

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra zoologie a rybářství



Vliv hlukového znečištění na vybrané druhy kytovců

Bakalářská práce

Autor práce: Anna Burgerová

Vedoucí práce: Ing. Miloslav Petrtýl, Ph.D.

© 2016 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv hlukového znečištění na vybrané druhy kytovců" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 13.4. 2016

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Miloslavovi Pettrýlovi, Ph.D. za jeho odborné a praktické rady při vedení mé práce a za velkou trpělivost při jejím zpracování.

Vliv hlukového znečištění na vybrané druhy kytovců

Souhrn

Zvuk má ve vodním prostředí tendenci šířit se rychleji, než je tomu ve vzduchu a sluchový systém kytovců (Cetacea), který začal sloužit jako komunikační nástroj, prošel během evoluce významnou proměnou. Každý živočišný druh si vyvinul specifický zvukový repertoár, který slouží především k hledání potravy, detekci predátora a jiného nebezpečí, ke komunikaci a k hledání reprodukčního partnera.

Zvukové pozadí v oceánech je tvořeno přirozenými zvuky a zvuky vytvářenými člověkem, tzv. antropogenní zvuky. Přirozené zvuky jsou tvořeny mořskými organismy, zemětřeseními, srážkami atd. Antropogenní zvuky vytváří člověk, ať už úmyslně nebo neúmyslně, a právě tyto zvuky významně narušují oceánské prostředí. Frekvence a hladina (intenzita) zvuku jsou primárními faktory při určování míry narušení komunikace kytovců. Nejvíce škodlivé jsou zvuky s nízkou frekvencí (10 – 500 Hz), které mají tendenci působit na velkou vzdálenost (až stovky kilometrů) a jejichž primárním zdrojem je lodní doprava a dále seizmický průzkum oceánského dna. Obecně většina antropogenních zdrojů hluku patří právě do této kategorie. Dalšími zdroji antropogenního hluku jsou průmyslové činnosti, vojenské sonary a uměle vytvářené signály sloužící k odrazení kytovců.

Reakce kytovců na hluk se rozděluje na reakce fyziologické, behaviorální a akustické. Navýšení metabolické aktivity, stoupající hladinu glukokortikoidů v krvi a ve výsledku snížení imunity lze chápat jako fyziologickou reakci. Behaviorální reakci představují změny v chování kytovců od změn směru a rychlosti plavání po délku ponoru a četnost nádechů. Patří sem rovněž společenské aktivity kytovců jako hledání potravy nebo péče o mláďata. Veškeré komunikační změny mezi kytovci představují reakci akustickou.

S rostoucím počtem studií, které dokazují negativní vliv antropogenního hluku na kytovce, se zvyšuje potřeba zavést účinná opatření, která by snížila nebo omezila vliv hluku na kytovce. Pro tento účel se formují chráněné mořské oblasti a tiché zóny, která svými omezeními brání vystavení kytovců škodlivé hladině hluku (cca 120 dB a více). Rovněž byla vyvinuta technologie k úpravě lodního zařízení a využití bublinové clony v okolí stacionárních průmyslových aktivit vykazuje též účinnost v akustickém útlumu.

Klíčová slova: kytovci, sluch, antropogenní hluk, hlukové znečištění, reakce na hluk.

Effect of noise pollution on selected species of cetaceans

Summary

Sound in water tends to travel much faster than in air. Cetaceans started to use the hearing system as a tool for their communication and so this system must have been adapted during the evolution. Every species form his specific sound repertoire which is used mainly for food-finding, detection of predator or other hazards, communication and reproduction.

Ocean ambient noise is created by natural sources of sound and man-made sounds (also called as anthropogenic sounds). Natural sounds are produced by marine organisms and processes like earthquakes, rainfall and so on. Anthropogenic sounds are made by man either intentionally or unintentionally and these sounds mostly disrupt the oceanic environment. Sound frequency and intensity level are the main factors when we determine the intensity of distortion in communication of Cetaceans. The most detrimental sounds are those with low frequency (10 – 500 Hz) and long-ranged propagation (hundreds of kilometers). Into this category we can include shipping and seismic surveys. In general, the most of anthropogenic sources of noise belong to this category. Other sources of anthropogenic noise are industrial activities, military sonar and acoustic deterrent and harassment devices (ADDs/AHDs).

Cetaceans' responses to anthropogenic noise can be divided into three categories: physiological, behavioral and acoustic. The physiological reaction can be increasing metabolism, increasing baseline concentration of glucocorticoids in the blood and ultimately reducing immunity. Behavioral responses include changes in heading patterns and swim speed, changes in diving and breathing. Also included are social activities like food-finding or nursing. Every change in vocalization represents acoustic responses.

With growing number of studies which prove a negative influence of anthropogenic noise on Cetaceans there is an increasing need to introduce effective measures which could reduce or limit this negative influence. For this purpose there are established marine protected areas and safety zones which avoid exposure to loud noise (circa 120 dB and more) thanks to their regulations. As well there was developed a technology to modify the ship equipment and the using of an air bubble curtain in the immediate area of the industrial activity shows efficiency in acoustic attenuation.

Keywords: Cetaceans, hearing, anthropogenic noise, noise pollution, responses to the noise.

Obsah

1 Úvod.....	8
2 Cíl práce.....	9
3 Sluchový systém kytovců.....	10
3.1 Evoluce sluchového systému	10
3.2 Fyzikální vlastnosti zvuku	11
3.3 Sluchové ústrojí kytovců.....	12
4 Zdroje hluku v oceánu	16
4.1 Antropogenní zdroje hluku	17
4.1.1 Výbušniny.....	18
4.1.2 Seizmický průzkum	18
4.1.3 Sonar	19
4.1.4 Uměle vytvářené signály.....	20
4.1.5 Lodní doprava	21
4.1.6 Průmyslová činnost.....	22
5 Reakce kytovců na okolní hluk.....	23
5.1 Reakce kytovců na hluk způsobovaný lodní dopravou	26
5.2 Reakce kytovců na hluk způsobovaný seizmickým průzkumem	32
5.3 Reakce kytovců na hluk způsobovaný zařízeními ADD a AHD	41
5.4 Reakce kytovců na hluk způsobovaný vojenským sonarem	49
5.5 Reakce kytovců na hluk způsobovaný průmyslovou činností	50
6 Možnosti redukce hluku v oceánech	51
6.1 Tiché zóny a bezpečná hladina hluku	52
6.2 Chráněné mořské oblasti	52
6.3 Monitoring	52
6.4 Redukce aktivit vyvolávajících hluk.....	53
6.5 Bublinová clona.....	54
7 Závěr	57
8 Seznam literatury.....	58
9 Seznam použitých zkratk a symbolů.....	61

1 Úvod

V posledních desetiletích roste využívání oceánu člověkem. Kromě rybolovu oceán umožňuje přepravu zboží díky lodní přepravě, poskytuje prostor pro cvičení vojenského námořnictva a ve svém nitru ukrývá nerostné bohatství (ropa, zemní plyn atd.), které se člověk snaží nalézt a vytěžit. Veškeré tyto činnosti způsobují navýšení hlukového pozadí v oceánech, což může ovlivnit až celé populace kytovců. Zřejmě nejhorší obavou je možný podíl na vyhubení kriticky ohrožených druhů.

Hluk je v oceánu vytvářen neustále, avšak hluk vytvářený člověkem (antropogenní hluk) má většinový podíl na jeho celkové hladině. Sluchový systém kytovců začal sloužit mimo jiné jako komunikační prostředek. Ovšem díky antropogennímu hluku bývá tento důležitý systém narušen a kytovci na něj mohou reagovat nejrůznějšími způsoby, které pak mají vliv na jejich přežívání v takovém prostředí.

2 Cíl práce

Práce je zaměřena na shrnutí zdrojů antropogenního hluku v oceánu a především na popis reakcí kytovců v závislosti na zdroji hluku. V závěru práce jsou uvedena některá doporučení, jejichž cílem je omezit vystavení kytovců hluku vytvářeného člověkem.

3 Sluchový systém kytovců

3.1 Evoluce sluchového systému

Od sluchového systému obratlovců je vyžadováno, aby plnil základní úkoly, které zahrnují rozlišení zvuku, lokalizaci zdroje zvuku, analýzu frekvence zvuku a analýzu zvukového obrazu. U různých druhů byly tyto schopnosti během vývoje pozměňovány díky selekci (Fay et Popper, 2000). Kytovci (Cetacea) se od pozemských savců oddělili přibližně před padesáti miliony lety. Tento přechod ze souše do vody zahrnoval nespočet změn jednotlivých orgánových soustav. K adaptaci velrybího ucha pro podvodní sluch došlo před méně než deseti miliony lety (Nummela et al., 2007).

Co mělo zásadní vliv na vývoj sluchového systému, mohou zodpovědět dva pohledy na tuto problematiku. Zaprvé je sluchový systém považován za součást komunikačního systému. Druhou možností je fenomén analýzy zvukového obrazu. Mnoho druhů obratlovců mezi sebou komunikuje použitím zvuku způsobem, který je pro daný druh specifický. Všeobecným předpokladem je, že druhy vznikaly jako populace, které se adaptovaly na specifické životní prostředí a tímto omezením se formulovala jejich evoluce. V komunikaci může životní prostředí určit ty druhy zvuku, které lze snadno předávat s minimálním zkreslením. Rozmezí těchto zvuků může být dále omezeno anatomickou stavbou či fyziologií daného živočišného druhu. Druhově specifická hlasová komunikace neslouží pouze k identifikaci specifických komunikačních zvuků, které mají biologický význam. Zahrnuje také fakt, že adaptace sluchového systému byly řízeny fyzikálním omezením životního prostředí a strukturou mechanismů produkujících zvuk (Fay et Popper, 2000).

U všech organismů může být analýza zvukového obrazu nejdůležitější součástí smyslového systému. Slyšitelné zvuky jsou u daného druhu významné v souvislosti s jeho fitness, která závisí na schopnosti rozlišit důležité (relevantní) zvuky od těch nepodstatných (irelevantní). Sluchový smysl a zvukový systém pracují na prostém fyzikálním principu, odlišit jeden zvukový zdroj od jiného. Mezi základní sluchové funkce patří rozpoznání tělesných charakteristik (velikost těla, pohlaví) a detekce predátora či kořisti (predator and prey detection). V evoluci obratlovců, kde bylo úkolem rozlišení zvukových charakteristik v běžném prostředí, měly zprvu zásadní vliv obecné faktory: hluk, rozptýl a více zdrojů zvuku (Fay et Popper, 2000).

3.2 Fyzikální vlastnosti zvuku

Jedním z nejdůležitějších aspektů sluchového smyslu je sluchová kapacita pro lokalizaci zdroje zvuku. Základní funkcí zvukové lokalizace je přispívání k lepšímu vnímání struktury zvukového obrazu (Fay et Popper, 2000).

Mezi základní vlastnosti patří rychlost (c), vlnová délka (λ) a frekvence (f), jejichž vztah lze vyjádřit rovnicí:

$$c = \lambda \times f$$

Rychlost zvuku ve vzduchu je přibližně 340 m/s, kdežto ve vodě je téměř pětinašobně větší, přibližně 1530 m/s. Vyšší rychlost zvuku znamená, že pro danou frekvenci je vlnová délka delší ve vodě než ve vzduchu. Vztah mezi frekvencí a vlnovou délkou je inverzní – s rostoucí frekvencí se zkracuje vlnová délka a naopak. Kratší vlnová délka poskytuje lepší prostorové rozlišení. Vyšší zvukové frekvence jsou vhodnější k detekci malých objektů a také jsou využívány k echolokaci. Mají ovšem krátký dosah působení. Naproti tomu nižší frekvence mají vlnové délky delší a slouží ke komunikaci na větší vzdálenost (Nummela et al., 2007).

V konkrétním prostředí může být zvuk charakterizován akustickou impedancí (Z). Při průchodu zvuku z jednoho prostředí do jiného nám poměr mezi oběma akustickými impedancemi říká, kolik energie se odrazí na rozhraní těchto dvou médií. Čím bude poměr větší, tím více energie se odrazí. Akustické impedance vody a vzduchu se výrazně liší:

$$Z = \frac{p}{v} = \rho \times c$$

ptlak zvuku

vrychlost částic

ρhustota prostředí

crychlost zvuku v daném prostředí

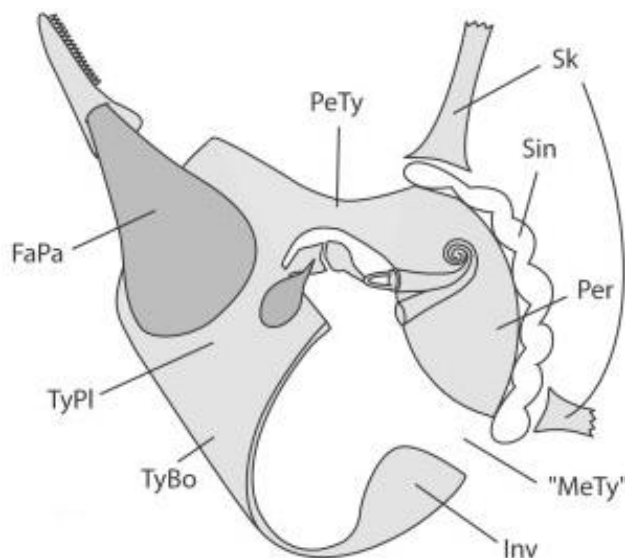
Hustota ve vzduchu činí 1,3 kg/m³ a ve vodě 1000 kg/m³. Charakteristická akustická impedance vzduchu je $Z_{\text{vzduch}} = 400$ Pas/m a vody $Z_{\text{voda}} = 1500$ kPas/m. Pro hlemýžďe (kochlea) vyplněného tekutinou platí, že akustická impedance činí jednu desetinu impedance vody, tedy 150 kPas/m (Nummela et al., 2007).

Pro určení směru přicházejícího zvuku lze použít dva způsoby – mezizvukový časový rozdíl nebo mezizvukový rozdíl v intenzitě. Pojem mezizvukový časový rozdíl znamená, za jak dlouho přicházející zvuk doputuje k levému a pravému uchu. Natáčením hlavy na levou nebo pravou stranu může zvíře zjistit, zda zvuk přichází zepředu nebo zezadu tím, že

porovnává čas příchodu zvuku do levého a pravého ucha. Záleží také na velikosti hlavy, frekvenci zvuku a směru přicházejícího zvuku. Pokud je hlava malá, čas příchodu zvuku do obou uší je velmi krátký, přičemž nezáleží na výšce frekvence, a centrální nervový systém není schopen přesně určit mezizvukový časový rozdíl. Nicméně s rostoucí frekvencí se zvyšuje intenzita mezizvukového rozdílu a obecně je intenzita vyšší tam, kam zvuk dorazil jako první (Nummela et al., 2007).

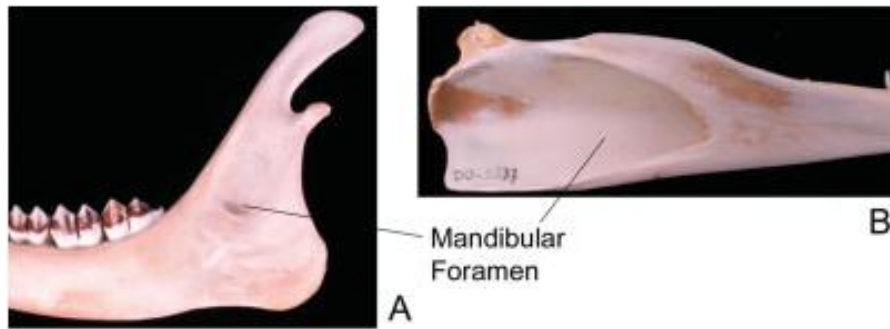
3.3 Sluchové ústrojí kytovců

Ozubení kytovci (Odontoceti) během vývoje ztratili vnější ušní boltec, zevní zvukovod je částečně zakrnělý a pro sluch je nefunkční. Detaily sluchového aparátu ozubených kytovců jsou znázorněny na Obr. 1.



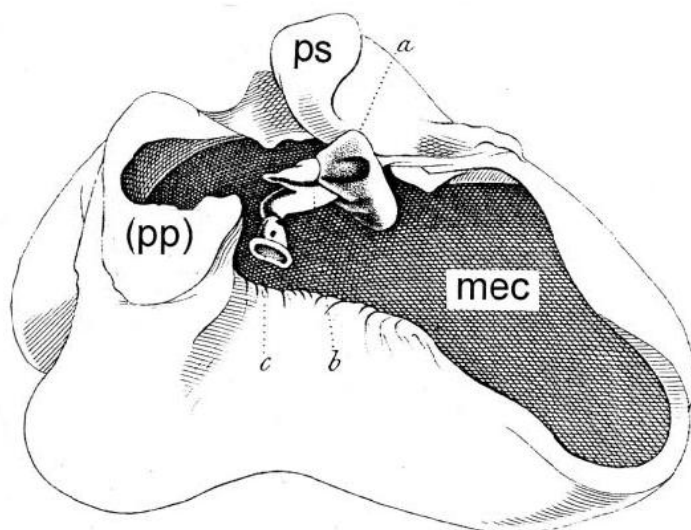
Obr. 1 – Schéma ucha ozubených kytovců. **FaPa** – mandibulární tukový polštář; **Inv** – involucrum (nově zformovaná kost umožňující svými dutinami odvod nečistot na povrch kůže); **MeTy** – mediální synostóza (srůst) mezi periotickou a tympanickou kostí; **Per** – periotická kost; **PeTy** – spoj mezi periotickou a tympanickou částí; **Sin** – vzduchové dutiny; **Sk** – lebka; **TyBo** – tympanická kost; **TyPl** – tympanická deska. Převzato z Nummela et al. (2007).

Dolní čelist má široký mandibulární kanál, který se otevírá směrem dozadu jako mandibulární okno (mandibular foramen) na mediální straně čelisti, viz Obr. 2B. Mandibulární kanál je vyplněn tukový polštářem, olejovou substancí o hustotě podobné hustotě vody (*Lagenorhynchus*).



Obr. 2 – Mediální pohled na spodní čelist znázorňující velikost mandibular foramen. **A:** Dolní čelist jelence (*Odocoileus*). **B:** Dolní čelist plískavice (*Lagenorhynchus*). Převzato z Nummela et al. (2007).

Střední a vnitřní ucho kytovců se nachází v tympano-periotickém komplexu (T-P komplex). U ozubených kytovců je tato struktura akusticky dobře oddělena od zbytku lebky. Naproti tomu T-P komplex u kosticovců (Mysticeti) je v přímém spojení s lebkou skrze bradavkové výběžky (processus mastoideus). Dohromady pro všechny kytovce platí, že vzduchové dutiny, které obklopují dorsální a mediální části T-P komplexu, pomáhají k dokonalejšímu akustickému oddělení ve vztahu ke zbytku lebky. Komplex tvoří dvě části, které obklopují vzduchem naplněné dutiny středního ucha a sluchové kůstky – kladívko, kovádlíku a třmínek. Vnitřní ucho uzavírá periotická kost. Jedná se o kompaktní dorsální polovinu. Vazivové spoje umožňují připojení k lebce a funkčně tuto část s mozkem spojuje předsíňohlemýžďový nerv. Kytovci mají ucho umístěné na ventrální části lebky a u ozubených leží blízko kloubu, který spojuje dolní čelist s lebkou. Miskovitě tvarovaná tympanická kost formuje sluchovou zaoblenou výčnělkovitou část (auditory bullar part) T-P komplexu, viz Obr. 3. Laterálně je tato kost v přímém kontaktu s okolními měkkými tkáněmi a je umístěna tak, že zvuk dopadající na dolní čelist je soustředěn přímo na ni (Nummela et al., 1999).



Obr. 3 – Dorzo-mediální pohled na levou tympanickou kost kulohlavce černého (*Globicephala melaena*). **Mec** – dutina středního ucha; **pp** – processus petrosus; **ps** – processus sigmoideus; **a** – kladívko; **b** – kovádlínka; **c** – třmínek. Převzato z Nummela et al. (1999).

