

**UNIVERZA NA PRIMORSKEM
FAKULTETA ZA MATEMATIKO, NARAVOSLOVJE IN
INFORMACIJSKE TEHNOLOGIJE
ŠTUDIJSKI PROGRAM BIODIVERZITETA**

Kaja PAJNHART JARC

**EHOLOKACIJA DELFINOV IN NJIHOV ODZIV
NA ZVOK PLOVIL**

Zaključna naloga študijskega programa Biodiverziteta

Mentor: doc. dr. Bojan Lazar

Sementor: mag. Tilen Genov

Koper, 2012

POVZETEK

Delfini so največja in najraznovrstnejša skupina kitov. Najbolje raziskana vrsta delfina je velika pliskavka (*Tursiops truncatus*), ki je prisotna tudi v Sloveniji. Ker zvok v vodi potuje hitreje kot svetloba, so delfini razvili zelo dovršen sistem za pridobivanje informacij s pomočjo sluha, ki ga imenujemo eholokacija. Ta jim omogoča komunikacijo, navigacijo, hranjenje ter razmnoževanje in je tako ključnega pomena za njihovo življenje. Vsekakor slišijo močne zvoke nizkih frekvenc, vendar pa so bolj prilagojeni na zaznavanje visokofrekvenčnih zvokov, kjer je skoncentrirana večina antropogenih zvokov. Slušne zmogljivosti delfinov vključujejo izrazite sposobnosti razločevanja frekvenc in razločevanja zelo majhnih časovnih razlik, kar je pri eholokaciji ključnega pomena. Ker so v veliki meri odvisni od sluha, je njihova občutljivost na antropogeni hrup toliko večja. Hrup lahko vpliva na njihovo sposobnost zaznavanja zvoka in povzroči številne spremembe v njihovem vedenju in aktivnostih.

Večina antropogenega hrupa je rezultat hrupa plovil. Odzivi delfinov na hrup plovil so lahko zelo različni in so odvisni od vrste, posameznika, starosti, spola in predhodnih izkušenj s hrupom. Pomemben vpliv povečanja hrupa na delfine je, da lahko ta hrup preglasi biološko pomembne zvoke. Hrup tako lahko vpliva na oglašanje, vedenje, potope, hranjenje, izogibanje habitatu in odsotnost na hrupnem območju ter povzroča stres in okvare sluha. Reakcije delfinov lahko privedejo do manjše učinkovitosti iskanja hrane, višje energetske porabe, manjše povezanosti s skupino, povečanega plenilstva ter zmanjšanega razmnoževanja, in tako resno vplivajo na populacijo. Hrup plovil je mogoče zmanjšati z ustrezno izbiro ali načrtovanjem plovil in/ali opreme. Ker največ hrupa proizvedejo propelerji, je največ truda za utišanje plovil osredotočenega na načrtovanje in delovanje propelerjev.

ABSTRACT

Dolphins are the largest and most diverse group of whales. Best-studied species of dolphin is the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*), which is also present in Slovenian waters. Because the sound travels faster in the water than light, dolphins developed a very sophisticated system for obtaining information through hearing, called echolocation. Echolocation enables communication, navigation, foraging and reproduction, and is so crucial to their lives. They definitely hear strong sounds of low frequencies but are better suited for detecting high-frequency sounds where most of antropogenic noise is concentrated. Hearing capabilities of dolphins include the ability to discriminate very small differences in frequencies and time which is crucial for echolocation. Because they are largely dependant of hearing, thier sensitivity to antropogenic noise is much bigger. Noise can affect their ability to detect sound and cause a number of changes in their behaviour and activities.

Most of the antropogenic noise is a result of vessel noise. The responses of dolphins to vessel noise can be very different and depend on species, individual, age, sex and prior experience with noise. An important impact of increased noise on dolphins is that this noise drowns out biologically important sounds. Therefore, noise can have impact on vocalization, behaviour, diving, foraging, aviodance and displacement and can cause stress and hearing damage. Reactions of dolphins may lead to a less efficient foraging, higher energetic demands, less group cohesion, higher predation and decreased reproduction, and thus seriously affecting the population. Vessel noise may be reduced by appropriate selection or design of vessels or/and equipment. Since most of the noise comes from propellers, the main efford for quieter vessels is focused on design and operation of the propellers.

KAZALO

1. UVOD.....	6
2. DELFINI (Delphinidae)	7
2. 1. VELIKA PLISKAVKA (<i>Tursiops truncatus</i>).....	9
3. EHOLOKACIJA	10
3. 1. KATEGORIJE AKUSTIČNIH SIGNALOV	11
3. 2. PRODUKCIJA ZVOKA	12
3. 3. SPREJEMANJE ZVOKA	14
3. 4. SLUH IN SLUŠNE ZMOGLJIVOSTI.....	15
4. DELFINI IN HRUP	18
4. 1. VPLIV HRUPA PLOVIL.....	19
4. 2. ZAKRIVANJE S HRUPOM PLOVIL.....	22
4. 3. ODZIV NA HRUP PLOVIL	23
4. 3. 1. Spremembe v oglašanju.....	24
4. 3. 2. Spremembe v potopih in pri hranjenju	24
4. 3. 3. Izogibanje habitatu in odsotnost na hrupnem območju	24
4. 3. 4. Okvare sluha	25
4. 3. 5. Stres	25
4. 3. 6. Spremembe v vedenju	26
4. 4. ZMANJŠANJE VPLIVA HRUPA PLOVIL	28
4. 5. VPLIV HRUPA PLOVIL V SLOVENSKEM MORJU	29
6. ZAKLJUČEK	30
7. LITERATURA IN VIRI.....	31

KAZALO SLIK

Slika 1: Prikaz sprejemanja in oddajanja zvoka pri delfinih	13
Slika 2: Prikaz povezave med zvoki morskih živali in hrupom plovil	17
Slika 3: Prikaz uporabe pravil za zmanjšanje negativnih vplivov na delfine	27

1. UVOD

Za pridobivanje informacij s pomočjo sluha v okolju z nižjo intenziteto svetlobe so delfini razvili zelo dovršen sistem, ki ga imenujemo eholokacija (Au, 1993). Ta jim omogoča komunikacijo, navigacijo, hranjenje ter razmnoževanje in je tako ključnega pomena za njihovo življenje. Delfini so bolj prilagojeni na zaznavanje visokofrekvenčnih zvokov, nedvomno pa slišijo tudi močne zvoke nizkih frekvenc (Richardson, 1991), kjer je skoncentrirana večina antropogenih zvokov. Ker so v veliki meri odvisni od sluha, je njihova občutljivost na antropogeni hrup toliko večja. Hrup tako lahko pri delfinih vpliva na sposobnost zaznavanja zvoka (Clark in Ellison, 2004) in povzroči številne spremembe v njihovem vedenju in aktivnostih. Odzivi delfinov na hrup plovil so lahko zelo različni in so odvisni od vrste, posameznika, starosti, spola, predhodnih izkušenj s hrupom ter frekvence, jakosti in vrste hrupa. Hrup plovil je mogoče zmanjšati z ustrežno izbiro ali načrtovanjem plovil in/ali opreme.

Namen te zaključne naloge je predstaviti eholokacijo delfinov in vpliv hrupa plovil, prav tako pa bomo prikazali njihove odzive na hrup plovil. Najbolje raziskana vrsta delfina je velika pliskavka *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821), zato večina primerov bazira na njej. Velika pliskavka je prisotna tudi v Sloveniji, kjer je edina stalno prisotna vrsta delfina (Genov in sod., 2008).

