velikostech ok síťoviny¹¹ (3 - 10 cm). Síť je spojena s lodí (loděmi) dvěma lany o délce až 200m, které na sobě v částech blízkých síti mívají připevněna závaží pro udržení žádoucí hloubky. Častým doplňkem, zvláště u sítí tažených jedním člunem, jsou rozpěrné desky, tzv. „ottrboards“, čtvercového či zakulaceného tvaru (plocha od 50 – 1200 cm²), které udržují vhodné rozpětí ústí sítě do šířky. Vrchní pár ocelových lan bývá nadlehčován plastovými bójemi, podobně jako horní žíně ústí tralu, která je vybavena menšími plováky. Speciální zátěže mohou být přítomny rovněž u spodní žíně ústí (Kristjonsson, 1971). Pro vhodné napnutí sítě je také zapotřebí určité minimální rychlosti tahu, která bývá okolo 4 km/h (tj. asi 2 námořní uzly)¹². Pro efektivní lov je taktéž nezbytná určitá doba tahu, která by neměla být kratší, než je 10 min. Hloubka, v níž tral operuje, může být variabilní, ale ve sladkých vodách obvykle nepřesahuje 30 m. Tato metoda vyžaduje vodní plochu alespoň 7500 m².

Tralovací zařízení lze rozdělit do dvou hlavních skupin (viz níže), podle hloubek, ve kterých jsou užívána a podle počtu lodí – trawlerů, kterými jsou sítě taženy. Traly se liší stavbou, účelem jsou stejné.

Pelagický tral („Midwater trawl“) bývá složen ze 4 panelů (na průřezu je ústí zhruba obdélníkového tvaru) a oproti bentickému tralu mívá lehčí konstrukci (Obr. 7). Je-li tažen jednou lodí, na spodním páru spojovacích lan (oddíly zvané „bridles“) má rozpěrné desky, jejichž nevýhodou je vysoký odpor, který na loď během plavby působí (Kristjonsson, 1971). Je zapotřebí vysokého výkonu lodního motoru a zdvihového zařízení (např. kladek), které reguluje hloubku, v níž se síť nachází. Výhodnější je užití dvou lodí, které mohou síť táhnout vyšší rychlostí. Lodě od sebe udržují vzdálenost, která je rovna alespoň polovině délky tažných lan (jsou min. 50 m dlouhá), čímž udržují síť vhodně napnutou. Tento tral je určen pro lov pelagických druhů ryb (cejni, plotice, síhové, sledi, makrely aj.). Tralování bylo na českých rezervoárech poprvé uskutečněno před dvaceti lety. K jeho hlavnímu vývoji dochází od roku 2001, kdy byl speciálně pro jeho účely vyroben první český trawler.

Bentický tral („Bottom trawl“) se od předchozího liší svojí úpravou pro lov ryb, zdržujících se převážně u dna (platýsi, kambaly, tresky). Tvoří ho zpravidla 2 panely (Obr. 8) a u dna je držen zátěžemi, připevněnými na spojovacích lanech („bridles“) včetně dolní žíně ústí. Aby se tral nebořil do měkkého substrátu, zátěže dolní žíně mívají tvar připomínající kola vozidla. Kromě toho bývá dolní žíně opatřena gumovými „valy“. Jeho nevýhodou je (Tuck, et al.,

¹⁰ Odkaz na zdroj citace:

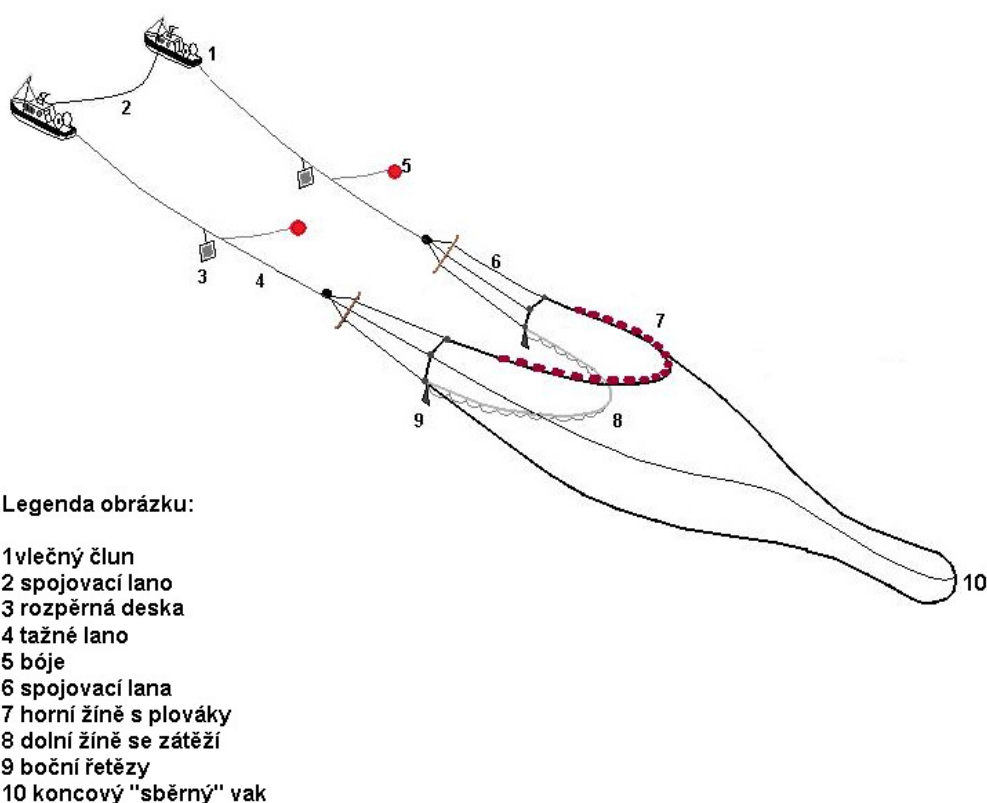
<http://www.afma.gov.au/information/publications/fishery/baps/docs/gabbkgd.htm>

¹¹ Měří se diagonální vzdálenost od uzle k uzlu oka v max. rozpětí.

¹² U mořských tralů bývá rychlost dvakrát vyšší.

1998), že při vyšší frekvenci používání na malé ploše může mít ničivý dopad na faunu dna. Způsobují značné turbulentní víry. Jelikož jsou velikostní parametry tralů různé, uvedu jejich příklad na síti použité při výzkumu rybí obsádky dna v kanadském Viktoriině jezeře¹³. Délka horní žíně byla 24m, délka spodní žíně 27 m. Celková délka sítě v podélné ose se rovnala 30m. Vzdálenost obou žíní, neboli výška ústí sítě, měřila v nejvyšším rozpětí 2,3 m. Velikost ok síťoviny se pohybovala od 19 mm do 76 mm. Rychlost tahu dosáhla 5,6 km/h v hloubce okolo 10 m. Trawler, který síť táhl, byl 17 m dlouhý o výkonu motoru 180 hp (132,4 kW). Ocelová tažná lana tralů bývají až 200 m dlouhá.

Pro správný průběh lovu je zapotřebí průběžně kontrolovat stav sítí, zejména hloubku, v níž se síť právě nachází, dále také rychlost tahu a chování ryb před ústím (Kristjonsson, 1971). Pro tento účel se používají sonary montované na plováky či horní žíně, propojené s lodí prostřednictvím kabelu (např. ITEK systém u větších, námořních tralů, nebo systém Glubina pro malé, sladkovodní traly). Ani bezdrátové sondy (např. Simrad či Scanmar) však nejsou výjimkou. Dálkově měří „otevření“ tralu stejně jako velikost chyceného úlovku.



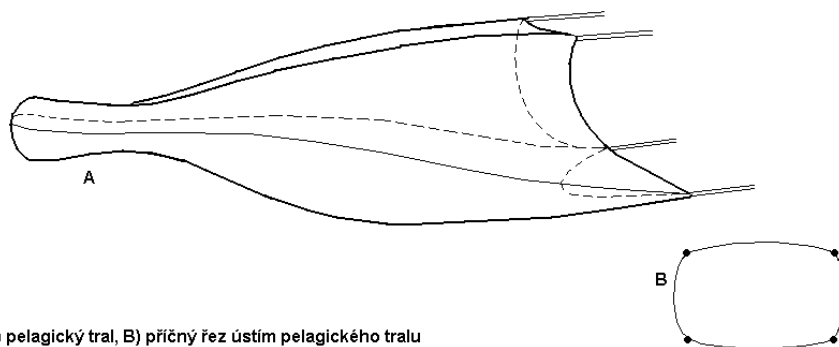
Obr. 5. *Tralovací zařízení.* Anglické ekvivalenty k údajům v legendě jsou uvedeny v přílohách pod názvem „Vysvětlivky užitých odborných termínů“.

¹³ Odkaz na zdroj citace:

<http://www.afma.gov.au/information/publications/fishery/baps/docs/gabbkgd.htm>

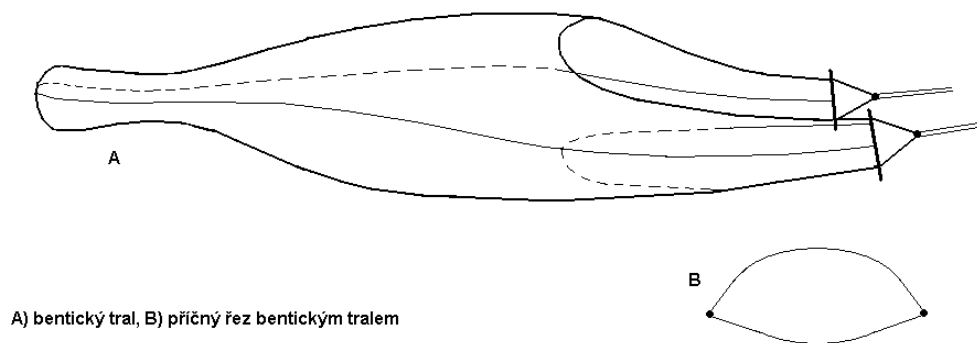


Obr. 6. Výzkumný trawler „Thor Heyerdahl“. Vodní nádrž Lipno.



A) pelagický tral, B) příčný řez ústím pelagického tralu

Obr. 7. Pelagický tral.



A) bentický tral, B) příčný řez bentickým talem

Obr. 8. Bentický tral.

2.2.2. Účinnost tralových sítí

Pokud se jedná o jakýkoliv typ lovu, měla by být zjišťována jeho efektivnost (ziskovost a ztráty) a možné ekologické dopady s ním spojené. Bez znalosti výběrovosti loveckého zařízení se vystavujeme odlovu nežádoucího vedlejšího úlovku stejně jako nevhodné regulaci lovu. Účinností tralových sítí se v oblasti sladkovodních výzkumů vědci zabývali již v 60. letech 20. stol.¹⁴, ačkoliv o výnosnost lovu se zajímali dávno před tím rybáři na moři, jejichž lov byl pro obchodní účely. Větší úlovek jim přinášel větší zisky na trhu a pokrýval náklady na drahé vybavení a úsilí vynaložené během lovecké výpravy.

Každý tral je do jisté míry selektivní (výběrový) pro určitou velikostní kategorii ryb. Například velké mořské traly s rozměrnými velikostmi ok síťoviny zadrží velké ryby, zatímco malým dovolí uniknout. Abychom mohli výběrovost nějakým způsobem měřit, je zapotřebí řádných záznamů o množství ulovených ryb, stejně jako těch, které ze sítě unikly (McClatchie, et al., 2000). V zásadě existují tři možnosti hodnocení účinnosti: 1) je-li zařízení plně neselektivní, což je ovšem možné pouze teoreticky, účinnost je 100%; 2) účinnost získaná přímým měřením (kdy víme, kolik ryb bylo v síti zadrženo a kolik uniklo); 3) relativní data založená na nepřímých metodách (jako je CPUE typická určitým zatížením chybami). Pro účinnost získávanou přímým měřením existuje několik parametrů (Gabriel, et al., 2005). Zjišťována je délka ryb, při které je právě 50 % jedinců chyceno (L_{50}). Pro její výpočet se používá faktor selektivity „ F “¹⁵. Délka ryb by měla být přímo úměrná velikosti ok koncového vaku. Vede k určení „efektivní velikosti“ mezer ok síťoviny.