Zvuk je přijímán laterální mandibulární stěnou a veden skrze mandibulární tukový polštář (mandibular fat pad) nahoru k tympanické desce (tympanic plate) a k laterální stěně, kterou tak rozechvěje. Když zvuk putuje z tukového polštáře k menší tympanické desce, intenzita je zesílena, což vede k lepší citlivosti. Vibrace tympanické desky jsou odeslány přes kůstky středního ucha k oválnému okénku. Intenzita zvuku tak roste, ale zároveň se zvyšuje tlak a to vede k velkému nesouladu impedancí. Tympanická deska díky své malé hmotnosti umožňuje přenos vyšších zvukových frekvencí, které slouží k echolokaci. U kytovců zůstalo vnitřní ucho relativně nezměněno, zatímco zvukový přenos ve vnějším a středním uchu byl významně reorganizován (Nummela et al., 2007).

Na základě anatomických a fyziologických pozorování lze uvést několik důležitých bodů (Nummela et al., 1999):

1. Základní struktura hlemýždě (kochlea) kytovců se nijak neliší od hlemýždě ostatních savců.
2. Střední ucho kytovců je částečně naplněno vzduchem, a když se velryba potopí, vzduch je stlačován. Měkké tkáně se tak tlačí na střední ucho, pokud zde nepůsobí nový plyn o stejném tlaku. U druhů, které se potápějí do větších hloubek, zůstává střední ucho vyplněno vzduchem díky doplněním plynu z plic skrze Eustachovu trubici. Tak dosahují vyrovnání tlaku.
3. Většina zvukové energie produkované velrybou přechází do jejího tuku a svalů.

4. Velryby potřebují odlišný mechanismus pro urychlení částic u oválného okénka, než je tomu u pozemních savců.

Velryby pravděpodobně přijímají zvukové vibrace prostřednictvím vibračních kostních povrchů, jako je tomu u ryb. Ve vodě vznikající zvuk je převeden z vyšší akustické impedance na nižší impedanci v tekutině vnitřního ucha (Nummela et al., 1999).

4 Zdroje hluku v oceánu

Podvodní prostředí zahrnuje zvuky biotické a abiotické, které úzce souvisí s přežitím a rozmnožováním mořských organismů. Zdrojem biotického zvuku jsou bezobratlí živočichové, ryby a mořští savci. Jejich základní úlohou je komunikace, orientace, echolokace a vyhledávání kořisti nebo partnera. Abiotické zdroje zvuku poskytují mořským organismům důležité informace o okolním prostředí a mohou být rozděleny do dvou kategorií: přirozené zvukové pozadí a antropogenní zvuky (Peng et al., 2015).

Existují tři frekvenční pásma, kde v každém z nich převládá rozdílný zdroj hluku. Tato pásma se rozdělují na:

- nízkofrekvenční pásmo (10 – 500 Hz),
- střední frekvenční pásmo (500 – 25 000 Hz),
- vysokofrekvenční pásmo (více než 25 000 Hz).

Nízkofrekvenčnímu pásmu dominují antropogenní zdroje hluku. Primárně se jedná o komerční lodní dopravu a sekundárně o seizmický průzkum. Oba tyto hlavní zdroje přispívají k intenzitě hluku napříč oceánskou pánví díky svému dlouhému dosahu působení. Tedy hlukové pozadí s nižší frekvencí může tvořit souhrn veškerých nízkofrekvenčních zvuků napříč celou oceánskou pánví. V posledních desetiletích lodní přeprava navýšila okolní hluk až o 12 dB, což souvisí se zvyšujícím se počtem a velikostí plavidel, která zahrnuje světová komerční lodní flotila. Současně se rovněž ropné průzkumy a stavební činnosti podél kontinentálních okrajů přesunuly do hlubších vod (Hildebrand, 2009).

Zvuky středního frekvenčního pásma nemohou působit na velkou vzdálenost vzhledem k velkému útlumu, a proto přispívají k pozadí okolního hluku pouze lokálně na vzdálenost desítek kilometrů. Do této skupiny patří převážně přirozené zdroje hluku související s rozrušením mořské hladiny (vlnolam, příboj, tvorba bublin) a srážky. Z antropogenních zdrojů sem patří různé sonary (Hildebrand, 2009).

Do kategorie vysokofrekvenčních zvuků patří termální hluk, výsledek Brownova pohybu vodních molekul v blízkosti hydrofonu, jehož frekvenční hodnota přesahuje 60 kHz (Hildebrand, 2009).

Typické přirozené zvukové pozadí tvoří vlnobití, proudy pohybující se přes útes, dešťové kapky dopadající na vodní hladinu, slapové jevy, oceánské turbulence a zvuk vytvářený při podmořské vulkanické erupci (Peng et al., 2015).

4.1 Antropogenní zdroje hluku

Oceánský hluk vytvářený člověkem je vnímán jako škodlivý faktor relativně krátkou dobu. Poprvé byl označen, jako potencionální hrozba v souvislosti s plejtváky a jejich komunikací na dlouhou vzdálenost (Williams et al., 2015). Antropogenní hluk vzniká v oceánu z různých zdrojů, přičemž některé produkují zvuk záměrně a jiné naopak neúmyslně. Mezi zdroje, které produkují zvuk záměrně, patří výbušniny, seizmické průzkumy, sonary a akusticky odpuzující zařízení. Neúmyslně vytvářený zvuk produkuje lodní přeprava a průmyslové činnosti (Hildebrand, 2009). Odlišnosti antropogenních zdrojů zvuku v závislosti na jejich frekvenci a intenzitě jsou znázorněny v Tabulce 1.

Typy antropogenního zvuku	Frekvence (Hz)	Zvuková intenzita (dB re 1 μ Pa)
Dolování (mining) a ropné vrty (oil drilling)	4 – 38	119 – 127
Vsazování pilířů (pile driving)	30 – 40	131 – 135
Vrtná loď (drillship)	20 – 1000	174 – 185
Vrtná plošina	10 – 4000	~ 154
Seizmické vzduchové dělo (air-gun)	100 – 250	240 – 250
Vojenský sonar (námořnictvo)	100 – 500	~ 215
Vysokofrekvenční sonar monitorující mořské savce	~ 3000	~ 220
Supertanker, kontejnerová loď	6,8 – 70	180 – 205
Středně velká loď (trajekt)	~ 50	150 – 170
Lodě (délka < 30 m)	< 300	~ 175
Malé lodě (zásobovací)	20 – 1000	170 – 180

Tab. 1 – Příklady nahlášeného antropogenního hluku v moři s rozdílnou frekvencí a intenzitou zvuku. Převzato z Peng et al. (2015).

4.1.1 Výbušniny

Chemické výbušniny se používají k nejrůznějším podvodním účelům, mezi které patří seizmický průzkum, malé nálože k odrazení mořských savců (seal bombs), testování odolnosti válečných lodí vůči výbuchům (ship shock trials), odstranění konstrukcí, testování vojenských zbraní (torpéda, miny atd.). Výbuch vytváří tlakový impulz s ostrým vzestupem a s poměrně širokopásmovou frekvencí, například rozmezí pro ship shock trials činí 0,5 – 50 Hz (304 dB), u torpéd v závislosti na typu to může být 10 – 200 Hz (289 dB). Zvuk se pak šíří rovnoměrně všemi směry. Využívání exploze k vyhledávání ložisek ropy na mořském dně již bylo nahrazeno specializovanější technikou, viz kapitola Seizmický průzkum. Přesto se nadále využívají pro výstavbu a odstraňování podmořských konstrukcí nebo během těžby korálů. Malé nálože nazývané seal bombs používají rybáři k odehnání lachtanů a tuleňů od hejna ryb při rybolovu. Další využití těchto náloží představovalo bránění ploutvonožcům v obsazení rekreačních lodí či ploch v docích. Speciálně se také umísťovaly poblíž propustí přehrad, které usnadňovaly lososům při migraci do řek překonání překážek, aby tak ploutvonožcům znemožnily lov ohrožených druhů lososů. Tyto nálože obsahují cca 2,3 g výbušné směsi a intenzita hluku dosahuje až 205 dB s frekvencí 15 – 100 Hz (Hildebrand, 2009).

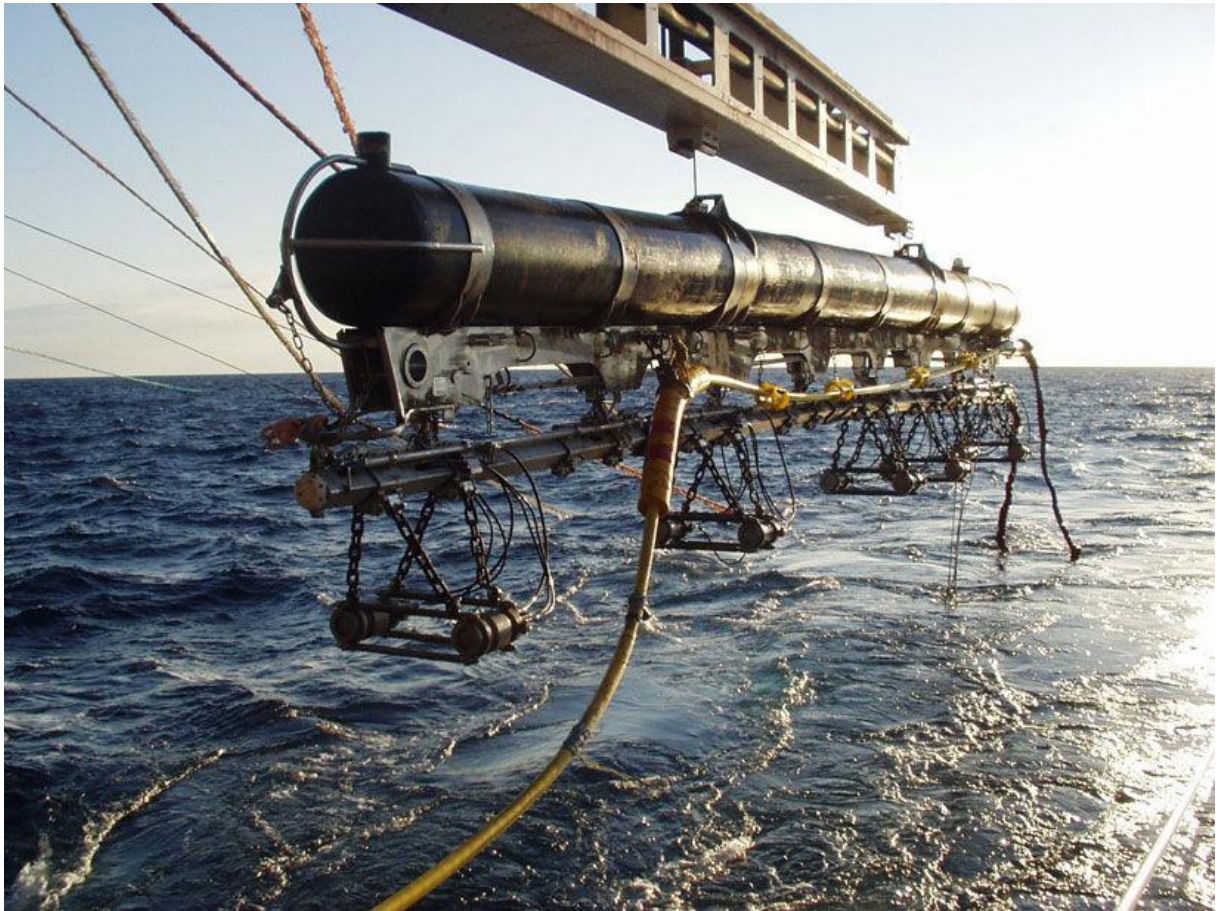
4.1.2 Seizmický průzkum

Seizmický průzkum se provádí za účelem zkoumání geologických rysů podmořského dna a jeho základním nástrojem jsou řady tzv. vzduchových děl „air-guns” (Stone et Tasker, 2006).

V podstatě se jedná o jakási podvodní děla převážně válcovitého tvaru, která uvolňují značný objem vzduchu pod vysokým tlakem (kolem 13,79 MPa) a po „výbuchu“ vyvolávají pod vodou hlasité zvukové vlny rozpínáním a smrštěním uvolněných vzduchových bublin, viz Obr. 4 (Hildebrand, 2009). Seizmický průzkum může vytvářet krátkodobé působení širokopásmových impulzivních zvuků s vysokou intenzitou (220 – 255 dB). Řada vzduchových děl (air-guns) je navržena tak, aby nasměrovala nízkofrekvenční zvuk (< 300 Hz) dolů k maximalizaci energie odražené zpět z vrstev podmořského dna (Nowacek et al., 2007). Obecně může seizmický průzkum zvednout hladinu hluku v pozadí o 20 dB na ploše více než 300 000 km² (Weilgart, 2007a).

Pro dosažení vysoké akustické intenzity se vzduchová děla odpalují několikrát po sobě (běžně 12krát až 48krát) s přesně definovaným časem odpalu k vytvoření souvislého pulzního zvuku. Hladina akustického tlaku vycházejícího z řady vzduchových děl je přímo úměrná jeho provoznímu tlaku, počtu děl a třetí odmocnině z jejich celkového objemu. Vzduchová děla

jsou vlečena lodí rychlostí 5 uzlů (přibližně 9 km/h) a odpalují se pravidelně každých 10 až 20 sekund. Celosvětově takto provádí seizmický průzkum více než 90 plavidel (Hildebrand, 2009).



Obr. 4 – Nástroj seizmického průzkumu – válcovitý nosič s řadou několika malých vzduchových děl (air-guns). Dostupné online z: http://img.nauticexpo.com/images_ne/photo-g/40158-7052639.jpg

4.1.3 Sonar

Sonar se dělí do dvou základních kategorií, buď jako pasivní nebo aktivní. Pasivní sonar slouží jako poslechové zařízení, využívané k nepozorovanému vyhledávání hluku z motorů ponorek nebo jiných vlastních zvuků cílových objektů. Pasivní sonar přitom nevysílá žádné zvuky, pouze je přijímá (Zirbel et al., 2011).

Naproti tomu aktivní sonary detekují různé objekty na základě ozvěn vydávaných zvuků a tento typ vyvolává znepokojení v souvislosti s mořskými savci. Vojenské sonary produkují intenzivní zvuk s hladinou vyšší než 210 dB při referenčním tlaku 1 μ Pa na 1 m (Nowacek et al., 2007). Aktivní sonary používané americkým námořnictvem se dále dělí do tří skupin podle délky frekvenčního pásma. Sonary s nízkofrekvenčním pásmem (< 1 kHz) se nazývají LFAS (Low Frequency Active Sonar). Další skupinu tvoří sonary MFAS (Mid

Frequency Active Sonar) a frekvenčním pásmem 1 – 10 kHz a nakonec HFAS (High Frequency Active Sonar) sonary, jejichž frekvenční pásmo je vyšší než 10 kHz (Zirbel et al., 2011).

Nízkofrekvenční aktivní sonary (LFA – Low Frequency Active) využívá ve velké míře vojenské námořnictvo. Jsou navrženy tak, aby pokryly plochu několika stovek kilometrů a byly schopné na takovou vzdálenost detekovat ponorky. Některé specializované doprovodné lodě mají LFA sonary umístěné v řadě se zdroji zvuku směřujícími svisle dolu pod loď (Hildebrand, 2009).

Sonary typu HFAS se využívají u torpéd a podvodních min samotných nebo naopak mohou být součástí různých obranných systémů proti těmto zbraním. Tyto obranné systémy mohou HFAS sonar využívat na vzdálenost stovek metrů až několika kilometrů. Pro kytovce a jiné mořské savce byly jako potencionálně škodlivé antropogenní zdroje hluku označeny sonary LFAS a MFAS pro svůj velký dosah působení (Zirbel et al., 2011).

Civilní a obchodní sonary jsou využívány k detekci, lokalizaci a klasifikaci různých podmořských objektů, např. oceánského dna, planktonu, ryb, potápěčů atd. Hladina zvuku těchto sonarů je nižší, než je tomu u vojenských sonarů. Avšak díky vysokému počtu plavidel vybavených takovými sonary jsou tyto zvukové hladiny všudypřítomné. Patří sem také sonary využívané v batymetrii pro mapování podmořského dna. Mohou vysílat jednu nebo více zvukových vln a v závislosti na čase a úhlu jejich návratu v podobě ozvěny je možné určit hloubku a strukturu mořského dna. Pro hloubkové systémy se frekvence těchto sonarů pohybuje kolem 12 kHz a pro systémy měření v mělkých vodách se využívají frekvence 70 až 100 kHz. Sonary, které produkují více vln po sobě, provozují vysoké zvukové hladiny kolem 245 dB při referenčním tlaku 1 μ Pa na 1 m (Hildebrand, 2009).

Dalším typem sonaru je hydroakustický sonar, kterým se zjišťuje přítomnost živých organismů v oceánech, jezerech a řekách. Přenosem zvuku o střední až vysoké frekvenci (20 až 100 kHz) je sonar schopen zachytit individuální objekty nebo agregáty, např. rybí školky ve vodním sloupci. Podle hojnosti a rozptylu těchto zachycených objektů se určuje síla sonarových vln. Hydroakustické sonary slouží především k hodnocení výskytu a množství fytoplanktonu a zooplanktonu (Hildebrand, 2009).

4.1.4 Uměle vytvářené signály

Uměle vytvářené signály se využívají k úpravě chování mořských savců. Jedná se odstrašující (ADD – Acoustic Deterrent Device) a obtěžující (AHD – Acoustic Harassment

Device) zvuková zařízení, jejichž cílem je udržet mořské savce stranou od rybářských sítí nebo od akvakulturních zařízení (Hildebrand, 2009).

Existují dvě základní třídy těchto zařízení s vysokou frekvencí, ale často dochází k jejich záměně. Odlišit se dají podle hladiny zdroje zvuku nebo způsobu umístění zařízení. Intenzita zvuku systému ADD, nejčastěji označovaného jako „zvonek“ (pinger), viz Obr. 5, dosahuje méně než 180 dB při referenčním tlaku 1 μ Pa na 1 m. Umisťuje se především na pohyblivé nebo přechodně ukotvené objekty, např. tenatové sítě. Naproti tomu zařízení AHD vydávají zvuk o intenzitě vyšší než 180 dB při referenčním tlaku 1 μ Pa na 1 m a připevňují se trvale ke konstrukcím, jako jsou rybí ohrádky a nádrže (Nowacek et al., 2007).

Rozsah frekvence je pro oba typy zařízení stejný a pohybuje se v rozmezí 5 – 160 kHz, přičemž vydávané pulzy trvají 2 až 2 000 milisekund. Aby u mořských savců nedošlo k habituaci, zvuky se pouští v různých časových intervalech s proměnlivými tvary zvukové vlny (Hildebrand, 2009).



Obr. 5 – Nástroj systému ADD „zvonek“ (pinger) připevněný k síti. Dostupné online z: http://superpod.ml.duke.edu/read/wp-content/themes/striking3_4/cache/images8/960_SaveWave-2004-06-21_0134.jpg-628x185.jpg

4.1.5 Lodní doprava

Lodní doprava je pravděpodobně hlavním zdrojem antropogenního hluku v mořském prostředí. Za posledních 50 let se díky rozvoji motorových plavidel zvýšila hladina hlukového pozadí v oceánech o 10 – 15 dB, což platí pro nízkofrekvenční zvuky (Wright et al., 2007).

V mnoha oceánských oblastech je dominantní nízkofrekvenční (20 – 200 Hz) zdroj hluku pocházející z lodních šroubů nebo motorů obchodních plavidel. Takové zvukové frekvence se efektivně šíří na dlouhou vzdálenost a do značné hloubky (Rolland et al., 2012).

Významným zdrojem hluku je tedy kavitace na špičce vrtulových listů, přičemž nezáleží na rozsahu frekvence, ačkoli vysokofrekvenční zvuky se nešíří daleko. Kavitace nastává při lokálním poklesu tlaku pod kritickou hodnotu a může být charakterizována jako

vařící se mořská voda. Mezi další zdroje hluku způsobovaného lodmi patří otáčivé stroje vydávající tóny a pístové stroje produkující ostré impulzy s opakující se konstantní frekvencí (Hildebrand, 2009).