2. DELFINI (*Delphinidae*)

Delfini (fam. *Delphinidae*) spadajo v red kitov (*Cetacea*) in podred zobatih kitov (*Odontoceti*). Družina delfinov, je razmeroma sodobna, saj se je pojavila šele v zgornjem miocenu pred približno 10 milijoni let (Evans, 1987). Raziskave kažejo, da so bližnji sorodniki kopitarjev (Flower, 1883), najbližje sorodstvo pa naj bi bili povodni konji (*Hippopotamus*) (Ursing in Arnason, 1998). Danes je to največja in najraznovrstnejša skupina kitov (Rice, 1984).

Vrste delfinov se med seboj razlikujejo v zunanosti, velikosti, zobovju, območjih hranjenja, vedenju in izbiri habitata. Na zgornji strani glave, nekoliko levo od centra, je dihalna odprtina. Večina vrst ima maščobni organ – melono, ki se nahaja med čelom in kljunom ter ima pomembno vlogo pri eholokaciji. Zobje, ki močno variirajo v velikosti in številu (Kryštufek in Lipej, 1993), so stožčasti in se med seboj ne razlikujejo. Približno na sredini hrbta imajo mnoge vrste hrbtno plavut (Reeves in sod, 2002).

Morfološke in anatomske razlike med vrstami so nastale tudi zaradi razlik v prehrani. Delfini se v prvi vrsti hranijo z ribami in lignji (Genov in sod, 2008). Nekatere vrste, na primer orka (*Orcinus orca*), pa se hranijo tudi s ptiči (Castello, 1977) in z morskimi sesalci (Ott in Danilewicz, 1998; Jefferson in sod., 1991). Številni delfini se sezonsko selijo zaradi hrane, večina selitev pa poteka iz obalnih voda na odprto, redkeje v smeri sever–jug (Norris, 1967; Evans, 1971).

Kiti vključno z delfini so sesalci, kar med drugim pomeni, da kotijo žive mladiče, ki sesajo materino mleko (Berta in James, 1999). Razmnoževanje delfinov ni vezano na paritveno sezono, saj so spolno aktivni vse leto, kljub temu pa se večina mladičev skoti poleti (Haase, in Schneider, 2001). Edinec ostane pri materi vsaj nekaj mesecev. V prvem letu je materino mleko primarni vir hrane (Cockcroft in Ross, 1990a; Peddemors in sod., 1992), vendar pa lahko samica doji tudi do 3 leta in več (Cockcroft in Ross, 1990b). Prav zato samice pri večini vrst lahko kotijo le enkrat na 2 do 3 leta.

Tako kot vsi zobati kiti se tudi delfini orientirajo predvsem z uporabo zvoka (eholokacija). Razpon frekvenc je velik in sega od zaporedja klikov pri 0,25 kHz do ultrazvočnega območja pri 80–220 kHz (Houser in Finneran, 2006a; Houser in Finneran, 2006b). Zvoki so lahko čisti ali pa mešanica različnih frekvenc. Znanstvenikom je uspelo uvrstiti tovrstne zvoke v posamezne kategorije, ki so povezane z določenim vedenjem (Herzing, 2000).

Delfini so družabne živali, zato se nekatere vrste družijo v jate. Običajno je v jati nekje do 20 posameznikov (Shane in sod., 1986), vendar pa so bile opažene tudi večje jate po 1000 in več posameznikov (Saayman in Tayler, 1973). Večje jate običajno vidimo pri delfinih, ki se selijo in na območjih, kjer je na razpolago veliko hrane. Prav tako pa se velikost jate povečuje z oddaljenostjo od obale (Shane in sod., 1986; Connor in sod., 2000).

Delfine najbolj ogrožajo lov, onesnaževanje, zmanjševanje virov hrane, naključni ulov ter degradacija in motnje življenjskega okolja (Gambaiani in sod., 2009; Reeves in sod., 2001; Shane in sod., 1986). V morju vedno večjo težavo predstavlja tudi hrup, saj zvočno onesnaževanje iz leta v leto narašča (Andrew in sod., 2002).

Delfini prebivajo v oceanih, in tudi nekaterih rekah in jezerih. Delfini slovensko morje uporabljajo kot del njihovega stalnega prebivališča, kjer se prehranjujejo, igrajo, počivajo, pa tudi razmnožujejo in vzgajajo mladiče (Genov in sod., 2008). Bolj ali manj redno slovensko morje uporablja okoli 70 delfinov. O prisotnosti delfinov v severnem Jadranu priča kar nekaj raziskav (Brusina, 1888; Kryštufek in Lipej, 1993; Bearzi in sod., 2004; Genov in sod., 2008), vendar pa se je njihovo število po letu 1960 močno zmanjšalo na račun številnih pobojev (Bearzi in sod., 2004). Pri nas je edina stalno prisotna vrsta delfina velika pliskavka (Genov in sod., 2008), tekom let pa je bilo opaziti tudi druge vrste, kot na primer navadni delfin (*Delphinus delphis*) in navadni progasti delfin (*Stenella coeruleoalba*). Z opazovanjem in raziskovanjem le-teh se pri nas ukvarja društvo Morigenos, ki delfine v slovenskem morju preučuje in spremlja že od leta 2002.

2. 1. VELIKA PLISKAVKA (*Tursiops truncatus*)

Velika pliskavka je najbolj raziskana vrsta delfina na svetu (Shane in sod., 1986; Connor in sod., 2000; Bearzi in sod., 2008) in je najbolj pogosta vrsta v severnem Jadranskem morju (Reeves in Notarbartolo di Sciara, 2006. Bearzi in sod., 2008). Sredozemska populacija je za uvrstitev na seznam IUCN (Mednarodna zveza za varstvo narave) predlagana kot ranljiva (VU). Danes je habitat te vrste fragmentiran, populacije pa so relativno majhne (Reeves in Notarbartolo di Sciara, 2006).

Velika pliskavka je po velikosti ena večjih vrst iz družine delfinov, ki jo najdemo v Sredozemskem morju, in je edina še stalno živeča vrsta delfinov v severnem Jadranu (včasih tudi navadni delfin) (Bearzi in sod., 2004). Ima večinoma kratek in top kljun, glava je obla, telo pa robustno. Večina telesa je pepelnato sive, včasih rjavkasto sive barve. Najtemnejši je hrbet, boki so svetlejši, trebuh pa je umazano bel. Hrbtna plavut, ki je na sredi hrbta je srednje velika, zmerno visoka in srpasta (Kryštufek in Lipej, 1993). Mladiči ob rojstvu merijo okrog 1 m, odrasli pa od 2,3 do 4 m v dolžino.

Vrsta je kozmopolitska, saj jo najdemo tako v zmernih in tropskih vodah Tihega, Atlantskega in Indijskega oceana, kot tudi v Sredozemlju ter Črnem in Rdečem morju (Mitchell, 1975). Prebiva v obalnih vodah (Gannier, 2005), in tudi na odprtem morju (Forcada in sod., 2004), kjer se zadržuje v skupinah po približno 10 osebkov, izjemoma tudi v skupinah do 100 živali.

3. EHOLOKACIJA

Ker v oceanih zvok potuje veliko hitreje kot svetloba, delfini kot svoj primarni čut uporabljajo sluh. Delfini in ostali zobati kiti imajo razvit zelo dovršen sistem za pridobivanje informacij s pomočjo sluha v okolju z nižjo intenziteto svetlobe. To imenujemo eholokacija ali biosonar, ki je definirana kot oddajanje zvočnih pulzov in analiza vrnjenih odmevov, ki omogočajo pridobivanje informacij o bližnjih predmetih (Bradbury in Vehrencamp, 1998).

Značilnosti eholokacijskih signalov so odvisne od organov, ki proizvajajo in sprejemajo zvok, ter določene vrste. Delfini so razvili vrsto eholokacijskih signalov, tako zaradi njihove velikosti kot tudi evolucijskih pritiskov s strani plenilcev, plenov in habitata. Večina delfinov oddaja visokofrekvenčne širokopasovne klike, ki so na splošno višji od 50–60 kHz (Au, 1993).