O efektivitě tralů je, vzhledem k obtížnosti jejího výzkumu, jen málo známo a ne vždy je zjišťováno, kolik ryb ze sítě skutečně vyvázne. Vlivem úniku zvláště malých ryb může docházet k podhodnocení dat, na čemž se mohou podílet zařízení redukcující vedlejší úlovek (např. selektivní rošty). Ukázalo se, že je třeba úzké spolupráce sledovacích zařízení se zaznamenáváním úlovků z jednotlivých tahů¹⁶. Úlovek je značně ovlivněn ročním i denním obdobím, stratifikací vod i chováním samotných druhů (Wolter a Freyhof, 2004).

V souvislosti se selektivitou lovu měřenou nepřímými metodami nás také zajímá celková velikost rybích obsádek vodních těles, v nichž se lov uskutečňuje. Zjišťuje se výtěžnost na jednotku plochy či objemu, a pokud tyto údaje neznáme, užívá se odhad relativní jednotky CPUE („Catch Per Unit Effort“), neboli výnos lovu vztažený na vynaložené úsilí, např. na jeho

¹⁴ Odkaz na zdroj citace:

<http://www.afma.gov.au/information/publications/fishery/baps/docs/gabbkqd.htm>

¹⁵ Faktor selektivity je roven podílu délky, při níž je právě polovina ryb sítě zadržena a velikosti ok síťoviny.

¹⁶ Tahem je zde myšleno vlečení sítě objemem vody v daném časovém intervalu, po kterém následuje zatažení koncového vaku a vytažení úlovku na lodní palubu.

pracovní náklady¹⁷. Zatímco někteří autoři pracují s CPUE jako s funkcí hustoty rybích kohort či populací v dané oblasti, a je tedy podle nich možné spočítat průměrnou hustotu ryb v „trase“ tralu, jiní autoři s tímto postupem nesouhlasí¹⁸. Důvodem podle nich je, že by mělo být zohledněno rozmístění jedinců v celé nádrži, které před tralem může být nerovnoměrné. Dále argumentují tím, že některé ryby, zvláště u bentických tralů, mohou být strženy dolní žíní, „přejety“, a tudíž nezahrnuty do odhadů. Může tím dojít ke zkreslení výsledků.

Výběrovostí tralových sítí se zabývali také norští vědci Engas a Godo (1989), když během výprav v Barentsově moři a okolí Špicberk měřili účinnost bentického tralu. Předmětem výzkumu se staly tresky, u nichž bylo v rámci různých velikostních kategorií (byly zde ryby od cca 5 – 60 cm) zkoumáno, kolik ryb se chytí do tralu a kolik unikne pod jeho dolní žíní. Na dolní žíní byly připevněny tři vaky (velikost ok 4 cm) tak, aby se mezi nimi nevyskytovaly žádné mezery. Těsně nade dnem byl tral s vaky držen pomocí gumových valů dolní žíně a zátěží. Porovnáním množství ryb chycených do tralu a vaků bylo možné zjistit velikostní kategorii ryb, které tralu unikaly. Reakce ryb byly pozorovány televizními kamerami a vysokofrekvenčním sonarem. Hraniční velikost pro lov tralem byla 35 cm. Ryby menší se chytaly převážně do vaků. Z výsledků jasně vyplývá, že efektivita tralu klesala se zmenšující se velikostí ryb.

Záležitost vedlejšího úlovku se týká většiny loveckých metod a bez použití speciálních zařízení se mu dá jen stěží zabránit. Rybářské výpravy, uskutečňované zvláště za obchodními cíli, se snaží o co největší zisk druhů s tzv. „tržní hodnotou“ za současné minimalizace nákladů spojených s lovem. Soustřeďují se hlavně na druhy obchodně ceněné¹⁹, jejichž populace jsou dnes, kvůli extensivnímu lovu, silně zdecimované. V některých šelfových oblastech (Grand Banks, Georges Banks), již dosáhly kolapsu (Pauly a Watson, 2003). Celosvětový roční úlovek koncem minulého století přesáhl 100 milionů tun (Thurman a Trujillo, 2005). Během lovu je snaha získat co nejvíce jedinců obchodně cenných druhů, které označujeme jako tzv. cílený úlovek. Bohužel, s těmito druhy se obětí stávají také jedinci druhů méně ceněných, pro trh nechtěných (příliš malí jedinci, často mláďata druhů vyšších trofických úrovní, mořští savci, želvy apod.), které jako vedlejší úlovek („bycatch nebo bykill“) končí vyvrženy přes lodní paluby bez jakéhokoliv využití. Podle Safiny (1995) v roce 1990 přišlo o život 42 milionů takových živočichů. Je patrné, že se jedná se o velké plýtvání přírodními zdroji a měla by mu být věnována vysoká pozornost. Naneštěstí,

¹⁷ Odkaz na zdroj citace: http://www.nefsc.noaa.gov/techniques/tech_terms.html#cau a <http://www.fao.org/docrep/x5685e/x5685e04.htm>

¹⁸ Odkaz na zdroj citace: <http://www.afma.gov.au/information/publications/fishery/baps/docs/gabbkqd.htm>

¹⁹ Především se jedná o ryby vyšších trofických úrovní potravního řetězce, jako jsou velcí mořští dravci (tuňáci, mečouni, kranasi aj.) a jejich kořist (sardele, sardinky, makrely, sledi).

mnoho zemí dosud problém vedlejšího úlovku přehlíží (Irsko, Itálie, Francie apod.) a pokračuje v ilegálních lovech se zakázanými typy sítí. Většinou se jedná o driftující tenata velkých rozměrů (nad 2500 m) a tralové sítě. O tralech je uváděno, že dosahují až 1/3 celosvětového vedlejšího úlovku. Vedlejší úlovek tvoří na 25 % celkového celosvětového ročního úlovku a může přesáhnout rozměry úlovku cíleného.

3. CHOVÁNÍ RYB V BLÍZKOSTI TRALOVÝCH SÍTÍ

3.1. Smyslové orgány a vjemy

Rybovití obratlovci se ve vodním prostředí řídí šesti smysly, z nichž na největší vzdálenost se účastní sluch (řádově na stovky - tisíce metrů), který souvisí s vjemy registrovanými postranní čarou a zrak (řádově na desítky metrů); (Lieske a Mayers, 2005). Dalšími sensorickými orgány, které se však uplatňují na kratší vzdálenosti (řádově na desítky centimetrů) a v rámci únikových reakcí se jedná spíše o „druhořadé“ receptory, jsou hmat a chuť. U některých druhů rodu *Plotosus* je navíc vyvinut elektroreceptorový orgán, obdobný Lorenziniho ampulím paryb.

Ačkoliv je vodní médium mnohem efektivnější při přenosu zvuku a světlo se jím šíří jen omezeně, můžeme říci, že mají rybovití obratlovci zrak dobře vyvinutý a kromě sluchu či orgánu postranní čáry, patří mezi prioritní smyslové orgány (Glass a Wardle, 1989; Guthrie a Muntz, 1993). Velmi přitom závisí, v jakém „typu“ vod se ryby nacházejí. Pronikání světla vodou je ovlivňováno mnoha faktory, jako jsou průzračnost, rozpuštěné chemické látky, obsah pevných částic či vlnění hladiny způsobené eolickou činností. V rámci elektromagnetického světelného spektra nejhluběji proniká modré a zelené světlo o dlouhých vlnových délkách (400 – 600 nm); (Thurman a Trujillo, 2005). V některých částech světa (Bahamské souostroví, Ligurské moře nebo oligotrofní jezera s nízkým obsahem rozptýlených částic) proniká zbytkové světlo až do 900 m pod hladinou (Mojetta, 2005). Naopak, světlo dlouhovlnné červené či IR proniká do hloubky pouhých několika desítek centimetrů.

Obecně platí, že nejlépe vyvinutý zrak mají ryby vod s dobrou viditelností. Řadíme sem na příklad ryby korálových útesů, u nichž hraje vnímání barev důležitou roli²⁰ nebo ryby pelagické – mořské i sladkovodní (lososovití, makrelovití). Oči ryb jsou vůči tělu relativně velké, což platí do přibližně pětisetmetrové hloubkové hranice fotické zóny, oblasti, kam ještě proniká zbytkové modré a zelené světlo (lampovníkovití, síhovití). U druhů obývajících

²⁰ Odkaz na zdroj citace: <http://www.fish.state.pa.us/water/fish/senses.htm>

hluboké nebo jeskynní vody, kam již žádné světlo neproniká, je zrak většinou částečně nebo úplně redukován. Anatomie a fungování zrakového orgánu ryb se v mnohém neliší od ostatních obratlovců (Guthrie a Muntz, 1993). Rozdíl spočívá především v tom, že čočka (*lens*) je sférického tvaru a její zaostřování se děje prostřednictvím přitahování či oddalování od sítnice pomocí svalů *musculus retractor lentis*. Čočka ryb, na rozdíl od jiných obratlovců, nemění svůj tvar a má vysoký index lomu. V klidovém stavu je oko kostnatých ryb zaostřeno na dálku. Dalším patrným rozdílem ve stavbě zrakového orgánu je absence slzných žláz a očních víček²¹. U většiny kostnatých ryb, obývajících nevelké hloubky, bylo zjištěno barevné, někdy dokonce tetrachromatické, vidění. U pstruhů či karasů bylo potvrzeno také vnímání UV záření. Většina ryb dobře vidí ve tmě a to 10 x až 100 x lépe, než člověk. Podobně jako u šelem či kytovců se na sítnici pod tyčinkami a čípkami nachází tenká světločivá vrstva – *Tapetum lucidum*²², která funguje jako světelné zrcadlo. Příchozí světlo je díky němu v oční kouli odraženo a receptorovými buňkami znovu využito (Obr. 9). Touto světločivou vrstvou disponují např. okounovití (candáti), kaprovití (cejni) či sumcovití.

Zrak ryb je převážně monokulární²³ s širokým zorným polem. V horizontálním směru ryba vnímá každým okem okolí pod úhlem 165°, zatímco oblast binokulárního vidění je omezena pouze na 12° (u člověka 25°). Za dobrých podmínek viditelnosti tak ryby mohou vnímat objekty na vzdálenost 30 - 50 m. Většina kostnatých ryb má oblast maxima pro vnímání viditelného světla v 530 nm.



Obr. 9. Hejno v pelagiálu. Reflexivní vrstva *Tapetum lucidum* způsobuje „záření“ očí.

²¹ U některých druhů se nicméně setkáváme s tukovými očními víčky (čeled' Clupeidae).

²² Chemické složení *Tapeta lucida* je různé. Na příklad u cejnů je tvořeno guaninovými krystaly, zatímco u sumců melaninovými lipidy.

²³ Odkaz na zdroj citace: http://fish-guide.com/tech_pop/fish.htm

Akvatické prostředí je velmi hlučné a zvuk, jako hlavní komunikační prostředek většiny vodních živočichů, se v něm šíří až pětkrát rychleji ($1450 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), než je tomu ve vzduchu (Simmonds a MacLennan, 2005). Mnohdy bývá prvním ze smyslů, který ryby upozorní na kořist nebo možné nebezpečí. Ze všech senzorů se uplatňuje na největší vzdálenost a také velmi souvisí s únikovým chováním ryb před tralovými sítěmi.