Jednotlivá plavidla vytvářejí unikátní akustické signatury, ačkoli ty se mohou měnit v závislosti na rychlosti plavidla, nákladu nebo pracích probíhajících na plavidle. V těchto akustických signaturách můžeme rozeznat ostré vrcholové tóny vytvářené dieselovými motory, dieselovými generátory, čerpadly, ventilátory, dmychadly a jinými pomocnými jednotkami. Hydrodynamické obtékání trupu lodi je také důležitým mechanismem pro vytváření širokopásmového zvuku, zvláště pokud loď zvýší svou rychlost. Vrcholové hladiny u jednotlivých obchodních lodí je dosaženo v pásmové frekvenci 10 – 50 Hz a v rozsahu od 140 dB u malých rybářských plavidel do 195 dB pro rychle se pohybující supertankery (> 20 uzlů = 37 km/h). V průměru nejvyšších zvukových hladin dosahují větší plavidla a tyto hladiny rostou společně se zvyšující se rychlostí plavidel (Hildebrand, 2009).

4.1.6 Průmyslová činnost

Mezi průmyslové činnosti vytvářející hluk se řadí především takové činnosti, které souvisí s těžbou ropy. Patří sem zasazování pilířů (pile driving) a ropné vrty (oil drilling). Jiným příkladem, který nesouvisí s těžbou ropy, jsou pevninské větrné elektrárny (offshore wind farms). Všechny tyto konstrukce umístěné z pevniny dosahují nejvyšší energie při nízké frekvenci (20 – 1000 Hz). Ropné vrty prováděné na volném moři se uskutečňují na vrtných plošinách, specializovaných lodích nebo na uměle vytvořených ostrůvcích. Na těchto místech se vytváří převážně hluk s nízkou až střední frekvencí (700 – 1400 Hz) s maximální hladinou zvuku 184 dB při referenčním tlaku 1 μ Pa na 1 m s výjimkou specializovaných lodí, u kterých je hladina zvuku vyšší (Hildebrand, 2009).

Při výstavbě pevninských větrných elektráren se tvoří hluk s nižší frekvencí a vysokou intenzitou. Avšak za běžného provozu samotné elektrárny se zvuková intenzita zjemňuje. Nejvyšší intenzita zvuku v běžném provozu elektrárny činí 151 dB při referenčním tlaku 1 μ Pa na 1 m s frekvencí 180 Hz a při rychlosti větru 30 m/s. U dalších čtyř elektráren s šířkou nízkofrekvenčního pásma 10 až 1000 Hz byla naměřena zvuková intenzita v rozsahu 100 až 120 dB při referenčním tlaku 1 μ Pa na 1 m (Hildebrand, 2009).

5 Reakce kytovců na okolní hluk

Jak již bylo uvedeno, množství antropogenního hluku v oceánech za posledních několik let značně vzrostlo. Hlavním důvodem je rostoucí mechanizované využívání moře, např. lodní doprava, aktivity vojenského námořnictva, průzkum ropy a zemního plynu, rekreace (okružní plavby) atd. (Wright et al., 2007).

Mořští savci, a hlavně kytovci, jsou silně vokální a téměř všechny životní aspekty jejich života (hledání potravy, reprodukce, komunikace, detekce predátorů nebo jiného nebezpečí, navigace) závisí na zvuku (Weilgart, 2007a). Lze tedy předpokládat, že důvěra těchto zvířat ve zvuk vedla během evoluce k vytvoření mnoha adaptačních mechanismů, které by jim umožnily vypořádat se s přirozeným hlukem prostředí. Avšak není jisté, zda tyto mechanismy budou dostačující pro vyrovnání se s antropogenním hlukem. Antropogenní hluk představuje novou složku životního prostředí a některé druhy mu byly vystaveny pouze po jednu generaci, což je v porovnání s evolučním časem velmi krátká doba, a proto je nepravděpodobné, že si mořští savci vyvinuli vhodný adaptační mechanismus (Wright et al., 2007).

Zvuk má rozsáhlou potenciaální oblast dopadu, někdy může pokrývat miliony čtverečních kilometrů oceánu s úrovní dost vysokou natolik, aby mohl u mořských savců narušit jejich přirozené chování. Proto je třeba pohlížet na hluk jako na stresor (Weilgart, 2007a; Wright et al., 2007).

V reakci mořských savců mohou být značné rozdíly v závislosti na faktorech jako je druh, individualita, věk, pohlaví, předchozí zkušenost s hlukem, behaviorální postoj atd. Druhy s podobnou sluchovou schopností mohou na stejný zdroj hluku reagovat úplně jinak (Weilgart, 2007a).

Existuje několik často pozorovaných chování/odpovědí na daný zdroj hluku. Patří sem např. změny ve vokalizaci (frekvenční změny, změna četnosti volání, tichý postoj atd.) nebo přemísťování a vyhýbání se zdrojům hluku (změna migračních tras). Dále to mohou být změny v rychlosti plavání či četnosti potápění, dýchací změny nebo úprava doby krmění. Mezi nejzávažnější důsledky hluku patří poškození sluchového aparátu nebo uvíznutí na pevnině (Wright et al., 2007). Mimo jiné může antropogenní hluk také ovlivnit tělní metabolismus a ztěžovat embryogenezi. Navíc hlukové znečištění není hrozbou jen pro jednotlivá zvířata, ale může též ovlivnit druhové zastoupení v dané oblasti a tím i stabilitu ekosystému (Peng et al., 2015).

Obecně lze veškeré reakce na okolní hluk rozdělit do tří základních kategorií: behaviorální, akustická a fyziologická reakce (Nowacek et al., 2007). Avšak tyto reakce se nikdy nevyskytují jednotlivě podle dané kategorie. Vždy se jedná o komplex reakcí na určitý druh hluku.

Behaviorální reakci lze popsat jako změny chování v reakci na daný zvukový podnět. Do této kategorie patří změny doby pobytu u hladiny (surfacing) a s tím související dobu potápění (diving), nebo změny směru při cestování (heading patterns). Příklady behaviorální reakce zahrnují také přerušení důležitých aktivit (příjem potravy, péče o mláďata atd.) nebo opuštění dané lokace. Pokud by byla zvířata nucena k přerušení těchto životně důležitých aktivit opakovaně, může to vést k závažným dopadům takto postižených zvířat (Nowacek et al., 2007). Souhrn některých behaviorálních reakcí je uveden v Tabulce 2.

Druh	Typ antropogenního hluku	Efekt
Keporkak (<i>Megaptera novaeangliae</i>)	ATOC (Akustická termometrie oceánského klimatu)	zvyšování vzdálenosti a časových intervalů mezi po sobě následujícími vynořováním
Vorvaňovec zobatý (<i>Ziphius cavirostris</i>)	námořní sonar	uvíznutí na mělčině
Vorvaňovec tropický (<i>Mesoplodon densirostris</i>)		
Vorvaňovec Gervaisův (<i>Mesoplodon europaeus</i>)		
Kosatka dravá (<i>Orcinus orca</i>)	systém AHD s vysokou amplitudou	vyvolání emigrace
Sviňucha obecná (<i>Phocoena phocoena</i>)	zasazování pilířů (pile driving)	vyvolání emigrace
Delfin skákavý (<i>Tursiops truncatus</i>)		
Sviňucha obecná (<i>Phocoena phocoena</i>)	větrné elektrárny	vyvolání emigrace a změna vertikální distribuce

Tab. 2 – Behaviorální reakce některých druhů kytovců na antropogenní hluk. Převzato z Peng et al. (2015).

Akustická odpověď organismu představuje změny typu a délky vokalizace v závislosti na zdroji hluku (Nowacek et al., 2007). S touto reakcí souvisí závažný proces zvaný **maskování**, který vytváří hlavně lodní doprava. Maskování představuje překrytí žádaného zvuku/volání jiným cizím zvukem se stejnou nebo podobnou frekvencí (in-band frequencies). Do jisté míry tento efekt mohou vyvolat i zvuky s rozdílným frekvenčním pásmem („out-of-band” frequencies). V případě maskování způsobeného zvuky s podobným frekvenčním pásmem bylo změřeno, že nárůst nízkofrekvenčních zvuků způsobených lodní dopravou o 15 dB výrazně snižuje maximální funkční rozsah signálů z tohoto pásma (Nowacek et al., 2007; Wright et al., 2007). Například bylo výpočtem prokázáno, že maximální rozsah frekvencí používaných vorvaňovcem zobatým (*Ziphius cavirostris* Cuvier, 1823) ke komunikaci by byl snížen o 82 % při vystavení okolnímu hluku zvýšeného o 15 dB. Jinými slovy, funkční frekvenční rozsah by dosahoval pouze 18 % běžné hodnoty. Zároveň bylo prokázáno, že účinná detekční vzdálenost echolokačních klapání (orientace, detekce kořisti) by byla snížena o 58 % (Wright et al., 2007). Kosticovci využívají především zvuky o nízké frekvenci ke komunikaci (< 200 Hz). Snížení efektivnosti komunikačního frekvenčního rozsahu může být vyvoláno cizími zvuky pokrývající větší oblast nebo dodatečným snížením efektivnosti v důsledku blízko plujících plavidel (Wright et al., 2007). Také plejtvákovití (Balaenopteridae) produkují zvuky o nízké frekvenci (kolem 20 Hz) a tudíž mohou být citlivější na maskování zvuky o podobné frekvenci. Ačkoliv citlivost sluchu kosticovců není přesně známa, předpokládá se, že sluchový rozsah se pohybuje v rozmezí stejných frekvencí, které používají ke komunikaci (Stone et Tasker, 2006).

Prahový posun sluchu a stres patří do kategorie **fyziologických reakcí** na antropogenní hluk. Ten obvykle vede ke stimulaci nervové aktivity, zvýšení metabolismu nebo ke snížení imunity (Nowacek et al., 2007; Peng et al., 2015). Při vystavení nepřiměřenému hluku mají mořské organismy tendenci ke snížení příjmu potravy a zároveň ke zvýšení metabolických pochodů v těle. To se nadále projevuje například jejich pomalým růstem. Zasažen bývá i imunitní systém, například u běluh severních (*Delphinapterus leucas* (Pallas, 1776)) byl zjištěn pokles hladiny alkalické fosfatázy a dále zvýšená hladina γ -glutamyltransferázy (Peng et al., 2015). Další znepokojení vyvolávají prahové posuny sluchu, které mohou být trvalé (PTS – Permanent Threshold Shifts) nebo dočasné (TTS – Temporary Threshold Shifts). Práh slyšení představuje amplitudu potřebnou k detekci a práh sluchu se liší v závislosti na frekvenci v celém rozsahu sluchu daného jedince. Oba typy prahových posunů představují skutečné změny sluchové schopnosti jedince, obvykle v konkrétní frekvenci. Výsledkem je pak nižší citlivost na jednu nebo více frekvencí při vystavení

určitému zvuku (Nowacek et al., 2007). Tabulka 3 znázorňuje některé akustické a fyziologické reakce na antropogenní hluk.

Druh	Typ antropogenního hluku	Efekt
Keporkak (<i>Megaptera novaeangliae</i>)	sonar	úprava volání sloužícího k námluvám
Delfin skákavý (<i>Tursiops truncatus</i>)	vsazování pilířů (pile driving)	úprava vydávání zvuků
Velryba černá (<i>Eubalaena glacialis</i>)	hluk způsobovaný okolními plavidly	úprava komunikačních volání
Velryby jižní (<i>Eubalaena australis</i>)		
Běluha (<i>Delphinapterus leucas</i>)	aktivní seizmický průzkum (vzduchová děla)	zvýšení metabolických pochodů a pokles imunity
Delfin skákavý (<i>Tursiops truncatus</i>)		
Sviňucha obecná (<i>Phocoena phocoena</i>)	aktivní seizmický průzkum (vzduchová děla)	posun sluchového prahu

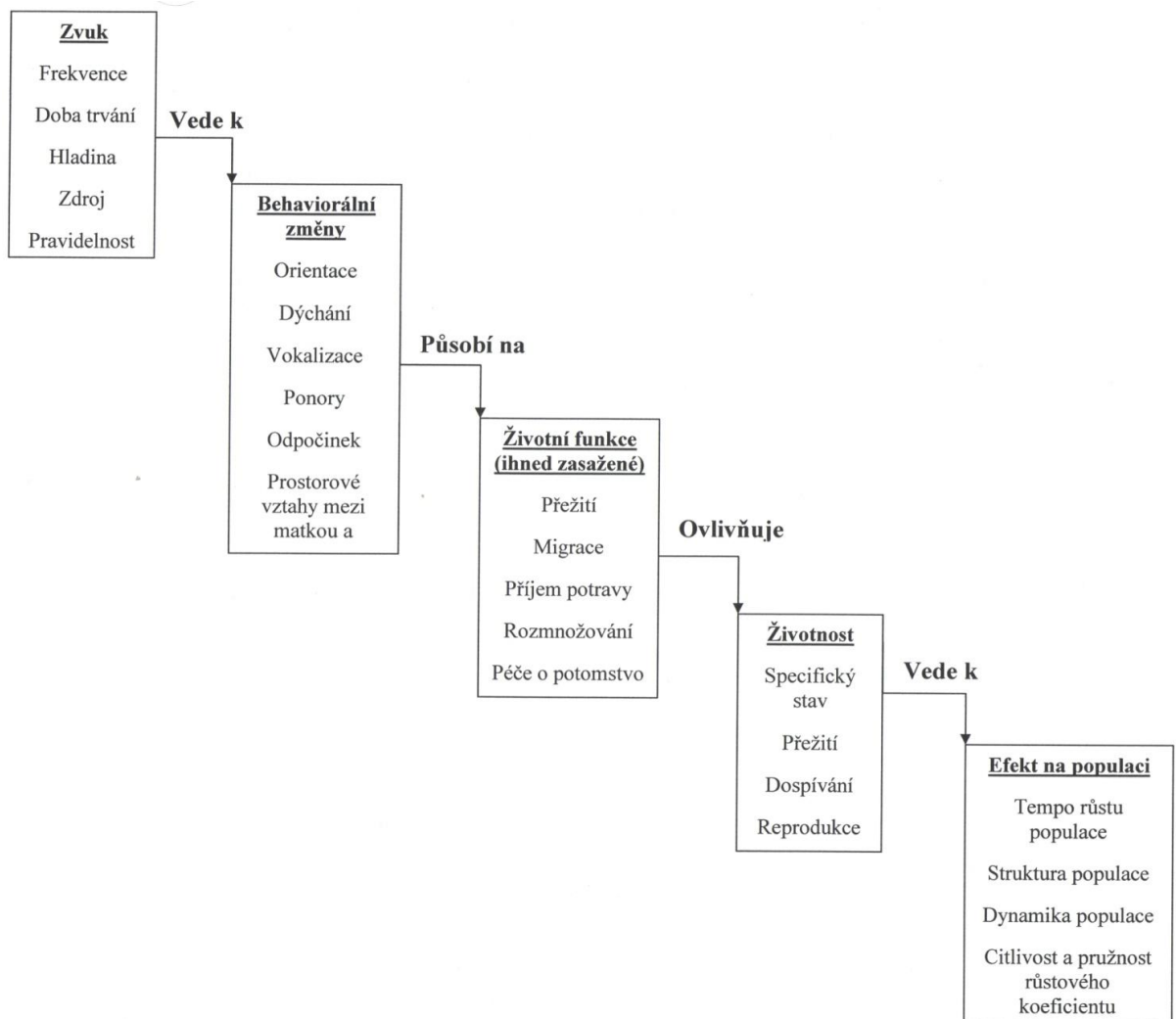
Tab. 3 – Akustické a fyziologické reakce různých druhů kytovců na antropogenní hluk. Převzato z Peng et al. (2015).

5.1 Reakce kytovců na hluk způsobovaný lodní dopravou

Lusseau et Bejder (2007) studovali, jak mohou krátkodobé reakce kytovců vést k biologicky významným efektům, které mohou mít dlouhodobější následky pro jednotlivce nebo celé populace. Uvádějí například pozorování populací delfínů (*Tursiops* sp. Gervais, 1855) v oblastech Milford Sound a Doubtful Sound na Novém Zélandu. Obě populace byly vystaveny hluku způsobeného lodní turistickou nebo rekreační dopravou. Provoz u populace z oblasti Milford Sound byl sedminásobně vyšší než u populace z oblasti Doubtful Sound, avšak čas strávený interakcemi s loďmi byl u obou populací podobný. Delfini delší dobu cestovali a kratší dobu strávili odpočinkem. Tyto déle trvající cestovatelské „záchvaty“ vedly k vyšší energetické zátěži zejména u jedinců s relativně menšími energetickými zásobami, hlavně u březích samic nebo matek s mláďaty. Delfini se oběma oblastem vyhýbali během turistických sezón, kdy byl hluk z turistických lodí značně vysoký. Navíc, když se do těchto

míst vraceli, vyhýbali se místům v době, kdy byl provoz nejsilnější. Existoval zde lineární vztah mezi lodní dopravou a interakcí delfínů s lodí. Delfíni změnili krátkodobou behaviorální strategii vyhýbání na strategii dlouhodobou (opuštění habitatu), protože předchozí strategie již nebyla užitečná. Opuštění habitatu je pravděpodobně taktika jedinců, kteří se s intenzivnější lodní dopravou snaží takto vypořádat. Také došlo k reprodukčním problémům, které zahrnovaly zvýšený počet mrtvě narozených mláďat nebo brzký úhyn novorozených mláďat. Wright et al. (2007) tyto výsledky komentovali se slovy, že různé změny v energetickém rozpočtu organismu mohou mít dodatečné následky. Tedy pokud příjem energie převažuje nad výdejem, zvíře může přežít a růst, ačkoli se bude hůře vypořádat se situací, která vyžaduje dodatečný přísun energie, např. onemocnění, migrace nebo reprodukce.

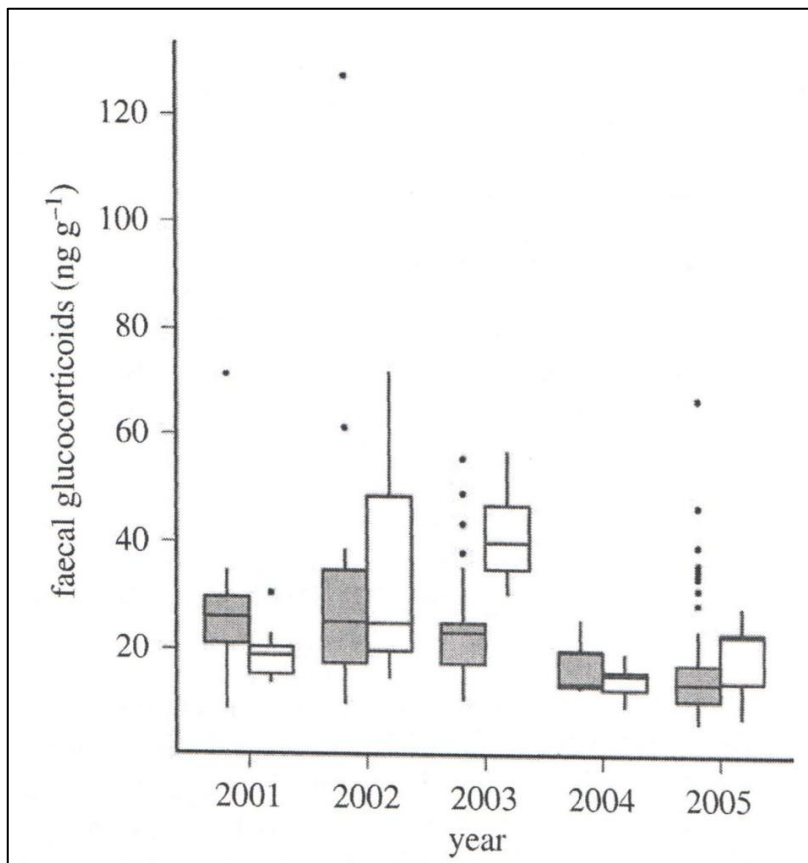
Dále Lusseau et Bejder (2007) popsali reakce severských (typ "resident") kosatek dravých (*Orcinus orca* (Linnaeus, 1758)), které omezily hledání potravy a prodloužily dobu cestování. To vedlo k vyšším energetickým nákladům podobně jako u delfínů a energetický příjem se snížil o 18 %. Biologicky významným dopadem lodní dopravy je tedy u této populace vliv na příjem potravy. Lusseau et Bejder (2007) prokázali, že zvýšená energetická potřeba může vést ke snížení fitness jednotlivých zvířat. Při častějším vystavení těmto zvýšeným energetickým potřebám jedinci mění strategii na dlouhodobé vyhýbání se takovým oblastem. U jedinců, kteří takové oblasti nemohou opustit, dochází přinejmenším ke snížení reprodukční schopnosti. Na základě těchto studií byl vytvořen model PCAD (Population Consequences of Acoustic Disturbance), viz Obr. 6, který popisuje důsledky akustického rušení pro dané populace. Ukazuje, jak opakující se krátkodobá změna chování může ovlivnit některé životní funkce přidáním dodatečných nákladů k energetickému rozpočtu jednotlivých zvířat.