Pri delfinih proizvodnje eholokacijskih signalov poteka v skeletnih strukturah, zračnih mešičkih in meloni v glavi delfina (Aroyan, 1992; Au, 1993). Ti signali so kratki ultrazvočni signali, ki so projicirani iz melone v ozkem snopu. Pogosto so karakterizirani s kombinacijo spektralnih in časovnih parametrov, kot so trajanje, pogostost, usmerjenost in amplituda. Vsi eholokacijski signali imajo, glede na velikost melone, visoko frekvenco (Ulrick, 1983) in so zato močno usmerjeni.

Da delfin lahko sprejme katerokoli informacijo o okolju, mora biti oddani eholokacijski klik v prvi vrsti dovolj močan (glasen), da doseže tarčo, se od nje odbije in ga nato delfin zopet lahko sprejme. Ta odmev da delfinu informacije o določeni tarči. Prav tako mora signal tolerirati številne motnje na poti od delfina do tarče in nazaj. Če te tolerance ni, se lahko del signala oziroma informacij izgubi. Ko oddani signal doseže tarčo, se bo del energije te tarče odbil nazaj proti viru. Količina odbite energije narašča z velikostjo tarče, ki je odvisna tudi od razlik v gostoti med vodo in telesno zgradbo plena. Ta odmev, ki temelji na impulzivnem odzivu, da delfinu informacije o določeni tarči (Jensen, 2011).

Ko se odmev vrne k delfinu, ga mora ta zaznati in interpretirati. To pomeni, da mora nivo odmeva presegati absolutni prag sluha živali. Hkrati ga mora biti možno zaznati kljub hrupu, šumom, odmevom v frekvenčnem pasu signala in prepoznati kot pojem potencialni plen.

Območje zaznavanja plena je za manjše delfine (in pliskavke) nekaj 10 metrov, za večje delfine pa več 100 metrov, odvisno od potencialnega plena in ravni hrupa v okolici (Akamatsu in sod., 2007; Madsen in sod., 2004).

3. 1. KATEGORIJE AKUSTIČNIH SIGNALOV

Podvodni zvoki, ki jih delfini oddajajo, so razdeljeni v tri strukturne kategorije: eholokacijske klike, impulzivne zvoke in žvižge (Caldwell in sod., 1990). Prav tako lahko te zvoke delimo v dve funkcionalni kategoriji: eholokacijske klike, ki jih uporabljajo za navigacijo in iskanje plena, ter impulzivne zvoke in žvižge, ki jih uporabljajo za komunikacijo (Herzing, 2000). Ker je nekatere signale težko pripisati določeni funkciji, je večkrat uporabljena strukturna kategorizacija.

Eholokacijski kliki so visokofrekvenčni, usmerjeni signali, ki jih oddajajo vsi delfini. Delfin aktivno odda zvok v okolje, zvok pa se nato odbija od različnih predmetov oziroma organizmov v okolju in se nato vrne kot odmev, ki ga delfin prestreže in na ta način ustvari jasno sliko o svojem okolju. V prvi vrsti se kliki uporabljajo za orientacijo in iskanje plena, vendar pa nekateri zobati kiti, kot so kit glavač (*Physeter macrocephalus*) in pliskavke, uporabljajo klike tudi za komunikacijo (Clausen in sod., 2010; Dawson, 1991).

Pri impulzivnih zvokih gre dejansko za klike, ki so tako hitri in tako blizu skupaj, da jih ljudje slišimo kot kontinuiran zvok. Takšni zvoki so povezani tako s hranjenjem kot tudi z medsebojnimi interakcijami med delfini. Impulzivni zvoki so dejansko tudi eholokacijski kliki, ki jih delfini uporabljajo, ko je plen že čisto blizu. Nekateri delfini, kot na primer orke, jih uporabljajo kot klice in so zato pomembni pri komunikaciji (Foote in sod., 2008).

Žvižgi se uporabljajo predvsem za medsebojno komunikacijo oziroma sporazumevanje (Herzing, 2000). Vsak delfin ima svoj lastni prepoznavni žvižg, ki se loči od žvižgov drugih delfinov (McCowan in Reiss, 1995; Janik in Slater, 1998). Takšni žvižgi imajo relativno ozkopasovne zvoke, ki pogosto spreminjajo frekvenco (Herzing, 2000). Ko se žvižg dokončno izoblikuje, ostane skoraj nespremenjen vse življenje. Ti žvižgi naj bi vsebovali

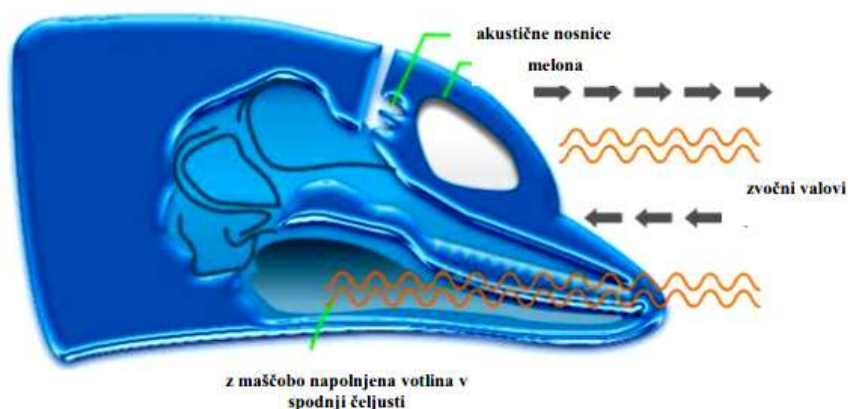
informacije o identiteti, lokaciji in počutju živali, sodelovali pa naj bi tudi pri združevanju v tesnejše skupine (Caldwell in sod., 1990).

3. 2. PRODUKCIJA ZVOKA

Delfini imajo dva tipa organov, ki sta zmožna produkcije zvoka: Kot vsi sesalci imajo grlo (larynx) in glasilke (plica vocalis) (Reidenberg in Laitman, 1988), ki so povezane z dihalnim sistemom. Delfini so tekom evolucije razvili specializiran nosni kompleks v povezavi z dihalnim sistemom. Tej strukturi, ki se nahaja poleg melone, pravimo zvočne ustnice (Cranford in sod., 1996). Zgodnje študije so proučevale, ali je vir produkcije zvoka pri delfinih primarno v grlu (Purves in Pilleri, 1983), nosnem čepu oziroma nosnem sistemu (Diercks in sod., 1971) ali pa je kombinacija obeh (Evans in Prescott, 1962). Danes je znano, da so zvočne ustnice zadolžene za produkcijo tako eholokacijskih signalov (Diercks in sod., 1971; Dormer, 1979; Ridgway, 1980) kot tudi zvokov (Ridgway, 1980).

Produkcija zvoka v nosnem kompleksu delfinov je pnevmatični proces, ki poteka v zaprtem sistemu (Amundin in Andersen, 1983; Dormer, 1979). Večina znanja o produkciji zvoka pri delfinih zadeva proizvodnjo visokofrekvenčnih eholokacijskih klikov. Eholokacijski kliki so proizvedeni ob potiskanju zraka skozi trdno vezivno in mišično tkivo, ki gradi zvočne ustnice (Cranford, 1988). Zrak v nosni votlini na ventralni strani zvočnih ustnic naj bi se stisnil z gibanjem grla, podobno gibanju bata (Cranford in sod., 1996), to pa povzroči povišan zračni pritisk v koščeni nosnicah (Elsberry, 2003). Zračni tlak nato regulira nosni čep, ki je na ventralni strani zvočnih ustnic. Ko tlak preseže mišično napetost v zvočnih usticah, se le-te za kratek čas ločijo, kar proizvede klik. Zvočne ustnice so se nato zopet prisiljene stisniti skupaj zaradi mišične napetosti in Bernoullijevih sil ob prehajanju zraka. Vsakokrat, ko se zvočne ustnice ločijo, preide majhna količina zraka iz zvočnih ustnic v vestibularne zračne mešičke (Mackay in Liaw, 1981). Ker se delfini potapljujejo za dlje časa, zaradi česar ne morejo obnoviti zaloge zraka, predstavlja to posebne težave pri pnevmatični produkciji zvoka. Za rešitev tega delfini reciklirajo zrak v nosnem sistemu, tako da lahko neprestano proizvajajo zvočne signale tudi, ko so pod vodo (Dormer, 1979).