Na rozdíl od ostatních obratlovců má sluchový orgán ryb jednodušší anatomickou stavbu, zejména chybí vnější i střední ucho. Vnitřní ucho (*auris interna*) ryb se nachází uvnitř lebky na úrovni středního mozku (*mezenkephalon*) a je tvořeno třemi polokruhovými chodbami²⁴. Každé ucho navíc obsahuje tři kulovité váčky (*sacculus*, *utricle* a *lagena*), které ústí do polokruhových chodeb a tvoří s nimi statoakustický²⁵ orgán (Hawkins, 1993). V každém váčku se nachází zrno anorganické sloučeniny - uhličitanu vápenatého – tzv. otolit, který je usazen v těsné blízkosti receptorových vlásenkových buněk. Z vlásenkových buněk vyčnívá na „otolitové“ straně několik stereocilií, výběžků různých velikostí (nejvyšším je kinetocilium), které reagují na mechanické podráždění otolitem a jsou základem pro předávání zvukových impulsů vlásenkovým buňkám²⁶. Od nich je informace vedena do mozku sluchovým nervem. Zvuk, který k rybě dorazí ve formě tlakové vlny, způsobí pohyb stereocilií určitým směrem (polarizace buněk je při tom ve všech prostorech polokružních chodeb shodná). Zatímco u vyšších obratlovců bývají značné rozdíly ve frekvencích, na které jsou jednotlivé buňky „laděny“ (některé buňky vnímají nízké, jiné naopak vysoké frekvence), u ryb se setkáváme s rozpětím užším.

Kromě samotných uší se na vedení zvuku podílí také „přídavné“ anatomické systémy, jako jsou kůstky Weberova aparátu²⁷ nebo plynový měchýř. Plynový měchýř má funkci zesilovače a transduceru přijímaného signálu. Plynový měchýř převádí tlakovou vlnu na vibrace. Ryby, které jej mají umístěn v těsné blízkosti uší, jsou citlivější vůči přijímaným signálům (Kudryavtzev a Timin, 1996), a tudíž i lépe slyší. Vnímají zvuky o vyšších frekvencích²⁸. Druhy, u nichž je plynový měchýř redukován či zcela chybí, reagují především na nízké frekvence (kambalovití, vrankovití). Vnímané zvukové frekvence se liší. Pohybují se v rozmezí od 30 Hz (lososovití) do 2000 Hz (trnobříší). Zdá se však, že v prostředí o vysokých rychlostech šíření zvuku ryby nedokážou přesně rozpoznat, k jakému uchu se signál dostal dříve (Hawkins, 1993). Vzhledem k tomu, že jsou obě uši blízko sebe a jen

²⁴ U některých druhů jako jsou sledi, může být vnitřní ucho propojeno s vnějším prostředím tzv. lymfatickým kanálem (*ductus lymphaticus*).

²⁵ Otolity se kromě sluchu podílí na vnímání zemské gravitace.

²⁶ Odkaz na zdroj citace: www.earthlife.net/fish/hearing.html

²⁷ Jedná se o systém kůstek, které propojují vnitřní ucho s plynovým měchýřem, čímž je zefektivněn přenos vibrací. Vznikl modifikací částí prvních obratlů.

²⁸ U některých druhů (*Alosa pseudoherengus*) byla zjištěna horní prahová hodnota pro vnímané frekvence až 133 kHz a intenzitě 163 dB.

málo odizolované, ryby pravděpodobně slyší zvuk, jako kdyby pro něj měly jediný receptor. Nicméně, někteří autoři přesto uvádí, že určité skupiny (zvláště paryby či sledovítí) směr, odkud se zvuk šíří, určit dokáží (Simmonds a MacLennan, 2005).

Sluchové schopnosti ryb byly zkoumány u mořských i sladkovodních druhů. Dobře známé jsou u tresek, hlaváčů či sledů. K zajímavým výsledkům přispěli také rakouští vědci, kteří zkoumali vliv okolního hluku u sladkovodních ryb (Amoser a Ladich, 2005). Ryby lze podle sluchových schopností rozdělit na „specialisty“²⁹ a „generalisty“. Zatímco první skupina (např. sumcovití, kaprovití) zachycuje tlakovou složku zvuku v širších frekvencích, ale nižších intenzitách, skupina generalistů (např. okounovití, lososovití) reaguje na pohyb částic, generujících zvuky nižších frekvencí. V laboratorních podmínkách byly vybraným zástupcům obou skupin - okoun říční (*Perca fluviatilis*) a kapr obecný (*Cyprinus caprio*), přehrávány zvuky z tichých a hlučných prostředí (např. zvuky ze stojatých a tekoucích vod). Kapři, v přírodě žijící v málo hlučném prostředí, silně reagovali na hluk během přehrávání. Okouni, naproti tomu, v přírodě se pohybující v prostředí hlučném, nebyli přehrávanými zvuky téměř ovlivněni.

Dalším ze smyslů, který se důležitě podílí při únikových reakcích, je proudový orgán. Postranní čára (*Linea lateralis*) ryb je systém podkožních kanálků, které vytvářejí dvě hlavní linie po stranách těla (Lieske a Myers, 2005; Bleckmann, 1993). Směřuje od očí a tlamy k bázi ocasní ploutve. Doplňuje funkci sluchu a slouží jako „daleko-hmatný“ orgán. Ryby jím vnímají tlak a rychlost proudění. Kanálky spojují vnější prostředí se sensorickými buňkami (neuromasty), opatřenými řasinkovými ciliemi, které jsou kryty gelovou čepičkou (cupula). K nim je vodou veden signál ve formě vibrací, který dále směruje do mozku inervovanými neuromasty. Proudový orgán je nejcitlivější vůči nízkofrekvenčním zvukům. Aktivní je na vzdálenost okolo 150 m.

3.2. Klidové a únikové reakce

Chováním ryb před tralovými sítěmi se zabývali mnozí autoři, avšak pouze někteří z nich se pokusili o únikových reakcích vytvořit ucelený přehled (Kim a Wardle, 2003). Je to vlivem sledování různých druhů za odlišných podmínek prostředí a dostupné techniky. Většina studií, jakkoliv, vychází z mořských rybářských výprav (vody Norska, Chile, Německa či Ruska) uskutečněných v rámci průmyslově lovených druhů (sledí, makrely, sardele, tresky aj.); (Ryer, 2008; Gerlotto, et al., 2004; Ona a Godø, 1990). Jen málo je dosud známo o únikových reakcích sladkovodních ryb (Draštík a Kubečka, 2005).

²⁹ Sluchové schopnosti specialistů podporují přídatné systémy, jako jsou plynové měchýře či kůstky Webberova aparátu.

Porozumět celkovému komplexu chování, na němž se podílí mnoho minoritních typů reakcí, je obtížné, zejména kvůli omezeným možnostem přímých pozorování (Walsh a Godø, 2003). Tralování je většinou provozováno pod hloubkovou hranicí 50 m (platí především na moři), a tak je zapotřebí nejrůznějšího technického vybavení. V této souvislosti se velmi účinnými nástroji staly sonary a kamerová zařízení (vybavené VIS nebo UV světlem), v širším významu označované jako pasivní sledovací metody.

Ryby, které se pohybují v dosahu tralových sítí, vykazují dva typy reakcí. Buďto na zařízení nereagují vůbec a jedná se o klidové reakce, nebo se ryby síti snaží vyhnout. Ryby unikající tralu vykazují rozmanité reakce, o nichž pojednávají následující kapitoly.

3.2.1. Chování ryb před ústím tralové sítě

Pozorované reakce ryb, pohybujících se před ústím tralové sítě, se u různých druhů liší a je téměř nemožné získat jejich univerzální model (Gerlotto, et al., 2004). Závisí přitom na mnohých vedlejších faktorech, které reakce ovlivňují (průhlednost a hloubka vody, typ substrátu, okolní teplota aj.). Rozdíly najdeme i v rámci jednoho druhu, které mohou záviset na denní době (aktivita zvířat), věkovém složení skupiny, období rozmnožování, stejně jako rychlosti dosažené během tralování (Suuronen, et al., 1997). Přesto však lze vysledovat určitý společný „vzorec“ chování a tím jsou reakce vyvolané na sluchový či zrakový podnět. Před tím, než se ryby dostanou do blízkosti tralovacího zařízení, uslyší³⁰ hluk lodních motorů a to až na vzdálenost 2000 m (Ona a Godø, 1990). Za dobré denní viditelnosti okolní vody uvidí siluety lodí na 40 m. V noci, ve velké hloubce či ve vodách s nízkou průhledností, tytéž ryby spatří objekt, až když se k nim přiblíží na vzdálenost několika málo desítek centimetrů. Zvuk však, zdá se, není prioritním signálem k úniku (Glass a Wardle, 1989). Reakce je vyvolána až v souvislosti s optickým vjemem. Závisí tedy, kdy ryby blížící se síť poprvé spatří. Poté dochází ke dvěma typům reakcí (Kim a Wardle, 2003). Nejprve se jedná o tzv. optomotorickou reakci, kdy se ryby shluknou před ústím sítě a plavou³¹ ve směru a rychlosti tahu lodě. Tento typ reakce je koordinovaný. Je možné předvídat směr či rychlost plavání zvířat. Druhým typem reakcí jsou tzv. eratické reakce, které jsou nekoordinované, individuálně závislé, a tudíž nepředvídatelné. Optomotorické reakce mohou být následovány eratickým chováním, dostanou-li se ryby do prostoru sítě.

³⁰ Běžný sluchový rozsah ryb je 300 – 1000 Hz. U tresek může být horní práh slyšitelnosti až 2000 Hz, což je frekvence, na níž operují mnohé sonary.

³¹ Pro srovnání s rychlostí tahu sítě, klidové tempo makrel obecných (*Scomber scombrus*) je okolo 1,15 m.s⁻¹.

3.2.2. Únik síťovinou tralu

Na spouštěcích procesech, které podmiňují únikové reakce, se také podílí zbarvení sítě a jejích součástí (bóje, zátěže, žíně apod.). Velmi závisí na kontrastu tralovacího zařízení s okolím (Kim a Wardle, 1998). Ryby obecně dobře vnímají kontrastní zbarvení. U některých částí, např. jednotlivých panelů sítě včetně jejího koncového vaku (kam se shromažďují chycené ryby), je zapotřebí, aby tralovací zařízení působilo co nejméně rušivým vlivem. Mělo by vykazovat nepatrný kontrast vůči okolní vodě. Z tohoto důvodu se často užívá oranžového nebo zeleného zbarvení, které se ve 20m hloubce i za dobré viditelnosti jeví jako zeleno-šedé. Ryby tak na pozadí modro zeleného vodního sloupce síť téměř nevidí (Wardle, 1993). Naproti tomu, užitím červeného odstínu, se bude rybám za stejných světelných podmínek síť jevit jako černá. Kontrast vzroste. Zároveň je vhodné, aby některé části sítě, jako jsou dveře tralu (rozpěrné desky) nebo spojovací lana, kontrastní byly, čehož je dosaženo černo - bílým zbarvením. Účelem toho je zlepšení „naháněcího“ efektu před ústím sítě. Je zajímavé pozorovat jednotný úhybný manévr např. před stabilizační deskou. Ryby, vyhýbající se objektu, který se pohybuje a byl již zviřatý spatřen, jej pozorují minimálně jedním okem pod úhlem cca 155°. Za překážkou se opět shluknou do původní formace. Tento manévr je považován za automatický a označuje se jako „fountain“. Byl také pozorován v souvislosti s antipredačním chováním (Fréon, et al., 1993). Z těchto důvodů by výrobci sítí měli na zbarvení tralovacího zařízení brát dostatečný ohled.