Obr. 6 – Model PCAD. Převzato z Lusseau et Bejder (2007).

Rolland et al. (2012) zkoumali, zda vystavení hluku o nižší frekvenci vyvolaného lodní dopravou může být spojeno s chronickým stresem u velryb černých (*Eubalaena glacialis* (Müller, 1776)) v zálivu Fundy (Kanada). Zvukový repertoár těchto velryb zahrnuje zvuky s nízkou frekvencí a dlouhou vlnovou délkou. Ty umožňují komunikaci na velkou vzdálenost a hluk z lodních šroubů a motorů obchodních lodí (20 – 200 Hz) může jejich komunikaci narušit tzv. akustickým maskováním. Velryby černé skutečně upravovaly své vokalizační chování tím, že v hlučném prostředí zvýšily frekvenci i amplitudu svého stereotypního volání, které slouží především ke vzájemné komunikaci. Po událostech z 11. září došlo v zálivu Fundy k redukci lodní dopravy, což vedlo k poklesu hluku o 6 dB a i frekvence významně klesla pod 150 Hz. Rolland et al. (2012) na základě nasbíraných vzorků trusu od velryb černých zjišťovali přítomnost metabolitů některých steroidních hormonů (estrogeny, androgeny, progestiny), ale především se zaměřili na adrenální glukokortikoidy.

Prokázali, že základní koncentrace glukokortikoidů po těchto změnách v zálivu Fundy výrazně klesla, viz Obr. 7, a neexistovaly žádné další faktory, které by měly nějaký efekt na populace velryb a které by mohly souviset s takovým významným poklesem. Glukokortikoidy jsou uvolňovány v reakci na určitý stresor, např. přítomnost predátora, hladovění, sociální agrese. Rovněž to platí i pro antropogenní činnosti, které narušují přirozené prostředí kytovců. Krátkodobé působení stresoru mobilizuje zásoby jedince, který je připraven reagovat správně na danou situaci. Ovšem pokud dojde k opakovanému vystavení stresoru, hladina glukokortikoidů zůstává vysoká a stresor se stává maladaptivním. To vede ke zpomalení růstu, snížení reprodukčních funkcí a k poruchám imunitního systému, což má vážné následky pro jedince a snižuje se fitness celé populace. Ačkoli není možné tuto studii zopakovat a provést další měření pro srovnání, zcela jasně byl prokázán vztah mezi hladinou glukokortikoidů a stresem vyvolaným loďní dopravou.



Obr. 7 – Hladina glukokortikoidů (osa y), množství v nanogramech na gram, v trusu severoatlantických velryb černých před (šedé sloupečky) a po (bílé sloupečky) událostech z 11. září v letech 2001 – 2005 (osa x). Sloupečky ohraničují mezikvartilní rozsah. Černá vodorovná linka uvnitř sloupeček značí průměrnou hodnotu. Svislé linky mimo sloupečky reprezentují směrodatnou odchylku a tečky značí odlehlé hodnoty. Převzato z Rolland et al. (2012).

Williams et al. (2014) se zabývali pravděpodobností behaviorální reakce u kosatek dravých (typ „resident“) v důsledku vystavení těchto kytovců hluku způsobovaného plavidly na západním konci Johnstone Strait u pobřeží Britské Kolumbie. Mezi behaviorální reakce kosatek řadili následující:

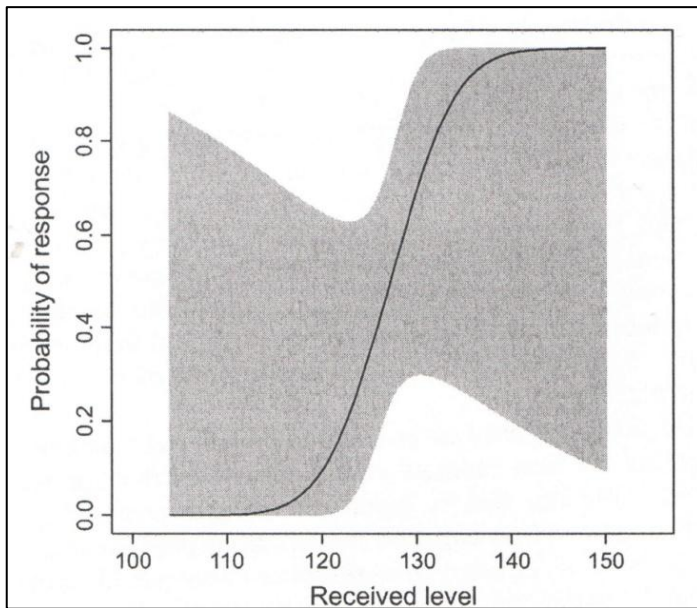
- dýchání – doba pobytu u hladiny kvůli výdechu a nádechu + interval mezi každým vynořením;
- rychlost při cestování;
- přímočarost cesty – plavání v kruzích nebo přímým směrem;
- aktivita u hladiny – vyskakování nad hladinu, plácání ploutvemi o hladinu atd.

Číselné hodnocení reakcí a k němu odpovídající chování je znázorněno v Tabulce 4.

Hodnota reakce	Odpovídající chování
0	žádná změna odezvy kosatek
2	drobná změna frekvence dýchání
3	drobná změna rychlosti pohybu a směru mírná změna frekvence dýchání
4	mírná změna rychlosti pohybu a směru
5	rozsáhlá změna rychlosti pohybu a směru

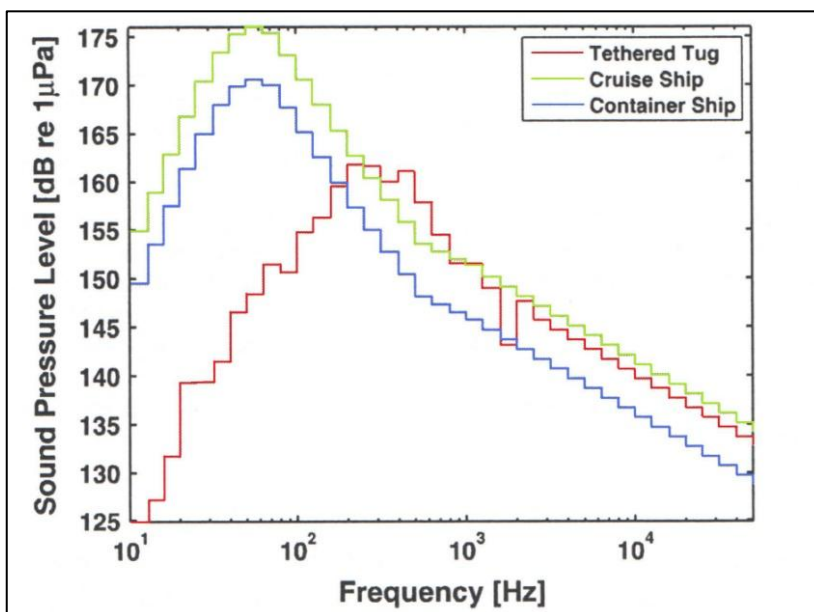
Tab. 4 – Stupně závažnosti behaviorálních reakcí. Žádná změna, 0 – 10 %; drobná změna, 10 – 20 %; mírná změna, 20 – 50 %; rozsáhlá změna, > 50 %. Převzato z Williams et al. (2014).

Williams et al. (2014) došli k závěru, že vyhodnocování efektů plavidel na kosatky dravé je ovlivněno poněkud subjektivním a zdánlivě svévolným rozhodnutím o stupni závažnosti, které poté určuje behaviorální odpověď. Na Obr. 8 lze vidět pravděpodobnost, že dojde k některé z předchozích behaviorálních reakcí při vystavení určité hladině hluku.



Obr. 8 – Částečný podíl přijaté hladiny hluku (osa x) jako ukazatele pravděpodobnosti (osa y) vyvolání reakce s hodnotou ≥ 2 (plná čára). Interval spolehlivosti je ohraničen šedým polem. Převzato z Williams et al. (2014).

Při vystavení hladině hluku kolem 130 dB při referenčním tlaku $1 \mu\text{Pa}$ v pásmu frekvencí 10 Hz – 50 kHz byla pravděpodobnost reakce kosatek 50 %. Ovšem podle obrázku 8 je kolem tohoto odhadu silná neurčitost. Prahu hluku o hladině 130 dB mohou podle Williams et al. (2014) dosáhnout výletní loď plující rychlostí 5,7 m/s v okruhu 700 m nebo kontejnerová loď s rychlostí 5,2 m/s v okruhu 650 m. Zdroj spektra tří různých typů plavidel je znázorněn na Obr. 9.



Obr. 9 – Třetina oktávy zdroje spektra tří typů plavidel. Frekvenční pásmo (Hz) na ose x, hladina hluku (dB) na ose y. Remorkér – červená linka; výletní loď – zelená linka, kontejnerová loď – modrá linka. Převzato z Williams et al. (2014).

5.2 Reakce kytovců na hluk způsobovaný seizmickým průzkumem

K seizmickému průzkumu se využívají tzv. vzduchová děla, která po aktivaci vydávají zvuky o nízké frekvenci (< 500 Hz). Stejně zvuky využívají kosticovci jako své komunikační signály a tudíž může docházet k překrytí těchto důležitých signálů. Při seizmickém průzkumu vznikají i vedlejší vysokofrekvenční signály (> 25 kHz) a ty mohou narušit echolokaci ozubených kytovců. Jsou to ale kosticovci, kterým aktivita seizmických vzduchových děl více škodí (Stone et Tasker, 2006).

Plejtváček myšok (*Balaenoptera physalus* (Linnaeus, 1758)) je jediným kosticovcem, který se běžně vyskytuje ve Středozemním moři. Proto je jejich populace definována jako odlišná subpopulace od ostatních žijících v Severním Atlantském oceánu. Tito plejtváci vydávají krátké, nízkofrekvenční zvuky s vysokou intenzitou. Frekvence jejich běžného volání klesá od 28 k 15 Hz (Castellote et al., 2012). Podle Castellote et al. (2012) je hladina hluku ve Středozemním moři vyšší než v oceánech. Primárními zdroji tohoto hluku jsou plavidla a seizmický průzkum. Navíc podle jejich průzkumu jsou plejtváci ve Středozemním moři chronicky vystaveni vysokým hladinám hluku. Na základě svých pozorování a měření v různých částech Středozemního moře Castellote et al. (2012) zjistili, že do 72 hodin po aktivaci vzduchových děl plejtváci myšoci upravili svůj zpěv. Navíc se rychle vzdálili od zdroje hluku a po skončení seizmického průzkumu nebyli plejtváci téměř zpozorováni dalších 14 dní. Průměrná hladina hluku pro frekvenční rozsah 10 – 585 Hz dosahovala po aktivaci vzduchových děl hodnoty 116 dB. Po dobu neaktivity děl tato hodnota činila 103 dB, tedy došlo k nárůstu o 13 dB. Z nahrávek zvuků s frekvenčním rozsahem, který používají plejtváci myšoci (15 – 28 Hz), bylo zjištěno, že hladina hluku během 24 hodin vzrostla z 86 dB (neaktivní děla) na 101 dB (aktivní děla). Ohlušující rány ze vzduchových děl byly poprvé zaznamenány ve vzdálenosti přibližně 285 km od záznamníků. Castellote et al. (2012) došli k závěru, že tolerance subpopulace plejtváků ve Středozemním moři je horší u hluku způsobovaného seizmickým průzkumem. Může docházet ke zvýšené potřebě energie na odplavání od zdroje hluku nebo může dojít ke snížení počtu příležitostí k reprodukční aktivitě či hledání potravy.

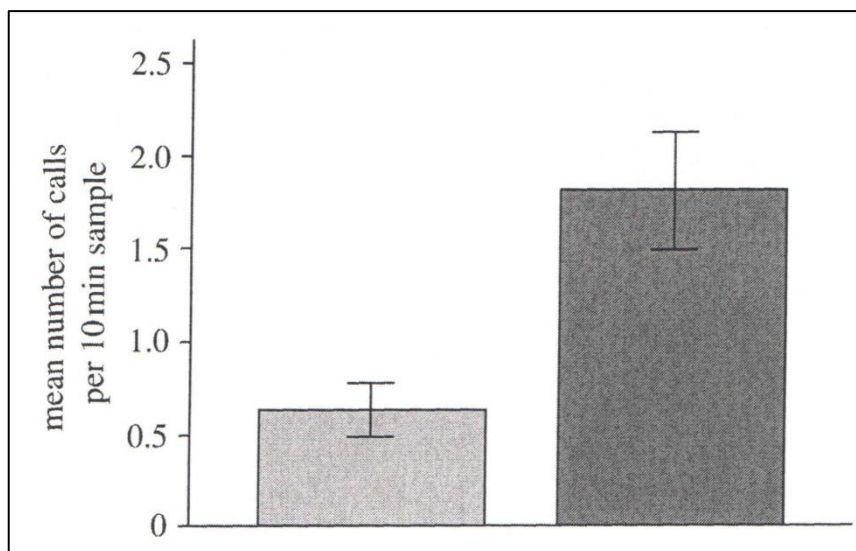
Di Iorio et Clark (2010) se zabývali akustickou odpovědí plejtváků obrovských (*Balaenoptera musculus* (Linnaeus, 1758)) na seizmické operace v zálivu svatého Vavřince. Tentokrát byl použit jako nástroj tzv. systém sparker, viz Obr. 10, jehož intenzita zvuku dosahuje 193 dB a rozsah frekvenčního pásma se pohybuje v rozmezí od 30 do 450 Hz

s maximální energií v pásmu 60 – 250 Hz. Volání plejtváků obrovských je oddělené, krátké (1 až 4 sekundy) a přechodné s frekvenčním rozsahem 30 – 200 Hz.

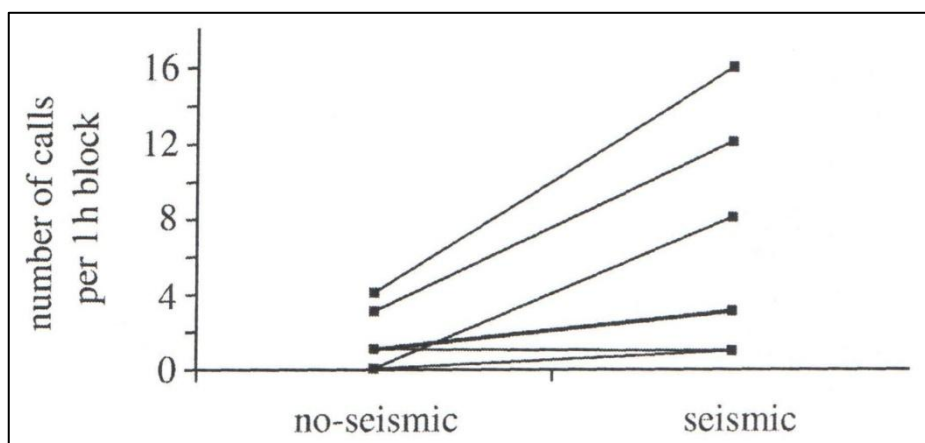


Obr. 10 – Seismické zařízení „sparker“. Dostupné online z: <https://www.gsi.ie/NR/rdonlyres/44B03355-FD83-4508-9882-A1B9CD173238/0/Sparker.jpg>

Během aktivity seismického zařízení plejtváci obrovští vydávali prokazatelně více volání než ve dnech, kdy zařízení nebylo aktivní, viz Obr. 11 a 12. Navýšením počtu svých volání zvyšují kytovci pravděpodobnost, že jejich signály budou úspěšně přijaty jiným jedincem stejného druhu. Systém sparker je navržen tak, aby měl menší ekologický dopad. Avšak Di Iorio et Clark (2010) ve své studii prokázali, že mimo hluk způsobovaný plavidly i tato technologie způsobila změnu akustického chování u plejtváků obrovských. U jednotlivých zvířat může snížená schopnost detekovat sociální signály ostatních ovlivnit biologicky významné procesy, např. hledání partnera, odhalení predátora, hledání potravy atd. (Di Iorio et Clark, 2010).



Obr. 11 – Porovnání rozdílu v počtu volání (osa y) plejtváků obrovských v době neaktivního (šedý sloupec) a aktivního (černý sloupec) zařízení sparker. Převzato z Di Iorio et Clark (2010).



Obr. 12 – Změna v počtu volání plejtváků obrovských (osa y) před (levá strana osy x) a během (pravá strana osy x) seizmického průzkumu v průběhu 1 hodiny. Převzato z Di Iorio et Clark (2010).

Stone et Tasker (2006) vypracovali studii o efektech seizmického průzkumu na různé druhy kytovců prováděného ve vodách Spojeného království a v přilehlých vodách v letech 1997 až 2000. Ve svých 201 pozorováních porovnávali počet zahlédnutých kytovců, jejich orientaci a vzdálenost od vzduchových děl v době jejich aktivity a neaktivity. Veškeré pozorované druhy kytovců jsou znázorněny v Tabulce 5. Pokud nestačil popis k přesnému určení druhu, byla taxonomická úroveň snížena, např. z delfína skákavého (*Tursiops truncatus* (Montagu, 1821)) na rod *Tursiops* sp. Z některých pozorování nemohly být druhy určeny přímo, a proto byly popsány jako druhy s podobnou morfologickou stavbou [např. plejtvák myšok (*Balaenoptera physalus*) vs. plejtvák sejval (*Balaenoptera borealis* Lesson, 1828); plískavice běloboká (*Lagenorhynchus acutus* (Gray, 1828)) vs. plískavice bělonosá (*Lagenorhynchus albirostris* (Gray, 1846))].

