

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**  
**Přírodovědecká fakulta**



# **Reakce ryb při vzorkování vlečnými sítěmi**

Diplomová práce

**Zuzana Sajdlová, Bc.**

Konzultant: RNDr. Vladislav Draštík, Ph.D.

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

České Budějovice 2012

Sajdlová, Z., 2012. Reakce ryb při vzorkování vlečnými sítěmi. [Fish behaviour in response to a trawl gear]. Dp. Thesis, in Czech] – 52., Faculty of Science, The University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

## ANNOTATION

---

The main goal to master's thesis is fish behaviour performed in response to a trawl gear during sampling of water bodies' pelagial. Fish behaviour in the trawl mouth has been especially considered. Closer attention is given to the vertical echosounder which was used to collect data for the practical part of the thesis. In the later parts main abiotic and biotic factors impacting fish behaviour in proximity of a trawl gear are discussed.

The practical part of the thesis is referring about survey conducted in the two Czech freshwater reservoirs – Želivka and Římov (2009 and 2011). It was focused on reactions performed in the vertical direction. The footrope served as a referential point so that reactions of fish in response to a gear could be evaluated. We found out positions of fish in the vertical direction, their velocity, slope, size, etc. as was dependent on fish distribution during day and night time as well as on the main abiotic factors (temperature, visibility or oxygen stratification).

**Keywords:** trawl gear, fish behaviour, vertical beaming, SED echogram, pelagial

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou 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 diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne

Zuzana Sajdlová

## **Poděkování**

Děkuji svému školiteli Prof. RNDr. Janu Kubečkovi, CSc. a konzultantovi RNDr. Vladislavu Drašíkovi, Ph.D. za pomoc, trpělivost a odborné vedení této práce, která by bez jejich pomoci nevznikla. Poděkování patří rovněž panu doc. RNDr. Tomáši Mrkvičkovi, Ph.D. za pomoc při statistických analýzách a všem, kteří se jakkoliv podíleli na tvorbě této práce.

## OBSAH

---

Úvod .....	1
Cíl práce .....	3
Literární rešerše .....	4
<b>1. Chování ryb v blízkosti vlečné sítě .....</b>	<b>4</b>
1.1. Variabilita únikových reakcí .....	7
1.2. Tral v roli predátora .....	10
<b>2. Faktory ovlivňující únikové chování ryb .....</b>	<b>11</b>
<b>3. Souhrn teoretické části .....</b>	<b>15</b>
Praktická část .....	17
Abstract .....	17
<b>4. Introduction .....</b>	<b>18</b>
<b>5. Materials and methods .....</b>	<b>19</b>
5.1. General characteristics of studied areas .....	19
5.2. Experimental design .....	20
5.3. Fish behaviour evaluation .....	22
5.4. Statistical analysis .....	25
<b>6. Results .....</b>	<b>25</b>
6.1. Fish position towards the footrope – day and night distribution.....	25
6.2. Fish size distribution and species composition.....	27
6.3. Track slope and fish avoidance behaviour .....	26
6.4. Fish tortuosity .....	33
6.5. Fish velocity .....	33

<b>7. Discussion .....</b>	<b>37</b>
<b>Acknowledgements .....</b>	<b>41</b>
<b>Bibliografické citace .....</b>	<b>42</b>
<b>Přílohy .....</b>	<b>52</b>

## ANOTACE

---

Předkládaná práce by měla čtenáře blíže seznámit s chováním ryb, které tito živočichové vykazují vůči vlečným sítím během vzorkování pelagiálu vodních těles. Zaměřuje se na oblast v ústí tralu, kde je spektrum reakcí nejširší. Některé specifické rysy chování jsou uvedeny na příkladech z mezinárodních výzkumů v teoretické části. Jsou zde rovněž přiblíženy základní techniky, používané při studiu chování ryb ve vztahu k vlečným sítím.

Praktickou částí je dvouletý výzkum (2009 a 2011) chování ryb na českých údolních nádržích Želivka a Římov ve vztahu k tralovým sítím. Chování ryb v ústí pelagického tralu bylo monitorováno prostřednictvím vertikálního sonaru SIMRAD EK 60 o frekvenci 38 kHz. Předmětem výzkumu bylo studium reakcí jednotlivých ryb se zaměřením na vertikální složku jejich pohybu. Zjišťovali jsme rozdíly mezi denní a noční aktivitou ryb, rychlost a sklon ve vodním sloupci, přímočarost trajektorie pohybu, souvislost mezi velikostí ryb a jejich rychlostí, a v neposlední řadě také vliv abiotických faktorů, které únikové chování podstatně ovlivňují. Znalost tohoto typu chování pomůže vypovědět o selektivitě zařízení, kterou je vhodné znát pro efektivní průzkum zdejších nádrží. Stejně tak užitečné jsou nové informace o vlastním chování ryb, které jsou přínosem nejen pro ekologii.

***Klíčová slova:*** tralová síť, chování ryb, vertikální sonar, SED echogram, pelagiál



## Úvod do teoretické části

Studium chování rybovitých obratlovců v jejich přirozeném prostředí není snadnou záležitostí. Důvodem náročnosti bývá potřeba speciálního technického vybavení pro výzkum rozsáhlých vodních prostorů, v nichž ryby sledujeme a také značná citlivost těchto živočichů, jsou-li vystaveni mimo akvatické podmínky. V posledních letech přibylo mnoho prací, které se zabývají chováním ryb, ačkoliv poněkud méně z nich se věnuje jejich reakcím ve vztahu k lovným prostředkům (tralové či tenatové sítě); (**Main a Sangster, 1983; Schmidt et al., 2005, Winger, et al., 2004, Robertis, et al., 2006**). Většina pozorování pochází z mořských výzkumů, kde je chování ryb intenzivněji studováno. V posledních letech se objevují i práce ze sladkovodního prostředí (**Jůza a Kubečka, 2007; Rakowitz, et al. 2012; Schmidt, 2005**).

K prvním poznatkům o chování ryb ve vztahu k tralovým sítím přispěli **Glass a Wardle (1995b)**, kteří sledovali divoká hejna makrel obecných v laboratorní nádrži (Aberdeen). Zjistili, že zbarvení sítě a její celkové provedení jsou důležitým optickým stimulem pro smyslové receptory ryb. **Wardle (1993)** si všiml, že bentické ryby na traly reagují zcela odlišně, než tomu je u pelagických druhů. Platýsi, jazykové či kambaly zachovávají velmi krátké únikové vzdálenosti vůči tralům a někdy na ně nereagují téměř vůbec. **Kim a Wardle (2003)** a **Glass a Wardle (1989)**, kteří pomocí optických kamer pozorovali divoké tresky za různých světelných podmínek, rozlišili optomotorické a eratické reakce u hejnových a soliterně se pohybujících ryb u ústí tralu. Poukázali na rozdíly mezi koordinovaným plaváním hejn za dobrých světelných podmínek a chaotickými, směrově nepředvídatelnými reakcemi ryb soliterních či hejn, která ve tmě ztratila soudržnost. Reakce ryb v ústí tralové sítě jsou druhově specifické (**Piasente, et al., 2004; Winger, et al., 2004; Main a Sangster, 1983**) a závisí na typu použitého lovného zařízení. I zde si však lze všimnout určitých společných projevů, které ryby v ústí vykazují. Dávno před tím, než ryby vstoupí do „trasy“ tralu, zařízení slyší až na vzdálenost několika kilometrů (**Winger, et al., 2010**). Hlavními smysly, které se uplatňují při reakcích vůči vlečným sítím, je zrak, sluch a vjemy postranní čarou (**Bleckmann, 1993**). K silnějším úhybným manévřům však dochází až po kontaktu s rozpěrnými deskami a vlečnými lany, které jsou pro ryby optickými a akustickými stimuly a z hlediska lovců mají zvířata navádět pokud možno do trasy tralu. Teprve v ústí, kde hrozí bezprostřední střetnutí se sítí, se ryby musí rychle rozhodovat, jak zareagují. A právě zde lze pozorovat nejvyšší diverzitu reakcí, které se liší u hejn a



jednotlivců, pelagických a bentických druhů, v závislosti na velikosti jedinců, rychlosti tahu, denní době, okolní teplotě a mnoha dalších faktorech.

Podstata studia právě tohoto typu chování spočívá zejména v možnosti přispět k efektivnějšímu vzorkování (vědecké účely, management vodních těles), ale také k poznání vlastního chování ryb vůči lovným prostředkům. Porozumění reakcím ryb v blízkosti tralů je nezbytné při lovu komerčních druhů (**Ryer, 2008; Godø, et al., 1999**), na které je po staletí kladen značný tlak. Jedině znalost chování ryb v blízkosti tralových sítí umožní lovit efektivně, ale tak, aby rybí populace zůstaly zachovány. Druhová specifita reakcí může vypovídat o pravděpodobnosti ulovení jednotlivých druhů tralem (selektivita).

Tralování je invazivní metoda, umožňující studovat rybí společenstva nejen v mořském prostředí (**Jůza, 2011; Schmidt, et al., 2009**). Traly se jeví jako efektivní nástroje pro vzorkování ryb údolních nádrží (**Kubečka, et al., 2010**). Hlavní předností tralů je schopnost prolovit rozsáhlé vodní objemy během krátkých časových intervalů. Lze pomocí nich také provádět např. metody zpětného odchytu (tzv. „Mark-recapture“), které pomáhají při zjišťování velikosti populací rybích obsádek (**Hayes, et al., 1999**). Za určitých podmínek, jakými je kratší doba jednotlivých tahů, optimální rychlost tahu a nižší koncentrace úlovku, můžeme případně získat jedince živé. Úlovky z tralů lze porovnávat s jinými aktivními či pasivními výzkumnými prostředky (**Olin a Malinen, 2003; Schmidt, et al., 2005**). Negativní stránkou použití tralů je potřeba značných fyzických a finančních nákladů na jejich obsluhu (vyšší počet členů posádky, drahá plavidla, spotřeba nafty apod.); (**Kubečka, et al., 2010**), závislost na velikosti prostoru či negativní vliv na prostředí (bentické traly mohou mít destruktivní účinky na faunu dna).

Současně s traly jsou zaváděny také neinvazivní výzkumné metody, jako jsou sonarová či optická zařízení (**Graham, et al., 2004**). Na našich údolních nádržích se uplatňují zejména horizontální a vertikální sonary, neboť optické kamery, z důvodu nízké viditelnosti pod vodní hladinou, mají omezené použití. Předností sonarů je, že vysílané akustické vlny, které se od odraženého objektu vrací ve formě ozvěny (echa), fungují za jakékoliv viditelnosti, ryby při monitorování neruší, monitorují vodní sloupec v téměř plném rozsahu (**Scalabrin a Boucher, 2009**), čehož se využívá jak pro mapování terénu dna tak při vyhodnocování dat (např. poloha dolní žíně). Sonary mohou být zabudovány buďto přímo v kýlu lodi (**Simmonds a Maclellan, 2005**), na přídi nebo se upevňují na horní žíni tralu, případně jsou za lodí vlečeny na speciálních vlečných tělesech.

Následující kapitoly pojednávají o tom, jak lze chování ryb, které se dostaly do kontaktu s pelagickým tralem, studovat a jak ho vyhodnocovat na základě získaných

sonarových údajů. Přibližují chování ryb v ústí tralové sítě, které se stalo stěžejním předmětem této práce.

## **Cíl práce**

Cílem této práce je zaměřit se na reakce ryb, které tyto živočichové vykazují vůči vlečným sítím. Ve své teoretické části podává přehled o chování ryb v blízkosti tralové sítě. Vychází z mezinárodních výzkumů uskutečněných na moři, jezerech i sladkovodních nádržích. V neposlední řadě jsou zmíněny základní faktory, které podstatně ovlivňují únikové chování ryb.

Předmětem praktické části jsou výsledky z dvouletého výzkumu (2009 a 2011) na údolních nádržích Římov a Želivka, kde bylo studováno chování ryb v ústí pelagického tralu. Monitorovacím zařízením se stal vertikální sonar SIMRAD EK 60 ( $f=38$  kHz) připevněný k horní žíni pelagického tralu. O každém jedinci v trase tralu bylo zjišťováno následující: **1)** poloha ve vodním sloupci vůči dolní žíni během dne a noci (vertikální distribuce), **2)** sklon vůči vysílači v závislosti na denní době a poloze vůči dolní žíni, **3)** závislost rychlosti plavání na velikosti ryb, které se přímo vyhýbaly tralu **4)** závislost únikového chování ryb na denní době a některých abiotických faktorech (světelná, teplotní a kyslíková stratifikace).

Přínosem práce by mělo být zjištění toho, jak zdejší ryby reagují na lovné zařízení za místních podmínek, což je zvláště důležité při posuzování selektivity tralu. Vody pelagiálu našich nádrží, kde mnohé druhy tráví podstatnou část života, jsou dosud málo prostudovanými oblastmi. K efektivnímu vzorkování tralem je nezbytné znát jeho účinnost, a tudíž i reakce, které ryby vykazují.

## Literární rešerše

Praktické části práce předchází literární rešerše. Sestává ze tří kapitol, v nichž je popsáno chování ryb v blízkosti tralové sítě. Nechybí hlavní faktory toto chování ovlivňující. Cílem rešerše bylo shrnout dosavadní poznatky získané o chování ryb vůči vlečným sítím. Uvedeny jsou příklady jednotlivých studií autorů, kteří se zabývali danou problematikou na moři, jezerech i v laboratorním prostředí. Poslední kapitola je souhrnem a zároveň úvodem pro praktickou část.

### 1. Chování ryb v blízkosti vlečné sítě

Chováním ryb v blízkosti vlečné sítě se zabývali autoři mnohých prací, přesto se jedná o dosud málo prostudovanou oblast biologie. Nejvíce informací pochází z výzkumů na moři či mořských laboratořích, které bývají zaměřeny na komerčně lovené druhy (**Robertis a Wilson, 2006; Main a Sangster, 1983; Piasente, et al., 2004; Godø, et al., 1999**). Méně informací máme ze sladkovodního prostředí, kde tralové sítě teprve nacházejí své uplatnění.

Chováním ryb v blízkosti a po kontaktu s vlečnými sítěmi je třeba se zabývat hned z několika důvodů. V první řadě nás zajímá účinnost, s jakou síť vzorkuje. Znalost reakcí ryb pomůže zefektivnit průzkum pelagiálu vodních těles (**Pyanov, 1992; 1993**). Pokud ryby někde nejsou či se vyhýbají tralu, je vhodné o tom vědět, jinak získáme nesprávné výsledky o hojnostech či druhovém složení (**Mason, 2005; Djemali, et al., 2008; Axenrot, et al., 2004**). V neposlední řadě získáme nové informace o smyslovém vnímání obratlovců ve vodním prostředí vůči „neznámým“ objektům, které mohou pro ryby představovat podobnou hrozbu, jako při setkání s predátory (**Glass a Wardle, 1995b**).

Z hlediska typů reakcí vůči tralu rozeznáváme několik zón, kde lze pozorovat určité typy chování. Dávno před tím, než se ryby dostanou do kontaktu s vlečnou sítí, reagují na hluk blížícího se tralu a jeho součástí (**Ona a Godø, 1990**). Slyší<sup>1</sup> hluk tralových lodí, nízkofrekvenční zvuky lodních trupů (převážně mezi 10 – 10000 Hz), pohybujících se na hladině (**Winger, et al., 2010**). Vnímají vibrace lodních šroubů, hluk závaží, rozpěrných desek a řetězů. Ryby vnímají zvuky prostřednictvím vnitřního ucha, které se nachází v blízkosti středního mozku (mezencephalon) a také dalekohmatným orgánem, postranní čarou

---

<sup>1</sup> Tresky (*Gadus morhua*) jsou schopné zaznamenat tral až na vzdálenost 3 km.