Únikovými reakcemi ryb ve vztahu k síťovině se ve své práci zabývali Glass a Wardle (1995a). Výzkum se odehrával v laboratorním prostředí nádrže (10 m x 5,4 m x 0,9 m). Ryby, v tomto případě 83 makrel obecných (*Scomber scombrus*), byly testovány, jak se zachovají při průchodu „makety“ sítě umístěné v nádrži. Tato maketa měla tvar širokého trychtýře s velikostí ok síťoviny 200 x 200 mm. Po přivyknutí divokých makrel na podmínky v zajetí byly vytvořeny tři modelové situace. V prvním případě mohly ryby trychtýřem volně proplout. V druhém případě byl užší konec trychtýře blokován síťovinou a během případu třetího byl za užší část trychtýře umístěn krátký průchozí černý tunel o délce 80cm. Ryby byly pomocí naučených světelných signálů lákány na potravu tak, aby proplouvaly po obvodu nádrže a dostaly se do kontaktu s trychtýřem. Reakce hejna makrel byly snímány kamerou. Pokusy ukázaly, že pokud měly ryby možnost průchodu samotným trychtýřem, 92 % ryb jím proplulo a drželo se v co největší vzdálenosti od síťoviny „stěny“ trychtýře. Pokud byl i průchod zablokován síťovinou, ryby proplouvaly stěnami trychtýře. Velmi zajímavých výsledků bylo docíleno při pokusech s tmavým tunelem, kterým ryby odmítaly proplout, třebaže skrze něj bylo dobře vidět a světelné podmínky pod vodou byly vyhovující (viditelnost 6 - 7 m). Ryby i přesto preferovaly menší oka síťoviny trychtýře, oproti značně širšímu otvoru tmavého tunelu (rozměry ústí 600 x 900 mm).

Ukázalo se, že tunel na ryby působí jako silný optický stimulus, při němž hraje roli kontrast tmavého průchodu tunelu s o mnoho světlejším obvodem (kovový rám tunelu). Rybám se tunel jeví jako černý terč na pozadí světlého prstence, což patrně vnímají jako otevřenou „tlamu“ predátora. V rámci tohoto „antipredačního“ typu chování se snaží tunelu vyhnout. Během pokusů s černým tunelem v terénu byly prokázány podobné reakce, jako u ryb v zajetí (Glass a Wardle, 1995a). Ať byl umístěn do jakékoliv polohy před koncovým vakem, ryby se snažily co nejdéle plavat rychlostí tahu nebo unikaly síťovinou tralových panelů.

3.2.3. Hejnové a individuální reakce

Z dalších faktorů, silně ovlivňujících chování v blízkosti tralu, je hejnové chování. Bylo prokázáno (Pitcher a Parrish, 1993; Wardle, 1993), že ryby vyskytující se v hejnech (většina pelagických mořských druhů), vykazují v ústí tralu koordinované - optomotorické reakce a méně stresu vůči neznámým objektům. Je však nutné poznamenat, že ryby jsou vůči cizím předmětům nedůvěřivé a ostražitě. Hejno jako celek jedná, na rozdíl od jednotlivců, „reaktivněji“ (Gerlotto, et al., 2004). Určitou dobu trvá, než na cizí objekt přivyknou. Pokud by se jedna z ryb otočila proti směru plavby a nechala se sítí pohltit, následovalo by tuto rybu celé hejno. Jedinci, plující jednotlivě nebo v párech, nejprve rovněž vykazují optomotorické reakce (Kim a Wardle, 2003). V těsné blízkosti sítě (popř. jejích součástí) a zvláště pokud ji uviděly na poslední chvíli, se snaží překážce vyhnout. Projevují eratické - „chaotické“ chování, kdy nejprve prudkými klouzavými pohyby křížují oblast ústí sítě a poté se snaží uniknout, u bentických druhů zvláště podplaváním sítě (Ryer, 2008). Souvislosti hejnového chování, zrakových vjemů s reakcemi před ústím tralu zkoumali vědci během denních a nočních výzkumů makrelovitých a treskovitých ryb nedaleko Orknejí. Hejna byla monitorována pomocí dálkově ovládaných TV kamer tažených za lodí v různých světelných podmínkách (Glass a Wardle, 1989). Bylo prokázáno, že při intenzitách nižších, než je 10^{-5} lx, se tyto ryby nejsou schopny držet v hejnu³². Na blížící se tral nijak nereagovaly a často se jím nechaly pohltit, ačkoliv jej dávno předtím slyšely. Během dne bylo množství ulovených ryb menší.

Mořské pelagické ryby jsou zřejmě více hejnové, než ryby řek a sladkovodních rezervoárů (Obr. 10). Při studiu sardelí a sardinek ve vodách Chille byla pozorována tato hejna při vertikálních i horizontálních únikových reakcích. Zjistilo se (Gerlotto, et al., 2004), že s „úhybnými manévry“ také souvisí celkový tvar – formace hejna. Ryby byly monitorovány dvěma typy sonarů (38 kHz a 455 kHz). Když se živočichové vyhýbali překážce, hejno

³² Shlukování do hejn je především vizuálně podmíněno.

nabylo podélného tvaru. Bylo přibližně 10x delší v horizontálním směru (mělo až 100 m), oproti svému průměru. V tomto případě byly ryby pozorovatelné i z lodi. Hejno se drželo nedaleko hladiny. Za klidových podmínek hejno vykazovalo tvar opačný. Bylo „delší“ ve vertikálním směru. Hustota jedinců se však neměnila. Pozorování bylo vyhodnoceno prostřednictvím dvourozměrného a trojrozměrného echogramu, z nichž druhý z nich podal přesnější údaje o aktuálních tvarech hejna. Ani v jednom případě však nebylo možné přesně rozlišit druhy. Kromě změny formace vědci pozorovali zřetelné vertikální úhybné reakce, kdy se ryby vyhýbaly lodi již z 10m vzdálenosti. Horizontální úhybné manévry se nevyskytovaly.

S jiným typem reakcí se setkáváme u bentických ryb (platýsi, kambaly), jejichž úniková strategie před živými i neživými objekty se liší od pelagických druhů a souvisí s antipredačním - „kamouflážním“ chováním (Ryer, 2008). Stejně jako v případě živých objektů, se platýsi a kambaly, snaží ukryt na dně³³. Využívají svých maskovacích schopností, které mohou v závislosti na zbarvení podkladu měnit. Tyto ryby, i za dobrých světelných podmínek během dne, reagovaly na bentický tral ve vzdálenostech kratších, než je 1 m. Pro efektivní lov bentických ryb, je vhodné se soustředit na poněkud jiné součásti sítě, než je tomu v případě lovu druhů pelagických (Wardle, 1993). Více než na „naháněcí“ efekt předních oddílů sítě, které dají optický signál ke shluknutí hejna před ústím tralu, zareagují bentické ryby až na následující součásti, jako jsou spojovací lana stabilizačních desek s tralem, tzv. „sweeps“.



Obr. 10. Koordinované hejno sardelí peruánských (*Engraulis ringens*).

³³ S tímto typem chování jsem se osobně setkala u středomořských kambal (Bothidae) v Jónském i Egejském moři během pozorování živočichů písčitého dna (v hloubkách od 3 - 7 m). Kambaly dodržovaly minimální únikovou vzdálenost cca 0,5 m a někdy reagovaly až po fyzickém kontaktu s nimi.

3.2.4. Pohlcení tralem

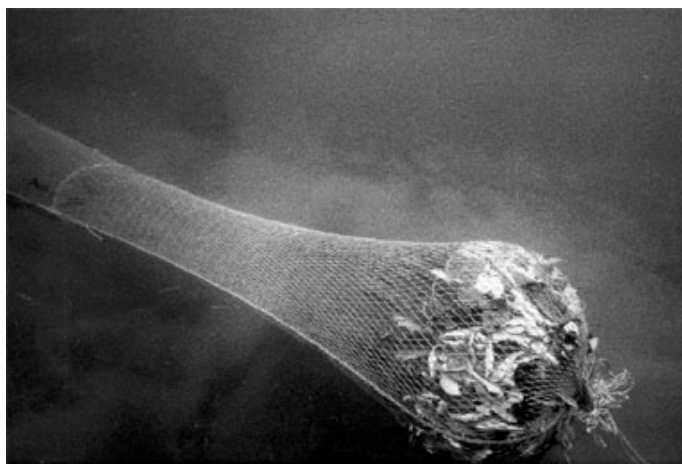
Velké ryby (>40 cm) vydrží s lodí plavat po dobu 0,5 – 1 h, zatímco malé ryby pouze několik minut. Aby 1 m dlouhý jedinec vydržel plavat rychlostí 2 m.s⁻¹, musí vyvinout 3 úderů ocasní ploutve za vteřinu. Malé ryby na tutéž rychlost musí úderů vyvinout 29 (Wardle, 1993). Důsledkem toho se malé ryby brzy vyčerpají a jsou obvykle pohlceny sítí. Rybovití obratlovci jsou, až na málo výjimek³⁴, ektotermní (studenokrevní) živočichové, neschopní udržovat vlastní tělesnou teplotu, a tudíž ani ve vyšší míře zahřívát svalovinu při pohybu (Thurman a Trujillo, 2005). Jejich svalstvo snadno podléhá kyslíkovému dluhu, což vede k brzkému vyčerpání organismu. Rybám může trvat obnovení glykogenu ve svalech až 24 h. Svalová činnost velmi závisí na teplotě okolní vody. V teplejší vodě je ryba schopna vyvinout vyšší rychlost a tím i rychleji zareagovat.

Každá síť je navrhována tak, aby splňovala určité požadavky lovu (Glass a Wardle, 1995b). Traly mají ryby především nahánět před ústí pomocí optických podnětů, které jsou rybám vydávány prostřednictvím stabilizačních zátěžových desek, lan a bočních prodloužených ramen ústí sítě (viz výše). Ryby vyčerpané plaváním se nechají pohltit koncovým vakem sítě, ze kterého mohou za určitých podmínek vyváznout pouze menší jedinci. V tomto koncovém vaku, který mívá, oproti jiným částem tralu, menší velikost ok, navíc dochází ke vzniku silných turbulentních proudů, což rybám zabraňuje v návratu.

Jako invazivní metoda výzkumu s sebou tralování přináší pro ryby jisté riziko úmrtí. Většina studií, týkajících se mortality v tralových sítích, pochází z laboratorních prostředí (Glass a Wardle, 1995b). Údajů, pořízených v terénu, je relativně málo. Výzkumy, uskutečňované v přírodě, zahrnují jen některé druhy ryb (Suuronen, 2005). Omezují se většinou na vliv koncového vaku, aniž by se více soustřeďovaly na další možné efekty, které mohou nastat (Obr. 11). Mortalita velmi závisí na velikosti i druhu ryb a nemusí k ní docházet bezprostředně po lovu (Ryer, et al., 2004). Mnohé ryby umírají až několik dní po kontaktu se sítí, vlivem fyziologického stresu či vnějších zranění. Zatímco u tresek (*Pollachius virens*, *P. pollachius*) či platýsů (*Limanda ferruginea*, *Pseudopleuronectes americanus*) se úmrtnost po střetu s traly (velikost ok 100 x 100 mm) pohybuje okolo 15%, u sledů může za stejných podmínek dosáhnout 70%. U lososovitých ryb bývá podstatně vyšší. Záleží však na mnohých okolnostech a nelze proto stanovit obecný závěr. Z řady faktorů, které souvisí s mortalitou, je možné jmenovat např. velikost a tvar ok síťoviny, rychlost a hloubku tahu, změny teplot, viditelnost v dané hloubce, velikost, stáří ryb aj. (Suuronen, 2005). Kontroverzní jsou i názory na „ochranná“ opatření tralů, jako jsou přídatné

³⁴ Výjimkou jsou např. tuňáci, kteří jsou heterotermní. Mají odlišná fyziologická přizpůsobení krevního oběhu. Díky přítomnosti myoglobinu ve svalech a protiproudovému tepelnému výměníku cévního systému dokážou udržovat tělesnou teplotu až o 11 °C vyšší, než je teplota okolní vody. Patří mezi nejrychlejší pelagické dravce.

selektivní rošty, umístované před koncový vak. Měly by zabránit rybám o určité velikosti, aby byly uloveny, ale na druhou stranu způsobují zranění větším jedincům, kteří v roštech snadno uváznou. Shoda údajů nicméně panuje v souvislosti s tvarem ok síťoviny. Zatímco oka čtvercového tvaru neztrácejí selektivitu během tahu, oka kosočtverečná se při vyšší rychlosti smrští a malým rybám znemožní únik. K největším zraněním dochází patrně v koncových vacích tralů (Main a Sangster, 1990). Ryby, kterým se podaří uniknout, mívají četná kožní zranění (kontakt s nylonovými oky, jedinci ostatních druhů). Často přicházejí o ochrannou vrstvu pokožky. Takoví jedinci snáze podlehnou druhotným infekčním onemocněním, jako jsou bakteriální či plísňové nákazy.