Eholokacijski klik, proizvedeni v zvočnih ustnicah, gredo rostralno (v smeri kljuna) skozi par maščobnih teles, ki sta povezani z melono na delfinovem čelu (Cranford in sod., 1996). Melona je sestavljena iz lipidov in estrov voska. V jedru melone je hitrost zvoka nizka, proti zunanosti pa se povečuje. Ko zvok potuje skozi glavo delfina, lobanja in zračni mešički usmerijo večino energije v melono (Aroyan in sod., 1992). Medtem ko zvočni valovi potujejo skozi melono (slika 1), se nekoliko lomijo proti jedru, kjer je nižja hitrost zvoka, tako da je več zvočne energije usmerjene naprej. Rezultat tega je ozek naprej usmerjen signal (Au in sod., 1986). V meloni se hitrost zvoka postopoma povečuje, dokler ne doseže hitrosti zvoka v morski vodi. To ujemanje hitrosti zmanjšuje zvočne odboje in združuje produkcijo zvoka z okoliškim medijem (Au, 1993). Rezultat tega je oddajanje močnih, usmerjenih eholokacijskih klikov (Au in sod., 2010).



Slika 1: Prikaz sprejemanja in oddajanja zvoka pri delfinih
(vir: Stonehaven Dolphin Research Trust, 2012)

3. 3. SPREJEMANJE ZVOKA

Slušni sistem sesalcev delimo na tri dele: zunanje, srednje in notranje uho. Za razliko od kopenskih sesalcev delfini nimajo zunanjega ušesa ali z zrakom napolnjenih zunanjih kanalov (Ketten, 1992). Namesto tega sprejem zvoka primarno poteka skozi spodnjo čeljust (slika 1), nato pa je posredovan do srednjega in notranjega ušesa skozi majhen kanal v mandibuli (spodnji čeljusti) (Brill in sod., 1988). Ta kanal je napolnjen z lipidi, podobnimi tistim, ki jih najdemo v meloni. Zaradi nizke absorpcije zvoka in vloge pri zvočni prevodnosti je to tkivo pogosto imenovano akustična leča (Jensen, 2011). Potem, ko je zvok iz spodnje čeljusti posredovan preko timpanične votline v srednje uho, se poveže z ovalnim okencem notranjega ušesa preko vibracij v delu srednjega ušesa, imenovanega timpanična plošča (Hemila in sod., 1999; Nummela in sod., 1999a; Nummela in sod., 1999b). Srednje uho deluje kot impedančna prilagoditvena naprava, ki preprečuje izgubo pri prenosu zvoka med okoliško vodo in tekočino v polžu s pomočjo povečanja hitrosti delcev prihajajočih zvočnih vibracij (Hemila in sod., 1999; Nummela in sod., 1999a; Nummela in sod., 1999b). Kosti srednjega ušesa imajo tudi karakteristične resonančne frekvence, ki lahko vplivajo na občutljivost sluha in obseg slušnega polja (Rosowski, 1992).

Ko je zvok posredovan ovalnemu okencu na začetku notranjega ušesa, zvočne vibracije potujejo navzdol skozi tekočino v polžu. Polž je spiralno zavrt in vsebuje bazilarno membrano ter z njo povezane dlake. Premik bazilarne membrane zaznajo mehanoreceptorji na dlakah notranjega ušesa, ki kodirajo intenzivnost dražljaja v ponavljajočo se frekvenco živčnih impulzov, le-ti pa nato potujejo proti centralnemu živčnemu sistemu (Brill in sod., 2001). Togost bazilarne membrane z oddaljenostjo od ovalnega okenca pada (Moffet in sod., 1993). Menijo, da je delitev frekvenc v polžu rezultat te togosti gradienta, ker naj bi visokofrekvenčni zvoki bolj vplivali na dele bazilarne membrane, ki so bližje ovalnemu okencu, medtem ko naj bi zvoki nižjih frekvenc bolj vplivali na dele bazilarne membrane, ki so dlje od ovalnega okenca (Moffet in sod., 1993; Randall in sod., 2001). Zdi se, da morfologija lamin notranjega ušesa pri delfinih odraža akustične specializacije med vrstami delfinov (Ketten, 1992) in lahko v veliki meri razloži razlike v slušnih zmogljivostih med vrstami.

3. 4. SLUH IN SLUŠNE ZMOGLJIVOSTI

Delfini so najbolj občutljivi na zvoke nad ~10 kHz. Zgornje meje občutljivosti slušnega območja so od 31 kHz pri orki, pa tudi do nad 100 kHz pri nekaterih vrstah. Občutljivost delfinov na visokofrekvenčne zvoke je povezana z njihovo uporabo eholokacijskih pulzov zelo visokih frekvenc in zvokov zmerno visokih frekvenc za funkcije, kot je komunikacija. Sluh pri nizkih frekvencah je bil preučen pri malem številu vrst. Za primer lahko vzamemo veliko pliskavko, ki lahko sliši zvoke tudi na frekvenci 40–125 Hz. Vendar pa se pod ~10 kHz občutljivost s padanjem frekvence slabša. Zdi se, da je pod 1 kHz, kjer je skoncentrirana večina hrupa, občutljivost slaba, vendar so podatki skromni (Richardson, 1991).

Pri veliki pliskavki občutljivost pada, ko se trajanje posameznega pulza zmanjša pod 0,1–0,2 sekunde. Vendar pa imajo delfini živčne mehanizme, specializirane za procesiranje sekvenc kratkih pulzov – tako kot pri tistih, ki jih uporabljajo pri eholokaciji. Zato imajo tako dobro sposobnost diskriminacije jakosti in frekvence kot tudi dobre zmogljivosti za lokalizacijo (Richardson, 1991).

Slušne zmogljivosti delfinov preučujejo že vrsto let. Glavna razlika med delfini in njihovimi kopenskimi predniki je, da delfini lahko zaznajo zelo visoke frekvence (Johnson, 1968a) in so dosegli veliko večjo zmožnost časovne ločljivosti (Popov in Supin, 1997). Pri eholokaciji sta ti dve sposobnosti ključnega pomena. Krivulje slušnega praga, ki opisujejo občutljivost sluha na različnih frekvencah, so bile izmerjene za številne vrste delfinov. Pri veliki pliskavki so pokazale dobro občutljivost tudi pri 120–150 kHz, tako za čiste tonske signale (Johnson, 1968a) kot tudi za širokopasovne signale (Au, 2002). Avdiogrami se med posamezniki močno razlikujejo (Popov in sod., 2007), kar je lahko posledica izgube sluha s starostjo (Houser in Finneran, 2006a; Kloepper in sod., 2010).