(*linea lateralis*). Vnitřním uchem ryby vnímají zejména vyšší frekvence, zatímco proudový orgán je citlivější vůči nižším frekvencím. Experimentálně bylo zjištěno, že podle anatomické stavby zvukového aparátu a schopnosti lépe vnímat tlakovou či frekvenční složku, lze ryby rozdělit na sluchové specialisty a generalisty (**Hawkins, 1993; Amoser a Ladich, 2005; Yan, et al., 2010**). Specialisté vnímají zvuky s širším rozpětím frekvencí (až do 3000 Hz), ale nižší intenzitou. Generalisté vnímají frekvence v užším rozpětí (max. do 1500 Hz), zato o vyšší intenzitě. Mezi specialisty našich vod patří například ryby z čeledi sumcovitých (*Siluridae*) či kaprovitých (*Cyprinidae*). Ke generalistům náleží okounovití (*Percidae*) či lososovití (*Salmonidae*). Zajímavé však je, že ne všechny hluky vnímají ryby negativně (**Fréon, et al., 1993**). Existují dokonce případy, kdy byly ryby lodními vibracemi přitahovány (**Røsted, et al., 2006**). V současnosti je nicméně snaha omezit hluk rybářských lodí (**Robertis, et al., 2010**). Autoři se zabývali testováním hlučnosti dvou různých rybářských lodí. Během akustických studií tresek pestrých (*Teragra chalcogramma*) v Beringově moři zjistili, že ryby obzvláště negativně reagují na nízkofrekvenční zvuky vyvolané zrychlením částic při pohybu lodního trupu vodou.

Tralová síť je konstruována tak, aby jejími optickými signály byli živočichové nasměrováni do jejího ústí. První objekty, s nimiž se ryby v trase tralu obvykle setkají, jsou rozpěrné desky. Ryby v jejich těsné blízkosti předvádějí tzv. „fountain“ manévr (**Winger, et al., 2010**), který je založen na optomotorické reakci (**Fréon, et al. 1993**) vůči pevným předmětům<sup>2</sup>. Ryby mají tendenci, pokud se vyhýbají nějakému objektu, zachovávat vůči němu stálou polohu. V důsledku toho jsou některé ryby při vyhýbání se s deskou „odkloněny“ do trasy tralu, zatímco jiné ho zcela minou. Zvláště názorný je manévr u hejnových druhů. Ryby v oblasti rozpěrných desek dosud tral nevidí, čemuž u bentických tralů přispívají zvířená oblaka materiálu dna. „Naháněcí“ efekt mají také tažná lana mezi rozpěrnými deskami a tralem (**Misund, et al., 2002**). Zvláště u solitérních druhů je proto vhodné tato lana prodloužit minimálně o 20 m. Když zvířata dorazí do těsné blízkosti ústí, nastává nutnost rychlého rozhodnutí, jak zareagovat. Právě v této zóně se obvykle setkáváme s nejvyšší diverzitou reakcí, které bývají druhově i individuálně charakteristické (**Piasente, et al., 2004; Winger, et al., 2004; Main a Sangster, 1983**). Ačkoliv kvantifikovat únikové chování není snadné, některé společné rysy rozpoznat lze. Ryby, které se dostaly do ústí tralu, mohou vykazovat pasivní či aktivní chování. Může nastat, že na síť nereagují vůbec a

---

<sup>2</sup> Činí tak prostřednictvím zachování fixní pozice objektu na sítnici, který minimálně jedním okem neustále pozorují. Často tímto způsobem mívají i potápěče.

někdy s ní dokonce kolidují. V případě, že reagují, můžeme pozorovat dva typy reakcí (**Kim a Wardle, 2003**). V první řadě se jedná o již zmíněné optomotorické chování, kdy se ryby otočí do směru tahu a začnou tral doprovázet. Tyto reakce jsou lépe předvídatelné. Druhým typem reakcí jsou eratické – chaotické, obtížně předvídatelné. V prostoru ústí i u koordinovaného hejna přechází dříve či později optomotorické chování na eratické. Na úrovni jedince je možné chování v ústí tralu přirovnat k antipredačnímu chování (**Kelley a Magurran, 2006**), které se týká reakčních prahů (**Winger, et al., 2010**). Každý živočich, zjistí-li přítomnost predátora, musí včas rozhodnout, dokdy setrvat na stanovišti (s předčasným únikem jsou spojené ztráty potravních a jiných možností) a kdy nejpozději začít prchat (s pozdním únikem je spojeno riziko smrti). Řešením je tedy optimální úniková vzdálenost, kterou lze definovat jako rovnováhu mezi náklady vynaloženými pro pokračování v dosavadní akci a náklady spojenými s únikem (výdej energie). Právě na podobném principu je založena i úniková reakce ryb v blízkosti tralu.

Sít'ovina, její tvar a kontrast, je částí tralu, na kterou je při jeho konstrukci nutné brát ohled. Na rozdíl od tažných lan či rozpěrných desek by měla být sít'ovina pro ryby co nejméně kontrastní vůči prostředí (**He a Pol, 2010; Kim a Wardle, 1998**), aby ryby neodrazovala. Zrak ryb je velmi dobře vyvinut a důležitě se podílí při únikových reakcích. Některé druhy disponují dokonce tetrachromatickým viděním (4. typ čípků vnímá UV světlo) a hlubinné ryby vidí až 100 x lépe, než člověk (**Arimoto, et al., 2010**). Kontrast je klíčovým prvkem pro vnímání předmětů. Bylo zjištěno, že obecně ryby vnímají lépe světlé objekty na tmavém prostředí, neboť tyčinky sítnice jsou citlivější na světlo než čípky. Vzhledem k tomu, že do větších hloubek pronikají především modré a zelené složky viditelné části elektromagnetického spektra (**Kalff, 2002**), se za vhodné považuje zejména oranžové či zelené zbarvení sít'oviny.

Ryby v prostoru ústí se pokud možno vyhýbají kontaktu s panely sítě. Velká oka předních oddílů pelagických tralů bývají větší, než je velikost ryb, a přesto nemusí snižovat účinnost tralu. Ryby se většinou nesnaží proplout skrz ně. Jak ukazují laboratorní pokusy **Ozbilgina a Glasse (2004)**, ryby jsou vůči novým objektům, s nimiž se poprvé setkají, nedůvěřivé. Autoři studovali reakce tresek (*Melanogrammus aeglefinus*) o délce okolo 30 cm, které byly umístěny v nádrži přepažené sítí o různých velikostech ok. Ryby byly předem trénované na získání potravy metodou klasického podmiňování. Bazén byl uprostřed přepažen sítí s čtvercovými oky (velikost 200 mm). Ryby byly motivovány k proplouvání sít'ovinou prostřednictvím potravní odměny. Během prvních pěti pokusů se zvířata odmítala k síti přiblížit, teprve po čtrnáctém opakování proplula polovina ryb a při třicátém propluli

všichni jedinci. Jakmile vědci změnili velikost ok, situace se opakovala. Obdobný pokus v laboratorních i terénních podmínkách uskutečnili s hejnem makrel **Glass a Wardle (1995b)**, kteří pozorovali odmítavý postoj těchto ryb vůči „černému“ tunelu (simulace koncového sběrného vaku tralu), který se makrelám patrně jevil jako otevřená tlama predátora. Vliv velikosti ok síťoviny na selektivitu tralu je předmětem mnoha prací. **Piasente, et al., 2004**; uvádí, že zvětšením ok předních částí panelů o 10 mm (z 90 na 100 mm) může selektivita stoupnout až o 30 %. Obdobné zaznamenal v našich podmínkách **Říha, et al., 2012**. Selektivita tralu podstatně ovlivňuje velikost úlovku (**Engas a Godø, 1989**). Zatímco snahou komerčního rybolovu je selektivitu zvyšovat a omezit tak nežádoucí vedlejší úlovek („by-catch“), tralování pro vědecké účely naopak, pro potřeby efektivního vzorkování rybích obsádek, vyžaduje nízkou selektivitu. Pro zvyšování selektivity se používají nejrůznější selektivní zařízení<sup>3,4</sup>, jako jsou modifikované oddíly panelů koncového vaku či příčné rošty (**Valdemarsen a Suuronen, 2001; Graham, 2010**). Ty umožňují proplutí příliš malým jedincům a druhům, které netvoří cílený úlovek (kytovci, žraloci, mořské želvy). Pro vzorkování evropských nádrží používáme obvykle traly, z nichž každý disponuje několika různými velikostmi ok síťoviny.

### 1.1. Variabilita únikových reakcí

S nejrůznějšími typy reakcí se setkáváme během pelagického i bentického tralování. O tom, jak může být chování vůči tralu variabilní, pojednávají příklady z následujících prací. **Main a Sangster (1983)** pozorovali hejno tresek (velikost až 40 cm), jak se chová při tralování. Ačkoliv se jedná o hejnový druh, nebyla pozorována ani reakce vůči rozpěrným deskám ani doprovázení tralu. Ryby se pohybovaly rychlostí tahu ( $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) v trase tralu mezi oddíly horních a spodních tažných lan („bridles“) a rozpěrnými deskami asi půl druhého metru nade dnem. Jakmile se tresky přiblížily těsně k síti, nadepluly dolní žíni a pohybovaly se v blízkosti síťoviny. Svojí přítomností patrně ovlivňovaly nově přichozí jedince, neboť tito se dříve otáčeli do směru tahu. Je známo, že některé rychle se pohybující pelagické druhy (kranasi, tuňáci, makrely) předvádějí v prostoru tralu tzv. „cruising

---

<sup>3</sup> Odkaz na zdroj citace: <<http://www.fao.org/docrep/008/y6981e/y6981e09.htm>>

<sup>4</sup> Odkaz na zdroj citace: <<http://www.eurocbc.org/page127.html>>

behaviour“, kdy rychle vplují do prostoru tralu a zase jej opustí. Dosahují při tom vyšších rychlostí než samotný tral (**Winger, et al., 2010**).

Jiným příkladem je chování bentických druhů, jako jsou platýsi, kambaly, ďasi apod. (**Ryer, 2008**). Nejedná se o vytrvalé plavce, kteří zaujímají jinou strategii únikových reakcí. Obvykle nehybně spočívají na mořském dně a na tral reagují až v jeho bezprostřední blízkosti. Někdy nereagují vůbec. Antipredační chování těchto ryb totiž spočívá v maskovacím zbarvení a velmi krátkých únikových vzdálenostech. Platýsi a kambaly vstupují do tralu obvykle těsně nade dnem a na tral začínají reagovat až v poslední chvíli, často po kontaktu se spodním tažným lanem či se spodní žíní (**Winger et al., 2004**). Platýsi a kambaly vůči zadním oddílům tažných lan reagují jinak než většina ryb. Vyrušené ryby vyražejí kolmo k lanům nezávisle na vzdálenosti od ústí. U těchto ryb byly pozorovány dva rozdílné typy plavání při únikové reakci, které jsou, pravděpodobně, velikostně závislé. Ryby menší než 30 cm většinou od překážky odplouvají s pravidelnou frekvencí ocasních úderů, zatímco větší jedinci preferují chování „klouzavého letu“. Těsně před překážkou vyrazí vpřed a určitou vzdálenost „kloužou“ vodním sloupcem než se opět usadí na dně.

Ve vodách Austrálie byly studovány reakce 10 druhů ryb vůči pelagickému tralu (**Piasente, et al., 2004**). Sledovacím zařízením byla optická kamera a hloubka tralování se pohybovala od 90 – 650 m. Autoři během dne pozorovali rozmanité typy reakcí v různých ročních obdobích. Treskovníci novozélandští (*Macruronus novaezelandiae*) pasivně odpočívali na dně či ve vodním sloupci. Po kontaktu s tralem byly pozorovány krátké nárazové výpady a snaha uniknout „křídly“ tralu či síťovinou horního panelu. Po 10 s křížováním ústí tralu se obvykle nechávali pohltit. Zcela jinak se chovala hejna zploštělců indických (*Neoplatycephalus richardsoni* - Platycephalidae), kteří na tral reagovali v horizontálním směru a doprovázeli ho okolo 60 s. Prudké výpady střídalo klouzavé plavání, a jakmile se zploštělci unavili, vstupovali těsně nade dnem do prostoru sítě. Po krátkém odpočinku v koncovém vaku se ještě pokoušeli uniknout, což často vedlo ke kontaktu s horním panelem. Aktivně se v prostoru tralu chovaly také jedinci druhu *Rexea solandri* (Gempylidae), kteří se drželi při horním panelu tralu a snažili se jím případně uniknout. Nejčastějším typem reakcí v ústí a v prostoru tralu bylo krátké prudké vyražení směrem vpřed rychlostí vyšší, než byla rychlost tahu. Chování ryb odráží přednosti habitatů jednotlivých druhů (**Freón, et al., 1993**). Podle toho se ryby zdržovaly spíše v horním či dolním prostoru tralu. Ve Freónově práci se setkáváme s poměrně častými pokusy ryb proplout skrz síťovinu a to dokonce i v koncovém vaku, kde jsou možnosti úniku sniženy (malá oka síťoviny).

Z uvedeného vyplývá, že ryby vůči tralu předvádějí několik typů reakcí, z nichž nejčastější jsou následující: 1) Pelagické druhy vstupují do prostoru ústí převážně v jeho horní až střední části. Plavou rychlostí, při které tral určitou dobu doprovází, než se unaví a nechají se pohltit. Ojediněle se mohou pokoušet uniknout síťovinou horního panelu. Častěji však byly pozorovány reakce v horizontálním či vertikálním směru (**Pyanov, 1992; Rakowitz, et al. 2012**); (**Obr. 1**). 2) Pokud se jedná o zvláště výkonné plavce, jsou známy případy, kdy vplují do tralu a opět jej opustí, je-li rychlost tahu příliš nízká. 3) Naopak, druhy bentické, či zdržující se v blízkosti dna, do prostoru ústí vstupují těsně nad dnem. Často odpočívají na spodním panelu s občasnými prudkými výpady do různých směrů. Bentické druhy předvádějí typické „klouzavé“ plavání, při němž se střídavě usazují na dně. Mohou se pokoušet uniknout pod dolní žíní tralu či směřují kolmo na spodní oddíly tažných lan a dolní žíně (**Winger et al., 2004**). Vyčerpané ryby, které se nechaly pohltit, se ještě v koncovém vaku mohou pokusit o únik. Vzhledem ke značným turbulentním proudům a častým kolizím s ostatními jedinci je takových jedinců jen málo.



## 1.2. Tral v roli predátora

Z hlediska chování ryb při tralování lze pohlížet na pohybující se tral podobně jako na přibližujícího se predátora. Stejně jako u ostatních obratlovců i u ryb hraje učení důležitou roli. Ačkoliv byla schopnost učení u ryb v minulosti odmítána, dnes se s ní setkáváme v různých pracích. Přehled podává například **Brown, et al., 2006**. Ryby mají schopnost sdělovat si informace a aktivně si je mezi sebou předávat. Při studiu jejich reakcí vůči tralovým sítím či jiným lovným prostředkům je nezbytné zohlednit několik různých faktorů, jako je antipredační a sociální chování ryb, typy loveckých strategií a reakce na ně, smysl pro orientaci, chování mezi jedinci svého a cizího druhu či jejich vzájemnou spolupráci.

U ryb se vyvinulo mnoho způsobů, jak se vyhnout přímému střetu s predátorem a ušetřit tak energetické výdaje spojené s únikovým chováním (**Winger, et al., 2010**). Ryby zvláště citlivě reagují na pachy (kairomony - poplašné látky odpadních produktů) vylučované svými přirozenými nepřáteli, aktivně se těmto pachům vyhýbají a varují před nimi vlastní příslušníky druhu (**Browa a Chiverse, 2006**)<sup>5</sup>. Ačkoliv je patrné, že chemické podněty jsou klíčovým antipredačním „spouštěčem“ (**Kelley a Magurran, 2006**), celkový vjem predátora si jedinci řádně všítí až po optickém kontaktu s ním. Například nezkušení jedinci (*Gobiusculus flavescens*) negativně reagovali na pach tresky až poté, co ji osobně viděli a spojili si pach s optickým vjemem. Ryby se zvláště obávají ryb s proporcčně velkou tlamou a očima. Právě zde lze pozorovat paralelu s optickým vjemem tralové sítě (**Glass a Wardle, 1995 b**), kterou mohou ryby vnímat jako hrozbu.

Schopnost zapamatovat si trasy při migracích na trdliště či zimoviště a jejich naučení se od starších generací v hejnu byla pozorována u mnoha hejnových druhů ryb (**Odling-Smee, et al., 2006**). Narušení komunikace mezi mladšími kohortami a zbytkem hejna (absence starších ročníků) mívá negativní vliv na migrační vzorce (**Fernö, et al, 2006**). U cejna velkého (*Abramis brama*) bylo pozorováno, že v souvislosti s negativní zkušeností (opakované setkání s tralem) dochází k vyhýbání se síti, snazšímu úniku z tralu a při opakovaném tralování i k přesouvání do jiné oblasti (**Pyanov (1992, 1993)**). Ryby, které přežily kontakt se sítí, mají vyšší šanci se jí v budoucnosti vyhnout a taktéž ovlivnit chování nově přichozících jedinců (**Pyanov, 1993; Fréon, et al., 1993**). U jedinců žijících v hejnech bylo prokázáno rychlejší předávání informací o blížícím se nebezpečí a schopnosti naučit se na ně reagovat, než je tomu v případě párů či jednotlivců (**Alfieri a Dugatkin, 2006**).