Obr. 11. Koncový sběrný vak („codend“) s rybami

3.2.5. Mortalita a stres ryb způsobený lovem do tralových sítí

Trawling, zaměřený na lov síhovitých ryb, je ve Finsku provozován od roku 1980 a má značný komerční význam (Turunen, et. al., 1993). Dnes ve finských jezerech loví více než 100 rybářských společností. Roční příjem, na příkladu jezera Pyhäselkä, se pohybuje okolo 25000 amerických dolarů. Maximalní roční výnos dosahuje 150 – 250 t ryb.

Mortalitou sladkovodních ryb v tralových sítích se zabýval finský vědecký tým z Výzkumného Institutu pro Rybářství, když v letech 1989-1994 uskutečnil trawling v jezeře Pyhäselkä (246 km²) v jihovýchodním Finsku (Jurvelius, et al., 2000). Jezero má průměrnou hloubku 10 m (max. 70 m) a je domovem 24 druhů ryb. Dominujícími druhy jsou síhové (*Coregonus albula*, *C. marena*), štiky obecné (*Esox lucius*) a okouni říční (*Perca fluviatilis*). Vědci se zabývali vlivem pelagického a v jednom případě také bentického tralu na vedlejší úlovek dravých ryb následujících druhů: pstruzi obecní potoční (*Salmo trutta m. fario*), lososi obecní (*Salmo salar*) a candáti obecní (*Stizostedion lucioperca*). Po každém z 23 tahů byly

ryby vedlejšího úlovku přendány do „zotavovacích“ nádrží s jezerní vodou. Ryby v nich byly ponechány jeden týden, mrtvé exempláře byly počítány v průběhu celého týdne. Z výsledků vyplývá, že mortalita velmi závisí na druhu ryb. Během obou typů tralování bylo v roce 1994 chyceno 214 ryb a o život přišlo 5 % ryb. Úmrtnost se zvyšovala v následujících dnech a největší byla u lososa. Tento druh umíral ve 100 % případů. Ze 119 ryb držených v nádržích nejlépe přežívali candáti a pstruzi, jejichž úmrtnost dosahovala 14 % v případě pstruhů. U candáta záviselo také na typu tralu. Candáti v nádržích, původně chyceni do bentického tralu, umírali ve vyšší míře (47 %), oproti jedincům z tralu pelagického (4 %), což je ovlivněno hloubkou lovu. Většina ryb měřila pod 40 cm, tedy méně, než je povolená lovná délka.

Obdobné výsledky byly získány, za použití odlišných metod, v oblasti severní Karélie, kde byl stres způsobený pelagickým tralováním a nevodem měřen biochemickými metodami (Turunen, et al., 1993). Po odlovu 115 exemplářů pstruhů obecných (*Salmo trutta*) jim byla měřena hladina glukózy, laktátu a chloridových iontů v krvi. Koncentrace těchto látek vypovídá o míře stresu, kterému jsou ryby vystaveny. Stanovení látek proběhlo v laboratorních podmínkách. Jako referenční hodnota byla použita krev pstruhů z chovných nádrží, kteří byli vystaveni minimálnímu stresu. U ryb z nádrže byla koncentrace laktátu asi 9x nižší (cca 6 mg% v průměru), než u lovených jedinců (52,5 mg% v průměru). Po porovnání koncentrací ryb lovených a nelovených je patrné, že tralování působí rybám značný stres.

3.3. Z výzkumů únikových reakcí mořských a sladkovodních ryb

Rozmanitost únikových reakcí zaznamenali během výzkumu také finští vědci, když studovali chování baltických a atlantských sledů v blízkosti pelagického tralu (Surrönen et al., 1996). Podobně jako studie Glasse a Wardla (1988), i oni zjistili patrné rozdíly v množství ulovených ryb během noci a dne. Diverzita únikových reakcí nesouvisela pouze s denní dobou, ale také s velikostí ryb, teplotou vody a oblastí výskytu. Během dne byly únikové reakce silnější. Úniková vzdálenost baltických sledů, kteří se zdržovali v menších hejnech a měli menší velikost (<12 cm), byla relativně malá (cca 5 m). Sledí atlantští, až 20 cm dlouzí, se zdržovali ve větších hejnech a na tralovací zařízení reagovali ze 30 m vzdálenosti. Kromě optických podnětů reagovali na zvuk. Větší ryby se pohybovaly rychlostí a směrem tralování, menší jedinci se snažili sítí uniknout různými směry. Byli pozorováni, jak prchají oky síťoviny horního panelu a přicházejí při tom o šupiny. Větší sledi se snáze nechali chytit. Během výzkumu byly použity sonary o frekvencích 192 kHz („X 16“) a 50 kHz včetně videokamer. Člun, který byl sonarem vybaven, se pohyboval v oblasti mezi dvěma trawlerý a sítí. Soustřeďoval se na oblast ústí tralu. Celkově bylo během 40 výprav, z nichž jedna

trvala až 5 h (průměrná rychlost tahu byla 3 uzly), pořízeno na 1134 echogramových záznamů. Hloubka, v níž se lov odehrával, byla až 35 m během dne, v noci maximálně 20 m. Studie ukazuje, že únikové reakce jsou ovlivněny velikostí hejn i jedinců.

Sonarové techniky přispívají k výzkumu jezer, řek a sladkovodních nádrží ve střední Evropě (Neusiedl, Bigge, Henne, Balaton aj.), Severní Americe či Asii. O únikových reakcích ryb našich zeměpisných šířek je málo známo (Draštík a Kubečka, 2005) a jejich výzkum, pomocí tralování, se u nás v současnosti nově vyvíjí. Ryby zdejších vod jsou spíše soliterní, s výraznou změnou mezi denní a noční aktivitou, která se navíc může u dospělých a mladých jedinců lišit (Jůza a Kubečka, 2007). Rozdíly také závisí na teplotní a kyslíkové stratifikaci vodních vrstev během roku i světelných podmínkách, které nejsou ve vnitrozemských vodách příliš kvalitní (u mezo a eutrofních nádrží může být viditelnost pod vodou omezena na několik desítek centimetrů).

V České republice jsou ryby pomocí tralování studovány v údolních nádržích, z nichž mnohé slouží jako rezervoáry pitné vody (Želivka, Římov, Nýrsko). Jiné jsou využívány pro rekreační účely (Slapy, Orlík, Lipno), nebo se jedná o zatopené uhelné doly (Chabařovice); (Draštík, et al., 2009). Nejnovější studie ukazují, že ryby jsou v nádržích nerovnoměrně rozptýleny, a to nejen v rámci hloubky, ale také co do jednotlivých oddílů nádrže (přítok, slepá ramena, hráz). Výskyt ryb je ovlivněn i charakterem pobřeží (strmost, typ substrátu aj.). Výzkumy prováděné s plůdkovým tralem³⁵ na Lipně, Želivce a Slapech potvrdily úhybné manévry větších jedinců (druhů candát, okoun, ouklej, cejn a plotice); (Obr. 12, 13, 14) stejně jako omezené schopnosti ryb vnímat síť za tmy. Mezi další faktory, ovlivňující chování, patří hluk lodi, velikost ok sítoviny a rozměry ústí tralu. Prostorová distribuce ryb údolních nádrží se silně mění během dne a noci (Jůza a Kubečka, 2007). Zatímco během dne se v pelagiálu ryby zdržují ve větších shlucích (okouni, kapři, cejni, plotice) v noci mnoho ryb prostor volné vody opouští a směřuje do litorálu. Ryby se soumráchnou až noční aktivitou (candáti, sumci, ježdíci) se naopak přemísťují dále od břehu a noc tráví víceméně jednotlivě rozptýleny, což dokládá např. rozdílné množství chycených mladých (0⁺) candátů³⁶ během nocí a dnů v pozdním létě roku 2003. Zatímco ve dne bylo plůdkovým tralem chyceno 70 jedinců během 30 sezonních tahů, v noci počet vzrostl na 1173 během 24 uskutečněných sezonních tahů. Úlovek byl ovlivněn rozdílnou viditelností pod vodou během 24 h. Světlo, jako důležitý podnět, dokládá Glass, et al. (1995), podle něhož se podobně chovají bezobratlí zooplanktonní živočichové i přes to, že jejich schopnosti vyhýbat se cizím objektům jsou, oproti obratlovcům, podstatně snižené. V rámci úhybných manévrů, popisovaných Jůzou a

³⁵ Jedná se o speciálně upravený tral s rámcovým ústím a drobnějšími oky sítoviny pro vzorkování rybího plůdku.

³⁶ Označení „0⁺“ znamená, že se jedná o mláďata v sezóně ulovená toho roku, kdy se ryby vylíhly. Ryby ještě nedovršily prvního roku života.

Kubečkou (2007), docházelo k horizontálnímu vyhýbání zvláště u starších a větších ryb (snáze předstihly síť) během dne, zatímco během noci se úhybné manévry vyskytovaly v menší míře. Vertikální únikové reakce nebyly zaznamenány, což souvisí s rozmístěním termokliny (ryby se zdržovaly nad ní) i s obtížným určováním úhybných manévru drobného plůdku. Faktu, že se plůdek během noci nikam nepresouval, nasvědčuje také vyrovnané složení úlovku v tralech o různé šířce ústí.

Podle některých podrobnějších údajů (Prchalová, et al., 2010) ryby našich nádrží mají dva vrcholy nejvyšší aktivity během 24 h cyklu. První nastává obvykle za nebo těsně před ranním svítáním (cca od 4:30 h do 9 h), zatímco druhý následuje na večer a vrcholí v době stmívání (cca od 18 h do 21:30 h). Výzkumy prováděné v letních měsících³⁷ nasvědčují tomu, že jsou ryby v menších shlucích nerovnoměrně rozptýleny v pelagiálu epilimnia během dne. Převažují zástupci čeledi kaprovitých a okounovitých ryb. V noci se mnoho druhů přesouvá blíže k pobřeží (cejni, plotice, candáti), podobně jako v případě řek. Ryby se účastnily horizontálních přesunů (Draštík, et al., 2009), zatímco vertikální migrace nebyla pozorována, na čemž se může podílet právě teplotní a kyslíková stratifikace. Během léta (červen - říjen) se termoklina našich údolních nádrží ustaluje ve 3 – 4m hloubce (ve dvoumetrové hloubce se množství rozpuštěného kyslíku pohybuje okolo 8 mg.l⁻¹, zatímco 12m hloubce odpovídají hodnoty přibližně čtyřikrát nižší).



Obr. 12. Cejn velký (*Abramis brama*) je běžnýmobyvatelem sladkovodních nádrží.

³⁷ Výzkumy jsou prováděny především v létě, kdy již skončila reprodukční sezóna mnohých druhů. K nejvyšší aktivitě ryb našich vod dochází v jarních a letních měsících.



Obr. 13. Do čeledi kaprovitých ryb (*Cyprinidae*) patří také bolen dravý (*Aspius aspius*).



Obr. 14. Pstruh obecný (*Salmo trutta*).