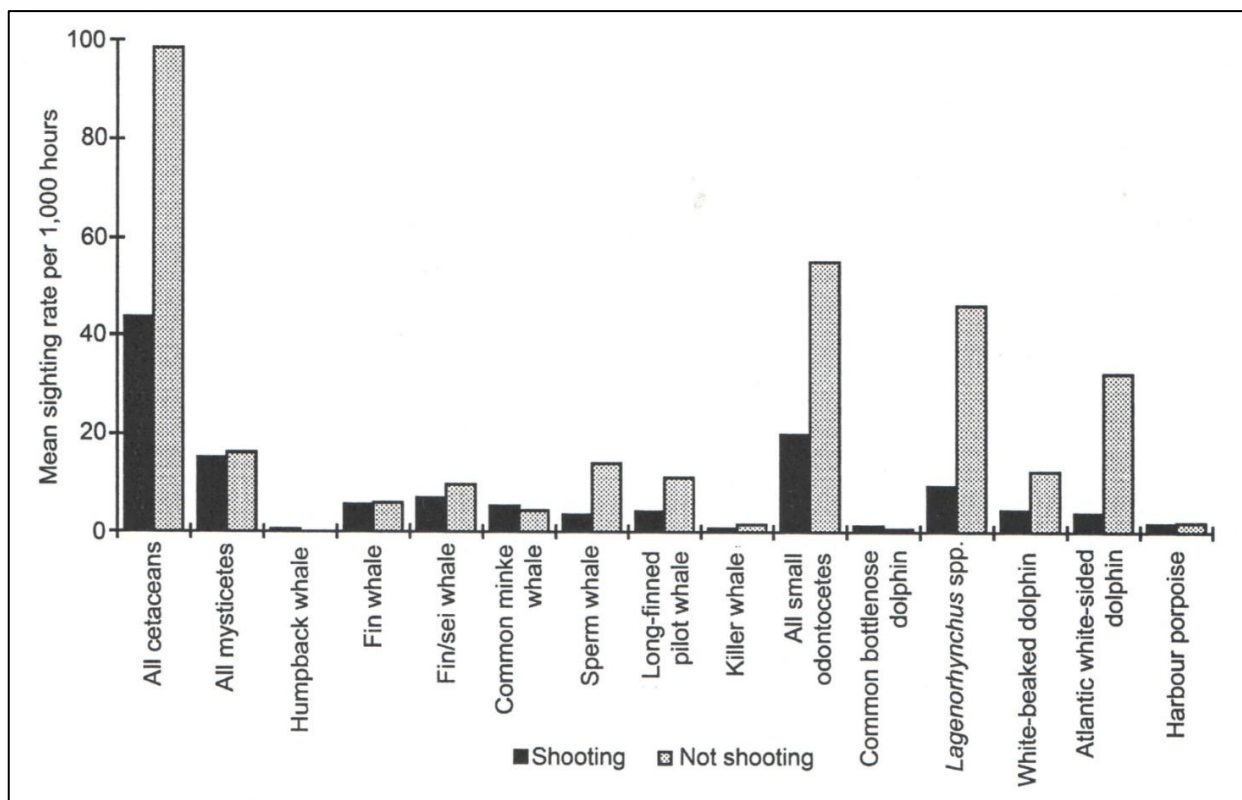
Český název druhu/jiné označení	Latinský název druhu	Anglický název druhu	Počet zhlédnutí	Počet jednotlivých zvířat
Velryba černá (pravděpodobně)	<i>Eubalaena glacialis</i>	North Atlantic right whale	1	1
Keporkak	<i>Megaptera novaeangliae</i>	Humpback whale	8	10
Plejtvák obrovský	<i>Balaenoptera musculus</i>	Blue whale	4 ¹	4
Plejtvák myšok	<i>Balaenoptera physalus</i>	Fin whale	116 ¹	244
Plejtvák sejval	<i>Balaenoptera borealis</i>	Sei whale	13	16
Plejtvák malý	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	Common minke whale	79 ¹	103
Vorvaň obrovský	<i>Physeter macrocephalus</i>	Sperm whale	123 ¹	191
Vorvaňovec anarnak	<i>Hyperoodon ampullatus</i>	Northern bottlenose whale	2	11
Vorvaňovec severomořský	<i>Mesoplodon bidens</i>	Sowerby's beaked whale	1	1
Kulohlavec černý	<i>Globicephala melas</i>	Long-finned pilot whale	172 ¹	3 384
Kosatka dravá	<i>Orcinus orca</i>	Killer whale	61	357
Plískavice šedá	<i>Grampus griseus</i>	Risso's dolphin	10	28
Delfín skákavý	<i>Tursiops truncatus</i>	Common bottlenose dolphin	34 ¹	321
Plískavice bělonosá	<i>Lagenorhynchus albirostris</i>	White-beaked dolphin	172 ¹	1 365
Plískavice běloboká	<i>Lagenorhynchus acutus</i>	Atlantic white-sided dolphin	198 ¹	12 879
Delfín obecný	<i>Delphinus delphis</i>	Common dolphin	24 ¹	246
Delfín pruhovaný	<i>Stenella coeruleoalba</i>	Striped dolphin	5 ¹	255
Sviňucha obecná	<i>Phocoena phocoena</i>	Harbour porpoise	37	111
Neidentifikovaný druh kytovce		Unidentified cetacean sp.	41	358
Neidentifikovaná velryba		Unidentified whale sp.	59 ¹	163

Neidentifikovaná velká velryba		Unidentified large whale sp.	54 ¹	129
Neidentifikovaný plejtvák (obrovský/myšok)		Unidentified blue/fin whale	10	18
Neidentifikovaný plejtvák (myšok/sejval)		Unidentified fin/sei whale	56 ¹	97
Neidentifikovaný plejtvák (obrovský/myšok/sejval)		Unidentified blue/fin/sei whale	6	9
Neidentifikovaný plejtvák (myšok/sejval) nebo keporkak		Unidentified fin/sei/humpback whale	27	40
Neidentifikovaný plejtvák (obrovský/myšok/sejval) nebo keporkak		Unidentified blue/fin/sei/humpback whale	17	36
Neidentifikovaný druh (keporkak/vorvaň obrovský)		Unidentified humpback/sperm whale	12	17
Neidentifikovaná středně velká velryba		Unidentified medium whale sp.	8	13
Neidentifikovaná velryba	<i>Mesoplodon</i> vs. <i>Ziphius</i> vs. <i>Hyperoodon</i> spp.	Unidentified beaked whale sp.	3	3
Neidentifikovaný delfin		Unidentified dolphin sp.	226 ¹	6 203
Neidentifikovaný delfin (a není to sviňucha)		Unidentified dolphin sp. not porpoise	34	432
Neidentifikovaný delfin bez vzorů ²		Unidentified unpatterned dolphin sp. ²	2	12
Neidentifikovaná plískavice rodu <i>Lagenorhynchus</i> ³		Unidentified <i>Lagenorhynchus</i> sp. ³	44 ¹	815
Neidentifikovaný druh (delfin obecný vs. plískavice běloboká)		Unidentified common/Atlantic white-sided dolphin	4	143

Neidentifikovaný druh (delfín obecný vs. delfín pruhovaný)		Unidentified common/striped dolphin	5	39
Neidentifikovaný druh (delfín obecný vs. plískavice běloboká vs. delfín pruhovaný)		Unidentified common/Atlantic white- sided/striped dolphin	1	65
Neidentifikovaný delfín se vzory ⁴		Unidentified patterned dolphin sp. ⁴	5	18
Celkem			1 625	28 137

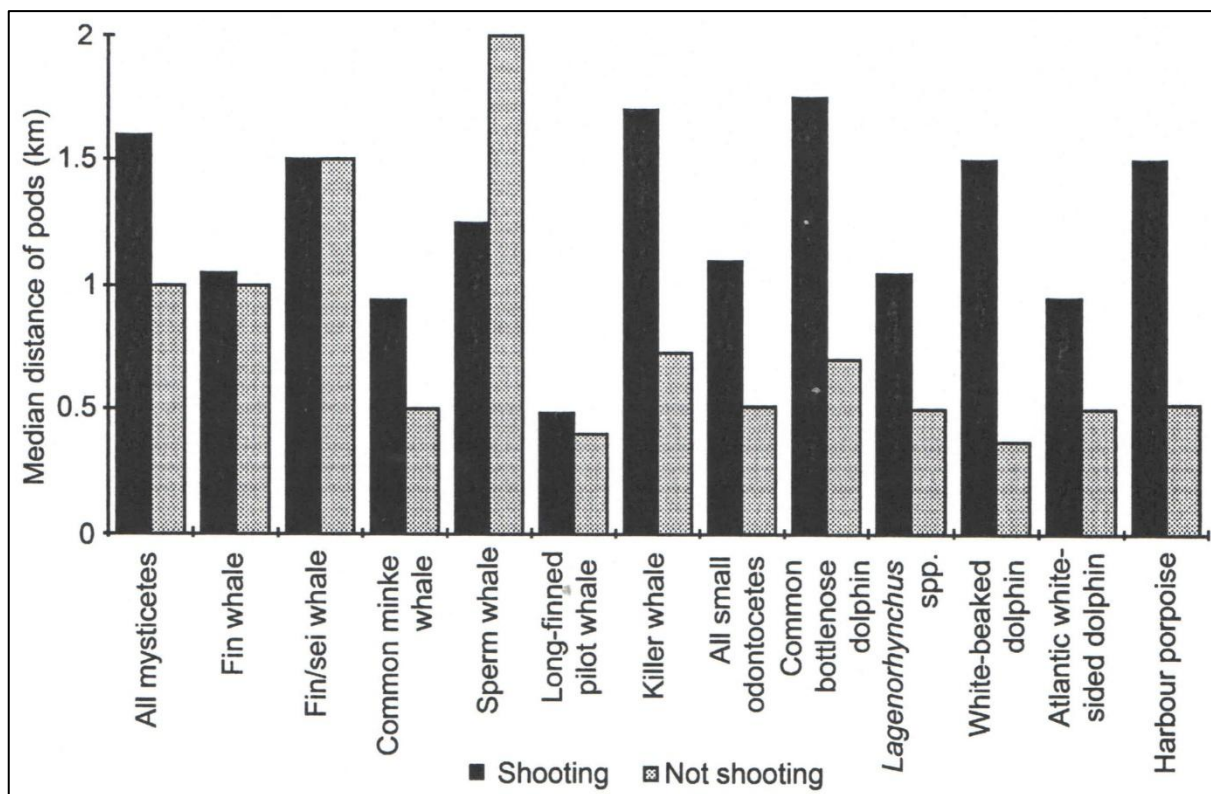
Tab. 5 – Shrnutí veškerých zpozorovaných druhů kytovců z plavidla pro seizmický průzkum. ¹druhově smíšené skupiny; ²delfín bez vzorů = delfín skákavý nebo plískavice šedá; ³*Lagenorhynchus* sp. = plískavice běloboká nebo bělonosá; ⁴delfín se vzory = plískavice běloboká či bělonosá nebo delfín obecný či pruhovaný. Převzato ze Stone et Tasker (2006).

Během průzkumů, kdy byla vzduchová děla aktivní, se poměr všech spatřených kytovců, malých ozubených kytovců a druhů z rodu *Lagenorhynchus* výrazně snížil, ať už se jednalo o skupiny v rámci jednoho druhu nebo o smíšené skupiny zvířat. Nejvýznamnější pokles byl zaznamenán u malých ozubených kytovců (plískavice, delfíni, sviňuchy) ve smíšených skupinách, jak lze vidět na Obr. 13 (Stone et Tasker, 2006).



Obr. 13 – Poměr spatření kytovců ve vztahu k rozsáhlému poli působení aktivních vzduchových děl. Na ose x zaznamenány druhy kytovců; na ose y průměrný počet zhlédnutí každého druhu za 1 000 hodin. Šedé sloupce představují vypnutá vzduchová děla, černé sloupce naopak aktivní vzduchová děla způsobující hluk. Převzato ze Stone et Tasker (2006).

K vyjádření vzdálenosti kytovců od plavidel v době aktivity vzduchových děl byly použity pouze výsledky za dobrého počasí a započteny byly pouze druhy, které byly zpozorovány alespoň nebo více než 10x. Jediným druhem, který se nacházel během aktivity vzduchových děl blíže k plavidlům, než v době jejich neaktivity, byl vorvaň obrovský (*Physeter macrocephalus* Linnaeus, 1758), viz Obr. 14 (Stone et Tasker, 2006).



Obr. 14 – Průměrná vzdálenost (osa y) kytovců od plavidla v době aktivních (černé sloupce) a neaktivních (šedé sloupce). Převzato ze Stone et Tasker (2006).

Také orientace kytovců se měnila v době, kdy byla vzduchová děla aktivní. Méně zvířat v této době mířilo směrem k plavidlu a více jich směřovalo pryč, viz Tab. 6. Ačkoliv přesná data o změnách chování nebyla pořízena, pozorovatelé zaznamenali, že se také zvířata méně krmila a méně často interagovala s plavidly nebo jejich vybavením (např. rychlé plavání delfínů synchronně s plavidlem u jeho příďe, tzv. bow-riding). Pozorovatelé také nabyli dojmu, že malí ozubení kytovci měli tendenci plavat rychleji v době aktivity děl a někteří kosticovci zůstávali déle pod hladinou v době, kdy vzduchová děla nebyla aktivní (Stone et Tasker, 2006).

Druh	Aktivita vzduchových děl	Pohyb směrem k lodi	Pohyb směrem od lodi	Křížení dráhy s lodí
Plejtvák myšok	aktivní	6,12 %	26,53 %	16,33 %
	neaktivní	6,78 %	11,86 %	16,95 %
Plejtvák malý	aktivní	7,69 %	11,54 %	34,62 %
	neaktivní	21,28 %	6,38 %	23,40 %
Vorvaň obrovský	aktivní	10,00 %	25,00 %	7,50 %
	neaktivní	9,38 %	21,88 %	18,75 %
Kulohlavec černý	aktivní	7,89 %	14,47 %	22,37 %
	neaktivní	19,77 %	4,65 %	13,95 %
Delfín skákový	aktivní	8,33 %	33,33 %	25,00 %
	neaktivní	22,22 %	5,56 %	22,22 %
Plískavice bělonosá	aktivní	6,12 %	26,53 %	28,57 %
	neaktivní	48,08 %	4,81 %	21,15 %
Sviňucha obecná	aktivní	0,00 %	45,45 %	27,27 %
	neaktivní	4,35 %	30,43 %	4,35 %

Tab. 6 – Orientace kytovců vzhledem k plavidlu v závislosti na aktivitě vzduchových děl. Převzato ze Stone et Tasker (2006).

Výsledky Stone et Tasker (2006) ukazují na určité vyrušení kytovců aktivitou vzduchových děl při seizmickém průzkumu. Malí ozubení kytovci se plavidlům vyhýbali nejvíce, kosticovci a kosatky dravé rovněž vykazovali určité prostorové vyhýbání, kulohlavci černí (*Globicephala melas* (Traill, 1809)) pouze měnili směr plavby a efekt na vorvaně obrovské nebyl nijak statisticky významný. Většina energie vycházející ze vzduchových děl leží v rozsahu frekvencí (do 220 Hz) pod optimálním sluchovým rozsahem malých kytovců (10 až 150 kHz). Avšak již bylo řečeno, že vzduchová děla mohou vydávat i vedlejší vysokofrekvenční zvuky (> 25 kHz), které již mohou malé ozubené kytovce určitým způsobem ovlivnit. Podle Stone et Tasker (2006) lze malé ozubené kytovce téměř na 100 % spatřit ve vzdálenosti 8 km od zdroje seizmického hluku. Jinými slovy, k jejich reakci na hluk dojde na rozsáhlejší ploše, než je tomu u větších ozubených kytovců (kosatky, kulohlavci) a kosticovců. Ty bylo možné na 100 % spatřit ve vzdálenosti 5 km od plavidla. Fakt, že nedocházelo k výraznějšímu poklesu zpozorování kosticovců u hladiny během aktivity vzduchových děl, ještě neznamená, že u nich nedochází k nějakému vyrušení tímto hlukem. Rychle se pohybující malí ozubení kytovci se nejenom orientují směrem pryč od zdroje hluku, ale také se mohou z dané oblasti působení úplně dostat. Naproti tomu pomalí kosticovci jen zvyšují vzdálenost mezi zdrojem hluku a jimi samotnými, ale nikdy se úplně nedostanou

z jeho dosahu. Proto je možné, že se u těchto pomalejších druhů vyvinula rozdílná strategie v reakcích na antropogenní hluk. Mezi tyto strategie může patřit například pobyt u hladiny během přetrvávajícího hluku, protože přijatá hladina hluku je u hladiny obecně nižší než ve větších hloubkách (Stone et Tasker, 2006).

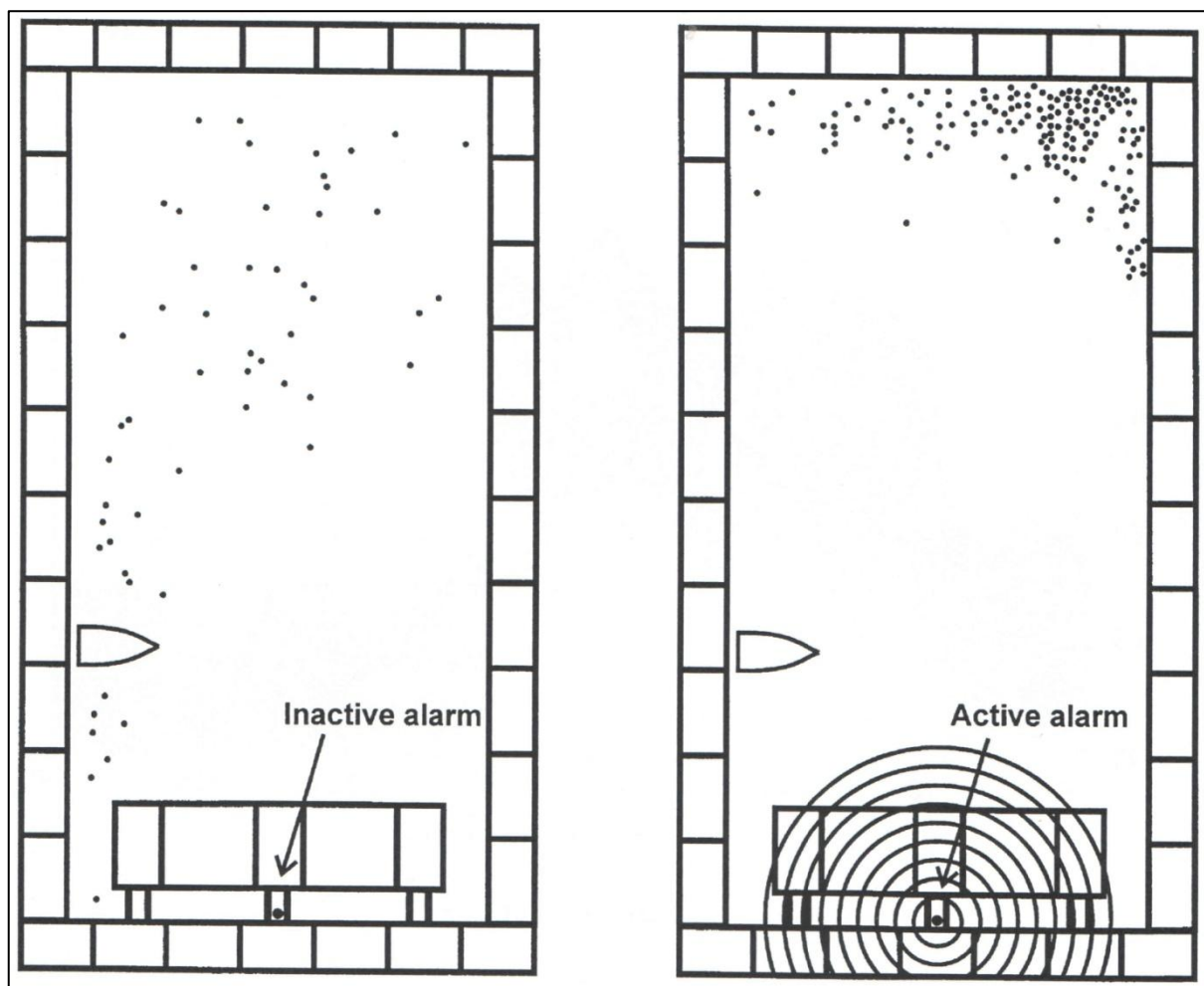
5.3 Reakce kytovců na hluk způsobovaný zařízeními ADD a AHD

Malí kytovci, například sviňuchy obecné (*Phocoena phocoena* (Linnaeus, 1758)), se mohou snadno zachytit v rybářských sítích a označují se jako vedlejší úlovky, tzv. by-catch (Kastelein et al., 2001). Tato situace může být problematická zvláště u dlouhověkových druhů, kteří rostou pomaleji a mají nízkou reprodukci. Například by-catch má katastrofální účinek na malé populace sviňuchy kalifornské (*Phocoena sinus* Norris & McFarland, 1958) v Kalifornském zálivu (Cox et al., 2003). Aby se zabránilo těmto nechtěným úhynům v sítích, byla vynalezena zařízení, která svým akustickým působením odrazují kytovce od sítí (Kastelein et al., 2001). Jedná se o zařízení ADD nebo ADH (viz kapitola 3.1.4), jejichž nejznámějším nástrojem je tzv. pinger. Jedná se o malé zařízení připevněné k sítím, které vydává vysokofrekvenční zvuk, který má kytovce varovat před nebezpečnou bariérou (Cox et al., 2003). Kastelein et al. (2001) zkoumali vliv tří akustických alarmů na dva čtyřleté samce sviňuchy obecné v plovoucí ohradě (floating pen). Alarmy rozdělili do tří skupin:

- **XP-10 alarm** = 16 tónových signálů v rozmezí 9 – 15 kHz, každý s různou frekvencí a každý vybrán v náhodném pořadí, průměrná akustická hladina zdroje byla 145 dB, nejnižší základní hladina dosahovala 133 dB s frekvencí 9 kHz a nejvyšší hladina 163 dB při 14 kHz;
- **2MP alarm** = 16 tónových signálů v rozmezí 9 – 15 kHz, každý s různou frekvencí a každý vybrán v náhodném pořadí, průměrná akustická hladina zdroje byla 144 dB, nejnižší základní hladina dosahovala 127 dB s frekvencí 9 kHz a nejvyšší hladina 152 dB při 12 – 13 kHz, signály byly podobné těm z alarmu XP-10, ale nebyly zcela identické;
- **HS20-80 alarm** = pulzy s asymetrickým frekvenčním vlněním (vzestup z 20 kHz na 80 kHz za 0,1 s a pokles zpět na 20 kHz za 0,2), nejnižší základní hladina dosahovala 96 dB s frekvencí 20 kHz a nejvyšší hladina 118 dB při 65 kHz, tento typ alarmu neprodukuje harmonické signály.