---

<sup>5</sup> Jako příklad autoři uvádějí korušky, jež se silně vyhýbaly okounům krmeným právě koruškami, zatímco okounům, kterým byla podávána jiná strava, korušky téměř nevěnovaly pozornost.

## 2. Faktory ovlivňující únikové chování ryb

Existuje mnoho faktorů, které ovlivňují chování ryb ve vztahu k vlečným sítím. Mezi základní abiotické vlivy patří světelné podmínky, denní doba, teplota prostředí, hloubka, doba a rychlost tahu, v neposlední řadě také konstrukce tralu (plocha ústí, délka tažných lan, hlučnost); (Itaya, et al., 2007; Jůza a Kubečka, 2007). Biotické faktory zahrnují diurnální či anuální aktivitu ryb, jejich momentální „vyladění“, fyziologickou kondici či hejnové chování.

### Okolní viditelnost

Světelné podmínky pod vodní hladinou jsou často limitující<sup>6</sup>. Na moři viditelnost kolísá v řádech desítek až stovek metrů.<sup>7,8</sup> Ve sladkovodním prostředí (turbidita, eutrofie) je viditelnost často omezena jen na několik desítek centimetrů (Kalff, 2002). Zatímco za dobré viditelnosti na moři jsou ryby schopny tralové síť odhalit již ze 40m vzdálenosti, v noci, v téže oblasti, tral nemusí vidět vůbec. Množství okolního světla podstatně ovlivňuje chování ryb (Olla, et al., 2000). V podmínkách se sníženou viditelností jsou hejna rozvolněnější, hůře se jim orientuje v prostoru tralu, což zvyšuje pravděpodobnost kolize se sítovinou a ostatními součástmi. Vliv světelných podmínek na reakce ryb velmi závisí na prostředí, kde je tralování provozováno. Zajímavou práci prováděli Jamieson, et al. 2006, kteří zjišťovali světelné podmínky v různých hloubkách a vyvozovali možné reakce ryb v různých světelných podmínkách. Pro detekci světelnosti prostředí byla použita ISIT kamera citlivá na modré světlo, které ryby dobře vnímají. Bylo zjištěno, že se zásadně liší podmínky pro vizuální vnímání tralů v závislosti na tom, zda jde o fotickou<sup>9</sup> či afotickou zónu. Ryby, vyskytující se ve fotické vrstvě vodního sloupce, jsou přizpůsobeny k vnímání

---

<sup>6</sup> Odkaz na zdroj citace: <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/chemical/watabs.html>>.

<sup>7</sup> Za nejprůzračnější oblasti na světě jsou považovány vody Středoziemního, Sargasového, Weddelova moře či Kráterového jezera, kde byl Secchiho disk pozorován ještě v hloubkách 50 m. Hranice afotické zóny bývá dosaženo v asi 500 m.

<sup>8</sup> Odkaz na zdroj citace: <[http://www.eoearth.org/article/Secchi\\_disk](http://www.eoearth.org/article/Secchi_disk)>

<sup>9</sup> Fotickou zónou rozumíme hloubkovou vrstvu, kam ještě proniká zbytkové světlo z hladiny využitelné pro fotosyntézu. V mořském prostředí se nachází v přibližně 250 m. V rámci různých prostředí je však velmi variabilní.

zbytkového světla z hladiny a vnímají tral jinak, než batypelagické druhy<sup>10</sup>. Světelné podmínky hrají při tralování důležitou roli jakož jeden z hlavních faktorů ovlivňující reakce ryb. Také u ryb zdejších nádrží je patrný vztah mezi aktivitou a světelnými podmínkami prostředí. Během dne, za vyšší okolní viditelnosti<sup>11</sup>, ryby vykazují vyšší aktivitu a zdržují se v těsnějších agregacích. Při tralování za dne bylo pozorováno více únikových reakcí<sup>12</sup> ve srovnání s nocí, kdy je naopak vykazována nízká aktivita a ryby na tral téměř reagují. V noci se ryby zdržují převážně v horních vrstvách vodního sloupce, přičemž jejich agregace jsou rozvolněnější. Jedná se o vhodnější období pro vzorkování i akustické monitorování (**Rakowitz, et al., 2012**).

#### *Doba a rychlost tahu, velikost ústí tralu*

Velikost jedince a rychlost plavání jsou důležitými faktory, je-li posuzována účinnost tralu. Obvykle se rychlost tahu pohybuje od 3 – 6 uzlů (cca 5, 5 – 9 km.h<sup>-1</sup>) při námořním tralování. Ve sladkovodním prostředí bývá tato rychlost podstatně nižší, asi do 5 km.h<sup>-1</sup> (**Mason, et al., 2005; Olin a Malinen, 2003**). Hejno může tral doprovázet pouze určitou dobu, než se ryby unaví a jsou pohlceny do koncového vaku. Vyšších rychlostí je potřeba dosáhnout při lovu rychlých pelagických druhů jako jsou tuňáci, kranasi, pelamidy, tresky nebo makrely. Je-li rychlost nedostatečná, ryby prostor sítě opustí. I tak hejno vydrží s tralem plavat jen několik minut. Závisí přitom na jejich fyziologické vytrvalosti. Zatímco velké ryby před tralem dosahují max. rychlosti okolo 3 m.s<sup>-1</sup>, kterou udržují až 15 min, malé ryby vynaloží na dosažení stejné rychlosti mnohem více úsilí. Vydrží plavat jen několik desítek vteřin, než vyčerpají zásoby glykogenu ve svalech. U ryb, jejichž velikost se pohybuje mezi 15 – 25 cm je délko – rychlostní závislost zvláště patrná (**Breen et al., 2004**). Na pohyb ryb, jakožto poikilotermních živočichů, má značný vliv teplota prostředí, která omezuje svalovou činnost<sup>13</sup>. Platí, že na každých 10 °C se rutinní migrační rychlost ryby

---

<sup>10</sup> O batypelagických rybách se předpokládalo, že u nich zrak nehraje velkou roli. Přesto bylo zjištěno, že citlivě reagují na bioluminiscenci, která je jediným světelným zdrojem v jejich prostředí a zachytí i minimum přítomných fotonů na vzdálenosti až několika desítek metrů. Tral byl ve větší hloubce po nasvícení patrně kontrastnější.

<sup>11</sup> Příkladem mohou být hodnoty průhlednosti naměřené v srpnu roku 2009 a 2011 na vodních nádržích Římov a Želivka. Pohybovaly se přibližně mezi 1-2 m (Římov 2011) a až 3,5 m (Želivka 2009).

<sup>12</sup> Příkladem jsou údaje z vodní nádrže Želivka (2009), kde bylo pozorováno celkem 33 únikových reakcí, z toho pouze 4 byly noční.

<sup>13</sup> Výjimku tvoří některé makrelovité ryby a paryby (Lamnidae, Mobulidae, Alopiidae), u nichž se vyvinula částečná heterotermie (**Graham a Dickson, 2004**), což jim pomáhá se lépe vyrovnat se změnami prostředí.

přibližně zdvojnásobí. Například sled obecný (*Clupea harengus*) o velikosti 25 cm urazí za vteřinu 1 m při 14 C°, zatímco při 4 C° to je sotva 0,5 m.

Při vysokých či příliš nízkých rychlostech během tralování hrozí poškození zařízení a snížení efektivity lovu. Zatímco optimální rychlosti plavání mnohých druhů ryb jsou poměrně dobře známé, podstatně méně toho víme o prahových hodnotách („thresholds“) pohybu (**Breen, et al., 2004**). Je známo, že se ryby po určitém čase unaví a směřují do těla tralu, kde se však ještě mohou pokusit o únik. Udrží si tedy určité energetické rezervy. Ryby využívají při běžných rychlostech pohybu bílou svalovinu (**Thurman a Trujillo, 2005**), zatímco pro maximální výkon přebírají její funkci červená svalová vlákna bohatá na myoglobin (**Graham a Dickson, 2004**). Maximální „udržitelná“ rychlost je dána prahovou hodnotou aerobního metabolismu. Příkladem mohou být tresky jednoskvrnné (*Melanogammus aeglefinus*), u kterých byla pokusně stanovována maximální udržitelná rychlost. Ryby byly před měřením rozděleny do skupin podle velikosti pro minimalizaci vlivu délky<sup>14</sup>. Po dobu 200 min byly při konstantní rychlosti stimulovány k plavání cirkulární nádrží, dokud se zcela nevyčerpaly (**Breen, et al. 2004**). Uvnitř jednotlivých skupin byly nalezeny rozdíly ve vytrvalosti jednotlivců. Pro 16cm tresky byla naměřena „hraniční“ rychlost 38 cm.s<sup>-1</sup>, zatímco pro 40cm ryby 62 cm.s<sup>-1</sup>. Malé ryby však měly poměrně větší výdrž oproti velkým jedincům, což pravděpodobně souvisí s hydrodynamickým odporem (ten se zvyšuje s rostoucí velikostí těla). Maximální možná rychlost, kterou vydržely 40cm tresky plavat po dobu 15 min, byla 0,9 m.s<sup>-1</sup>! Podle **Itayay, et al., 2007** se kromě rychlosti tahu na účinnosti tralu také podílí velikost plochy ústí tralu. Ve svém pozorování autor použil tři traly o stejné velikosti ok síťoviny (plochy ústí: 4, 12 a 16 m<sup>2</sup>). Zatímco největší z nich chytal větší jedince, kteří měli širší velikostní spektrum, do malého tralu se chytaly pouze malé ryby. Účinnost lovu mezi velkým a malým tračem se průkazně nelišila, zato byly pozorovány závislosti na velikosti ulovených jedinců.

---

Jejich tepenná krev se ke svalům dostává předeřhřátá díky specifickému – protiproudému uspořádání cév a přítomnosti vysokého podílu červené svaloviny. Krev vracející se ze svalů ohřívá přichozí tepennou krev, což minimalizuje tepelné ztráty. Tyto ryby udržují až o 10 °C vyšší tělesnou teplotu (nikoliv však pohybem) oproti okolní vodě.

<sup>14</sup> Jedinci o velikosti 16 cm na stejnou vzdálenost vykonají více ocasních úderů než ryby 40cm.

### Vliv hejnového chování

Kromě zvukových či optických signálů ovlivňuje reakce ryb v ústí tralu také hejnové chování (Fernö, et al., 2006; Gerlotto, 1996; Pitcher a Parish, 1993). Ačkoliv mají ryby ve větších hejnech či stísněných prostorech nižší požadavky na „osobní prostor“, bylo prokázáno, že jsou velmi citlivé na rozestupy v hejnu (Karpenko, et al., 1997). A pokud je překročena určitá mez, vyvolá „přerybnění“ paniku jako právě v prostoru tralu. Vědci prováděli akvarijní pokusy s cejny, ploticemi a ouklejemi. Nejprve byly ryby pozorovány v klidu. Vědci tím ale nezískali hodnotu „prahových rozestupů“ ryb. Pokud bylo hejno 50hlavé, udržovali jednotlivci menší rozestupy (0,26 m) než v případě, pokud jich byla polovina (30 cm). Jakmile byly ryby vystaveny tralu, který je nutil se shlukovat na omezené části nádrže, pozbyly svého minimálního prostoru a začaly panikařit. Jakkoliv na počátku odmítaly proplout síťovinou, při poklesu rozestupů na 0,05 m tak z nouze činily. Toto chování lze rovněž pozorovat při skutečném tralování. Když se ryby dostanou do ústí, shluknou se, ale ještě si drží určitý prostor pro manévrování. Poté, co se dostanou do těla tralu, chování změní. Stísněný prostor v sužujícím se těle tralu a zvyšující se počty nově přichozích jedinců způsobí po překročení kritické hodnoty rozestupu eratické reakce.<sup>15,16</sup>

### Denní, noční a sezonní aktivita

Diurnální či anuální aktivita souvisí s výskytem ryb v určitém prostoru vodního sloupce, což ovlivňuje velikost úlovku při tralování a dobu vhodnou pro vzorkování. Nejen u mořských ryb, ale rovněž u ryb evropských sladkovodních nádrží, se setkáváme se značnými rozdíly mezi denní a noční aktivitou (Prchalová et al., 2010). Z hlediska migrační aktivity ryb našich nádrží lze rozpoznat dva hlavní vrcholy, a to při svítání a za soumraku. Naopak, pokud se jedná například o potravní aktivitu, jsou ryby v pelagiálu aktivní během dne. V noci je aktivita nízká, ryby volně postávají v horních vrstvách vodního sloupce.

---

<sup>15</sup> Mezní hodnoty pro rozestupy se liší v různých částech tralu a jsou známy pro různé druhy (cejni, plotice, sardinky, makrely, kranasi, oukleje). Koeficient „těsnosti“ je roven součinu hustoty hejna (počet jedinců na 1 m<sup>3</sup>) a třetí mocnině průměrné vzdálenosti mezi jedinci. Vyjadřuje hodnotu rozestupu, která se pro oblast ústí pohybuje mezi 4,7 (pro cejna) a 9 (pro ouklej). To odpovídá běžnému rozestupu v migrujících hejnech těchto ryb. V kritické oblasti, kde ryby začínají panikařit, tato hodnota rovna dvěma u většiny druhů. Tj. pro 20cm (SL) cejna velkého je limitující zhruba 6cm vzdálenost (Karpenko, et al., 1997).

Jedinci v hejnech zaujímají větší rozestupy (**Godø a Valdemarsen, 1993**). V noci je obvykle nejvhodnější období pro jejich vzorkování vlečnou sítí a akustické monitorování pomocí sonaru (**Draštík et al., 2009; Djemali et al., 2008**).

### 3. Souhrn teoretické části

Tralování je efektivní metoda, kterou je možné obsáhnout rozsáhlé vodní objemy za krátký čas a lze ji porovnávat s ostatními metodami vzorkování (**Olin a Malinen, 2003; Schmidt, et al., 2005; Mason, et al., 2005**). První studie chování ryb v souvislosti s vlečnými sítěmi byly prováděny pro potřeby komerčního námořního rybolovu, pro který bylo tralování doménou mnoho desetiletí (**Hayes, et al., 1999**)<sup>17</sup>. Proto se nejčastěji setkáváme s pracemi pojednávajícími o treskách, sledích, makrelách, platýsech a jiných frekventovaně lovených druzích (**Main a Sangster, 1989**).

Ryby mohou vůči tralům vykazovat vysokou diverzitu reakcí (**Piasente, et al., 2004**). Selektivita a účinnost používaných tralů a související reakce lovených ryb na ně jsou základní faktory ovlivňující odhady rybích společenstev v pelagiálu moří, jezer i vodních nádrží. Způsoby reakce na tral jsou druhově i velikostně specifické a zaleží na mnoha různých faktorech (denní doba, bentické či pelagické druhy ryb, fyziologický stav, předchozí zkušenost, hloubka atd.). Pro analýzu reakcí vůči tralové síti je nutné znát biologii a ekologii ryb, které jsou cílem lovu (**Fernö, et al., 2006**). Rybí chování vůči síti může být obdobné jako vůči predátorům a pozorované reakce jsou druhově specifické. Klíčovým faktorem pro únikovou reakci jsou opticko-akustické podněty z prostředí (**Kelley a Magurran, 2006**). Než se ryby dostanou do ústí tralu, slyší hluk blížícího se zařízení (**Hawkins, 1993; Amoser a Ladich, 2005**). Za dobrých podmínek viditelnosti se mohou tralu vyhnout již stovky metrů předem. Vizuální kontakt má při kontaktu s vlečnými sítěmi zásadní vliv. Pokud se ryby dostanou do prostoru před ústí, musí rychle reagovat. Předčasné opuštění stanoviště může znamenat energetické ztráty, pozdní naopak riziko smrti. Snahou je volit kompromis mezi oběma možnostmi neboli hledat optimální únikovou vzdálenost. Obvyklé chování, předváděné v ústí tralu, je plavání ve směru tahu (**Kim a Wardle, 2003**), kdy ryby zaujmou

---

<sup>17</sup> Tralové sítě jsou na moři užívány od počátků 19. století, ačkoliv jejich historie je známá již od roku 1376, kdy byl údajně použit první bentický tral. Jednalo se patrně o skotský „beam trawl“, typ těžkého bentického tralu s pevným rámem zvaný „Wondyrchoum“. Odkaz na zdroj citace:

< <http://www.aquaticcommunity.com/news/lib/305> >

fixní polohu vůči síťovině a mezi sebou v hejnu. Jakmile se unaví, vystřídají koordinované plavání prudké, směrově nepředvídatelné, eratické reakce. Nakonec jednotlivci směřují do koncového vaku. S odlišnými reakcemi se zde setkáváme u bentických a pelagických druhů. Většina ryb s tralem vydrží plavat jen omezenou dobu, než vyčerpají energetické zásoby. V koncovém vaku již většinou nemají dostatek sil, aby překonaly turbulence a nápor ostatních jedinců a vrátily se k ústí. I tak jsou popsány případy, kdy se o to ryby pokusily.