4. ZÁKLADNÍ FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ REAKCE RYB NA TRALOVÉ SÍTĚ

Mnoho biotických i abiotických faktorů ovlivňuje chování ryb během únikových reakcí před tralovými sítěmi. Málokdy jsou však tyto faktory cíleným předmětem výzkumů. Častěji se o nich dovídáme v rámci minoritních částí, které studium doprovázejí.

4.1. Abiotické faktory

Teplota a tlak vody patří mezi hlavní fyzikální faktory, ovlivňující fyziologii ryb. Ryby jsou ve většině případů poikiloternní živočichové, neschopní udržet konstantní tělesnou teplotu nezávislou na okolním prostředí (Thurman a Trujillo, 2002). Z hlediska tolerance teplotních rozdílů rozlišujeme ryby stenoternní, snášející jen úzké teplotní výkyvy a ryby eurytermní,

kteře tolerují vyšší teplotní gradient³⁸. Eurytermové mívají širší areál výskytu. Většinou se jedná o druhy, které migrují (denně, sezónně). Únikové schopnosti ryb závisí také na svalové aktivitě. Při tralování ve hlubokých chladných vodách mají ryby omezené možnosti úniku před sítí. Pomaleji reagují a před tralem dokáží plavat krátkou dobu (Suronnen, 1995). V neposlední řadě, na ryby chycené tralem během vyzdvihování k hladině z hloubky až desítek metrů (v případě mořských tralů i více než 100m), působí silný teplotní (např. sledi vystavení teplotám vyšším 16 °C hynou) a tlakový rozdíl. V hloubce 100 m působí na ryby tlak okolní vody o velikosti cca 1000 kPa (10 atm). Vyzvednutím ryb k hladině se tlak přibližně desetinásobně zmenší, což živočichům způsobí barotrauma. V důsledku prudkého rozpínání plynu dochází k poškození vzduchem plněných tělních dutin. Ryby umírají dřívě, než se dostanou na lodní palubu.

Jak již bylo řečeno, světlo je předním stimulem, na který ryby při úniku reagují. Světelné podmínky závisí na typu vodního prostředí, stejně jako na hloubce (Thurman a Trujillo, 2005), denním období či druhu substrátu, nad kterým tralování probíhá (různá míra světelné odrazivosti – bahnité tmavé dno vs. světlé vápencové podloží). Mírou pronikání světla pod vodní hladinou je průhlednost³⁹ (Hrbáček et al. 1974), závislá na obsahu rozpuštěných látek, turbiditě prostředí (pevné částice, planktonní organismy). Pohybuje se od několika centimetrů (mezotrofní až hypertrofní jezera, nádrže kalné řeky) po desítky až stovky metrů v čistých oligotrofních vodách s nízkou turbiditou.

Doba a rychlost tahu by se měly pohybovat v určitých mezích. Závisí na výkonu lodních motorů, velikosti sítě (odpor je značný), hloubce, v níž se traluje a také druhu lovených živočichů. Vyšších výkonů lze dosáhnout pomocí dvou trawlerů (Kristjonsson, 1971). Každopádně, ani rychlost tahu velkých námořních tralů nepřekračuje 5 uzlů. Tralové sítě mají funkci „nadháněcího“ zařízení. Příliš pomalý tah způsobí, že se ryby mohou sítí zcela vyhnout (Schmidt, 2009). Síť navíc ztratí optimální tvar – „napětí“, které je udržováno právě odporem vody. Příliš vysoká rychlost může odpor vody naopak zařízení poškodit (Gabriel, et al., 2005). Přiměřená rychlost tahu menších trawlerů ve vnitrozemských vodách bývá okolo 2 - 3 uzlů. Ryby jsou naváděny před ústí sítě, kde se určitý čas zdrží, než jsou vyčerpány a postupně soustředěny do koncového vaku.

³⁸ Obdobně platí pro tlak.

³⁹ Průhlednost se měří pomocí Secchiho disku. Jedná se o černobíle zbarvený disk o průměru cca 30 cm, který je spouštěn pod vodní hladinu. Průhlednost odpovídá hloubce, ve které disk z hladiny přestane být viditelný.

4.2. Biotické faktory

V předchozí kapitole je stručně nastíněna aktivita sladkovodních ryb, podle níž je možné vysledovat vhodné období pro monitorování jejich chování. Z hlediska anuální aktivity jsou za nejvhodnější považovány podzimní měsíce (říjen – listopad), kdy většina ryb mírného pásma severní polokoule vykazuje nejnižší aktivitu (Yule, et al., 2009). To se týká především severských vodních těles, kde jsou ryby loveny za obchodními účely. Pro studium únikových reakcí ryb našich vod je však vhodné zvolit období letní (červen - září) s vyšší aktivitou, kdy jsou ryby v nádržích poměrně rovnoměrně rozptýlené. Ukončili reprodukční sezónu a věnují se lovu. Jak již bylo uvedeno, ryby českých nádrží nevykazují klasické hejnové chování. Výjimkou jsou juvenilní okouni, kteří v určitém věku vytvářejí hejna v pelagiálu (Čech, et al., 2005). V rámci diurnální aktivity ryb úrodných nádrží přibližně platí, že přes den se v pelagiálu vyskytují jedinci v menších shlucích, zatímco po setmění, kdy jejich aktivita klesá, najdeme ryby ve vodním sloupci volněji rozptýlené a akusticky „lépe měřitelné“, pokud jde o jednotlivce. V tomto případě nelze opomenout ani ryby mořské, u kterých se rovněž silně mění oba typy aktivit. Jako příklad můžeme uvést letní a zimní migrace sardelí (*Engraulius ringens*) a sardinek (*Strangomera bentincki*) vod Chile (Gerlotto, et al., 2004). Oba druhy se během léta (na jižní polokouli) zdržují do cca 30 km od pobřeží ve vodách mělčích 50 m, kdy jsou snadno detekovatelné. Během zimy se přesunují do hlubších vod dále od pobřeží.

5. DISKUZE

Cílem této práce bylo vytvořit rešeršní přehled znalostí, které vypovídají o únikových reakcích ryb před tralovými sítěmi včetně metod a faktorů, které se studiem tohoto typu chování souvisejí. Okruh publikací, které se týkají únikových reakcí ryb před tralovými sítěmi, je do jisté míry omezen. Výjimkou jsou zdroje pocházející z námořních výzkumů, neboť komerčně lovené mořské druhy ryb jsou intenzivněji prostudovány. Přínos práce, vzhledem k svému rešeršnímu charakteru, nespočívá v získání nových výsledků z příslušné oblasti výzkumu, ale především ve shrnutí dosud získaných poznatků o únikových reakcích a metodách jejich výzkumu.

Chováním ryb během únikových reakcí se zabývali autoři po celém světě (Norsko, Chile, USA, Finsko, Rakousko apod.), přičemž došli k různým výsledkům. Tento fenomén vyplývá z faktu, že chování jakéhokoliv živočicha je sledem reakcí, které se i v rámci jedinců téhož druhu mohou značně lišit. Podstatnou roli hraje prostředí, v němž pokusné objekty sledujeme, stejně jako v něm panující podmínky a dostupná technika. Z tohoto důvodu se ve své práci, dříve než popisují samotné únikové reakce, věnují metodám a technikám, potřebným během výzkumu chování ryb v jejich přirozeném prostředí. V neposlední řadě

jsou zahrnuty základní poznatky o principech fungování smyslových orgánů, jejichž znalost je pro studium chování ryb důležitá.

Ryby před tralovými sítěmi a při kontaktu s nimi vykazují různé prvky chování. Existují dva patrné typy reakcí. Ryby mohou vůči tralovacímu zařízení reagovat pasivně (stojí na místě, často se nechají sítí pohltit), nebo aktivně – útekem, doprovázeným dalšími typy reakcí. Tral má funkci „naháněcího“ zařízení a ryby před ústí navádí pomocí optických podnětů, vydávaných různými oddíly (dveře tralu, spojovací lana apod.); (Kim a Wardle, 1998). Bylo zjištěno (Pitcher a Parrish, 1993), že hejnové ryby vykazují koordinované optomotorické reakce a pokud se tral pohybuje optimální rychlostí, doprovázejí ho v pozici před ústím. Solitérní jedinci naproti tomu jednají eraticky, nepředvídatelně. Po vyrušení plavou v různých směrech. Snaží se udržet co nejdále od síťoviny (Glass a Wardle, 1995a). Reakce bývá tím „prudší“, čím později si ryby síť všimnou. Ryby mohou na tral reagovat podplaváním, úhybným manévrem do stran či vystoupaním nad úroveň sítě. Pokud neuskuteční úhybný manévr, dojde dříve nebo později k fyzickému vyčerpání a ryby jsou koncentrovány do koncového vaku sítě. Jejich možnost úniku závisí na selektivnosti zařízení. V současnosti je snaha zvyšovat výběrovost zařízení prostřednictvím různých typů ok síťoviny či přídatných roštů, umístěvaných do tunelů před koncový vak. Vedlejšímu úlovku i přesto nelze zcela zabránit. Často platí, že selektivita zařízení je druhově specifická (Gabriel, et al., 2005). Ani u ryb, kterým se podaří ze sítě vyvážnout, však není zajištěno přežití. Často umírají v důsledku fyziologického stresu či poranění (Rayer, et al., 2004; Main a Sangster, 1990). Mortalitou sladkovodních druhů ryb se zabývali (Turunen, et al., 1993; Jurvelius, et al., 2000) a ve své práci dokládají vysokou úmrtnost například u lososovitých ryb. Rozmanitost v únikových reakcích byla zaznamenána jak u mořských, tak sladkovodních ryb. Mořské druhy, často lovené pro komerční účely, jsou zřejmě více hejnové, ve srovnání se sladkovodními rybami (Gerlotto, et al., 2004; Jůza a Kubečka, 2007).

S poněkud odlišnou situací se setkáváme u ryb středoevropských a západoevropských nádrží a jezer (Rakousko, Česká republika, Německo aj.), o jejichž únikových reakcích je méně známo (Draštík a Kubečka, 2005). Současné studie poukazují na nerovnoměrný výskyt a značné rozdíly v diurnální aktivitě (často souvisí i s typem nádrže, kyslíkovou a teplotní stratifikací). Ryby se v českých údolních nádržích během dne pohybují v pelagiálu v menších hejnech. V noci naproti tomu jejich aktivita klesá. Zvířata jsou ve vodním sloupci solitérně rozptýlena a z tohoto důvodu lépe detekovatelná (Draštík, et al., 2009). Rozdíly v únikových reakcích jsou přítomny také mezi dospělými jedinci a plůdkem (Jůza a Kubečka, 2007).

Ze základních faktorů, ovlivňujících únikové chování ryb, lze jmenovat biotické a abiotické. V první řadě se jedná o světelné podmínky pod vodou. V mořském prostředí bývá lepší viditelnost, nežli v mezotrofních vodách našich nádrží, což má prokazatelný vliv na

velikost úlovku. Suronnen, et al. (1996) rovněž zaznamenal patrné rozdíly v množství ulovených sledů během dne a noci, což nasvědčuje faktu, že zrak hraje v orientaci ryb důležitou roli. Dalšími abiotickými faktory jsou teplota a tlak okolní vody. Jako studenokrevní živočichové ryby nedokáží, až na málo výjimek, aktivně regulovat tělesnou teplotu. Při nízkých teplotách tedy nejsou schopné vyvinout vyšší svalovou aktivitu (Thurman a Trujillo, 2005). Dále je známo, že ulovené ryby, rychle vytažené k hladině z velké hloubky, špatně snáší tlakové rozdíly, v důsledku čehož často hynou. Z abiotických faktorů lze také jmenovat rychlost a dobu tahu sítě. Sladkovodní traly bývají podstatně menších rozměrů, nežli traly mořské a rychlost tahu je omezena výkonem motorů trawlerů. Pokud je však rychlost příliš nízká, může se stát, že ryby plavající před ústím odplavou (Schmidt, 2009). V rámci faktorů biotických velmi závisí na období aktivity a druhu ryb.