2MP alarm a HS20-80 alarm měli podobný efekt na oba samce, co se týče vzdálenosti od zdroje a dechové frekvence. Během testovací doby obě sviňuchy plavaly rychleji a blízko hladiny, přičemž se energičtěji nadechovaly, než v době klidu před testováním. Doba klidu

trvala 15 minut a doba testování rovněž. Během celého pozorování, jeden ze samců opustil svou původní oblast pobytu šestkrát a ke zdroji alarmu plaval těsně u hladiny vysokou rychlostí, poté se prudce obrátil a plaval pryč. Tento samec se po celou dobu nenadechl, což trvalo přibližně 10 sekund. Reakci tohoto samce na alarm XP-10 můžeme vidět na Obr. 15.



Obr. 15 – Reakce jednoho ze samců sviňuchy obecné na XP-10 alarm v době klidu (levý obrázek) a v testovací době (pravý obrázek). Patrné značné přemístování a zvýšený počet nadechování u hladiny v době, kdy byl alarm aktivní. Převzato z Kastelein et al. (2001).

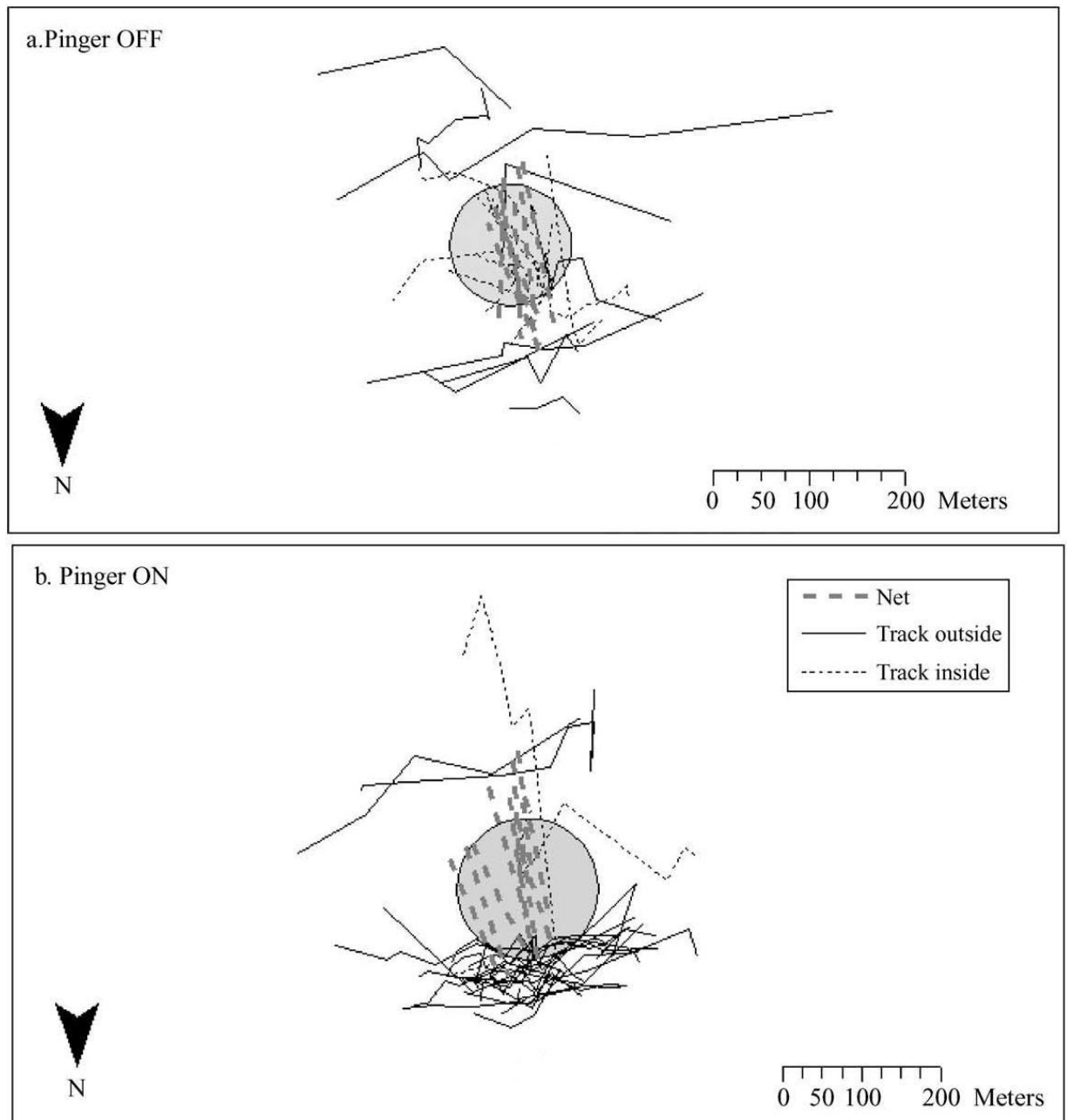
Závěry Kastelein et al. (2001) nicméně nesou určitá omezení. Počet zvířat byl příliš nízký, aby jejich výsledky mohly být přeneseny na celý druh. Také věk, pohlaví a zkušenost mohou hrát značnou roli. Oba samci se v době aktivního alarmu vzdálili zhruba o 32 m. Ve volné přírodě mohou kytovci plavat svobodně bez omezení směrem k přetrvávajícímu zdroji zvuku a mohou být schopni regulovat rychlost plavání podle vnímání vzrůstající hladiny zvuku. Chování samců během patnáctiminutové testovací periody Kastelein et al. (2001) označili jako **postrašující efekt**.

Cox et al. (2003) ovšem poukázali na skutečnost, že existují i mezidruhové rozdíly v reakci na odstrašující zařízení. Například sviňucha obecná je relativně plachý kytovec oproti delfínu skákavému, který je naopak velmi zvědavý. Je tedy docela dobře možné, že delfin nemusí vůbec reagovat na odstrašující zvuk. Ještě horší může být skutečnost, že delfin si zvuk ze zařízení může spojit se snadno dostupnou kořistí (ryby v sítích) a naopak se k sítím bude přibližovat. Tomuto jevu se říká „efekt zvonku k večeři“ neboli „**dinner bell effect**“ (Cox et al., 2003; Nowacek et al., 2007). Ačkoli přesně není známo, jak delfini v sítích uvíznou, Cox et al. (2003) se zajímali, zda zařízení pinger bude mít požadovaný odstrašující efekt i na tento druh. Svůj experiment zaměřili na populace delfinů skákavých podél východního pobřeží Spojených států. Kolem sítě, která byla umístěna 300 m od pobřeží, vytvořili pomyslnou zónu zranitelnosti. Delfini do této zóny vpluli významně častěji, pokud bylo zařízení pinger vypnuté, viz Obr. 16. Pouze dvě skupiny z 25 vpluly do zóny, kdy bylo zařízení aktivní. Hladinu zvukového pole kolem sítě s pingery zobrazuje Obr. 17. Delfini skákaví se ze své původní cesty odkláněli jen nepatrně, když bylo zařízení aktivní. Často pokračovali v plavbě podél pobřeží nebo na volném moři směrem od bójí, které značily konce sítě. Podle tohoto nedostatku reakce Cox et al. (2003) usoudili, že u delfinů skákavých nedošlo v minulosti k habituaci, protože se s takovým typem zvuku dříve nesetkali. Domnívali se tedy, že jejich reakce byla nerozvážená. Také zkoušeli vystavit jednotlivá zvířata účinkům zařízení pinger. Cílem tohoto pokusu bylo, zda si tito jednotlivci mohou na signály zvyknout. Zde Cox et al. (2003) došli k závěru, že je zde malá pravděpodobnost habituace, protože se svým týmem používali pouze jednu malou síť, ale kdyby zařízení začaly používat rybářské komunity, mohlo by k habituaci dojít. K této hypotéze přispívá i fakt, že během experimentu, kdy se začala vytahovat síť na palubu rybářské lodi, delfini skákaví rychle připlavali k lodi ze vzdálenosti 300 m a odhozené ryby ulovili. Toto chování naznačuje, že skutečně mohlo dojít k tomu, že si delfini spojili zvuk pingeru se sítí plnou ryb. Cox et al. (2003) pozorovali chování delfinů skákavých pouze z pevniny a o jejich chování pod vodou mohli pouze spekulovat. Svou studii doplnili o poznatky známého chování delfinů poblíž sítí rozděleného do 4 typů:

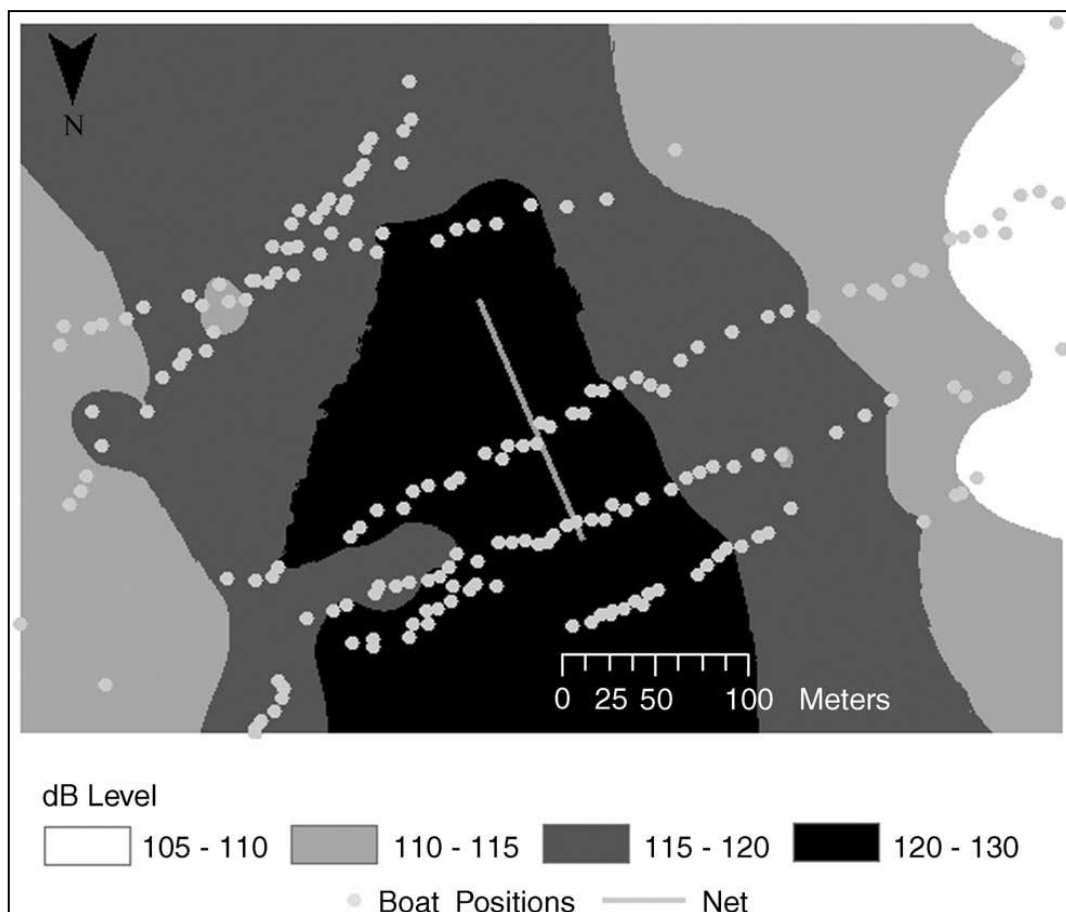
- 1) delfini si přímo ze sítě brali ryby;
- 2) delfini u rybářské lodě žebřili o ryby;
- 3) delfini využili síť jako bariéru, které nahnala ryby k sobě a bránila jim v útěku;
- 4) delfini proplouvali kolem sítě, aniž by si jí nějak všimli.

Během svých pozorování alespoň 10x zaznamenali blízké interakce mezi delfíny a sítí, ale nikdy nedošlo k jejich uvíznutí v sítích. To je vedlo k závěru, že zamotání do sítě je vzácná

událost, k níž může dojít, pokud delfini například během cestování nerozpoznají síť jako bariéru nebo se do ní zachytí v době, kdy chytají ryby uvízlé v síti. Závěrem studie Cox et al. (2003) dodávají, že zvuk ze zařízení pinger pravděpodobně nesnižuje by-catch delfinů skákavých vzhledem k pozorovaným interakcím se sítí.



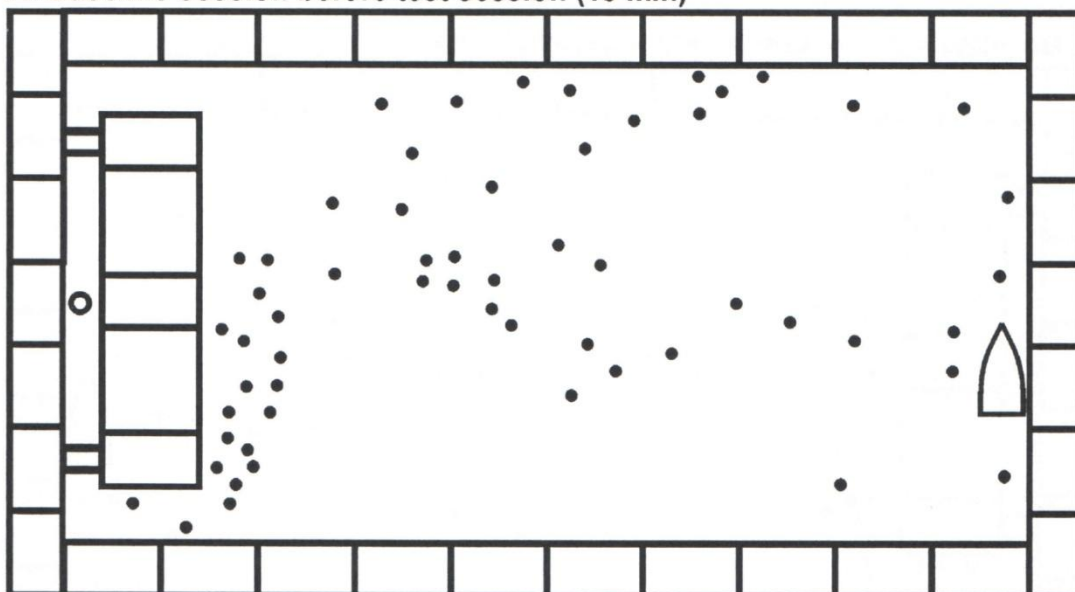
Obr. 16 – Trasy (plná a tečkovaná čára) delfinů skákavých a pozice sítě (přerušovaná čára) v době, kdy bylo zařízení vypnuté (**a. Pinger OFF**) a zapnuté (**b. Pinger ON**). Šedé kolečko označuje přibližnou zónu zranitelnosti kolem sítě, která se měnila každý den podle nového umístění sítě. Převzato z Cox et al. (2003).



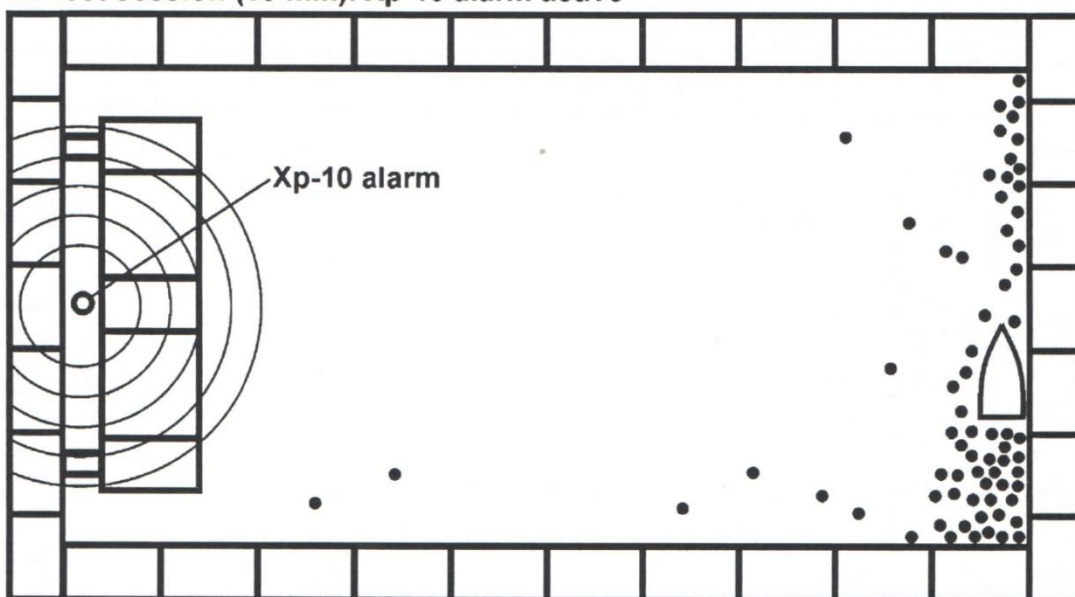
Obr. 17 – Zvukové pole (dB) vytvářené zařízením pinger, které bylo připevněné k síti. Tečky označují pozici plavidla a šedá čára pozici sítě. Převzato z Cox et al. (2003).

K prokázání rozdílných behaviorálních odpovědí na stejný akustický alarm sloužící k odrazování od sítí u dvou různých druhů kytovců vypracovali Kastelein et al. (2006) samostatnou studii. Po uvíznutí na břehu byla samice delfína pruhovaného (*Stenella coeruleoalba* (Meyen, 1833)) umístěna do společné plovoucí ohrady (floating pen) se samcem sviňuchy obecné. Cílem této studie bylo prokázat, zda odstrašující zařízení bude mít stejný vliv na jinou sviňuchu obecnou a na delfína pruhovaného, jako mělo vliv na dva samce sviňuchy obecné ve studii Kastelein et al. (2001). Alarm XP-10, jehož parametry již byly popsány, byl znovu v tomto experimentu použit. Podobně jako v předchozí studii Kastelein et al. (2001) i zde samec sviňuchy obecné během patnácti minutové testovací doby, kdy byl alarm zapnutý, plaval rychleji a směrem od zdroje hluku poblíž hladiny, kde se urputně nadechoval, viz Obr. 18. Co se týče dechové frekvence, byl zde patrný významný efekt alarmu. Počet nádechů se od začátku testovací doby zvedl z 50 nádechů na 130 ke konci testovací doby.