Pokud se ryby opakovaně v kratších intervalech setkají s tralem, dokážou se mu naučit efektivně vyhýbat a negativní zkušenost si mohou pamatovat až po dobu jednoho roku. Jsou známy případy, že stačilo jediné tralování aby při druhém poklesl počet chycených ryb (**Freón, 1993; Pyanov, 1992, 1993**).

Praktická část je zpracována ve formě rukopisu pro odborný časopis.

# Fish behaviour in response to a pelagic trawl footrope

Z. Sajdlová<sup>a,b,\*</sup>, J. Kubečka<sup>a,b</sup>, V. Draštík<sup>a</sup>, M. Říha<sup>a</sup>

*a) Biology Centre , Institute of Hydrobiology, Academy of Sciences of the Czech Republic, Na Sádkách 7, 370 05 České Budějovice, Czech Republic*

*b) Faculty of Biological Sciences, University of South bohemia, Branišovská 31, 370 05 České Budějovice, Czech Republic*

---

## Abstract

The main aim of this study was to analyze fish behaviour in response to a surface paired trawl in two temperate reservoirs with respect to its efficiency. SIMRAD EK 60 (38 kHz) split-beam echosounder attached to the headrope was used for monitoring of fish behaviour in a trawl mouth. Fish were monitored during both day and night. We analyzed fish velocities and directions of swimming (in vertical plane), their size distribution as well as relationship between behaviour and water transparency, temperature and oxygen stratification. Significant differences between day and night distributions were found out. While in day time fish were more active and more avoidance reactions were observed, at night, fish have tend to stay standstill in a water column with no obvious reactions. A higher probability that fish occur in a trawl path was at night. During day time larger individuals were observed in the trawl path, in contrary to night time when smaller fish prevailed. More avoidance reactions were observed during day time in both reservoirs. During strong avoidance reactions fish dove up to 3 m below the footrope. Also complexity (tortuosity) of a fish motion was evaluated. However, significant results were obtained only in some cases. Dependence between fish size and velocity was only slightly significant, partly due to low number of observations.



**Keywords:** trawl gear, fish behaviour, vertical beaming, SED echogram, pelagial

---

\* Corresponding author at: Biology Centre, Institute of Hydrobiology, Academy of Sciences of the Czech Republic, Na Sádkách 7, 370 05 České Budějovice, Czech Republic. Tel.: + 420 731 954 182. *E-mail address:* [zuzana@sajdl.info](mailto:zuzana@sajdl.info) (Z. Sajdlová).

#### 4. Introduction

Fish behaviour in response to the active fishing gear has been studied by many authors worldwide and is known mainly in marine commercially hunted species (**Piasente, et al., 2004; Main and Sangster, 1983; Olla et al., 2000; Winger et al., 2004**). However, the same does not pay in freshwater ecosystems where observations of this behaviour are quite rare (**Rakowitz, et al, 2012; Schmidt, et al., 2005**) and fish reactions have been poorly understood. It is known that fish behaviour performed in proximity of the active fishing gear is often species specific and influenced by many abiotic and biotic factors (**Winger, et al., 2010**). Therefore, it is usually difficult to generalize it. Differences are found in benthic and pelagic species as well (**Ryer, 2008**). In solitary individuals, avoidance reactions are usually more erratic and disorganized than it is in case of shoaling fishes. Fish are highly dependent on their sensory perception and stimuli responses (**Glass and Wardle, 1995b; Hawkins, 1993**). They can hear approaching trawl well hundreds of meters away and as they are getting closer, sense of vision is used for detection (**Guthrie and Munz, 1993; Arimoto et al., 2010; Glass and Wardle, 1989**). Fish responses to a trawl gear are similar to anti-predator behaviour. Basically, we can describe it as a “trade-off” between costs of settling vs. costs of fleeing where the optimal escape distance is found out (**Winger, et al., 2010**). Fish are careful with unknown objects in their environment (**Özbilgin and Glass, 2004**) and learning plays an important role in their life. In some heavily fished grounds and especially after frequent meetings with trawls, fish were observed to avoid these dangerous habitats several weeks or months later (**Pyanov, 1992, 1993; Freón, 1993**).

The extended knowledge about fish behaviour in response to a trawl gear is needed for quantitative sampling of fish communities in lakes and reservoirs (**Kubečka, et al. 2009**). Information about fish positions and activities is crucial for estimates of the sampling gear efficiency. Also, new knowledge about fish behaviour is beneficial not only in biology but also ecology or behavioural studies.

The main goals and assumptions of this work were following: **1)** to find out fish distribution in a water column to evaluate time more suitable for trawling; **2)** to find out slope of fish trajectory in a water column which can predict vertical motion of fish. **3)** to check whether avoidance depends on fish size; **4)** to summarize connections between fish behaviour and main abiotic factors.

## **5. Materials and methods**

### *5.1. General characteristics of studied areas*

The survey was conducted at the two temperate reservoirs, Želivka and Římov in 2009 and 2011. Želivka is located in the central Bohemia (49°43'32"N; 15°05'20"E). With its surface area of 14,3 km<sup>2</sup>, mean depth of 17 m and volume of 250 mil. m<sup>3</sup> it belongs to the largest reservoirs in the Czech Republic. Římov is located in southern Bohemia (48°51'00"N; 14°29'30"E), surface area of 210 ha, mean depth of 16 m and volume of 33 mil. m<sup>3</sup>. Both reservoirs are canyon-shaped and well stratified as for the temperature, dissolved gasses etc. Summer thermocline usually extends in 3-5m depth. Water transparency is low, usually not exceeding 3 m. Under local geographical conditions Želivka and Římov possess dimictic character with mixing water strata in spring and autumn. Water bodies of this type are also typical for longitudinal gradient sharing common features of both lakes and rivers. Although they are not the only species found there a common bream (*Abramis brama*), a roach (*Rutilus rutilus*) and a bleak (*Alburnus alburnus*) are among most frequently caught fishes in Želivka and Římov (**Prchalová et al., 2008; Vašek et al., 2004**). Highest abundance is found in tributary zone where shallow, warm, nutrient and oxygen-rich waters occur.

## 5.2. Experimental design

Our study was conducted during summer period of August in 2009 and 2011. A pair boat pelagic trawling was carried out to sample pelagial of both reservoirs. Trawlers powered by inboard engines of 47 and 153 kW respectively were used and their velocity during the tows reached 4-5 km/h.

Surface trawl parameters were following: full body length (mouth-codend) was 38 m, vertical mouth opening was about 8 m, effective horizontal mouth opening was 10 m, sweeps' length was 50 m and mesh sizes (knot to knot) were 80, 40, 20 mm (main body) and 10 mm (codend). For further details, see **Říha, et al., 2012**. To maintain optimal geometry in the tow, two weights – 2 x 80 kg were connected to the footrope. The depth of a footrope was about 8 m during tows in Želivka and between 6 - 7 m in Římov where lighter weights were used. Because of fish in Czech reservoirs inhabit mostly surface layers above the thermocline the headrope with floaters and buoys were towed at the surface during all trawling operations. With respect to uneven bottom depth of the reservoirs, two small supporting boats were used to control depth of the footrope and to monitor GPS position of a trawl mouth (**Fig. 1**).

Two types of trawls were used in Římov 2011; one with big meshes (Big Meshed Trawl - BMT) and one with smaller meshes (Small Meshed Trawl - SMT). The later one was used only at night to test the activity of small-size fish (bleak and +1 individuals of roach and bream). The hydroacoustic recordings from two different trawlings were analyzed separately. Hauls from years 2009 and 2011 (Římov) were pooled together as the same type of trawl was used.

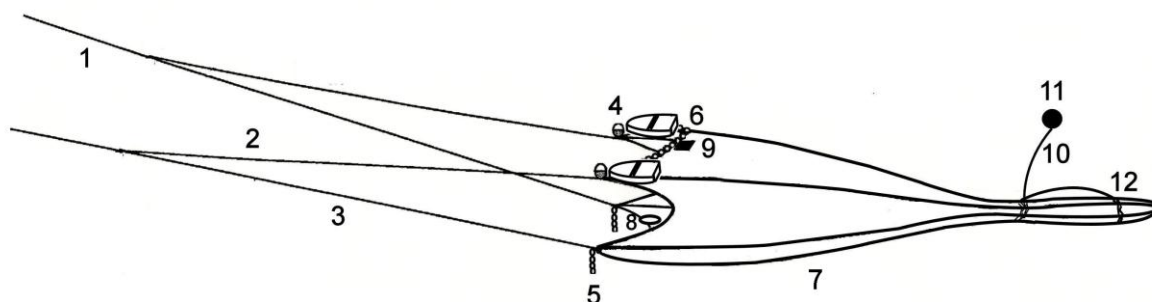
Abiotic factors such as ambient temperature, water transparency (Secchi disk was used; **Kalff, 2002**) and oxygen stratification were measured by YSI 556 MPS probe at several localities in both dams where trawling was conducted. Examples from Želivka and Římov are shown in **Fig. 5**.

SIMRAD EK 60 split-beam echosounder operated on frequency of 38 kHz. Composite transducer with nominal beam angle of 12 deg. was fixed to the central part of headrope and used to observe the volume in the trawl mouth. A sailboard 3 m long served as a floater and carried the transducer. Both echosounder and computer were placed in the supporting boat. The system calibration was done according to the **Footte, et al., 1987**. The lowest size threshold in the acoustic data was set – 54 dB because recognition of the smallest targets was difficult and might be inaccurate. The ping rate was between 4,5 ping per sec.

and 8 pings per sec. In total 5 vessels took part of the operation; two trawlers, two supporting boats and the “catch inspection” boat, where fish from the codend were concentrated, measured and identified into species. Main overview of hauls is shown in **Tab. 1**.

**Table 1:** General characteristics of hauls.

	total number of DAY hauls	total number of NIGHT hauls	total time (h) of acoustics observation	medium towing velocity (km/h)	medium tow duration (min)	total sampled area (ha)
Želivka 2009	9	7	6	4	37,4	70,3
Římov 2009	6	9	4,5	4,5	18	26,5
Římov 2011	23	19	7,5	4	10	38,5
Σ	38	35	18	-	-	135,3



**Fig. 1.** “Scheme of a midwater trawl”. 1 - sweeps, 2 - upper bridle, 3 - lower bridle, 4 - buoy, 5 - weight (chains or concrete-iron blocks), 6 - supporting boat, 7- four -panel trawl body, 8 - footrope, 9 - vertical sonar, 10 and 11 - buoy connected with codend, 12 - codend.

### 5.3. Fish behaviour evaluation

To evaluate reactions of single fish in a trawl path, it was necessary to measure their depths in the water column. The footrope was used to classify fish depth in proximity of the trawl gear. Three categories of fish were recognized: fish above the footrope (“A - above”), fish under the footrope (“U - under”) and fish avoiding the footrope (“E - escaping”). The first category included fish in a trawl path which occurred in 0 - 6 (8) m depth which were probably captured at the cod-end, the second category included fish deeper than the position of the footrope - 6 (8) up to 15 m which were not caught. The third category included fish that registered approaching trawl and escaped from its proximity (**Fig. 2. - 3.**). Only vertical motion of fish was evaluated.

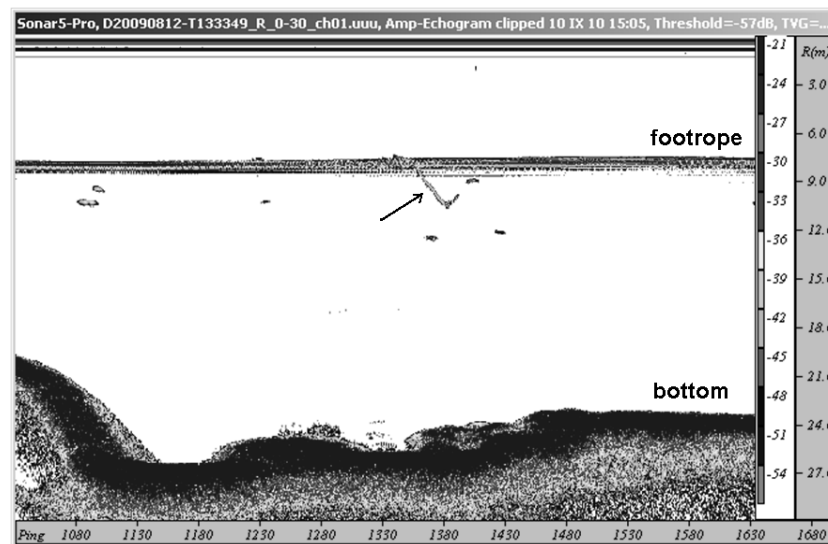
We used method of manual tracking which combines single target detections (SED) of fish targets into tracks. A minimal count of three consecutive echoes was set to make one track. Fish size is shown in target strengths (TS: -dB) scale in our results.

The acoustic beam is a relatively narrow cone which covers only a particular volume of the trawl mouth. Thus, not all the fish present in the hauls were seen on the echogram. Abundances of recorded fish were weighted by the conical beam morphology in order to correct different sampling volume in different ranges. That means that fish numbers in different depths were recalculated proportionally according to the insonified area in the same depths.

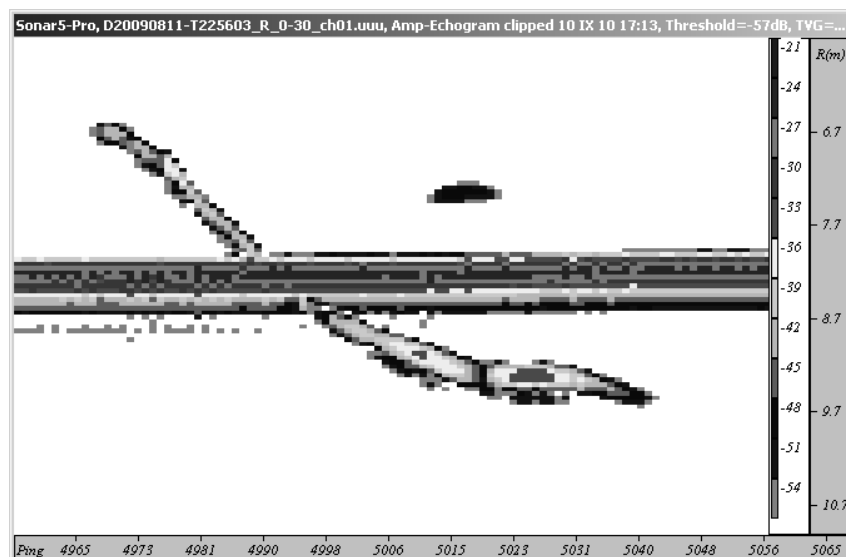
Track slope was used for fish behaviour description. It allowed to distinguish whether fish descended (positive slope), ascended (negative slope) or stayed (close to zero slope) in the same depth. Slope was defined as a ratio  $\Delta R/\Delta n$  where  $\Delta R$  is distance (m) between first and last echoes of the target and  $\Delta n$  is number of all echoes in the track (**Drašík a Kubečka, 2005**). Range of  $\pm 1 \text{ cm} \cdot \text{ping}^{-1}$  was considered as zero slope and indicated the fish which did not ascend or descend. It should be noticed that for size distribution only horizontal parts of the tracks were used to avoid wrong results due to differences in tilt angle (the angle between the longitudinal plane of a target and incident sound wave).