Podle mého názoru by únikové reakce ryb českých vodních těles mohly být v malé míře ovlivněny také samotným tvarem nádrže, neboť mnohé údolní nádrže (např. Želivka, Římov) jsou v příčném směru značně úzké, a pokud by byla použita síť větších rozměrů, mohl by být omezen úhybný manévr ryb do stran. Ryby by se tak síti vyhýbaly přednostně vertikálním směrem. Vzhledem k tomu, že zdejší ryby převážně nevykazují hejnové chování, se jen vzácně setkáme s koordinovanými reakcemi před ústím tralu. Kvůli nízké viditelnosti našich nádrží i za dne lze předvídat kratší únikové vzdálenosti. Možné také je, že ryby se budou snáze nechávat pohltit sítí v těch oblastech, kde se dosud s tralováním neseťkaly.

Únikové reakce rybovitých obratlovců ve vztahu k tralovým sítím lze studovat kombinací invazivních a neinvazivních metod, které pomáhají při detekci ryb a uplatňují se rovněž během studia jejich chování. Tralování je na moři pro komerční účely provozováno již od 40. let 20. stol. (Kristjonsson, 1971), ale v posledních letech je snaha ho využívat také ve vnitrozemských vodách Evropy, Asie či Severní Ameriky. Obecně se jedná o nejrozšířenější metodou přímého vzorkování ryb co do počtu ulovených jedinců a prolovených vodních objemů. Potvrzují to jak rybářské statistiky ze světových oceánů, tak i recentní výzkumy z českých nádrží. Lze říci, že zavedení tralovacích metod znamená „revoluci“ ve výzkumu zdejších ryb (Kubečka, et al., 2009). Třebaže se setkáváme s relativně velkou diverzitou reakcí ryb vůči tralům, stálo by za to se systematicky zaměřit na limitace této lovné metody. Pro sladké vody je mozaika znalostí o účinnosti tralování poměrně řídká, a tak účinnost zatím nelze objektivně posoudit. Robustnost této metody však ukazuje, že úsilí o studium účinnosti tralů (se zřetelem k jejich konstrukci, selektivnosti, rychlosti vůči různým druhům ryb a podmínek prostředí) se v blízkých letech stane velmi „žhavou“ výzkumnou tematikou.

6. ZÁVĚR

Během studia podkladných materiálů k této práci jsem došla k závěru, že ryby během únikového chování vykazují různé reakce, které závisí na biologických a abiotických podmínkách, stejně tak i na samotném druhu živočicha.

Hlavním smyslem, kterým se ryby při úhybných manévrech řídí, je zrak. Sluch se podílí jako druhý nejdůležitější smysl spolu s receptory proudového orgánu. Je patrné, že sluchové vjemy mají „posilující“ efekt na únikové reakce ve spojení s optickým stimulem. Podstatnou roli hraje hejnové chování, které má vliv na shlukování před ústím tralu. Na úrovni hejna rozeznáváme optomotorickou reakci, která vede ke koordinovanému a snadno předvídatelnému chování. Ryby v hejnu jsou reaktivnější a organizovanější, nežli solitérní jedinci. Druhým typem je reakce eratická, vyskytující se na úrovni jednotlivců. Dostanou-li se ryby do prostoru sítě, mohou koordinované reakce přejít v eratické chování. Tato je nekoordinovaná a ve vysoké míře závislá na jedinci. Únikové chování dále závisí na velikosti ryb. Je známo, že větší jedinci vydrží před tralem plavat delší dobu a snáze se vyhýbají překážkám. Ryby malé, které dříve vyčerpají zásoby glykogenu ve svalech, jsou obvykle sítí dříve pohlceny. V této souvislosti je vhodné zmínit rychlost tahu sítě, neboť při příliš nízké rychlosti zařízení je omezen jeho „naháněcí“ efekt. Z přírodních vlivů, které tento typ chování velmi ovlivňují, můžeme jmenovat světelné podmínky, které v daném prostředí panují. Ryby ve tmě ztrácejí schopnost včas reagovat na blížící se síť. Z dalších faktorů, které s únikovými reakcemi souvisejí, lze jmenovat teplotu, tlak okolní vody a v neposlední řadě dobu, během které ryby sledujeme.

Tralování má dvě zásadně odlišné úlohy. Jednak se již řadu desetiletí podílí při komerčních lovech, které mají negativní dopad na mořské ekosystémy a z hlediska ochrany přírody jde tedy o metodu nežádoucí (vedlejší úlovek, vliv na trofické úrovně). Na druhé straně v současnosti traly nacházejí uplatnění ve vědeckých sférách. Jsou velkým přínosem při získávání nových poznatků o rybí fauně také ve vnitrozemských vodách.

LITERATURA – SOUPIS BIBLIOGRAFICKÝCH CITACÍ

Seriálové publikace

- AMOSER, Sonja – LADICH, Friedrich. Are hearing sensitivities of freshwater fish adapted to the ambient noise in their habitats? *The Journal of Experimental Biology*, 2005, vol. 208, s. 3533-3542.
- DRAŠTÍK, Vladislav, et al. Hydroacoustics estimates of fish stocks in temperate reservoirs: day or night surveys? *Aquatic Living Resources*, 2009, vol. 22, s. 69-77.
- DRAŠTÍK, Vladislav – KUBEČKA, Jan. Fish avoidance of acoustics survey boat in shallow waters. *Fisheries research*, 2005, vol. 72, s. 219-228.
- ENGÅS, Arill – GODØ, R. Olav. Escape of fish under the fishing line of Norwegian sampling trawl and its influence on survey results. *J. Cons. int. Explor.*, 1989, vol. 45, s. 269-276.
- FRÉON, Pierre – GERLOTTO, François – SORIA, Marc. Variability of Harengula spp. school reactions to boats or predators in shallow water. *ICES mar. Sci. Symp.*, 1993, vol. 196, s. 30-35.
- GERLOTTO, F., et al. Three-dimensional structure and avoidance behaviour of anchovy and common sardine schools in central southern Chile. *ICES Journal of Marine Science*, 2004, vol. 61, s. 1120-1126.
- GLASS, W. C. – WARDLE, S. C. Comparison of of the Reactions of Fish to Trawl Gear, at High and Low Light Intensities. *Fisheries research*, 1989, vol. 7, s. 249-266.
- GLASS, W. C., et al. Studies on the use of visual stimuli to control fish escape from codends. I. Laboratory studies on the effect of a black tunnel on mesh penetration. *Fisheries research*, 1995a, vol. 23, s. 157-164.
- GLASS, W. C. – WARDLE, S. C. Studies on the use of visual stimuli to control fish escape from codends. II. The effect of a black tunnel on the reaction behaviour of fish in otter trawl codends. *Fisheries research*, 1995b, vol. 23, s. 165-174.
- GRAHAM, N. - JONES, E. G. - REID, D. G., 2004. Review of technological advances for the study of fish behaviour in relation to demersal fishing trawls. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 61, s. 1036-1043.
- JURVELIUS, Juha, et al. Mortality of pike-perch (*Stizostedion lucioperca*), brown trout (*Salmo trutta*) and landlocked salmon (*Salmo salar m. sebago*) caught as by-catch in pelagic trawling in a Finnish lake. *Fisheries research*, 2000, vol. 45, s. 291-296.

- JŮZA, Tomáš – KUBEČKA, Jan. The efficiency of three fry trawls for sampling the freshwater pelagic fry community. *Fisheries research*, 2007, vol. 85, s. 285-290.
- KIM, Yong-Hae. – WARDLE, S. Clem. Optomotor response and erratic response: quantitative analysis of fish reaction to towed fishing gears. *Fisheries research*, 2003, vol. 60, s. 455-470.
- KIM, Yong-Hae. – WARDLE, S. Clem. Measuring the brightness contrast of fishing gear, the visual stimulus for fish capture. *Fisheries research*, 1998, vol. 34, s. 151-164.
- KRISTJONSSON, Hilmar. *Modern fishing gear of the world 3: Fish Finding, Purse Seining, Aired Trawling*. London: Fishing News [for the Food and Agriculture Organization of the United Nations], 1971, s. 420-430. ISBN 0852380542
- KUDRYAVTZEV, I. Valery – TIMIN, N. Boris. Some results of the development and fishing trials of fish acoustics concentrator. *ICES J.*, 1996, vol. 53, s. 1-11.
- MAIN, J. – SANGSTER, I. S. An assessment of scale damage to and survival rates of young gadoid fish escaping from the cod-end of a demersal trawl. *Scottish Fisheries Research*, 1990, vol. 46, s. 1-28.
- McCLATCHIE, Sam, et al. Ground truth and target identification for fisheries acoustics. *Fisheries Research*, 2000, vol. 47, s. 173-191.
- MONTAIGNE, Fen. The global fish crisis, special report: The Mediterranean may lose its wild bluefin tuna. *National geographic*, 2007, vol. 211, s. 42-70.
- ONA, Egil. – Godø, R. Olav. Fish reaction to trawling noise: the significance for trawl sampling. *Rapp. P.-v. Réun. Const. int. Explor*, 1990, vol. 189, s. 159-166.
- PAULY, Daniel. – WATSON, Reg. Counting the last fish. In *Oceans: A scientific american reader*. USA: The University of Chicago Press, Chicago, 2007, s. 127-134. ISBN 10: 0-226-74262-8; ISBN 13: 978-0-226-74262-8
- PRCHALOVÁ, Marie, et al. Fish activity as determined by gillnet catch: A comparison of 2 reservoirs of different turbidity. *Fisheries research*, 2010, vol. 102, s. 291-296.
- RYER, H. Clifford. A review of flatfish behavior relative to trawls. *Fisheries research*, 2008, vol. 90, s. 138-146.
- SAFINA, Carl. The World's Imperiled Fish. In *Oceans: A scientific american reader*. USA: The University of Chicago Press, Chicago, 2007, s. 135-144. ISBN 10: 0-226-74262-8; ISBN 13: 978-0-226-74262-8

- SCHMIDT, B. Marc. Reactions of vendace (*Coregonus albula*, Linnaeus 1758) towards an approaching pelagic pair-trawl observed by split-beam echosounding. *Fisheries research*, 2009, vol. 96, s. 95-101.
- SCHMIDT, B. Marc. *Benefits from hydroacoustics in fisheries management and behavioural studies of coregonids*, 2006, 73 s. ISBN 3-9809545-3-6
- SUURONEN, Petri – LEHTONEN, Esa – WALLACE, John. Avoidance and escape behaviour by herring encountering midwater trawls. *Fisheries research*, 1997, vol. 29, s. 13-24.
- TAYLOR, J. Christopher – MAXWELL, L. Suzanne,. Hydroacoustics: Lake and Reservoirs. In *Salmonid field Protocols Handbook: Technics for assesing Status and Trends in Salmon and Trout population*. Bethesda: American Fisheries Society, 2007, Chap. 5, s. 153-173. ISBN 978-1-888569-92-6. Dostupné na:
<http://www.stateofthesalmon.org/fieldprotocols/downloads/SFPH_p5.pdf>
- TUCK, D. Ian, et al. Effects of physical trawling disturbance in a previously unfished sheltered Scottish sea loch. *Mar Ecol Prog Ser*, 1998, vol. 162, s. 227-242.
- TURUNEN, Timo – KÄKELÄ, Anne – HYVÄRINEN, Heikki. Trawling stress and mortality in undersized (<40cm) brown trout (*Salmo trutta L.*) *Fisheries Research*, 1994, vol. 19, s. 51-54.
- TUŠER, Michal. *Slepá zóna při akustické detekci rybu u dna nádrží*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Přírodovědecká fakulta. Katedra biologie ekosystémů, 2004. 33 s., 15 s. příloh. Vedoucí bakalářské práce RNDr. Jan Kubečka, CSc.
- WALSH, J. Stephen – GODØ, R. Olav. Letter to the editor: Quantitative analysis of fish reaction to toled fishing gears – What responses are important? *Fisheries Research*, 2003, vol. 63, s. 289-292.
- WOLTER, C. – FREYHOF, J. Diel distribution patterns in a temperate large lowland river. *Journal of Fish Biology*, 2004, vol. 64, s. 632–642.
- YULE, L. D., et al. Can pelagic forage fish and spawning cisco (*Coregonus artedi*) biomass in the western arm of Lake Superior be assessed with a single summer survey? *Fisheries Research*, 2009, vol. 96, s. 39-50.