Delfini so sposobni razločevati zelo majhne časovne razlike. Gre za sposobnost, ki je pomembna za oceno oddaljenosti predmeta med eholokacijo. Integracijski čas za zvočne signale okoli 4 kHz je pri velikih pliskavkah približno 200 ms (Johnson, 1968b), kar je blizu integracijskemu času pri ljudeh na tej frekvenci. Vendar pa se integracijski čas nad 4 kHz zmanjšuje, kar pomeni boljšo časovno ločljivost tonov višjih frekvenc. V primeru sprejemanja signalov, kot so na primer eholokacijski kliki, pa je ločljivost še boljša. Za visokofrekvenčne eholokacijske klike imajo delfini izrazito časovno ločljivost, kratko tudi 2–300 μ s (Au, 1993;

Supin in Popov, 1995). Prav tako so študije pokazale, da lahko individualnim klikom sledijo številni ponavljajoči se kliki od 800 klikov na sekundo (Szymanski, 1998) do več kot 1250 klikov na sekundo (Dolphin in sod., 1995; Mooney in sod., 2009). Natančno določanje kota plena, tako med eholokacijo kot med pasivnim poslušanjem, še dodatno olajšuje nalogo akustičnega iskanja plena (Au, 1993; Branstetter in Mercado, 2006).

Slušne specializacije delfinov vključujejo tudi izrazite sposobnosti razločevanja frekvenc, ki so potrebne za natančno razločevanje tarče (Yovel in Au, 2010). Delfini lahko zaznajo majhne razlike v debelini stene valjev (Au in Pawloski, 1992) in iz vrnjenih odmevov dobijo dovolj informacij, da razločijo med različnimi pleni (Au in sod., 2009; Yovel in Au, 2010). Velike pliskavke so sposobne razločevati zvoke, ki se v frekvenci razlikujejo za manj kot 1,3 %, pa vse do 0,2 % v njihovem celotnem slušnem območju 1–140 kHz (Thompson in Herman, 1975). Za razločevanje tarče bi moral eholokacijski delfin zaznati komaj opazne spektralne razlike v zelo kratkih odbojih prej kot v dolgih sinusoidnih signalih.

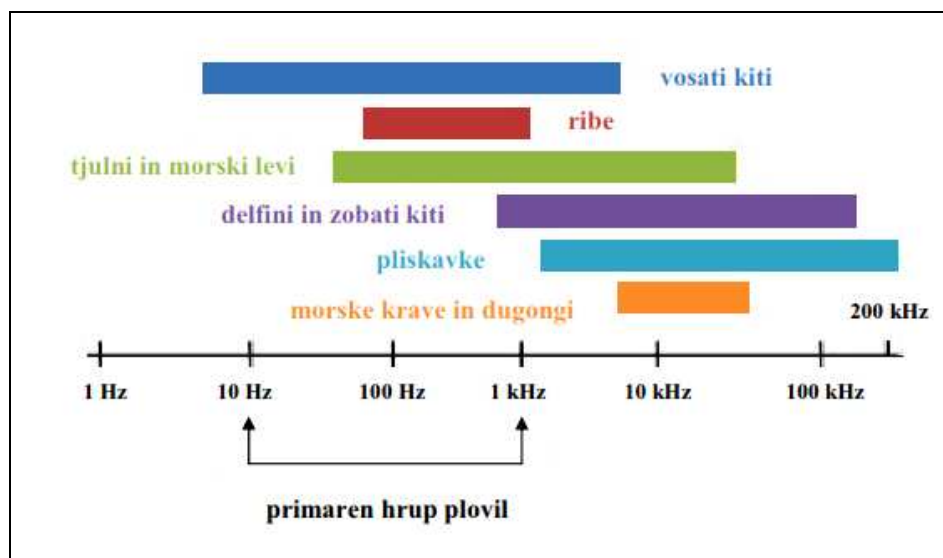
Nekateri delfini komunicirajo pod vodo z žvižgi na frekvancah pod 20 kHz; večina njihove energije je običajno okoli 10 kHz. Pri žvižgih so vrednosti lahko 100–180 dB. Orka sicer producira žvižge, vendar pa večinoma uporablja impulzivne zvoke na frekvenci 1–6 kHz (Richardson, 1991). Večina življenjsko pomembnih zvokov pri delfinih je nad nizkofrekvenčnim pasom, kjer je skoncentrirana večina hrupa.

Eholokacijske zmogljivosti delfinov so zelo dobro razvite. Eholokacijski pulzi so v večji meri visokofrekvenčni, 30–100 kHz ali višji. Vendar pa imajo eholokacijski signali orke največ energije na 12–25 kHz. Začetne vrednosti delfinovega signala sicer lahko presežejo 200 dB. Vplivno območje delfinovega sonarja je lahko tudi do 350 m, odvisno od okoljskega hrupa, velikosti in odbojnosti tarče, vrste in številnih drugih faktorjev (Richardson, 1991).

Kritična razmerja in kritični obsegi (Fletcher, 1940) so pomembni za določitev potenciala zakrivajočega hrupa. Kritično razmerje je količina (v dB), s katero mora zvočni signal prekoračiti nivo hrupa iz ozadja (na Hz), da ga lahko žival zazna (Richardson, 1991). Kritični pasovi pri veliki pliskavki se zdijo širši, kot je bilo predvideno na osnovi predpostavk z enako močjo. Kritični pas je frekvenčno območje, v katerem hrup vpliva na zaznavanje zvočnih signalov, katerih frekvenca je blizu sredine kritičnega pasu. To pomeni, da nekateri delfini

zaznavajo določene zvoke, tudi ko je signal šibkejši od celotnega hrupa iz ozadja (slika 2). Večina eksperimentov z zakrivanjem je pokazala sposobnost živali, da zazna zvočni signal v prisotnosti hrupa, ki prihaja iz enake smeri. Pri zelo visokih frekvencah (na primer 80 kHz) je zakritost močno zmanjšana, to pa velja tudi, kadar zvočni signal in zakrivanje prihajata iz različnih smeri ali kadar signal pride iz ene smeri, hrup pa iz več drugih. To zmanjšanje v zakrivanju je zaradi usmerjenega sluha manj očitno pri zmernih frekvencah (na primer 18 kHz) (Richardson, 1991).

Pri nizkofrekvenčnih signalih bo hrup s frekvenco, ki je blizu frekvenci signala, oviral zaznavanje signala. Analizator zvočnih frekvenc v polžu sesalcev je običajno oblikovan kot banka filtrov, ki naj bi predstavljali frekvenčni odziv posamezne dlake notranjega ušesa (Fletcher, 1940). Zvočni filtri v slušnem sistemu velike pliskavke so po poročanju okvirno sorazmerni centralni frekvenci testnega signala (Au in Moore, 1990; Johnson, 1968a). Au in Moore (1990) sta izmerila, da so kritične pasovne širine nekoliko višje kot ena tretjina oktave za velike pliskavke (približno 23 % centralne frekvence), kar je običajno predvidevana zakrivajoča pasovna širina za sesalce, ki zaznavajo čiste tone v hrupu.



Slika 2: Prikaz povezave med zvoki morskih živali in hrupom plovil (vir: Southall, 2005)

4. DELFINI IN HRUP

Iz znanstvenih raziskav o delfinih je jasno, da sta zaznavanje in produkcija zvokov ključnega pomena za njihovo življenje s številnih pogledov (Au, 1993; Johnson, 1968a; Popov in Supin, 1997; Herzing, 2000; Foote in sod., 2008), zato je njihova občutljivost na antropogeni hrup toliko večja. Določeni zvoki tako vplivajo na sposobnost zaznavanja zvoka, kot so odboji od plena in naravni zvoki, katerih cilj je navigacija in hranjenje (Clark in Ellison, 2004).

Vire hrupa lahko delimo na naravne in antropogene. Med naravne vire sodijo zvoki, ki nastajajo med aktivnostmi v Zemljski skorji (potresi, vulkansko delovanje), vetrovi, valovi ter oglašanje morskih sesalcev in rib. Antropogeni hrup je umetnega izvora in vključuje hrup plovil, hrup ki ga povzročajo vojaške dejavnosti (sonar, detonacije) ter hrup povezan z industrijsko dejavnostjo ter grednjo na morju (vrtanje, hrup mehanizacije, iskanje olja in nafte) (Simmonds in sod., 2004). Največji del antropogenega hrupa predstavlja prav hrup plovil.