Tortuosity is a ratio between a straight trajectory (between two points at time A and B) and total length of the track calculated as sum of all distances between consecutive echoes (**Fig. 4**). In this case, all three dimensions (x, y, z) were considered for calculation. Fish that were swimming more straight have values close to “1” and fish with more complex trajectory had values close to “0”. Fish with more complex motion were supposed to have stronger reaction to an approaching trawl gear (they probably got frightened and performed

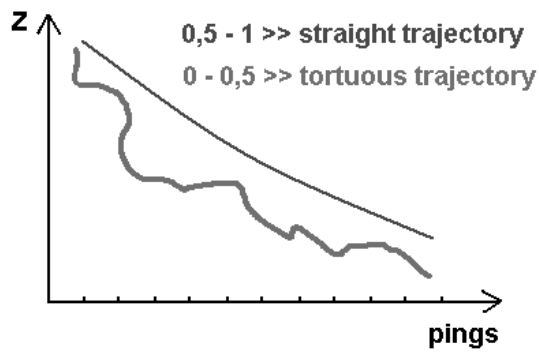
avoidance reaction) compared to those which did not respond. Tortuosity between 0 – 0.5 was indicated as complex trajectories (C), 0.5 – 1 indicated straight trajectories (S); (Rakowitz, et al., 2012). Besides tortuosity, fish activity in a trawl path was observed. Fish avoiding footrope were considered as “avoiding” while fish with no obvious reaction were considered as “not avoiding”.



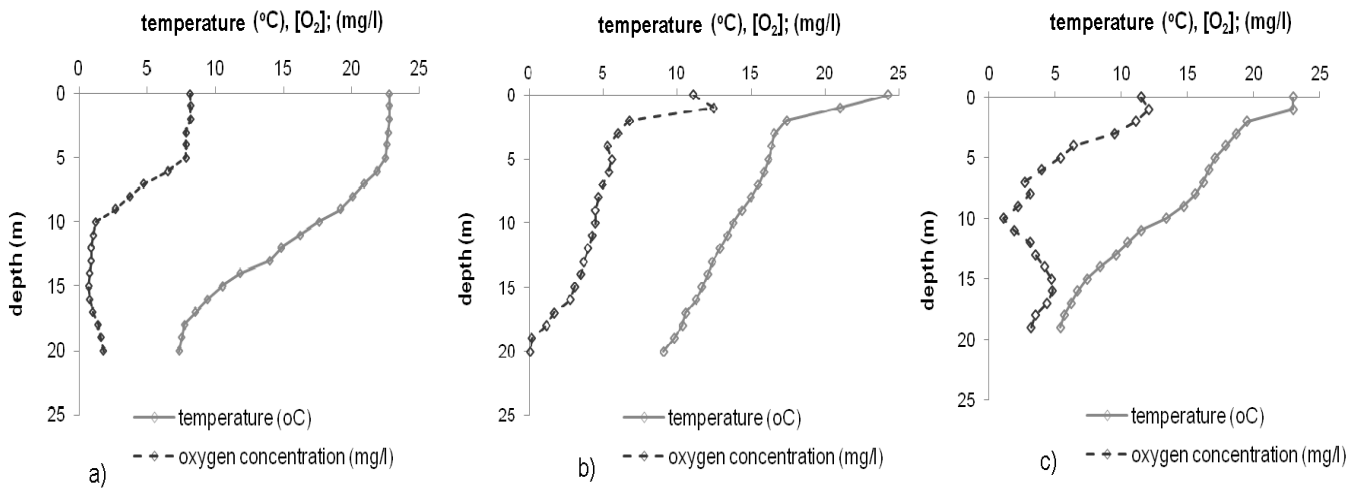
**Fig. 2.** “Vertical profile of Želivka on two-dimensional echogram”. The black arrow is showing a fish avoiding the footrope.



**Fig. 3.** “The avoidance reaction of a fish in detail”. A horizontal line is the footrope.



**Fig. 4.** “Tortuosity of a fish track”; (“Z” on the “y” axis is vertical distance between the fish and the transducer).



**Fig. 5.** „Oxygen and temperature stratification“ – a) Želivka 2009 („Budeč“ locality); b) Římov 2009 („Hrad“ locality); c) Římov 2011 („Hrad“ locality).

#### 5. 4. Statistical analysis

Groups of nonparametric tests from Generalized Linear (GLZ) and General Linear models (GLM) families were applied for our data analysis (Statistica 10; Statsoft Inc., 2011). The most often used types of tests were GLZ Type 3, GLZ Type 1, GLM Tukey test and Wald statistics. In total 15 different relationships were statistically tested to evaluate fish behaviour.

### 6. Results

#### 6.1. Fish position towards the footrope – day and night distribution

In total 1911 fish were tracked. Significant differences were found in fish distribution during day and night in all cases  $\chi^2 = 712,38$ ; d.f.= 2;  $p < 0.001$  (Želivka 2009)/  $\chi^2 = 77,15$ ; d.f.= 1;  $p < 0.001$  (Římov 2009 and 2011). In Želivka there were less observations above the footrope at day while large amount at night. In both reservoirs fish migrated towards a surface at night while more fish occurred under the footrope at day and vice versa at night as shown in **Fig. 6, 7**. In Římov 2009 not so big differences were observed between day and night depth distributions. A water transparency and different depth of the epilimnium might contribute to this difference between the reservoirs. Especially in Želivka, higher probability that fish occurred in the trawls' path was night (**Fig. 8**).

#### 6.2. Fish size distribution and species composition

According to trawl catches, most dominant species were cyprinids as is a bream (*Abramis brama*), a roach (*Rutilus rutilus*) and a bleak (*Alburnus alburnus*). However, also asp (*Aspias aspias*), pike-perch (*Stizostedion lucioperca*) or catfish (*Silurus glanis*) were present in some hauls.

Although it would seem there were hardly any fish in a trawl path at day, larger individuals which aggregate at shoals are present in this time. In contrary, there were more smaller fish dispersed in upper water column at night. See size distributions for comparison **Fig. 9 – 11**. In Želivka small bleak and roach (about 100 mm) dominated in upper water column at night while larger individuals of bream (about 300 mm) prevailed at day. In



Římov 2009 breams and bleak dominated at night and day as well. They possessed three main peaks of sizes at night and similarly at day when lower proportion of smallest fish was present. In Římov 2011 observations from two types of trawls are available. In big meshed trawl (BMT) at night fish had one dominant peak in size distribution (fish about 100 mm prevailed). Similar observation is available from small meshed trawl (SMT) where, interestingly, also some larger fish occurred. Comparison between fish acoustics sizes (sonar measurements) and directly measured fish sizes (trawl catches) were done. Note, that the size composition shown in the graphs includes only fish which occurred in a trawl path.

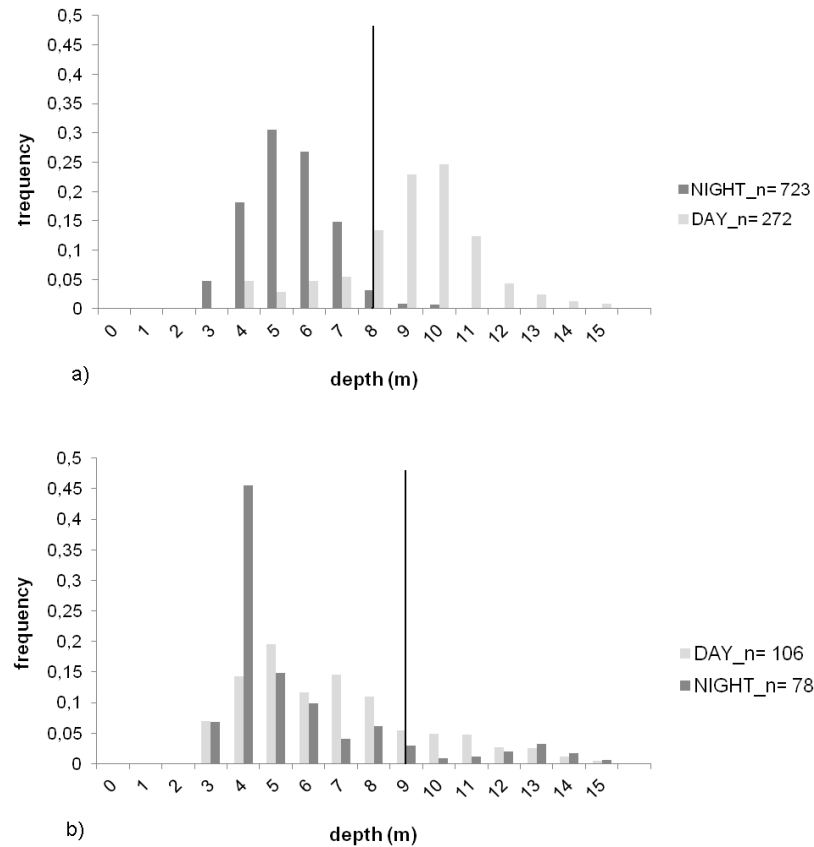
### *6.3. Track slope and fish avoidance behaviour*

Swimming directions (slopes) towards the transducer above and under the footrope (the depth of the footrope was between 6 – 8 m) did not statistically differ between day and night. The results, with the only exception, have shown no differences.  $\chi^2 = 3,16$ ; d.f.= 2;  $p= 0.16$  (day)/  $\chi^2 = 2,92$ ; d.f.= 2;  $p= 0.23$  (night); (Želivka 2009)/  $\chi^2 = 1,73$ ; d.f.= 1;  $p= 0.42$  (day)/  $\chi^2 = 44,74$ ; d.f.= 2;  $p < 0.001$  (night); (Římov 2009 and 2011). Most observations in all the cases were at zero slopes indicating no reaction. The distributions are not symmetric due to some individuals with bigger slopes that apparently dove under the footrope. These individuals were more common at day records (Želivka). The slope differences between day and night are shown in **Fig. 12**. The slope of fish did not differ whether fish were above or below the footrope.

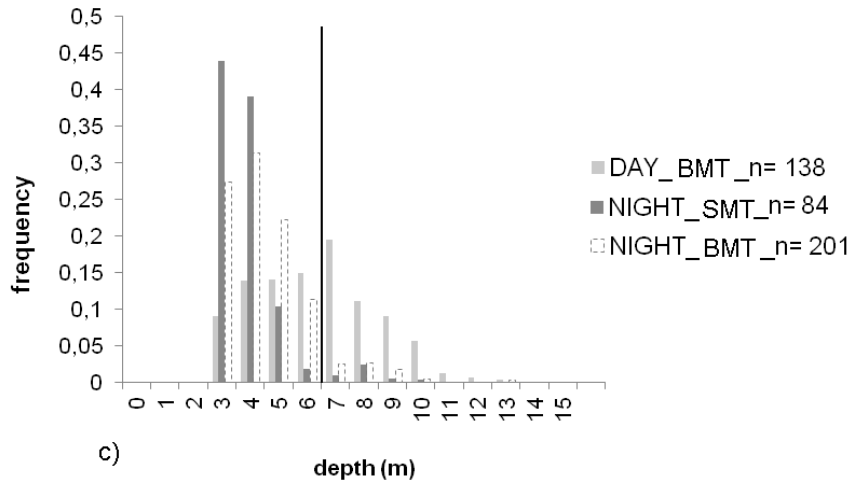
Fish activity was analyzed in response to a trawl gear. Main attention was given to the individuals that tried to avoid the trawl directly. These were fish that certainly were not caught in the trawl. Most avoidance reactions (29 in total) were observed during day trawling in Želivka 2009 where fish apparently perceived trawl well and dove up to 3 m below it to escape.  $\chi^2 = 55,52$ ; d.f.= 1;  $p < 0.001$  (GLZ Type 3 test). In Římov 2009 and 2011, very slight significance was found.  $\chi^2 = 15,47$ ; d.f.= 1;  $p < 0.001$  (GLZ Type 3 test ) but Wald statistics test was insignificant ( $p= 0.99$ ) due to low number of observations. Only one fish avoiding footrope was observed in small meshed trawl so that it could not be statistically tested.

If day and night avoidance behaviour was compared far less reactions were present at night when visibility is low and “burst” diving seemed to be rather a consequence of disturbance in motionless fish which got into a physical contact with the footrope. In Římov

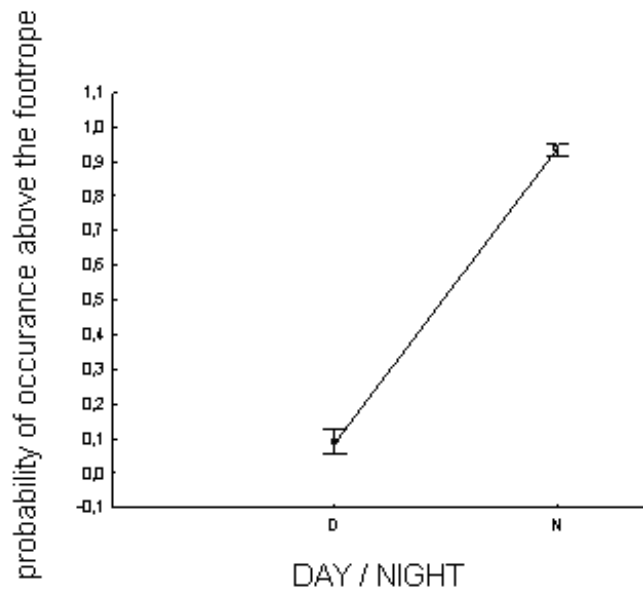
where visibility was lower (about 2 m) during day than in Želivka (up to 5 m), only a few “avoidances” were registered.



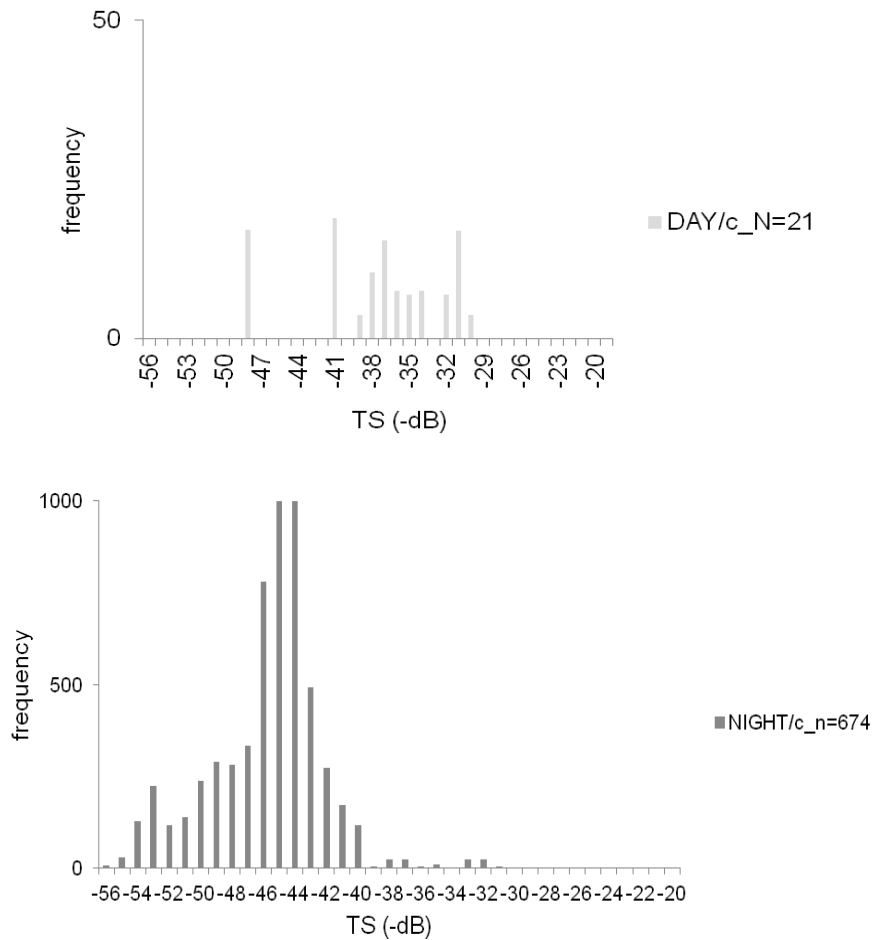
**Fig. 6.** „Histogram for depth distribution for a) Želivka 2009; and b) Římov 2009“. The black line shows position of the footrope. “n” is meaning a count of fish included. The graphs include fish above as well as below the footrope.