Knihy

- BLECKMANN, H. Role of the lateral line in fish behaviour. In *Behaviour of Teleost Fishes*. 2nd printing. London: Chapman & Hall, 1993. Chap. 7, s. 201-235. ISBN 0-412-42940-3.
- GABRIEL, Otto et al. *Fish Catching Methods of the World*. 4th printing. Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2005. ISBN 0-8523-8280-4.
- GAISLER, Jiří. – ZIMA, Jan, 2007. *Zoologie obratlovců*. 2. vyd. Praha: Academia., 2007. s. 267-322. ISBN 978-80-200-1484-9.
- GUTHRIE, M. D. – MUNTZ, A. R. W. Role of vision in fish behaviour. In *Behaviour of Teleost Fishes*. 2nd printing. London: Chapman & Hall, 1993. Chap. 4, s. 89-121. ISBN 0-412-42940-3.
- HAWKINS, D. A. Underwater sound and fish behaviour. In *Behaviour of Teleost Fishes*. 2nd printing. London: Chapman & Hall, 1993. Chap. 5, s. 129-166. ISBN 0-412-42940-3.
- HELFMAN, S. G. Fish behaviour by day, night and twilight. In *Behaviour of Teleost Fishes*. 2nd printing. London: Chapman & Hall, 1993. Chap. 14, s. 479-507. ISBN 0-412-42940-3.
- HRBÁČEK, Jaroslav, et al. *Limnologické metody*. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1974. s. 18-19. ISBN 17-070-74.
- LIESKE, Ewald – MAYERS, Robert, *Ryby korálových útesů*. 1. vyd. Praha: Svojtka & Co, 2005. s. 23-25. ISBN 80-7352-079-6.
- MOJETTA, Angelo. *Průvodce podmořským světem Středozemního moře*. 1. vyd. Svojtka & Co, 2005. s. 42-43. ISBN 80-7352-250-0.
- PITCHER, J. T. – PARRISH, K. J. Functions of shoaling behaviour in teleosts. In *Behaviour of Teleost Fishes*. 2nd printing. London: Chapman & Hall, 1993. Chap. 12, s. 363-425. ISBN 0-412-42940-3.
- SIMMONDS, John – MacLENNAN, David. *Fisheries acoustics*. Theory and practice. 2nd printing. United Kingdom: Blackwell Science, 2005. ISBN 13: 978-0-632-05994-2.
- THURMAN, V. Harold – TRUJILLO, P. Alan. *Oceánografie*. 1. české vydání. Praha: Computer Press, 2005. s. 352-391. ISBN 80-2510-353-6.

- WARDLE, C. S. Fish and fishing gear. In *Behaviour of Teleost Fishes*. 2nd printing. London: Chapman & Hall, 1993. Chap. 18, s. 609-641. ISBN 0-412-42940-3.

Manuál Sonaru 5:

- BALK, Helge. Sonar 4 and Sonar 5-Pro. Post processing systems Operator manual version 5.9.7, Norway, 2007.

Elektronické zdroje

Australian Fisheries Management Authority (AFMA). *Bycatch action plans. Great Australian Bight Trawl Fishery Bycatch Action Plan* [online]. c2000 [cit. 2010-01-14]. Dostupné na: <<http://www.afma.gov.au/information/publications/fishery/baps/docs/gabbkqd.htm>>.

BACKIEL, T. - WELLCOME, R. L. Guidelines for sampling fish in inland waters. In *FAO: EIFAC Technical Paper*, no. 33, Chap. 6 [online]. c1980 [cit. 2010-03-03]. ISBN 92-5-100973-2. Dostupné na: <<http://www.fao.org/DOCREP/003/AA044E/AA044E00.htm#TOC>>

Encyclopedia Britannica. Transducer [online]. c2010 [cit. 2010-03-16]. Dostupné na: <<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/602499/transducer>>

Fish Guidance Systems: Technical overview. *Fish hearing* [online]. c1994 [cit. 2010-01-05]. Dostupné na: <<http://fish-guide.com/tech.htm>>

GULLAND, J. A. *Manual of Methods for Fish Stock Assessment - Part 1. Fish Population Analysis. Section 4.: Effort and Catch Per Unit Effort*. Food And Agriculture Organisation of the United Nations. Fisheries and Aquaculture Department [online]. c1969 [cit. 2010-03-03]. Dostupné na: <<http://www.fao.org/docrep/x5685e/x5685e04.htm>>

Hydroacoustics technology. What are hydroacoustics systems? [online]. c2009 [cit. 2010-03-01]. Dostupné na: <http://www.htisonar.com/what_are_hydroacoustics.htm#>

KUBEČKA, Jan, et al. Biologické centrum Akademie věd České republiky, v. v. i. *Nové výzkumné plavidlo „Thor Heyerdahl“ a související články* [online]. c2007-2010 [cit. 2010-04-19]. Dostupné na: <<http://www.bc.cas.cz/zajimavosti.php?nove-vyzkumne-plavidlo-Thor-Heyerdahl>>

NAVE, R. Carl. *Speed of Sound in Various Bulk Media* [online]. c2006 [cit. 2010-03-03]. Dostupné na:

<<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/Hbase/Tables/soundv.html>>

NOAA's National Marine Fisheries Service. *Definition of fisheries technical terms* [online]. c1993 [cit. 2010-01-14]. Dostupné na:

<http://www.nefsc.noaa.gov/techniques/tech_terms.html#cau>

Pennsylvania Fish and Boat Commission. *Catching fish requires a little fish sense. Hearing and sound* [online]. c2010 [cit. 2010-03-03]. Dostupné na:

<<http://www.fish.state.pa.us/water/fish/senses.htm>>

RAMEL, Gordon. Earth Life Web. *The Picturesque Word of Fish: Hearing* [online]. c2008 [cit. 2010-01-05]. Dostupné na:

<www.earthlife.net/fish/hearing.html>

RUSSEL, A. Daniel. *Acoustics and Vibration animation. Wave Motion in Time and Space* [online]. c2008 [cit. 2010-03-03]. Dostupné na:

<<http://paws.kettering.edu/~drussell/Demos/wave-x-t/wave-x-t.html>>

SURRONEN, Petri. *Mortality of fish escaping trawl gears*. Food And Agriculture Organisation of the United Nations: FAO - Fisheries technical paper 478 [online]. c2005 [cit. 2010-02-16]. Dostupné na:

<<http://www.fao.org/docrep/008/y6981e/y6981e05.htm>>

PŘÍLOHY

Vysvětlivky užitých odborných termínů

- “*bridles*”, “*sweeps*”: spojovací lana sítě a ocelových lan.
- “*codend*”: koncový sběrný vak tralové sítě, do kterého je soustředěn úlovek.
- “*groundline*”: dolní žíně ústí tralu. Obvykle je vybavena zátěží, u bentických tralů taktéž gumovými valy pro lepší pohyb po nerovném terénu dna.
- “*otterboards*”: jsou stabilizační desky připevňované na tažná ocelová lana tralu. Udržují síť při vhodném napětí během tahu.

- "trawler": tažný člun, který za sebou táhne tral.
- "trawling": aktivní lovná metoda, kdy za sebou jeden či více trawlerů táhnou tralovou síť.
- "upperline": horní žíně ústí tralu. Obvykle je vybavena menšími plováky.

Seznam obrázků a jejich zdrojů

- 1) Obr. 1. "Zaměřování objektu vertikálním sonarem". Zdroj: vlastní; nakresleno v programu Malování.
- 2) Obr. 2. Sklon ryby („Slope“). Zdroj: vlastní; nakresleno v programu Malování.
- 3) Obr. 3. "Amplitudový Echogram". Zdroj: Manuál Soaru 5 (BALK, Helge, 2007); upraveno v programu Malování.
- 4) Obr. 4. "SED Echogram". Zdroj: Manuál Soaru 5 (BALK, Helge, 2007); upraveno v programu Malování.
- 5) Obr. 5. "Tralovací zařízení". Zdroj: vlastní; nakresleno v programu Malování.
- 6) Obr. 6. "Výzkumný trawler Thor Heyerdahl". Zdroj: vlastní; vyfotografováno na Lipně.
- 7) Obr. 7. "Pelagický tral". Zdroj: vlastní; nakresleno v programu Malování podle předlohy: BACKIEL, T. - WELLCOME, R. L. Guidelines for sampling fish in inland waters. In *FAO: EIFAC Technical Paper*, no. 33, Chap. 6 [online]. c1980 [cit. 2010-03-03]. ISBN 92-5-100973-2. Dostupné na: <<http://www.fao.org/DOCREP/003/AA044E/AA044E00.htm#TOC>>.
- 8) Obr. 8. "Bentický tral". Zdroj: vlastní; nakresleno v programu Malování podle předlohy BACKIEL, T. - WELLCOME, R. L. Guidelines for sampling fish in inland waters. In *FAO: EIFAC Technical Paper*, no. 33, Chap. 6 [online]. c1980 [cit. 2010-03-03]. ISBN 92-5-100973-2. Dostupné na: <<http://www.fao.org/DOCREP/003/AA044E/AA044E00.htm#TOC>>.
- 9) Obr. 9. "Hejno v pelagiálu". Zdroj: Wikimedia Commons [online]. c2010 [cit. 2010-03-16]. Dostupné na: <<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anchovies-monterey.jpg>>
- 10) Obr. 10. "Koordinované hejno sardelí peruánských (*Engraulis ringens*).“ Zdroj: Guardian.co.uk: Guardian News and Media Limited [online]. c2010 [cit. 2010-03-15]. Dostupné na: <<http://www.guardian.co.uk/environment/gallery/2008/sep/04/fishing.endangeredspecies?picture=337257430>>

11) Obr. 11. „*Koncový sběrný vak s rybami*“, Zdroj: Marine Laboratory, Aberdeen a Marine Laboratory, Perthshire [online]. c2010 [cit. 2010-03-05]. Dostupné na: <<http://www.marlab.ac.uk/Delivery/standalone.aspx?contentid=299>>

12) Obr. 12. „*Cejn velký (Abramis brama) je běžným obyvatelem sladkovodních nádrží*“. Zdroj: Biopix [online]. c2010? [cit. 2010-03-16]. Dostupné na: <<http://www.biopix.dk/Photo.asp?Language=la&Photold=33311&Text=0>>

13) Obr. 13. „*Do čeledi kaprovitých ryb (Cyprinidae) patří také bolen dravý (Aspius aspius)*“. Zdroj: vlastní; vyfotografováno na Lipně.

14) Obr. 14. „*Pstruh obecný (Salmo trutta)*“. Zdroj: Wikimedia Commons [online]. c2009 [cit. 2010-03-16]. Dostupné na: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Salmo_trutta.jpg>

Dodatky

Podkladným materiálem pro citace je dokument Petra Boldíše: Bibliografické citace dokumentů podle ČSN ISO 690 a ČSN ISO 690-2; 1999-2004.

Podkladným materiálem pro terminologii tralovacího zařízení je příručka doc. Ing. Františka Váchy, CSc.: Definice a klasifikace kategorií rybolovného nářadí. In *edice Metodik*. České Budějovice. Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický ve Vodňanech: Tiskárna Public - M. Kreuz, 2002. ISBN 80-85887-35-5.