Z vidika prejemnika obstajata dve vrsti zvoka. Signali so zvoki, ki vsebujejo biološko pomembne informacije (na primer lokacija partnerja ali plenilca), in so glede na vse ostale zvoke razmeroma redki. Kot hrup pa opredelimo zvoke, ki ne vsebujejo biološko pomembnih informacij. Skoraj vsi naravni in antropogeni zvoki pomenijo hrup za žival, ki sprejema signal. Zvoki, ki jih oddajajo plovila, so skoraj izključno opredeljeni kot hrup (izjema bi bil hrup v primeru, ko žival posluša približujoče se plovilo, da se izogne trku z njim). Izraz hrup plovil se tako lahko uporablja premišljeno, glede na vplive pri prejemniku (Southall, 2005).

Delfini zagotovo slišijo antropogeni hrup iz različnih virov, primarno pa so izpostavljeni podvodnim zvokom. Večina antropogenih zvokov, ki so jim izpostavljeni, je skoncentrirana na nizkih frekvencah. Kljub temu pa obstajajo izjeme, kot na primer ladijski sonarji. Delfini so bolj prilagojeni na zaznavanje visokofrekvenčnih zvokov, nedvomno pa slišijo tudi močne zvoke nizkih frekvenc (Richardson, 1991).

Zvok ima široko območje delovanja in včasih pokriva tudi milijone kvadratnih kilometrov oceana z dovolj moči, da v delfinih povzroči nemir (Weilgart, 2007a). Sicer pa dejstvo, da delfini lahko zaznajo antropogeni hrup, še ne pomeni, da ima le-ta škodljiv vpliv nanje. Nekatere vrste se pogosto pojavljajo dovolj blizu vira hrupa, zato lahko sklepamo, da hrup nima vpliva na njihove aktivnosti. Kadar so živali opažene na takih območjih, pa je vseeno težko vedeti, koliko živali bi našli na tem območju, če hrupa ne bi bilo. Prav tako ni informacij o možnostih, da so delfini na takih območjih pod stresom ali kakšnimi drugačnimi vplivi v pogledu na dolgoročne posledice ali reproduktivno uspešnost (Richardson, 1991).

4. 1. VPLIV HRUPA PLOVIL

Človeške aktivnosti proizvajajo zvok v morskem okolju iz najrazličnejših razlogov. Antropogeni zvoki, ki so se začeli s prihodom industrializacije, so v morskem okolju relativno novi (Richardson in sod., 1995). Takšne spremembe v lokalnem akustičnem območju lahko vplivajo na različne pomembne biološke funkcije (Payne in Webb, 1971), kot na primer težave pri komunikaciji, razmnoževanju, zaznavanju plena in v skrajnih primerih izguba habitata zaradi izogibanja določenih območij. Vrste in območja teh vplivov so močno odvisni od značilnosti vira zvoka, okolja, v katerem se zvok pojavi, in živali, ki ta zvok sprejema.

Trgovske ladje so vsesplošno prisotne v svetovnih oceanih. Analize oddajanja zvokov ladij (Ross, 1976) so pokazale, da so to glavni viri podvodnega hrupa na frekvencah pod 300 Hz na severni polobli, torej na območjih, ki so pomemben habitat za številne živali (Worley in Walker, 1982; Bachman in sod., 1996; Zakaruskas in sod., 1990; Heitmeyer in sod., 2004). Število in velikost trgovskih ladij se od leta 1950 povečujeta, in tako se proizvajajo vedno večje količine podvodnega hrupa kot naključni stranski produkt njihovega delovanja. Glede na globokomorske raziskave v severovzhodnem Tihem oceanu se je nizkofrekvenčni hrup v morju približno podvojil s povečanjem hrupa za okoli 3 dB v vsakem od preteklih desetletij, kar je v življenjskem obdobju številnih živali (Andrew in sod., 2002). Hrup okolja se je tako v primerjavi s predindustrijskimi vrednostmi povečal za vsaj 15–20 dB. Glede na to, da se viri naravnih zvokov ne spreminjajo dramatično v tako kratkem času, je primarni vzrok za povečanje hrupa povečanje trgovskega ladijskega prometa (Andrew in sod., 2002; McDonald in sod., 2006). Večanje okoljskega hrupa zaradi plovil lahko privede do interakcije z biološko pomembnimi signali (Richardson in sod., 1995).

V odsotnosti bližnjih ladij v nizkofrekvenčnem okoljskem hrupu prevladuje hrup iz oddaljenih ladij. Prispevek ladijskega prometa k okoljskemu hrupu je še posebno velik blizu večjih luk in na ladijskih poteh z gostim prometom. Obstaja asimetrija v gostoti ladijskega prometa med severno in južno poloblo, z višjim nivojem ladijskega prometa na severu (Wright, 2008). Več ladijskega prometa na severni polobli pojasni, zakaj je okoljski hrup na nekaterih mestih južne poloble lahko tudi 20 dB manjši kot povprečje na severni polobli (Cato, 1976). Velika gostota ladijskega prometa v Sredozemlju ima kot rezultat višji nivo okoljskega hrupa (Ross, 2005). Veliko skrb predstavljajo območja, kjer se življenjski prostor živali prekriva z zelo gostim ladijskim prometom, to so še posebej ladijske poti in območja luk, skozi katera delfini migrirajo, se na njih pariyo in/ali hranijo.

Nivo hrupa plovil je v grobem povezan z velikostjo, hitrostjo in načinom delovanja plovil. Velika plovila običajno oddajajo več hrupa kot majhna, prav tako natovorjena plovila oddajo več hrupa kot prazna. Velik vpliv na oddajanje hrupa ima tudi stanje vzdrževanosti. Plovila s starimi pomožnimi stroji (na primer generatorji in kompresorji) običajno oddajajo več hrupa kot nova ali dobro vzdrževana plovila (Richardson, 1991). Pri nizkih hitrostih ladij prevladuje hrup strojev. Primarno so to nizkofrekvenčni zvoki, vendar pa menjalniki in plinske turbine proizvajajo zvoke med 1 in 4 kHz. S pospeševanjem plovila se poveča tudi hrup. Raven hrupa se giblje nekje od 150–160 dB za majhna plovila z zunanjimi motorji (gliserji) do 185–200 dB za velika plovila (tankerji, kontejnerske ladje) (Richardson, 1991). Različni elementi plovil proizvajajo zvoke različnih frekvenc, ki se v vodi neenakomerno prenašajo (najbolj učinkovito se širijo nizkofrekvenčni zvoki).

Večina (83 %) akustičnega območja (Southall, 2007), ki obdaja velika plovila, je rezultat kavitacije propelerja (ko zračni prostori, ustvarjeni z gibanjem propelerja, propadejo). Propelerji proizvedejo močnejši hrup, če so poškodovani, ne delujejo sinhrono ali pa delujejo brez nastavkov. Veliko hrupa lahko oddajajo tudi pogonski in pomožni stroji. Dominantna frekvenca se povečuje z manjšanjem velikosti plovila. Za srednje velika (ladje) in velika plovila (tankerji) je značilen hrup nekje pod 15 Hz; večino energije je pod 100 Hz, nekaj pa tudi do 500 Hz. Hrup manjših plovil je bolj skoncentriran na višjih frekvencah. Manjša plovila z zunanjimi motorji oddajajo hrup med okoli 100 Hz, pa do nekaj kHz (Richardson, 1991).