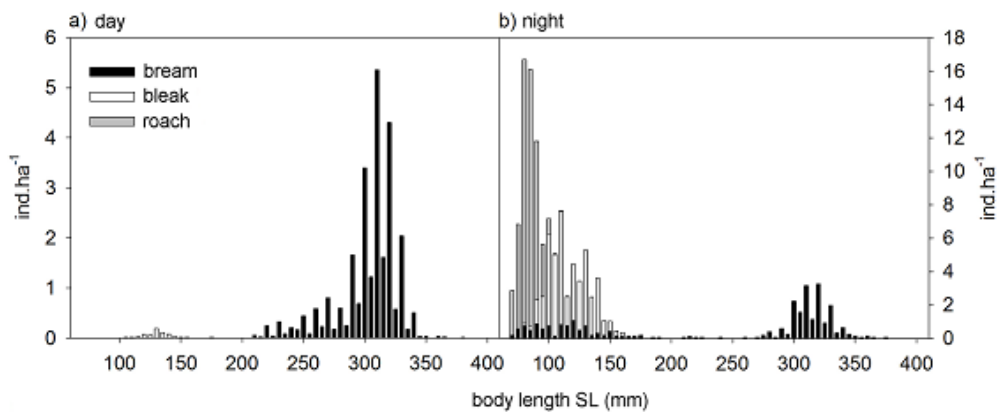
**Fig. 7.** „Histogram for depth distribution“. c) Římov 2011; The black line shows the position of the footrope. “n” is meaning a count of fish. BMT is meaning the big meshed trawl, SMT is meaning the small meshed trawl.



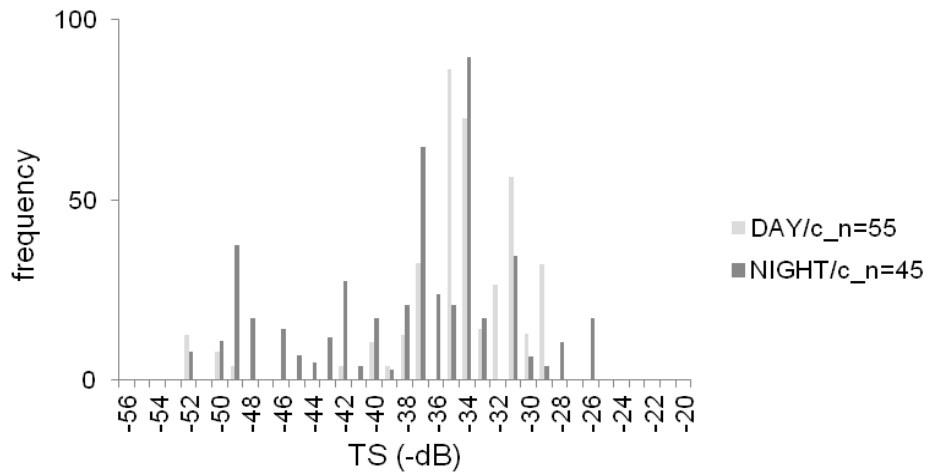
**Fig. 8.** “Fish position towards the footrope differed significantly between day and night”. The picture is showing a probability that fish occurred above the footrope for day (D) and night (N) Želivka 2009.



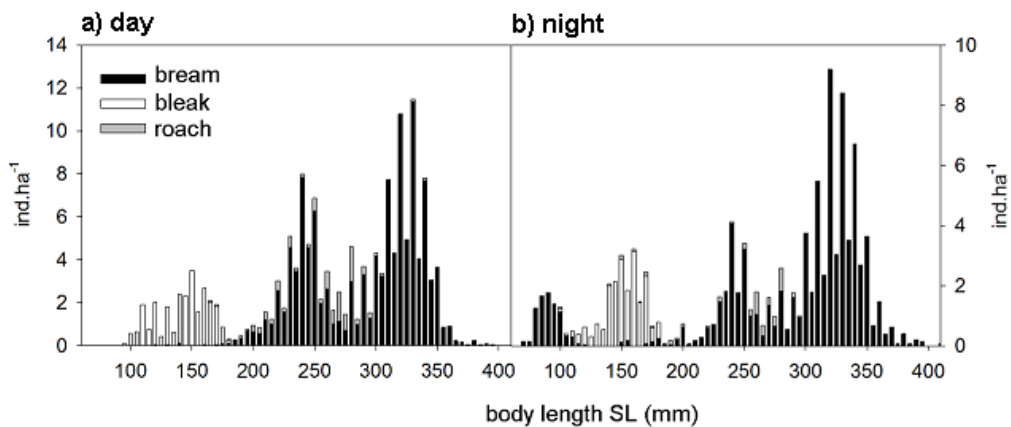
**Fig. 9 a).** “Histogram for size distribution – Želivka 2009”; “n” is a count of fish; “c” is meaning that data used for histogram include correction (see in the text). Frequency shows real fish counts. The picture is showing only fish above the footrope.



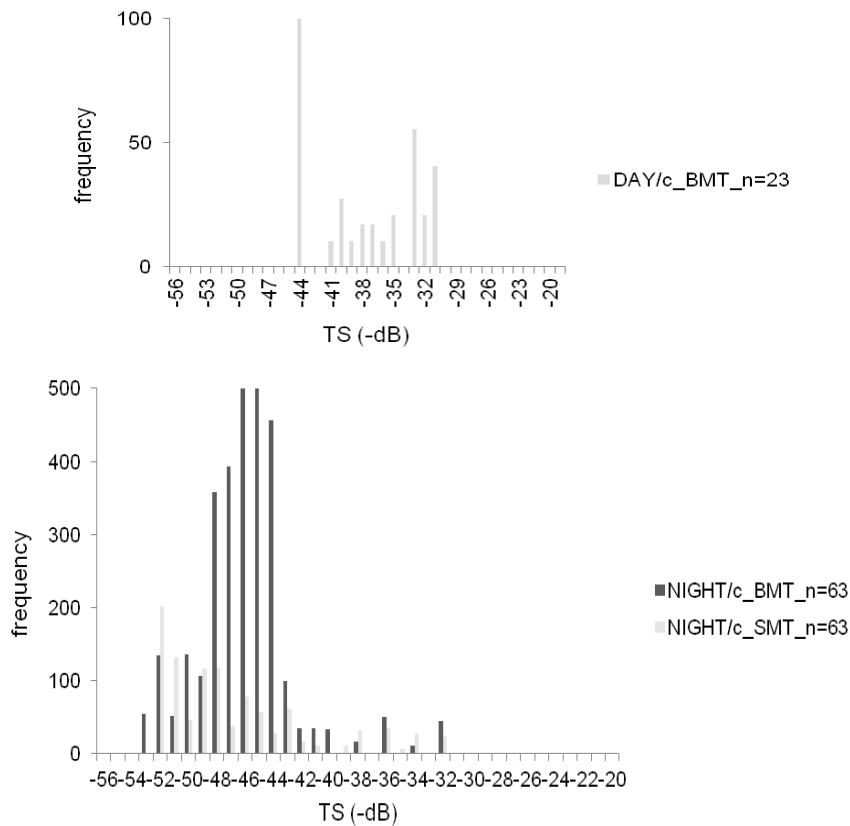
**Fig. 9 b).** “Trawl-catch abundances from Želivka 2009”.



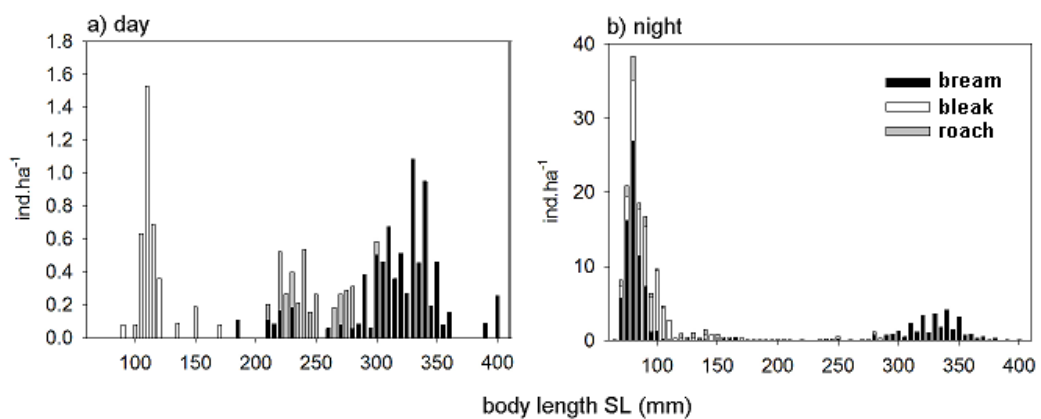
**Fig. 10 a).** “Histogram for size distribution” – Římov 2009. “n” is a count of fish; “c” is meaning that data used for histogram include correction (see in the text). Frequency means real fish counts. The picture is showing only fish above the footrope.



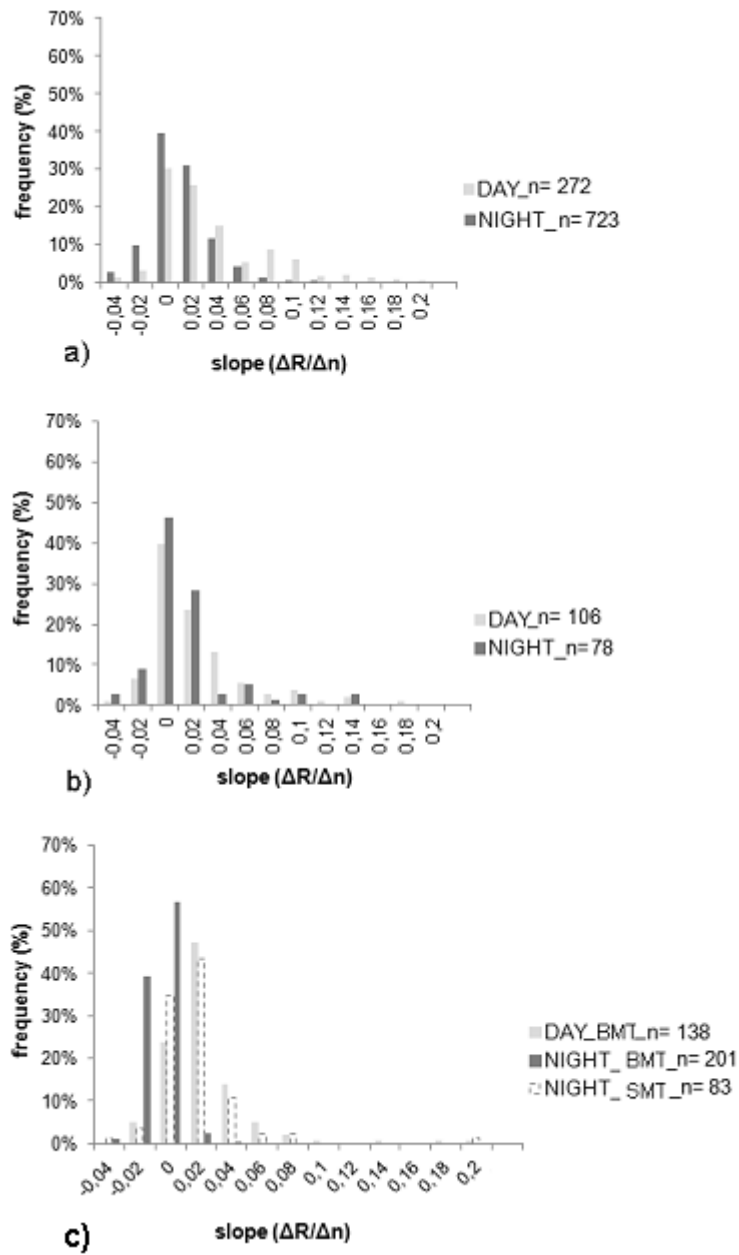
**Fig. 10 b).** “Trawl catches from Římov 2009”; “n” is meaning a count of fish.



**Fig. 11 a).** “Histogram for size distribution – Římov 2011”. “n” is a count of fish; c is meaning that data used for histogram include correction (see in the text). Frequency means real fish counts. The picture is showing only fish above the footrope. BMT is the big meshed trawl, SMT is the small meshed trawl.



**Fig. 11 b).** “Trawl catches from Římov 2011”. Day picture is for “BMT” trawl, night picture is for trawl “BMT” and “SMT”; “n” is a count of fish. Frequency means real fish counts. The picture is showing only fish above the footrope.



**Fig. 12.** “Histogram of fish slope” – a) Želivka 2009; b) Římov 2009 and Římov c) 2011 “n” is a count of fish included. The picture is showing only fish above the footrope. BMT is the big meshed trawl, SMT is the small meshed trawl.

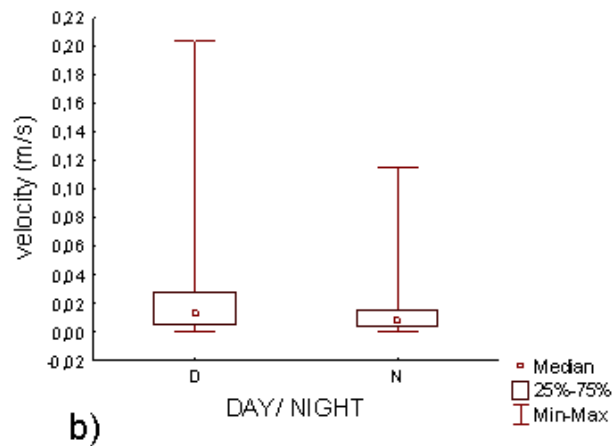
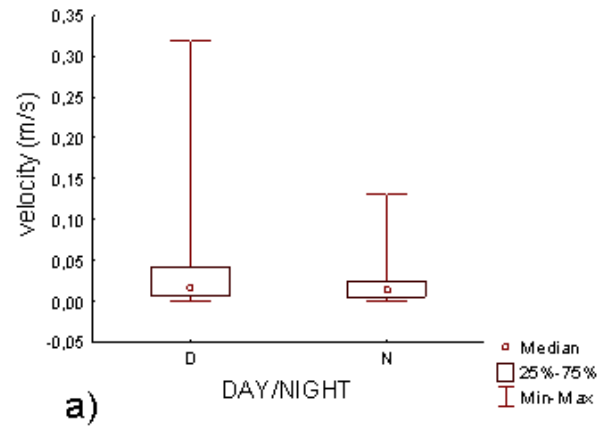
#### 6.4. Fish tortuosity

Measuring tortuosity is a way to evaluate complexity of a fish movement. Relationships between tortuosity (a dependent variable) and the footrope position (factor against which dependent variable was tested) at day and night (additive variable) were found out. At day tortuosity with respect to the footrope position differed significantly only in Želivka;  $\chi^2 = 57,06$ ; d.f.= 2;  $p < 0.001$ ); while for Římov it was insignificant  $\chi^2 = 1,95$ ; d.f.= 1;  $p = 0.16$ . At night tortuosity with respect to the footrope position differed significantly only in Želivka;  $\chi^2 = 5,26$ ; d.f.= 1;  $p < 0.001$ ). These results correspond with day and night avoidance behaviour. The biggest tortuosity can be supposed in fish directly avoiding the footrope. Such fish were mostly observed in Želivka at day and some of them also at night while in Římov there were fewer observations of avoidances at day and nearly no at night if compared to Želivka.