A. Baseline session before test session (15 min)



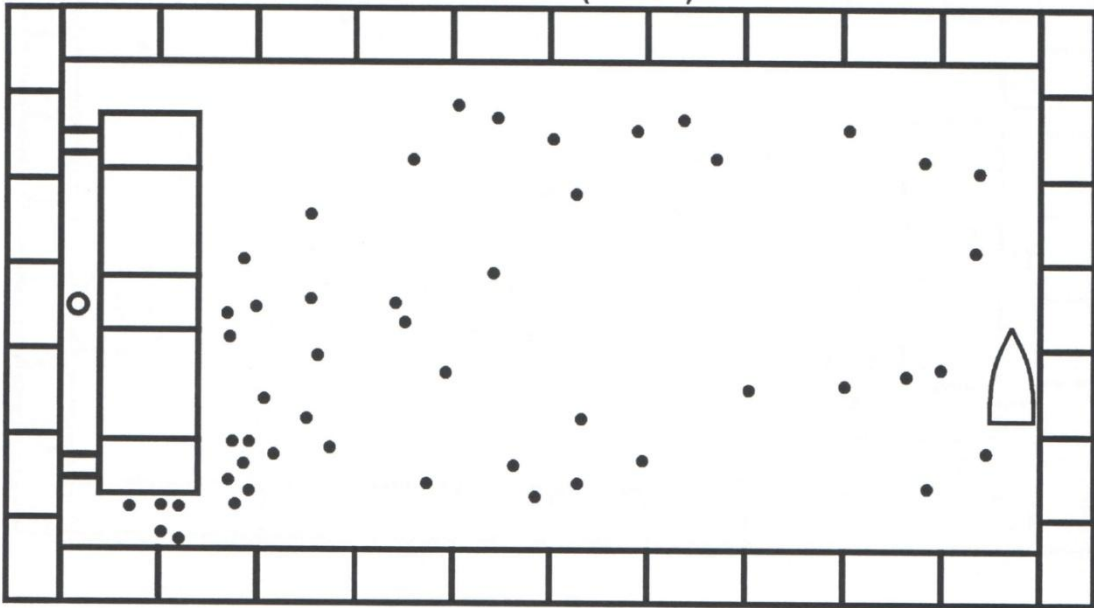
B. Test session (15 min). Xp-10 alarm active



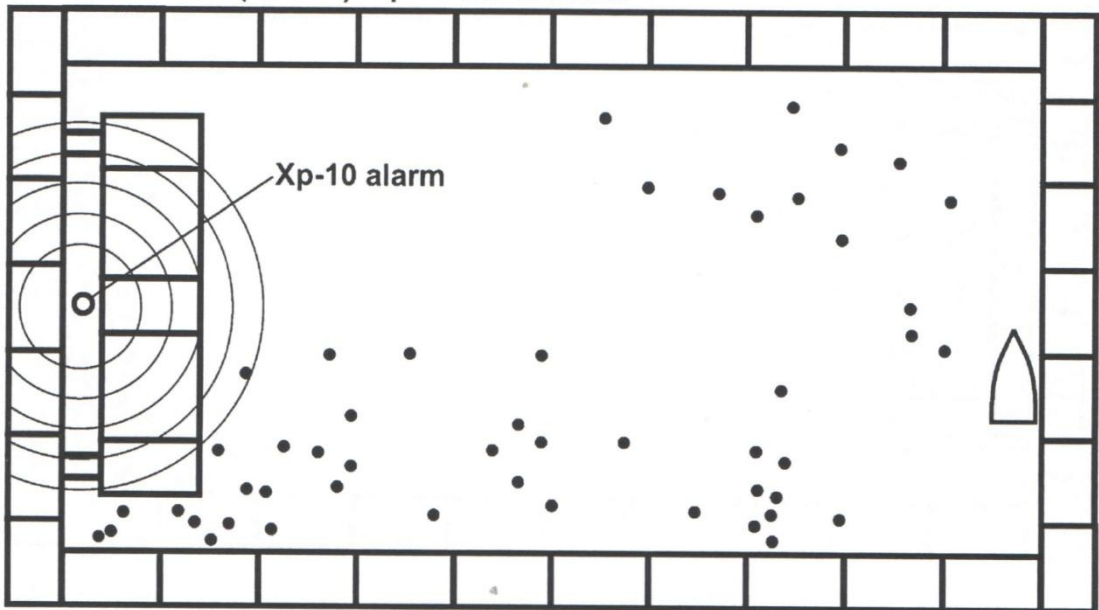
Obr. 18 – Znázornění pozice samce sviňuchy obecné v plovoucí ohradě v době klidu (A) a v testovací době (B). Tečky označují místa, kde se sviňucha vynořila kvůli nádechu. Patrný je přesun na opačnou stranu ohrady od zdroje alarmu a vyšší počet vynoření. Převzato z Kastelein et al. (2006).

Naproti tomu samice delfína pruhovaného nevykazovala v testovací době žádné výraznější změny oproti době klidu, viz Obr. 19. V testovací době se její rychlost neměnila, zůstávala ve stejné hloubce a ani dechová frekvence nestoupala. Přesnější porovnání vzdáleností od alarmu a počtu nádechů obou zvířat znázorňuje Obr. 20 a 21.

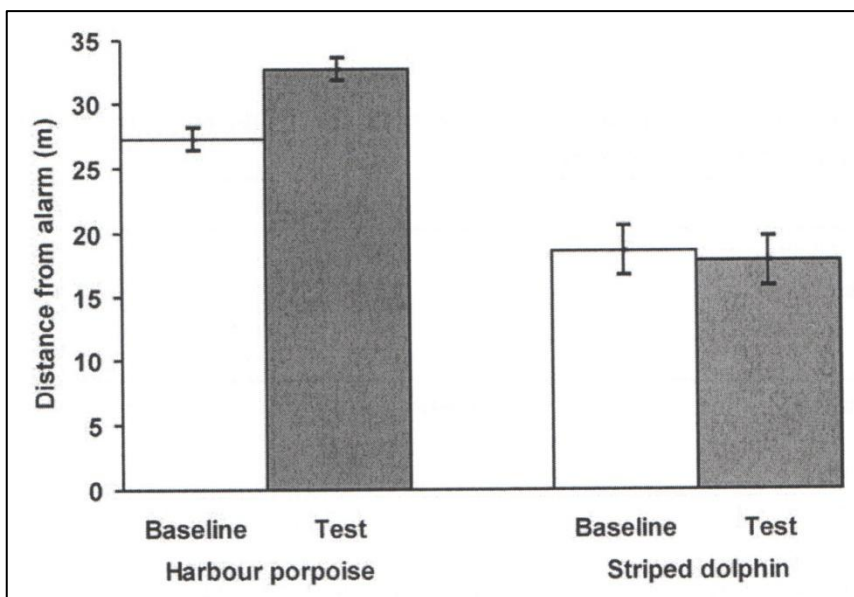
A. Baseline session before test session (15 min)



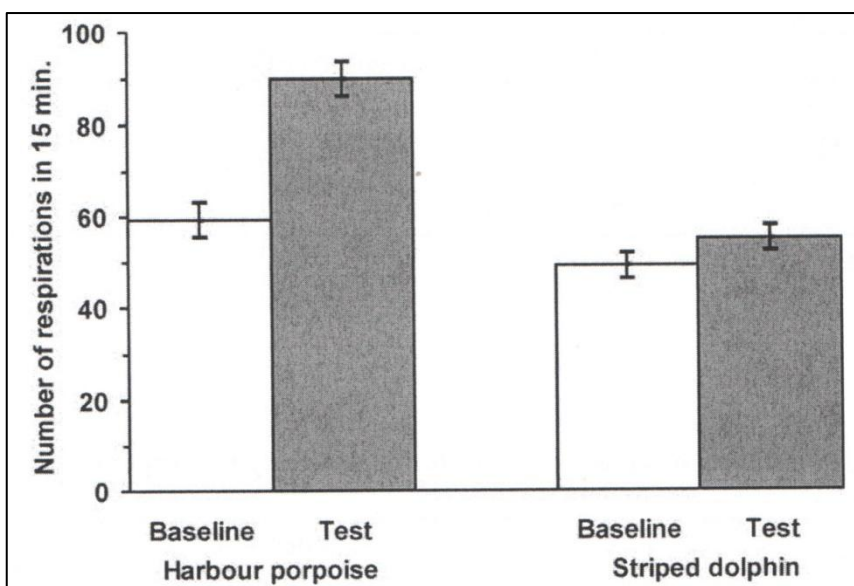
B. Test session (15 min). Xp-10 alarm active



Obr. 19 - Znázornění pozice samice delfína pruhovaného v plovoucí ohradě v době klidu (**A**) a v testovací době (**B**). Tečky zaznamenávají místa, kde se samice vynořila kvůli nádechu. Patrný je nevýrazný efekt během testovací periody. Převzato z Kastelein et al. (2006).



Obr. 20 – Grafické porovnání vzdálenosti sviňuchy obecné (Harbour porpoise) a delfína pruhovaného (Striped dolphin) od zdroje alarmu v době klidu (bílé sloupce) a v době testování (šedé sloupce). Na ose y je znázorněna vzdálenost od alarmu v metrech. Převzato z Kastelein et al. (2006).



Obr. 21 - Grafické znázornění počtu nádechů sviňuchy obecné (Harbour porpoise) a delfína pruhovaného (Striped dolphin) v době klidu (bílé sloupce) a v době testování (šedé sloupce). Na ose y je znázorněn počet nádechů za 15 minut. Obě periody trvaly stejně dlouhou dobu 15 minut. Převzato z Kastelein et al. (2006).

Průměrná vzdálenost samce sviňuchy obecné od aktivního alarmu byla poměrně konstantní (asi 32 m). Ve většině případů plaval tak daleko od zdroje, jak to bylo možné v závislosti na délce ohrady (34 m). Po skončení testovací periody se chování samce vrátilo do normálního stavu jako před testováním a k habituaci nedošlo. Stejně jako ve své předchozí studii nazvali Kastelein et al. (2006) efekt na tohoto samce jako postrašující. Ovšem fakt, že u samice

delfína pruhovaného nebyl pozorován žádný významnější efekt, neznámá, že na ni alarm žádný efekt neměl. Oba studovaní kytovci se mohli vzájemně ovlivňovat. Avšak díky téměř shodným výsledkům jako u předchozí studie Kastelein et al. (2001) lze předpokládat, že reakce samce sviňuchy obecné by mohla být reprezentativní pro celý druh. To neplatí u samice delfína pruhovaného, jelikož tento druh v zajetí nikdy držen nebyl a podobné experimenty na něm nebyly prováděny. Dále je nutné připomenout, že se jedná o dva různé druhy kytovců, kteří mají odlišný sluchový rozsah, co se týče používané frekvence ke komunikaci, který musí být rovněž brán v potaz, pokud mají být nějaké výsledky správně interpretovány. Kastelein et al. (2006) závěrem doporučují, že před začátkem používání zvukového zařízení pro odstrašení kytovců by mělo být zařízení napřed otestováno na konkrétním druhu, protože jak vyplývá, každý druh na něj reaguje jiným způsobem.

5.4 Reakce kytovců na hluk způsobovaný vojenským sonarem

Výzkum míry vokalizace v souvislosti s vysíláním sonaru naznačuje, že někteří mořští savci mohou v přítomnosti sonaru zvyšovat počet svých volání, aby vykompenzovali narušení své komunikace. Prostorová a časová shodnost mezi uvíznutím zvířat na břehu a testovací dobou vojenského sonaru označuje sonar jako možnou příčinu uvíznutí některých druhů kytovců na břehu (Nowacek et al., 2007). U vorvaňovcovitých (Ziphiidae) opakovaně dochází k uvíznutí na břehu po skončení námořních manévrů vojenského námořnictva, kdy je mimo jiné použit i sonar se středním frekvenčním pásmem. Nejčastěji k tomu dochází u vorvaňovcovitých z rodu *Ziphius* a *Mesoplodon* (Nowacek et al., 2007; Wright et al., 2007). Nejznámějším případem je uvíznutí 12 vorvaňovců zobatých na pobřeží Řecka, kdy byl vojenským námořnictvem použit sonar k detekci ponorek, který vysílal zvuk o intenzitě 226 až 228 dB s frekvenčním rozsahem 600 – 3000 Hz. Jiným případem z roku 2000 je uvíznutí jiných vorvaňovcovitých na březích Bahamských ostrovů, kde použitý sonar dosahoval hladiny hluku 235 dB ve frekvenčním pásmu 2,6 – 3,3 kHz nebo 223 dB s frekvenčním rozsahem 6,8 – 8,2 kHz (Nowacek et al., 2007). U těchto velryb byl poprvé popsán nový **syndrom rozsáhlé tukové a plynové embolie**. Tyto velryby se potápějí do největších hloubek (1,8 km) a vzor jejich ponořování tvoří jeden hluboký ponor následovaný několika mělčími ponory, které jsou podobné dekompresním zastávkám. Pokud je tento vzor ponorů narušen nějakou poruchou chování (útěková reakce, polekání), může dojít k formování plynových bublin a následně vyvolat přesycení dusíkem nad práh tolerance. Formace dusíkových bublin vzniká procesem zvaným pozměněná difúze. Smrt může nastat v důsledku plynové embolie nebo krvácení (Peng et al., 2015; Wright et al., 2007).

Dalším problémem může být **hypoxie**, pokud je kytovec vystaven v hloubkách nějakému stresoru. Zvláště u vorvaňovcovitých, kteří vyžadují dodatečný přísun kyslíku, může stresor donutit tyto kytovce, aby zkracovali své krátké ponory. Kombinace psychologického stresoru (extrémní hluk) a fyziologického stresoru (tuková/plynová embolie, hypoxie) může přispět k úmrtím a následnému masovému vyplavení těl velryb na břeh stejně jako může zapříčinit například sníženou plodnost. Ačkoli u těchto zvířat možná stresová reakce přímo přispěla ke smrtelným následkům vyplívajících z vystavení vorvaňovcovitých vojenskému sonaru, zůstává nejpravděpodobnější, že k těmto fatálním následkům došlo díky útekové reakci velryb. Je vhodné představit si reakci jako 3 postupná stadia adaptace na určitý stresor – poplachová reakce, stádium rezistence a stádium vyčerpání. Zvíře může v počáteční fázi reagovat na stresor například útekem. Jestliže se stresor svým opakovaným působením stane novým stimulem, může vyvolat krátkodobou rezistenci organismu zvýšením hladiny glukokortikoidů. Pokud organismus stresor nezvládne nebo se mu nepřizpůsobí, končí to většinou smrtí jedince. Toto nepřetržité působení stresoru na organismus je označováno jako chronický stres. Útekovou reakci může vyvolat i stresor, který není jen psychologického charakteru, ale zároveň působí bolestivě na určité tkáně (Wright et al., 2007).

5.5 Reakce kytovců na hluk způsobovaný průmyslovou činností

Průmyslové činnosti (bagrování, vrtání, exploze) mají potenciál způsobovat fyzické poškození stejně jako narušení normálního chování. Na toto téma bylo zpracováno jen málo studií, z nichž většina se zaměřuje na exploze z výbušnin. Například u vorvaně obrovského nedošlo k žádné behaviorální ani akustické reakci na vzdálené detonace, kdy hladina přijatého hluku byla 179 dB a méně. U těchto vorvaňů zřejmě došlo k habituaci, jelikož spektrum energie vzdálených detonací bylo podobné tomu, které vorvani vydávali svými klapavými zvuky (Nowacek et al., 2007). Zřejmě nejnápadnější reakcí v důsledku působení průmyslového hluku bylo opuštění a následné vyhýbání se lagunám, pozorované u plejtvákovců šedých (*Eschrichtius robustus* (Lilljeborg, 1861)), kteří v těchto lagunách přiváděli na svět svá mláďata a díky průmyslovým činnostem (vrtání) se jim vyhýbali 5 – 10 let (Weilgart, 2007a).

6 Možnosti redukce hluku v oceánech

Stále existuje mnoho nejasností ohledně sluchové schopnosti kytovců. Sluchový systém nemusí být tím nejcitlivějším systémem na vystavení vůči hluku. Primárním zaměřováním se na tento systém můžeme přehlédnout další důležité efekty hluku na organismus, např. citlivost kůže nebo tuková/plynová embolie (Weilgart, 2007b). Existují dva základní body, které mají sloužit ke zmírnění vystavení kytovců nadměrným hladinám hluku. Prvním bodem je redukce hladin hluku a druhým vyloučení hluku z biologicky důležitých oblastí (Weilgart, 2007b; Williams et al., 2015). Propagace zvuku v oceánu může být komplexní, avšak již existují nástroje k odhadu míry vystavení hluku u jednotlivých kytovců. Aby bylo možné kontrolovat míru vystavení hluku, je nutné znát jeho zdroj. Rovněž sestavení nebo měření přijaté hladiny hluku je důležité pro možné propagační změny zvuku v prostředí (Nowacek et al., 2007). K dosažení maximální kontroly akustických změn slouží kontrolní expoziční experimenty, které mohou získat nejsolidnější data o reakcích kytovců ve spojitosti s vystavením určité hladině hluku. Výsledky těchto experimentů by mohly přispět k vytvoření tolerované hranice vystavení vůči hluku u některých sluchově citlivých druhů. Ovšem bylo by neetické provádět takové experimenty na jedincích kriticky ohrožených druhů, i když taková jedinci mohou být vystaveni stejným hladinám hluku nekontrolovatelně v divoké přírodě v souvislosti např. s průmyslovou činností. Alternativní neinvazivní experimenty by v takovém případě byly vhodnější, např. příležitostné pozorování, přírodní experimenty, experimentální tišení některých oblastí atd. (Nowacek et al., 2007; Williams et al., 2014).

Kastelein et al. (2001) zdůrazňují význam znalostí konkrétních parametrů zvuku, které potenciálně ovlivňují kytovce, protože bez nich by byla následná zmírňující opatření zbytečná. Mezi tyto parametry patří délka trvání pulzů, cyklus opakování, hladina zdroje zvuku, spektrum a harmonické zakřivení.

Lidé mohou alespoň do určité míry zmírnit efekt hluku na mořské savce několika ochrannými opatřeními. Zahrnují např. design zařízení a jeho oddělení od vody, změny v sezónním či hodinovém načasování vytváření hluku, změny ve směru nebo umístění hlučných aktivit mimo oblasti s vyšší koncentrací zvířat, vytvoření nízko-hladinových varovných zvuků, regulaci rychlosti plavidel atd. (Würsig et al., 2000).

6.1 Tiché zóny a bezpečná hladina hluku

Tiché zóny představují základní zmírňující opatření, jejichž velikost se odvozuje na základě konkrétní hladiny hluku, které by kytovci již neměli být vystaveni. Hladina zvuku klesá s rostoucí vzdáleností od zdroje. Například regulace Spojených států zakazují vystavení kytovců hladinám hluku > 180 dB a velikost bezpečné zóny byla stanovena na 500 m. Při regulaci se také usiluje o stanovení konkrétní hladiny hluku, která by měla spustit dočasné odstranění zdroje hluku, dokud budou kytovci nablízku. Existuje „kritérium 120 dB“, kdy po překročení této hranice již může mít hluk na kytovce škodlivý efekt. Účinnost vizuálních bezpečných zón je také diskutabilní, protože spatřit některé druhy, kteří jsou plaší nebo se velmi těžce hledají (např. vorvaňovcovití), je velice těžké zvláště za snížené viditelnosti (Weilgart, 2007b).

6.2 Chráněné mořské oblasti

Chráněné mořské oblasti představují jedno z nejefektivnějších zabezpečení kytovců proti kumulativním a synergickým dopadům hluku. Dále je chrání před dalšími antropogenními stresory. Omezení obklopující tyto oblasti by se měla rozšířit na celý ekosystém, pokud plní svůj účel. Také neutrální zóny, které obklopují chráněné mořské oblasti, mohou být velmi nápomocné k ochraně před zdroji hluku (Weilgart, 2007b).

6.3 Monitoring

Využití pasivního akustického monitoringu k detekci volání kytovců může sloužit například k odložení některých hlučných aktivit, dokud kytovci neopustí danou oblast. Systém pasivního akustického monitoringu představují tažené hydrofony nebo vzdálená nezávislá nahrávací zařízení (Weilgart, 2007b).

Tento systém dále zvyšuje efektivnost monitoringu ochranných zón, které pomáhají redukovat vystavení hluku. V Hongkongu mají tyto zóny rozsah 250 – 500 m. Operace s nízkým účinkem na kytovce (např. bagrování, pokládání kabelů) mají obvykle dosah jen 250 m. Podvodní odstřelování nebo hloubení vrtů pro vsazení pilířů je považováno za značně škodlivé aktivity, které působí na vzdálenost 500 m. Stavební plocha je důkladně monitorována po dobu nejméně 30 minut před začátkem stavebních prací. Pokud pozorovatel (řádně vyškolený pracovník) spatří kytovce v zóně účinku staveb (250 – 500 m), je oprávněn zastavit veškeré stavební práce a začít se smí opět po 30 minutách od přerušení, pokud již žádný kytovec nebyl spatřen (Jefferson et al. 2009).