Veliko dosedanjih raziskav o vplivu aktivnosti plovil na delfine vključuje plovila, ki so občutno manjša od na primer tankerjev, kontejnerskih ladij in križark. Raziskave kažejo, da številne vrste delfinov, izpostavljene bližnjim srečanjem in hrupu različnih plovil, spremenijo tako vedenje (Janik in Thompson, 1996; Nowacek in sod., 2001; Williams in sod., 2002; Hastie in sod., 2003), kot tudi oglašanje (Van Parijs in Corkeron, 2001; Buckstaff, 2004). Te spremembe v vedenju neposredno vplivajo na porabo energije in imajo potencialni vpliv na hranjenje, navigacijo in razmnoževanje.

Sposobnosti za odkrivanje vplivov so največkrat omejene, še posebej pri živalih, kot so delfini. Zaradi praktičnih razlogov so največkrat proučevane kratkoročne reakcije, vendar pa jih težje interpretiramo. Po drugi strani pa se lahko pojavijo dolgoročni vplivi na populacijo brez opaznih kratkoročnih reakcij, kot je to bilo prikazano pri velikih pliskavkah, *Tursiops spp.* na območju Shark Bay, Australia (Lusseau in Bejder, 2007). Raziskava je pokazala, da se s povečanjem števila čolnov, prisotnost velikih pliskavk zmanjša za približno eno sedmino.

Kumulativni vpliv različnih virov hrupa bi moral biti obravnavan pri oceni vpliva. Čeprav je del populacije, ki je izpostavljena le enemu viru, lahko majhen, je del populacije, ki je izpostavljena vsaj enemu viru hrupa, lahko veliko večja. Prisotnost številnih virov hrupa tako povzroča večjo zakritost signalov, vedenjske motnje in kratkoročno odsotnost. Zaskrbljujoč je tudi seštevek vplivov neakustičnih in akustičnih komponent človeških aktivnosti. Tekom časa se ti vplivi zmanjšajo, saj se živali na hrup delno privadijo.

Pričakovano je, da bodo v prihodnosti trendi industrijskega ladijskega prometa (na primer povečana uporaba poti s kratkimi razdaljami in predviden porast transarktičnega prometa z odprtjem Arktičnega oceana) spremenili razporeditev bližnjega in oddaljenega ladijskega hrupa v oceanih (Southall, 2005).

4. 2. ZAKRIVANJE S HRUPOM PLOVIL

Pomemben vpliv povečanja okoljskega hrupa na delfine je, da lahko ta hrup preglasi biološko pomembne zvoke (na primer moti jasen sprejem signalov) (slika 2) in tako pride do motenj pri razmnoževanju in hranjenju. Motnje se na primer pokažejo kot težave pri iskanju partnerja ali hrane, kar posledično pomeni upad populacije (Lusseau in Bejder, 2007). Hrup tako lahko zakrije pomembne akustične okoljske signale, ki jih delfini uporabljajo za navigacijo in/ali zaznavanje okolja, vključno z zvoki, ki jih uporabljajo za zaznavanje plenilcev. Večina akustične energije, ki jo oddajajo trgovska plovila, je pod 1 kHz. Največji potencial za zakrivanje najdemo pri živalih, ki proizvajajo in zaznavajo nizkofrekvenčne zvoke (na primer pri vosatih kitih). Ko je plovilo v neposredni bližini živali, obstaja potencial za zakrivanje na višjih frekvencah (1–25 kHz). V tem frekvenčnem območju lahko zakrivanje občutijo tudi delfini (Wright, 2008).

Številne študije so povezale vpliv zakrivanja z nizkofrekvenčnim ladijskim hrupom (na primer Erbe, 2002; Weilgart, 2007b). Erbe (2002) je ugotovil, da orkam zakrivajoči hrup čolnov otežuje sprejem jasnih eholokacijskih signalov tudi do 14km od vira hrupa, kar vpliva na njihovo komunikacijo. Prav tako je raziskava pokazala, da močan hrup lahko povzroči začasno spremembo meje sluha (TTS). Weilgart (2007) pa poroča, da povečanje zakrivajočega hrupa povzroča manjšo natančnost pri zaznavanju plena. Kot rezultat povečanja zakrivajočega hrupa za 15–25 dB, je natančnost zaznavanja upadla za 50% (Weilgart, 2007b).

Čeprav lahko nekatere vrste v izogib zakrivanju s hrupom plovil prilagodijo njihove komunikacijske signale, je obseg prilagoditev omejen vedenjsko, fiziološko in okoljsko. Te prilagoditve pripomorejo k prepoznavanju biološko pomembnih zvokov pred hrupom ozadja. Prav zato predvidevajo, da so te prilagoditve zelo pomembne za preživetje in/ali razmnoževanje. Živali, ki so prilagojene na sprejemanje signalov in komunikacijo z zvoki iz predladijskega obdobja, se najverjetneje še niso imele časa prilagoditi na bolj hrupno okolje (Wright, 2008).

Zakrivanje je naraven in močno variabilen pojav, na katerega morajo delfini razviti toleranco. Nedvomno lahko delfini tolerirajo nekolikšno povečanje zakrivajočih zvokov glede na naravni nivo hrupa, vendar pa so omejitve te tolerance neznane. Pomembnosti zakrivajočih zvokov v naravnih območjih ne moremo natančno določiti, dokler ne izvemo več o funkcionalni pomembnosti šibkih signalov plenilcev, plena in drugih naravnih virov; sposobnostih zaznavanja signalov v prisotnosti okoljskega hrupa, vključno s sposobnostmi usmerjenega poslušanja na frekvencah, kjer je problem tudi zakrivanje; sposobnostih prilagoditve jakosti in morda frekvenc oddajanih zvokov, da bi zmanjšali vpliv zakrivanja (Richardson, 1991). Delfini sicer prenašajo motnje plenilcev, slabo vreme in druge naravne pojave, zato ni dvoma, da lahko tolerirajo občasne motnje s strani človeka.

4. 3. ODZIV NA HRUP PLOVIL

Reakcije delfinov na hrup so zelo različne in so odvisne od vrste, posameznika, starosti, spola in predhodnih izkušenj s hrupom. Tudi vrste s podobnimi slušnimi zmogljivostmi se lahko odzovejo zelo različno na enako vrsto hrupa (IWC, 2007). Odzivi delfinov na hrup so velikokrat komaj zaznavni, prav tako pa je nekaj primerov, kjer je mogoče opaziti toleranco na hrup. Kljub temu da ni opaziti očitnih sprememb v aktivnostih, lahko živali vseeno občutijo velike posledice. Radij odzivnosti se močno razlikuje med posamezniki glede na lokacijo in čas (Richardson, 1991). Ni pravega merila za reakcijo določene vrste na neko človeško aktivnost. Opažene reakcije delfinov kot rezultat največkrat privedejo do manjše učinkovitosti iskanja hrane, višje energetske porabe, manjše povezanosti s skupino, povečanje plenilstva ter zmanjšane razmnoževanja, in tako resno vplivajo na populacijo (Weilgart, 2007a).

Reakcije delfinov na antropogeni hrup so v večih pogledih podobne reakcijam drugih morskih sesalcev, prav tako tudi kopenskim (še posebej kopitarjem) (Flower, 1883). Hrup vpliva na nekatere pojave, kot je fiziološki stres, ki je pri kopenskih sesalcih veliko boljše raziskan. Študije vplivov motenj na kopenske sesalce bi tako lahko tisti, ki načrtujejo in interpretirajo študije morskih sesalcev, vzeli na znanje.