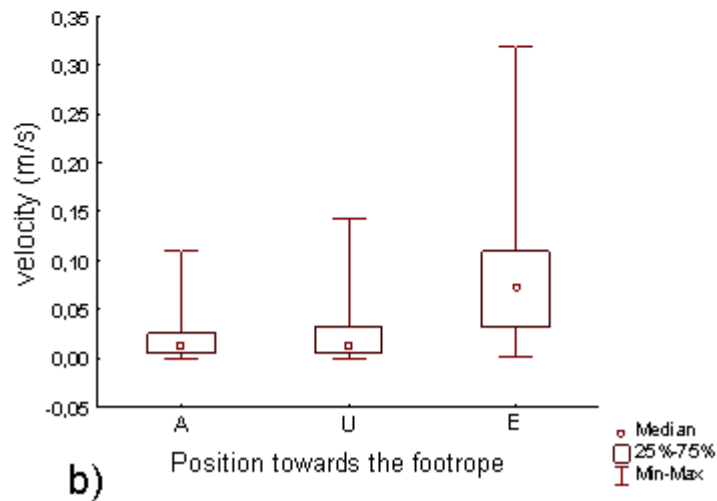
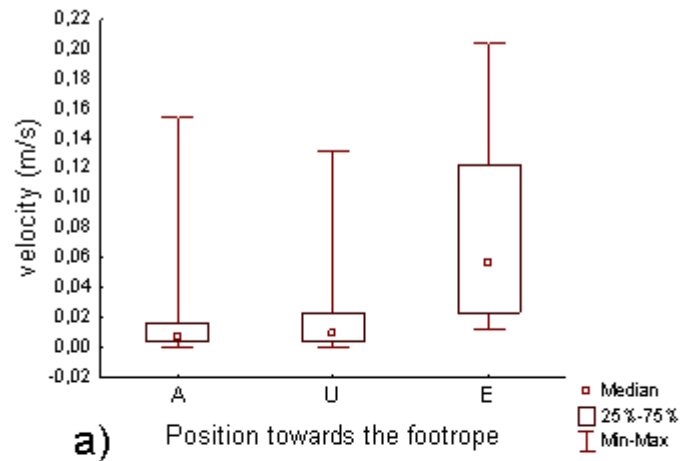
#### 6.5. Fish velocity

Velocities of fish during a vertical movement ranged between 0 – 0,35 m.s<sup>-1</sup>. Higher values belonged to the fish directly avoiding the footrope. The distribution was highly asymmetric with most fish having low vertical velocity and few individuals with high velocity (**Fig. 13**). In general, there were differences between velocities at day and night in both dams.  $\chi^2 = 325,55$ ; d.f.= 1;  $p < 0.001$  (Želivka 2009),  $\chi^2 = 93,07$ ; d.f.= 1;  $p < 0.001$  (Římov 09 and 11). Dependence between fish position towards the footrope and their velocities were also found out  $\chi^2 = 316,38$ ; d.f.= 2;  $p < 0.001$  in Želivka 2009 and  $\chi^2 = 81,68$ ; d.f.= 2;  $p < 0.001$  in Římov 2009 and 2011; (**Fig. 14**). Besides that, dependence between the sizes of the fish avoiding footrope and their velocities were tested as it is common that bigger fish can swim faster than small individuals (larger body proportions, higher endurance etc.). Unfortunately, low number of observations allowed results to be significantly different only in Želivka ( $F_{1,31} = 4,69$ ;  $p = 0.038$ ); (**Fig. 15**). In Římov 2009 and 2011 no significant result was obtain ( $F_{1,8} = 0,58$ ;  $p = 0.446$ ). In small meshed trawl (2011) it was not possible to test statistics due low number of observations.

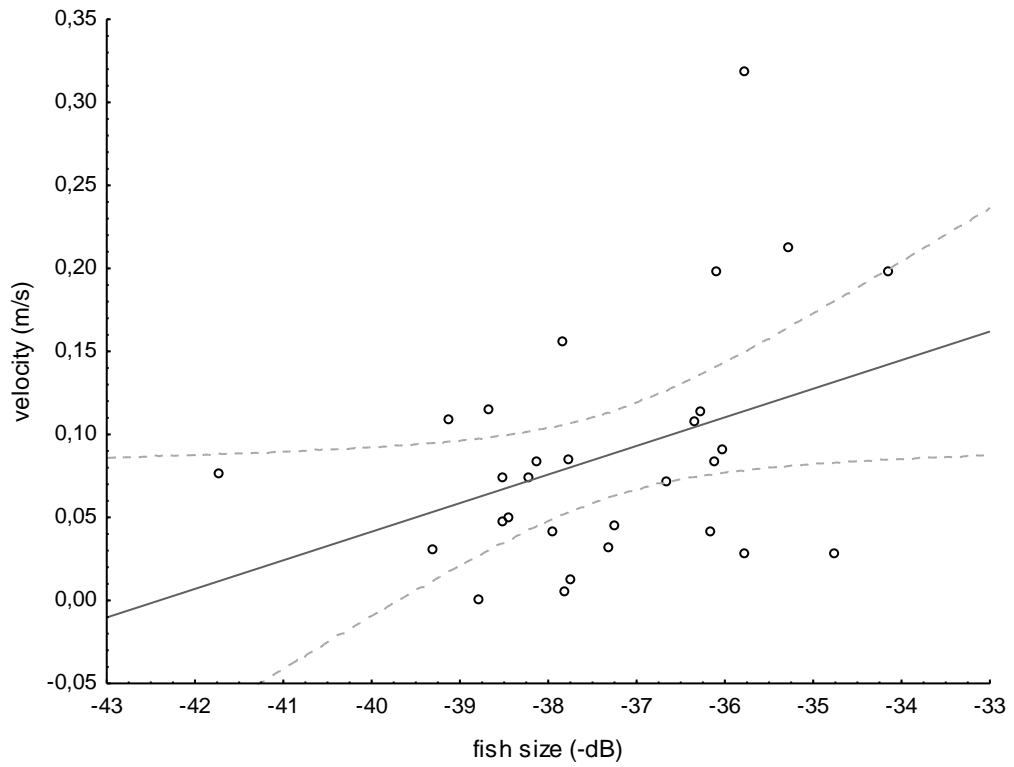




**Fig. 13.** “An example of differences of fish velocities between day and night for fish above and below the footrope”. a) Želivka 2009; b) Římov 2009 and 2011; “N” – night, “D” – day”. The situation does not include fish with direct avoidance reaction. From the comparison between day and night velocities it is apparent that there were differences in velocities which points out low night and higher day activity.



**Fig. 14.** “Relationships between fish velocity and their positions towards the footrope”. An example from a) Želivka 2009; b) Římov 2009 and 2011; “A”- fish above the footrope, “U” – fish under the footrope and “E”- fish directly avoiding the footrope. Significant differences were found in velocities of fish with respect to the footrope position. In fish directly avoiding the footrope highest velocities were supposed. Day time is not included,



**Fig. 15.** “Relationship between the fish size and their velocities”. There were 29 fish avoiding the footrope in Želivka 2009 (day time). Dependences between the fish size and their velocities were found in both reservoirs, but only in Želivka was found significant (regression: fish velocity=  $0,7302+0,0172*x$ ; 0,95 conf.int).

## 9. Discussion

Fish behaviour of 2221 tracked fish was analyzed in the two Czech reservoirs, Želivka and Římov during summer term 2009 and 2011. Fish distribution in a water column, size distribution, slope, velocities and avoidance behaviour with respect to the trawl gear were considered. Significant patterns of fish behaviour in respect to approaching trawl were distinguished and compared with fish behaviour recorded during mobile hydroacoustic survey.

The vertical distribution of fish in a water column differed between day and night and it belongs to the most important factors influencing trawl efficiency. Higher attention was given to the layer from surface to 6-8 m deep as in this layer fish approached the trawl mouth and eventually got caught. In general, at day fish performed more aggregative behaviour meantime at night they stayed standstill and more evenly dispersed in a water column. Fish from both reservoirs spend night mostly in upper water strata, which is in concordance in some another observations (**Axenrot, et al., 2004**). Interestingly, despite low temperature and low oxygen concentration, fish were sometimes observed at greater depths below 12 m. They usually inhabit warm well mixed upper strata above thermocline (3-4 m) in summer. Nevertheless, **Pyanov, 1992 and 1993** gives us evidence that common bream were observed in similar depths during trawling. If vertical distribution between Želivka and Římov is compared apparent differences can be seen. In Želivka, more individuals were detected below the trawl at day which corresponds well with conditions of deeper epilimnion and better visibility at Želivka which reached up to 5 meters. In Římov visibility was low reaching 0,5 - 2 m and thus day/night difference in depth distribution is rather poor.

Besides directly caught and measured fish onboard of the catch inspection boat sonar data were used to find fish size distribution. Fish target strength (TS) depends on many factors as is a tilt angle, fish slope, shape of a swim bladder (**Zhao, et al., 2008; Horn, 2009; Simmonds a MacLennan, 2005**) and reflectivity of other tissues. Although a conversion between the TS and length units is well known for some marine commercially hunted species (**Foote, 1989**) for local species and for 38 kHz echosounder it will be available in near future. It was not possible to directly compare size distributions from hydroacoustic records and direct catches because of the lack of appropriate TS-length relationship for reservoir fish. Size distribution of catches points out gear selectivity. At night fish from Želivka and Římov had tend to create two or more peaks with small individuals abundant in upper water column (bleaks). These fish avoided sonar detection as

they occupied strata close to the water level so they had a higher probability to be captured in the trawl in this time. From testing trawl gear efficiency in local reservoirs it is known (**Říha, et al., 2012**) that the big meshed trawl has tend to underestimate small fish if compared to another type of active sampling devices (purse seine). In reality we can thus suppose higher proportion of smaller individuals present in a trawl path. The small meshed trawl with its smaller dimensions is used for sampling young fish (1+). However, also larger brems were present in some hauls which again points out low activity and poor reactions towards the trawl gear at night. In Římov 2009 night size distribution showed more continuous character while in Římov 2011 and Želivka fish about 100 mm and 300 mm were present. At day in both reservoirs larger fish dominated trawl path though some proportion of smaller individuals also occurred. That larger fish occupy pelagial at day time rather than night time probably corresponds with inshore-offshore diurnal migrations (**Vašek, et. al., 2006**).

A trawl gear is constructed so that it attracts fish by optical and acoustic signals, directly to the pathway (otter boards, bridles); (**Fréon, et al. 1993; Misund, et al., 2002; Winger, et al., 2010**). A trawl mouth is usually the last “zone” where fish can decide whether to persist or escape. Many types of coordinated and erratic reactions are known to take place in a trawl mouth (**Rakowitz, et al., 2012**). The distribution of the velocities between day and night was highly asymmetric with most fish having low vertical velocity and few individuals with high velocity. Higher rate of avoidance reactions in our data were observed during a day ( $\bar{\Sigma} = 39$  in both reservoirs) when fish have better opportunities for trawl detection. Escaping fish reached up to  $0,35 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  and sank about 3 m below the trawl. This was comparable with some other observations (**Pyanov, 1993; Piasente, et al., 2004**). In contrast to our day observations, only 5 avoidance reactions were recognized at night, as they were rather a consequence of a sudden collision with the approaching trawl. If we compare avoidance intensity between two studied reservoirs, less avoidance reactions were observed in Římov.

A vertical direction of swimming in fish can be described by track slope (**Drašík and Kubečka, 2005**). Nearly no significant relationships in slopes with respect to the depth distribution were obtained. However, some differences were found in slope between day and night if effect of fish depth was neglected. At day, in both dams, there were more observations of positive slope values. At night values stayed closer to zero confirming low movement activity of fish. In every case the slope in avoiding fish was positive so no individual tried to escape by swimming above the footrope.

Tortuosity describes complexity of fish motion (**Rakowitz, 2010; Johnson and Morsund, 2000**). The most significant results were observed in Želivka where relationship between day, night tortuosity and the fish depth was found out. Generally more complex behaviour was observed in fish directly avoiding the footrope. In such individuals complex trajectories, as a consequence of anti-predator behaviour, were supposed. However, both types of tracks – straight and tortuous were found in both categories of fish - avoiding and with no obvious reaction towards a trawl gear. The relationship between straight and tortuous motion does not have to be related only to the escape reactions.

Relationships between the fish sizes and fish velocities have been mentioned by many authors (**Breen, et al., 2004; Main and Sangster, 1983; Videler and He, 2010**). Fish rarely exceed their threshold velocities, and tend to maintain the energetic reserves (**Breen, et al., 2004**). Knowledge about the fish velocities is important with respect to optimal tow velocity. Larger fish with respect to their higher physiological endurance are able to reach higher velocities. Among the highest velocities reported for fish swimming in a trawl mouth are about  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  for a few minutes (**Main and Sangster, 1983**). In our results significant dependence between the fish size and velocity was found for avoiding fish in Želivka where most probably larger breams performed strongest reactions.

Finally, for fish behaviour in response to trawl gear and its sampling potential following was summarized. *Depth and diurnal distribution* influences size of catches at day and night significantly. They are among most important factors impacting trawl efficiency in local water bodies. *Slope* does not probably have an important influence on trawl selectivity as very small differences were found out between day and night and in response to a trawl gear. *Tortuosity* was found rather unimportant as a factor influencing trawl efficiency but it is a useful tool for judging complexity of fish motion. *Avoidance behaviour* in vertical direction is important but, due to relatively low proportion of fish avoiding footrope, it is probable that such individuals do not seriously affect trawl efficiency in local reservoirs. *Abiotic factors*, especially water transparency and temperature influence fish behaviour importantly and should be taken on account during trawling operations.

## **Acknowledgements**

We wish to thank to all members of FishEcU team, who took part in the data collection during summer fieldworks in Želivka and Římov 2009 and 2011.

## BIBLIOGRAFICKÉ CITACE

---

### 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.
- AXENROT, Thomas, et al. Diel patterns in pelagic fish behaviour and distribution observed from a stationary, bottom-mounted, and upward-facing transducer. *ICES Journal of Marine Science*, 2004, vol. 61, s. 1100 – 1104.
- BREEN, Mike, et al. Swimming endurance in haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.) at prolonged and sustained swimming speeds and its role in their capture by towed fishing gears. *ICES Journal of Marine Science*, 2004, vol. 61, s. 1071-1079.
- DJEMALI, Imed, et al. Hydroacoustic fish biomass assessment in man-made lakes in Tunisia: horizontal beaming importance and diel effect. *Aquatic Ecology*, 2008, vol. vol.?, s. 1-11.
- DRAŠTÍK, Vladislav – KUBEČKA, Jan. Fish avoidance of acoustics survey boat in shallow waters. *Fisheries research*, 2005, vol. 72, s. 219-228.
- 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. Fish community in man-impacted cascade reservoirs on the Vltava River. České Budějovice: University of South Bohemia. Faculty of Science. Institute of Hydrobiology, 2008. 56 s. Supervisor: Doc. RNDr. Jan Kubečka, CSc.
- DRAŠTÍK, Vladislav. Hydroacoustics estimates of fish stocks in temperate reservoirs: day or night surveys? *Aquatic Living Resources*, 2009, vol. 22, s. 69-77.



- ENGAS, Arill – GODØ, R. Olav. Escape of fish under the fishing line of a Norwegian sampling trawl and its influence on survey results. *Journal du Conseil pour l'exploration de la Mer*, 1989, vol. 45, s. 269 – 276.
- FOOTE, G. Kenneth. Importance of swimbladder in in acoustic scattering by fish: A comparison of gadoid and mackerel target strengths. *Journal of Acoustical Society of America*, 1980, vol. 67, s. 2084 – 2089.
- FOOTE, K. G. Fish target strengths for use in echo-integrator surveys. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1987, vol. 82, s. 981-987.
- FRÉON, Pierre – GERLOTTO, François – SORIA, Marc. Variability of Harengula spp. school reactions to boats or predators in shallow water. *ICES Marine Science Symposia*, 1993, vol. 196, s. 30-35.
- FRÉON, Pierre – GERLOTTO, François – MISUND, A. Ole. Consequences of fish behaviour for stock assessment. *ICES Marine Science Symposia*, 1993, vol. 196, s. 190-195.
- FROUZOVÁ, Jaroslava, et al. Target strength of some European fish species and its dependence on fish body parameters. *Fisheries research*, 2005, vol. 75, s. 86 - 96.
- 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.
- 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.
- GODØ, R. Olav – VALDEMARSEN, W., John. A free level pelagic trawl for near surface sampling of juvenilie fish. *ICES Statuory Meeting*, 1993,?
- GODØ, R. Olav, et al. Investigating density-dependent catchability in bottom-trawl surveys. *ICES Journal of Marine Science*, 1999, vol. 56, s. 292-298.

- GRAHAM, B. Jeffrey – DICKSON, A. Kathryn. Tuna comparative physiology. *The Journal of Experimental Biology*, 2004, vol. 207, s. 4015 – 4024.
- GRAHAM, N. - JONES, E. G. - REID, D. G. Review of technological advances for the study of fish behaviour in relation to demersal fishing trawls. *ICES Journal of Marine Science*, 2004, vol. 61, s. 1036-1043.
- HANDEGARD, O. Nils – TJØSTHEIM, Dag. When fish meet a trawling vessel: examining the behaviour of gadoids using a free-floating buoy and acoustic split-beam cracking. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2005, vol. 62, s. 2409 – 2422.
- HAYES, B. Daniel, et al. Active fish capture methods. *North American Journal of Fisheries Management*, 1999, vol. 4, s. 273-283.
- HORNE, K. John, et al. Swimbladders under pressure: anatomical and acoustics responses by walleye Pollock. *Oxford Journals*, 2009, vol.?, s. 1162 – 1168.
- ITAYA, Kazuhiko, et al. Effect of swing speed and mouth size on catch efficiency in framed midwater trawls. *Fisheries Science*, 2007, vol. 73, s. 1007 – 1016.
- JAMIESON, J. Alan, et al. Illumination of trawl gear by mechanically stimulated bioluminescence. *Fisheries Research*, 2006, vol. 81, s. 276 – 282.
- JOHNSON, L. Robert – MOURSUND, A. Russell. Evaluation of juvenile salmon behavior at Bonneville Dam, Columbia River, using multibeam technique. *Aquatic Living Resources*, 2000, vol. 13, s. 313-318.
- JŮZA, Tomáš. Distribution and density of pelagic 0+ fish in canyon-shaped reservoirs and effectiveness of their sampling by fry trawls. České Budějovice: University of South Bohemia. Faculty of Science. Institute of Hydrobiology, 2011. 42 s. Supervisor: Doc. RNDr. Jan Kubečka, CSc.