6.4 Redukce aktivit vyvolávajících hluk

Různé společnosti často provádějí svůj vlastní seizmický průzkum na stejném místě čistě ze soutěživých důvodů, což zbytečně vytváří více hluku. K omezení může posloužit sdílení dat mezi společnostmi nebo najímání jedné konkrétní firmy, která provede jeden společný průzkum s cílem maximálního pokrytí oblasti (Weilgart, 2007b).

Vojenské námořnictvo také může používáním simulátorů, pokud je to možné, přispět ke snížení hladin hluku v oceánu (Weilgart, 2007b).

Většina námořních akustických signálů vytváří jeden nebo více typů hluku či rušení. Podmiňovacími metodami aplikovanými na signál v časové řadě nebo na spektrogramy můžeme redukovat nebo přesunout tyto zvuky. Bioakustické signály jsou tak patrnější a usnadníme si tím jejich detekci, klasifikaci a lokalizaci. Důvodem tohoto procesu je přesunutí nechtěného zvuku a druhým je převedení signálu do kanonické formy (canonical form), aby pozdější zpracování mohlo použít signál, který má menší variabilitu díky záznamovému zařízení. Příkladem této metody je AGC proces (Automatic Gain Control), který pracuje se zobrazením časové řady signálu. Výsledkem je signál s celkovou úrovní amplitudy, které je relativně konstantní, srovnáme-li ji s širokou variantou amplitud možných vstupujících signálů (Mellinger, 2013).

Nákladní lodě by měly využít své prostory k naložení maximálního množství nákladu, aby se tak minimalizoval počet cest lodí. Zavedení speciálních tras, které by nevedly skrz nebo poblíž důležitých habitatů kytovců, představuje vhodnou metodu redukce hluku stejně jako omezení rychlosti plavby lodi, která hraje roli v možné kolizi s kytovci. K nejzávažnějším až smrtelným kolizím zpravidla dochází, pokud loď pluje rychlostí přibližně 26 km/h. U lodí je možné provést některé mechanické úpravy k omezení hluku. Například lodní šroub může být navržen tak, aby byla omezena kavitace a formovaly se menší bublinky. Zvuk pohlcující izolace a absorpční technologie (pružný izolační podklad, závěs na potrubí) dokážou omezit vydávanou mechanickou energii. Zajímavou metodu, jak zvýšit účinnost paliva a zároveň snížit hluk vydávaný motory, představuje využití padáků, které se velmi podobají těm u paraglidingu. Padák (SkySail) se zavěsí při vhodném proudění větru na přední loď a v podstatě se tak využívá energie proudění větru k tažení lodi vpřed, viz Obr. 22. Tato technologie by byla zvláště vhodná pro pomalé tankery, i když sebou nese určitá omezení (Weilgart, 2007b).

V Evropě, Austrálii a Spojených státech platí od 80. let minulého století uzavření některých důležitých habitatů, které kytovci používají při migraci, rozmnožování nebo

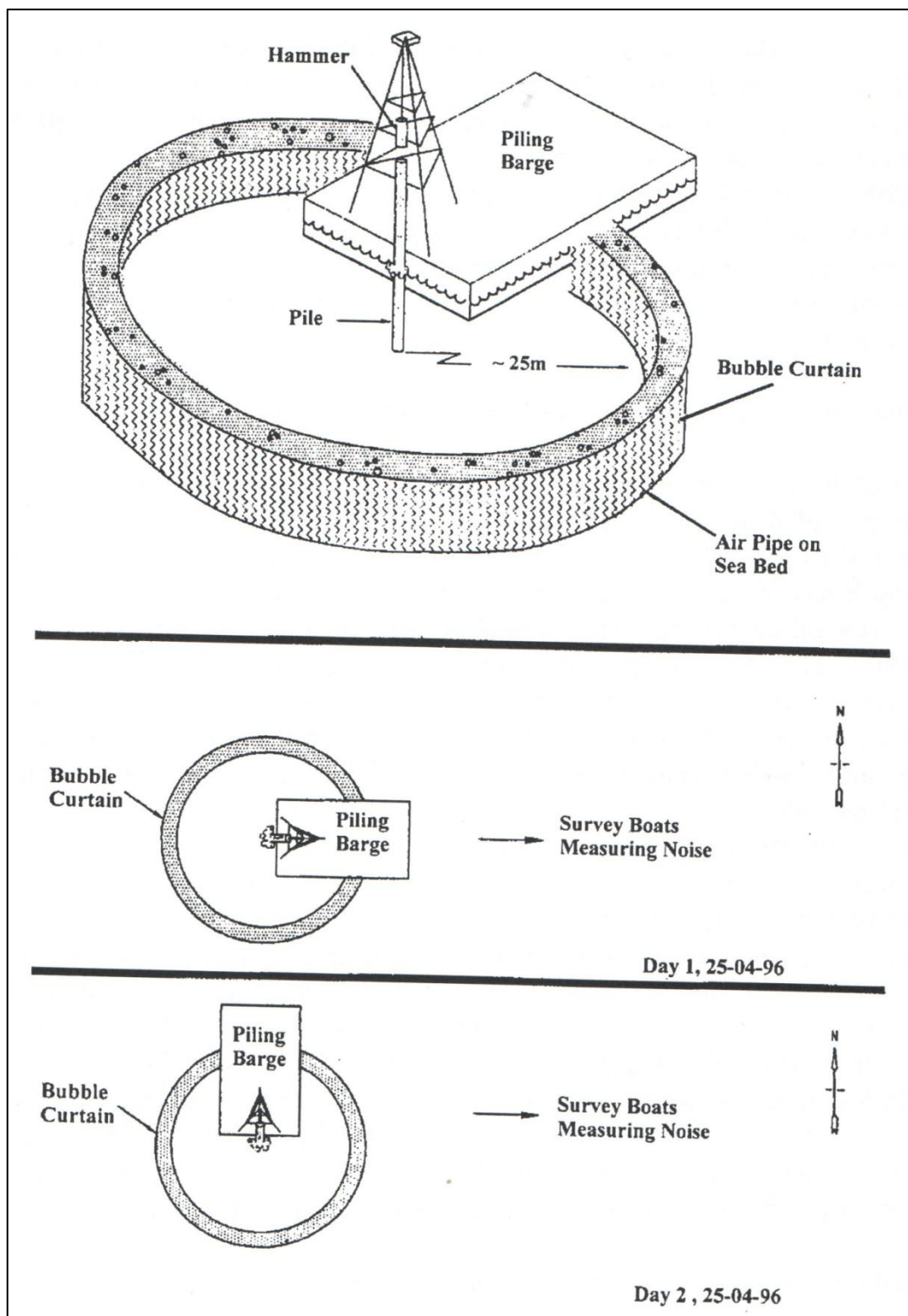
hledání potravy. V těchto oblastech jsou především zakázány jakékoliv seizmické operace, pokud nastane některé z uvedených období. Se vzrůstající obavou z dopadů nízkofrekvenčních zvuků se tento systém zavádí stále rozsáhleji (Williams et al., 2014).



Obr. 22 – Využití padáku (SkySails) nákladní lodí. Dostupné online z: http://files.gereports.com/wp-content/uploads/2010/03/skysailsHouston_0041.jpg

6.5 Bublinová clona

Většina podvodního hluku způsobovaná stacionárními průmyslovými aktivitami (bagrování, vrtací lodě nebo plošiny, pilířová konstrukce) vykazuje nejvyšší energii ve frekvenčním pásmu 20 Hz – 1 kHz. U malých ozubených kytovců o délce 3 – 4 m není známo, že by byli vysoce citliví na zvuky s frekvencí pod 1 kHz. Přesto mohou zvuky s takovou frekvencí zachytit, a pokud budou zvláště silné, mohou jim způsobit fyziologické či morfologické poškození, narušit komunikaci nebo u nich vyvolat určitou behaviorální reakci. Würsig et al. (2000) zkoumali, zda clona bublin dokáže snížit hladinu hluku kolem konstrukce, která vsazuje pilíře. Svůj experiment prováděli u ostrova Sha Chau a zajímali se především o možný efekt na delfíny indočínské (*Sousa chinensis* (Osbeck, 1765)). Schéma sestavené plošiny pro vsazení pilíře a rozložení bublinové clony, kterou vytvářelo vzduchové potrubí umístěné na mořském dně, je zobrazeno na Obr. 23.



Obr. 23 – Schematické znázornění plošiny s pilířem, kterou obklopuje bublinová clona (bubble curtain) vytvářená vzduchovým potrubím (air pipe) na dvě moře. Prostřední a spodní obrázek ukazují rozdíl v pozicích lodí, které měřily hlukové pozadí v průběhu 2 dní. Převzato z Würsig et al. (2000).

Ve frekvenčním pásmu 400 Hz a 1,6 – 6,4 kHz došlo ke zlepšení o přibližně 10 dB. Mimoto, vyšplhalo se i na 20 dB při frekvenci 3,2 kHz ve vzdálenosti 250 m od plošiny a > 20 dB bylo

dosáženo ve vzdálenosti 500 m s frekvencí 3,2 – 6,4 kHz. Delfíni indočínští se po celou dobu experimentu pohybovali ve vzdálenosti 300 – 500 m od této oblasti průmyslové aktivity. Bublinová clona prokázala redukci hladiny širokopásmových zvuků o 3 – 5 dB, v jednom frekvenčním pásmu 400 – 800 Hz zlepšení o 8 – 10 dB a v pásmu 1,6 – 6,4 kHz o 15 – 20 dB. Experiment byl považován za úspěšný. Demonstroval zvukový útlum zvláště u frekvence v jednotkách kHz, na kterou jsou citliví hlavně delfíni skákaví. Přestože tato metoda představuje slibné výsledky, jedná se pouze o jeden z možných zmírňujících nástrojů a je u ní vyžadován další výzkum (Würsig et al., 2000).

Aby mohly být správně navrženy postupy a operace omezující hluk v oceánu, Weilgart (2007b) doporučuje zaměřit se na následující body jako doporučení pro budoucí výzkum:

- 1) výzkum by měl být zaměřen na vývoj efektivních zmírňujících nástrojů – např. systém pasivního akustického monitoringu, úprava motorů lodí, nalezení tišších alternativních zdrojů hluku (seizmický průzkum apod.);
- 2) nevystavovat kytovce nadměrnému hluku zřízením chráněných oblastí;
- 3) jednotlivá zvířata by měla být studována v rozdílných podmínkách s různou hladinou hluku, kde je cílem zjistit přesné vlivy a na konkrétní druhy;
- 4) dalším středem zájmu by měl být výzkum hluku a jeho vliv na ekologické procesy stejně jako na populační dynamiku;
- 5) z hlučných oblastí by měly být odebírány vzorky trusu kytovců a vyšetřeny na přítomnost stresových hormonů.

7 Závěr

Problém hlukového znečištění v oceánech se dostává stále více do podvědomí vědeckých pracovníků, kteří se podílí na studiích o jeho vlivu na život v oceánu. V souvislosti s tématem práce, okolní hluk může vyvolat u kytovců poplachové reakce, narušit jejich každodenní činnosti (hledání potravy, péče o mláďata, komunikace atd.) až u nich může celkově narušit jejich zdravotní stav. Pomalu plovoucí kytovci (většinou kosticovci) se s okolním hlukem snaží vypořádat jiným způsobem než je tomu u rychlejších druhů (ozubení kytovci). Ozubení kytovci jsou schopni v relativně krátkém čase navýšit svou vzdálenost od zdroje hluku, avšak během tohoto „útěku“ mohou snáze přehlédnout jiné nebezpečí (bariéry v cestě v podobě sítí, predátoři) a navíc je toto úsilí dostat se co nejdál od zdroje hluku stojí další energetické výdaje. Z výsledků studií vyplývá, že každý zdroj hluku vyvolává u kytovců určité reakce, i když to nemusí být na první pohled patrné.

Prozatím není výzkum na dostatečné úrovni, aby bylo možné stanovit přesná omezení, která by ovlivnila hlukové pozadí v oceánech a pomohla ho dostatečně snížit. Je zapotřebí dalších výzkumů k prozkoumání přesných parametrů, které se podílejí na vytváření hluku. Dále je třeba zjistit, jakým způsobem různé zdroje hluku ovlivňují jednotlivé druhy kytovců, tedy odhalit přesné reakce, které by mohly reprezentovat celý druh. Získané znalosti poté mohou pomoci při stanovení přesných pravidel a omezení pro kritické oblasti, které souvisí s některými důležitými životními událostmi kytovců (migrační trasy, oblasti pro porod a výchovu mláďat atd.).

8 Seznam literatury

Castellote, M., Clark, Ch. W., Lammers, M. O. 2012. Acoustic and behavioural changes by fin whales (*Balaenoptera physalus*) in response to shipping and airgun noise. *Biological Conservation*. 147. 115 – 122.

Cox, T. M., Read, A. J., Swanner, D., Urian, K., Waples, D. 2003. Behavioral responses of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, to gillnets and acoustic alarms. *Biological Conservation*. 115. 203 – 212.

Di Iorio, L., Clark, Ch. W. 2010. Exposure to seismic survey alters blue whale acoustic communication. *Biology Letters*. 6. 51 – 54.

Fay, R. R., Popper, A. N. 2000. Evolution of hearing in vertebrates: the inner ears and processing. *Hearing Research*. 149. 1 – 10.

Hildebrand, J. A. 2009. Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. *Marine Ecology Progress Series*. 395. 5 – 20.

Jefferson, T. A., Hung, S. K., Würsig, B. 2009. Protecting small cetaceans from coastal development: Impact assessment and mitigation experience in Hong Kong. *Marine Policy*. 33. 305 – 311.

Kastelein, R. A., de Haan, D., Vaughan, N., Staal, C., Schooneman, N. M. 2001. The influence of three acoustic alarms on the behaviour of harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) in a floating pen. *Marine Environmental Research*. 52. 351 – 371.

Kastelein, R. A., Jennings, N., Verboom, W. C., de Haan, D., Schooneman, N. M. 2006. Differences in the response of a striped dolphin (*Stenella coeruleoalba*) and a harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) to an acoustic alarm. *Marine Environmental Research*. 61. 363 – 378.

- Lusseau, D., Bejder, L. 2007. The Long-term Consequences of Short-term Responses to Disturbance Experiences from Whalewatching Impact Assessment. *International Journal of Comparative Psychology*. 20. 228 – 236.
- Mellinger, D. 2013. Conditioning for marine bioacoustic signal detection and classification. *Proceedings of Meetings on Acoustics*. 19. 010 – 017.
- Nowacek, D. P., Thorne, L. H., Johnston, D. W., Tyack, P. L. 2007. Responses of cetaceans to anthropogenic noise. *Mammal Review*. 37 (2). 81 – 115.
- Nummela, S., Reuter, T., Hemilä, S., Holmberg, P., Pauku, P. 1999. The anatomy of the killer whale middle ear (*Orcinus orca*). *Hearing Research*. 133. 61 – 70.
- Nummela, S., Thewissen, J. G. M., Bajpai, S., Hussain, T., Kumar, K. 2007. Sound Transmission in Archaic and Modern Whales: Anatomical Adaptations for Underwater Hearing. *The Anatomical Record*. 290. 716 – 733.
- Peng, Ch., Zhao, X., Liu, G. 2015. Noise in the Sea and Its Impacts on Marine Organisms. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 12. 12304 – 12323.
- Rolland, R. M., Parks, S. E., Hunt, K. E., Castellote, M., Corkeron, P. J., Nowacek, D. P., Wasser, S. K., Kraus, S. D. 2012. Evidence that ship noise increases stress in right whales. *Proceedings of the Royal Society B*. 279. 2363 – 2368.
- Stone, C. J., Tasker, M. L. 2006. The effects of seismic airguns on cetaceans in UK waters. *Journal of Cetacean Research and Management*. 8 (3). 255 – 263.
- Weilgart, L. S. 2007a. A Brief Review of Known Effects of Noise on Marine Mammals. *International Journal of Comparative Psychology*. 20 (2). 159 – 168.
- Weilgart, L. S. 2007b. The impacts of anthropogenic ocean noise on cetaceans and implications for management. *Canadian Journal of Zoology*. 85. 1091 – 1116.

Williams, R., Erbe, Ch., Ashe, E., Beerman, A., Smith, J. 2014. Severity of killer whale behavioral responses to ship noise: A dose–response study. *Marine Pollution Bulletin*. 79. 254 – 260.

Williams, R., Wright, A. J., Ashe, E., Blight, L. K., Bruintjes, R., Canessa, R., Clark, C. W., Cullis-Suzuki, S., Dakin, D. T., Erbe, C., Hammond, P. S., Merchant, M. D., O’Hara, P. D., Purser, J., Radford, A. N., Simpson, S. D., Thomas, L., Wale, M. A. 2015. Impacts of anthropogenic noise on marine life: Publication patterns, new discoveries, and future directions in research and management. *Ocean & Coastal Management*. 115. 17 – 24.

Wright, A. J., Soto, N. A., Baldwin, A. L., Bateson, M., Beale, C. M., Clark, Ch., Deak, T., Edwards, E. F., Fernández, A., Godinho, A., Hatch, L. T., Kakuschke, A., Lusseau, D., Martineau, D., Romero, M. L., Weilgart, L. S., Wintle, B. A., Notarbartolo-di-Sciara, G., Martin, V. 2007. Do Marine Mammals Experience Stress Related to Anthropogenic Noise? *International Journal of Comparative Psychology*. 20. 274 – 316.

Würsig, B., Greene, C. R. Jr., Jefferson, T. A. 2000. Development of an air bubble curtain to reduce underwater noise of percussive piling. *Marine Environmental Research*. 49. 79 – 93.

Zirbel, K., Balint, P., Parsons, E. C. M. 2011. Navy sonar, cetaceans and the US Supreme Court: A review of cetacean mitigation and litigation in the US. *Marine Pollution Bulletin*. 63. 40 – 48.

9 Seznam použitých zkratek a symbolů

atd.	a tak dále
dB	decibel, jednotka intenzity (hladiny) zvuku
Hz	hertz, jednotka frekvence
kg/m ³	kilogram na metr krychlový
m/s	metry za sekundu
MPa	megapascal
Pas/m	pascal na 1 metr
tzv.	takzvaný
vs.	versus
μPa	mikropascal
Abiotický	Pocházející od neživé složky ekosystému.
Agregát	V textu ve smyslu seskupení (např. rybí školky).
Akustická impedance	Fyzikální veličina; jiným názvem akustický odpor; popisuje vlastnosti akustického prostředí; na rozhraní dvou prostředí s různou akustickou impedancí může docházet k lomu a odrazu procházejícího akustického vlnění.
Amplituda	Rozdíl mezi minimem a maximem.
Batymetrie	Obor zabývající se měřením hloubky moře.
Biotický	Pocházející od živé složky ekosystému.
Dmychadlo	Stroj pro stlačování a dopravu plynů, nejčastěji vzduchu.
Embryogeneze	Embryonální vývoj zárodku.
Fenomén	Pozorovaný jev.
Fitness	Evoluční zdatnost určité genetické jednotky; schopnost udržet se a rozmnožit se.
Habitat	Místo výskytu určitého organismu.
Habituace	Vymizení odpovědi na opakovaný biologicky významný podnět.

Inverzní	Převrácený, obrácený proces.
Kavitace	Vznik dutin v kapalině při lokálním poklesu tlaku a po vymizení podtlaku kolabují bubliny za vzniku rázové vlny s destruktivním účinkem.
Maladaptivní	Nepřizpůsobivé. Podnět je příliš silný, než aby se mu šlo přizpůsobit.
Progestiny	Gestageny (progesteron, hydroxyprogesteron).
Remorkér	Lod' s výkonným motorem sloužící k tažení nebo k tlačení velkých lodí.
Selekce	Přirozený výběr.
Slapové jevy	Dmutí mořské hladiny (příliv, odliv).
Synergický	Společně působící.
Termální hluk	Široké spektrum elektromagnetického šumu objevujícího se v elektronických obvodech a zařízeních v důsledku teplotně závislých náhodných pohybů elektronů a dalších nosičů náboje.