- 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.
- KANG, Donhyug, et al. The influence of tilt angle on the acoustic target strength of the Japanese common squid (*Todarodes pacificus*). *ICES Journal of Marine Science*, 2005, vol. 62, s. 779 – 789.
- KERPENKO, A., E. Experimental study of the behavior of fish interacting with trawl elements under model conditions. *Journal of Ichthyology*, 1997, vol. 37, s. 253 – 260.
- 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.
- MAIN, J. – SANGSTER, I. G. Fish reactions to trawl gear: a study comparing light and heavy ground gear. *Scottish Fisheries Ressearch Report*, 1983, vol. 27, s. 1-17.
- MASON, M. Doran. Hydroacoustic Estimates of Abundance and Spatial Distribution of Pelagic Prey Fishes in Western Lake Superior. *International Association for Great Lakes Research*, 2005, vol. 31, s. 426–438.
- OLIN M. – MALINEN, T. Comparison of gillnet and trawl in diurnal fish community smapling. *Hydrobiologia*, 2003, vol. 506-509, s. 443-449.
- OLLA, B. L., et al. Differences in orientation and swimming of walleye pollock *Theragra chalcogramma* in a trawl net under light and dark conditions: concordance between field and laboratory observations. *Fisheries research*, 2000, vol. 44, s. 261 - 266.

- ONA, Egil. – GODØ, R. Olav. Fish reaction to trawling noise: the significance for trawl sampling. *Rapports et procès-verbaux des réunions / Conseil permanent international pour l'exploration de la Mer*, 1990, vol. 189, s. 159-166.
- ÖZBILGIN, H. – GLASS, W. C. Role of learning in mesh penetration behaviour of haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). *ICES Journal of Marine Science*, 2004, vol. 61, s. 1190 - 1194.
- PIASENTE, M., et al. In situ examination of the behaviour of fish in response to demersal trawl nets in an Australian trawl fishery. *Marine and freshwater Research*, 2004, vol. 55, s. 825 – 835.
- 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.
- PRCHALOVÁ, Marie. Gradients of fish distribution in reservoirs. České Budějovice: University of South Bohemia. Faculty of Science. Institute of Hydrobiology, 2008. 72 s. Supervisor: Doc. RNDr. Jan Kubečka, CSc.
- PYANOV, I. Alexander. Fish learning in response to trawl fishing. *ICES Marine Science Symposia*, 1993, vol. 196, s. 12-16.
- PYANOV, I. Alexander. Effect of trawl fishing on adaptive changes in the defense behavior of bream. *Voprosy ichtyologii*, 1992, vol. 32, s. 144-153.
- RAKOWITZ, Georg, et al. Use of high-frequency imaging sonar (DIDSON) to observe fish behaviour towards a surface trawl. *Fisheries research*, 2012, vol. 123-124, s. 37-48.
- ROBERTIS, D. Alex – WILSON, D. Christopher. Walleye pollock respond to trawling vessels. *ICES Journal of Marine Science*, 2006, vol. 63, s. 514-522.

- ROBERTIS, D. Alex, et al. Christopher. Silent ships sometimes do encounter more fish. 1. Vessel comparisons during winter pollock surveys. *ICES Journal of Marine Science*, 2010, vol. 67, s. 985–995.
- ROSTED, Anders, et al. Fish are attracted to vessels. *ICES Journal of Marine Science*, 2006, vol. 63, s. 1431 - 1437.
- RYCHTECKÝ, Pavel. Prostorová heterogenita a sezónní vývoj fytoplanktonu v podélném profilu vodní nádrže Římov. České Budějovice: University of South Bohemia. Faculty of Science. Institute of Hydrobiology, 2009. 50 s. Vedoucí práce: RNDr. Petr Znachor, Ph.D.
- RYER, H. Clifford. A review of flatfish behavior relative to trawls. *Fisheries research*, 2008, vol. 90, s. 138-146.
- ŘÍHA, et al. The size selectivity of the main body of a sampling pelagic pair trawl in freshwater reservoirs during the night. *Fisheries Research*, 2012, vol. 127 – 128, s. 56 – 60.
- SCALABRIN, Carla - MARFIA, Christian – BOUCHER, Jan. How much fish is hidden in the surface and bottom acoustic blind zones? *ICES Journal of Marine Science*, 2009, vol. 66, s. 1355–1363.
- SCHMIDT, B. Marc, et al. Short-term effects of trawling on distribution and abundance of a vendace (*Coregonus albula* Linnaeus) population monitored by hydroacoustics. *Advanced Limnology*, 2005, vol. 60, s. 385 – 395.
- 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.
- VAŠEK, Mojmír, et al. Distribution and Diet of 0+ Fish within a Canyon-Shaped European Reservoir in Late Summer. *International Review of Hydrobiology*, 2006, vol. 91 s. 178-194.

- VAŠEK, Mojmír, et al. Longitudinal and Vertical Spatial Gradients in the Distribution of Fish within a Canyon-Shaped Reservoir. *International Review of Hydrobiology*, 2004, vol. 89 s. 352-362.
- WINGER, D. Paul, et al. Simulating trawl herding in flatfish: the role of fish length in behaviour and swimming characteristics. *ICES Journal of Marine Science*, 2004, vol. 61, s. 1179 – 1185.
- ZHAO, Xianyong, et al. Depth-dependent target strength of anchovy (*Engraulis japonicus*) measured in situ. *ICES Journal of Marine Science*, 2008, vol. 65, s. 882 – 888.

#### **Knihy:**

- ALFIERI, S. Michael – DUGATKIN, A. Lee. Cooperation and cognition. In *Fish cognition and behaviour*. 1st printing. Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2006. Chap. 11, s. 203 – 222.
- ARIMOTO, Takafumi – GLASS, W. Christopher – ZHANG, Xiumei. Fish vision and its role in fish capture. In *Behaviour of marine fishes. Capture process and conservation challenges*. 1st printing. Iowa USA: Blackwell Publishing Ltd., 2010. Chap. 2, s. 25-40. ISBN 978-0-8138-1536-7.
- 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.
- BROWN, Culum, et al. Fish cognition and behaviour. In *Fish cognition and behaviour*. 1st printing. Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2006. Chap. 1, s. 1 – 8.

- BROWN, E. Grant – CHIVERS, P. Douglas. Learning about danger: Chemical alarm cues and the assessment of predation risk by fishes. In *Fish cognition and behaviour*. 1st printing. Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2006. Chap. 4, s. 49 – 63.
- FERNÖ, Andres, et al. The role of fish learning skills in fisheries and aquaculture. In *Fish cognition and behaviour*. 1st printing. Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2006. Chap. 14, s. 278 – 300.
- GRAHAM, Norman. Technical measures to reduce bycatch and discards in trawl fisheries. In *Behaviour of marine fishes. Capture process and conservation challenges*. 1st printing. Iowa USA: Blackwell Publishing Ltd., 2010. Chap. 10, s. 239-263. ISBN 978-0-8138-1536-7.
- 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.
- HE, Pingguo – POL, Michael. Fish behaviour near gillnets: Capture processes, and influencing factors. In *Behaviour of marine fishes. Capture process and conservation challenges*. 1st printing. Iowa USA: Blackwell Publishing Ltd., 2010. Chap. 8, s. 183-198. ISBN 978-0-8138-1536-7.
- KALFF, Jacob. Light. In *Limnology*. 1st printing. USA: Prentice-Hall, Inc., 2002. Chap. 10, s. 136-153. ISBN 0-13-033775-7.
- KELLEY, Jenniffer – MAGURRAN, E. Anne. Learned defences and counterdefences in predator-prey interactions. In *Fish cognition and behaviour*. 1st printing. Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2006. Chap. 3, s. 28 – 40.

- KUBEČKA, et al. Metodika monitorování rybích společenstev nádrží a jezer. 1. vyd. České Budějovice: Grafické studio a nakladatelství Tomáš Halama a Print Příbram, 2010. ISBN 978-80-86668-08-6.
- ODLING-SMEE, Lucy, et al. The role of learning in fish orientation. In *Fish cognition and behaviour*. 1st printing. Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2006. Chap. 7, s. 119 – 132.
- 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.
- PIVNIČKA, Karel. Ekologie ryb. Odhady základních parametrů charakterizujících rybí populace. Praha: Státní Pedagogické nakladatelství, 1981. Vysokoškolská skripta. ISBN?.
- 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.
- VIDELER, J. John – He Pingguo. Swimming in marine fish. In *Behaviour of marine fishes. Capture process and conservation challenges*. 1st printing. Iowa USA: Blackwell Publishing Ltd., 2010. Chap. 1, s. 5-19. ISBN 978-0-8138-1536-7.
- 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.
- WINGER, D. Paul, et al. Fish behaviour near bottom trawls. In *Behaviour of marine fishes. Capture process and conservation challenges*. 1st printing. Iowa USA: Blackwell Publishing Ltd., 2010. Chap. 1, s. 5-19. ISBN 978-0-8138-1536-7.



- YAN, Y. Hong, et al. Hearing in marine fish and its application in fisheries. In *Behaviour of marine fishes. Capture process and conservation challenges*. 1st printing. Iowa USA: Blackwell Publishing Ltd., 2010. Chap. 3, s. 45-64. ISBN 978-0-8138-1536-7.

### **Elektronické zdroje**

- Aquatic community: Fish and Aquatic News. History of trawling; not a modern problem [online]. c2004-2006 [cit.2012-03-30]. Dostupné na: <<http://www.aquaticcommunity.com/news/lib/305>>.
- BALK, Helge. Thesis for the degree of Doctor Scientiarum: Development of hydroacoustic methods for fish detection in shallow water [online]. c? cit. 2012-02-14]. Dostupné na: <[http://tid.uio.no/~hbalk/dr\\_scient\\_thesis/1\\_Contents.htm](http://tid.uio.no/~hbalk/dr_scient_thesis/1_Contents.htm)>.
- Department of Physics and Astronomy. Georgia State University. Transparency of Water in the Visible Range [online]. c2009 [cit. 2012-03-05]. Dostupné na: <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/chemical/watabs.html>>.
- European Cetacean Bycatch Campaign. *Midwater trawls* [online]. c? [cit. 2012-02-14]. Dostupné na: <<http://www.eurocbc.org/page127.html>>.
- Echoview sound knowledge. DIDSON [online]. c2007-2012 [cit. 2012-04-20]. Dostupné na: <<http://www.echoview.com/DIDSON/>>.
- GERLOTTO, F. Gregariousnes and school behaviour of pelagic fish: impact of the acoustics evaluation and fisheries. IRD (Institut de Recherche pour le développement) [online]. c2012 cit. [2012-03-10]. Dostupné na: <[http://horizon.documentation.ird.fr/exldoc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_7/carton01/010017257.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exldoc/pleins_textes/pleins_textes_7/carton01/010017257.pdf)>.
- MISUND, A. Ole, et al. Fish capture Devices in industrial and artisanal fisheries and their influence on management. *In: Handbook of fish biology and fisheries*, vol. 2 [online] c? [cit.2012-03-30]. Dostupné na: <[http://horizon.documentation.ird.fr/exldoc/pleins\\_textes/divers09-09/010046902.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exldoc/pleins_textes/divers09-09/010046902.pdf)>.

- SUURONEN, Petri. *Mortality of fish escaping trawl gears*. Food And Agriculture Organisation of the United Nations: FAO - Fisheries technical paper 478 [online]. c2012 [cit. 2012-02-14]. Dostupné na:  
<<http://www.fao.org/docrep/008/y6981e/y6981e09.htm>>
- The Encyclopedia of earth. Secchi disk [online]. c? [cit. 2012-03-05]. Dostupné na:  
<[http://www.eoearth.org/article/Secchi\\_disk](http://www.eoearth.org/article/Secchi_disk)>
- VALDEMARSEN, W. John – SUURONEN, Petri. Modifying fishing gear to achieve ecosystem objectives. *In: Reykjavik Conference on Responsible Fisheries in the Marine Ecosystem* [online]. c2001 [cit.2011-08-30]. Dostupné na:  
<[www.plu.edu/~reimanma/doc/gear\\_restrictions.pdf](http://www.plu.edu/~reimanma/doc/gear_restrictions.pdf)>

## PŘÍLOHY

---

### Zdroje obrázků

**Obr. 1.** „*Ryby v ústí pelagického tralu*“. Zdroj: vlastní. Nakresleno v programu Malování.

**Obr. 2.** „*Dvourozměrný echogram*“. Zdroj: program *Sonar 5*.

**Fig. 1.** „*Scheme of a midwater trawl*“. Zdroj: FishEcU [online]. c2009 [cit. 30.3.12]. Dostupné na: <[www.fishecu.cz](http://www.fishecu.cz)>.

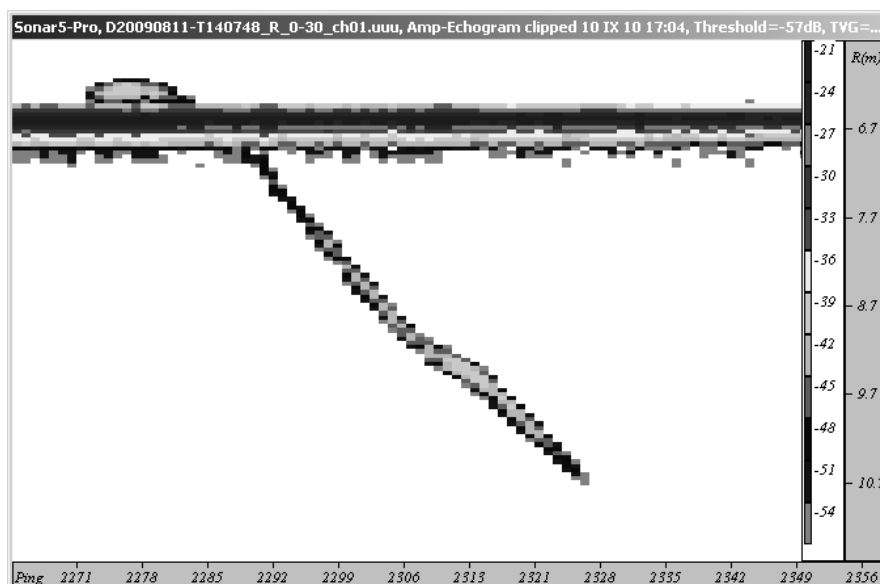
### Programy užívané pro vyhodnocování dat

- BALK, Helge. *Sonar 4 and Sonar 5-Pro. Post processing systems Operator manual version 5.9.7*, Norway, 2007.
- StatSoft.com. *STATISTICA 10* [online]. c2012 [cit. 2012-04-25]. Dostupné na:  
<<http://www.statsoft.com>>.

## Vysvětlivky užitých odborných termínů

- “*bridles*”, “*sweeps*”: spojovací lana sítě a ocelových lan.
- “*codend*”: koncový sběrný vak tralové sítě, do kterého je soustředěn úlovek.
- “*groundline, footrope*”: dolní žině ústí tralu. Obvykle je vybavena zátěží, u bentických tralu taktéž gumovými valy pro lepší pohyb po nerovném terénu dna.
- „*upperline, headrope*“: horní žině tralu. Bývá vybavena plováky pro udržování pozitivního vztlaku.
- “*otterboards*”: jsou stabilizační rozpěrné desky připevňované na tažná ocelová lana tralu. Udržují síť při vhodném napětí během tahu.
- “*trawler*”: tažná loď, která za sebou táhne tral. K tažení je speciálně vybavená (tralový buben, upravená zadní paluba, výkonný motor).
- “*trawling*”: aktivní lovná metoda, kdy za sebou jeden či více trawlerů táhnou tral

## Obrazové přílohy



**Obr. 1.** Příklad vertikální únikové reakce na dvourozměrném echogramu. Znárodnuje rybu, která podplouvá dolní žině tralu. Za povšimnutí stojí hloubkový rozdíl, který ryba při útěku vykonala.