4. 3. 1. Spremembe v oglašanju

Kot odgovor na hrup lahko delfini prilagodijo (zmanjšajo ali povečajo) produkcijo zvokov, ki jih uporabljajo za komunikacijo, hranjenje, izogibanje plenilcem ali pridobivanje informacij iz okolja (Van Parijs in Corkeron, 2001). Povečanje oglašanja lahko predstavlja poskus živali, da bi preglasila zakrivajoči hrup. Tak hrup lahko tako zmanjša obseg, v katerem je signal slišen, in tudi zmanjša kvaliteto informacij v signalu. Kot primer lahko navedemo orke, ki so zaradi velikega števila plovil povečale trajanje njihovih klicev (Foote in sod., 2004) in velike pliskavke, ki so kot reakcija na bližajoče se čolne proizvedle več žvižgov (Buckstaff, 2004). Kot odziv na hrup je bilo opaženo tudi zmanjšanje oglašanja, včasih celo prenehanje za nekaj tednov ali mesecev. Glede na vrsto signalov ima to lahko različne posledice pri razmnoževanju, hranjenju ali socialni povezanosti (Weilgart, 2007a).

4. 3. 2. Spremembe v potopih in pri hranjenju

Opaženo je bilo, da živali ob prisotnosti hrupa spremenijo svoje vedenje na morski gladini (Janik in Thompson, 1996). Povsem verjetno je, da se bo zmanjšala učinkovitost hranjenja, če bodo potopi z namenom hranjenja moteni oziroma prekinjeni (Weilgart, 2007a). Ob dovolj pogostih, ponavljajočih se primerih prekinitev hranjenja in hitrega plavanja bodo posledice vidne v sami fizični kondiciji živali (Richardson, 1991), kar dolgoročno vpliva na njihovo verjetnost preživetja. Williams in sodelavci (2006) so z raziskavo pokazali, da se je orkam zaradi hrupa plovil zmanjšala učinkovitost hranjenja in povečal čas plavanja. Sam vnos hrane se je tako zmanjšal za 18 %, poraba energije pa se je povečala za 3 %.

4. 3. 3. Izogibanje habitatu in odsotnost na hrupnem območju

Rezultati večih raziskav poročajo, da se delfini izogibajo zelo hrupnih območji (Lusseau in Bejder, 2007; Rako in sod., 2012). Redko lahko določimo specifičen razlog očitne dolgoročne odsotnosti, saj je pojav zapustitve območja težko raziskati (Richardson, 1991). Odsotnost na pomembnih območjih hranjenja in parjenja je bila dokumentirana pri nekaterih vrstah delfinov, ki so bile izpostavljene hrupu (Weilgart, 2007a). Posledica odsotnosti je izguba habitata. Prav tako so bile opažene majhne, a očitne spremembe v migracijskih poteh pri

nekaterih vrstah, ko so bile le-te izpostavljene hrupu na njihovih migracijskih poteh (Weilgart, 2007a).

Z raziskavo v Kvarnerju so Rako in sodelavci (2012) prišli do ugotovitve, da ima hrup hitrih rekreacijskih plovil negativen vpliv na razširjenost velikih pliskavk. Število rekreacijskih plovil je zaradi turizma v poletnih mesecih večje, s tem pa se poveča tudi hrup okolja. Povečan hrup privede do izogibanja habitata, zaradi česar je bila najmanjša gostota delfinov zabeležena poleti (Rako in sod., 2012).

4. 3. 4. Okvare sluha

Če je hrup dovolj glasen in dolg, lahko povzroči začasno izgubo sluha (bodisi preko določenih frekvenc bodisi bolj specifično – na manjšem območju frekvenčnega pasu), kar je bolje znano kot začasna sprememba meje sluha ali TTS (angl. temporary threshold shift) (Erbe, 2002). Na splošno velja, da daljši in višji, kot je zvok, večja je verjetnost, da pride do TTS-a (Erbe, 2002). Na zelo aktivnih ladijskih poteh in v pristaniščih bi tam živeče vrste lahko utrpel delno izgubo sluha, če bi bile hrupu izpostavljene dlje časa. Če je izpostavljenost daljša, se ponavlja ali pa gre le za en zelo glasen zvok, so lahko okvare sluha trajne, kar je bolje znano kot trajna sprememba meje sluha ali PTS (angl. permanent threshold shift). Velika verjetnost PTS-a je na zelo aktivnih ladijskih poteh in v pristaniščih. Cook (2006) poroča o razlikah v slušnih zmogljivostih med posamezniki. Ti se lahko razlikujejo tudi do 80 dB. Prišla je do ugotovitve, da imajo živali v ujetništvu bolj prizadet sluh kot živali enake starosti na prostosti. Poudarila je tudi, da imajo živali, katerih sluh je močno prizadet, veliko manjše možnosti za preživetje. Okvare sluha lahko tako delfine ubijejo posredno (Weilgart, 2007a). TTS in PTS naj bi imela enak učinek na živali kot zakrivajoči hrup s posledicami: zmanjšana učinkovitost hranjenja, zmanjšano razmnoževanje, zmanjšana socialna povezanost in zmanjšana sposobnost zaznavanja plenilcev.

4. 3. 5. Stres

Hrup ima na delfine lahko tudi številne fiziološke učinke. Čeprav številna mnenja kažejo, da hrup povzroča fiziološki stres pri delfinih, je bilo narejenih malo raziskav. Romano in sodelavci (2004) so v ujetništvu veliko pliskavko izpostavili čistim tonom med 1 in 3 kHz.

Pogledali so prisotnost in nivo številnih hormonov v krvi (med drugimi tudi za kortizol) pred in po izpostavitvi zvoku. Opazili so spremembe v vrednostih kortizola (stresni hormon) in jih ocenili kot škodljive. Te spremembe so se povečale ob večanju jakosti zvoka (Weilgart, 2007a).

Dolgoročna izpostavljenost hrupu lahko prav tako povzroči stresni odziv pri delfinih (Wright in sod., 2007). Obstaja možnost, da delfini, ki so izpostavljeni vsesplošno prisotnemu hrupu, trpijo zaradi kroničnega stresa, podobno kot ljudje, ki živijo blizu avtocest ali letališč (Evans, 2001).

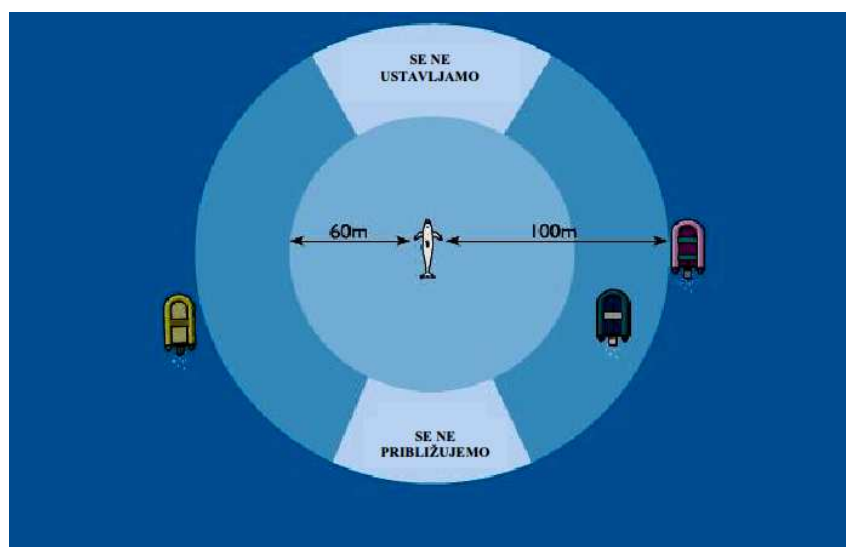
Obstajajo fiziološke omejitve pri tem, kako dobro lahko delfini prenašajo višji nivo hrupa. Zmanjšane izrazite vedenjske reakcije na dolgoročno izpostavljenost hrupu lahko zmotno povežemo z izboljšanjem fiziološkega (ali psihološkega) stanja. Na primer žival, ki se je naučila tolerirati izpostavljenost zvoku z namenom, da se lahko hrani ali razmnožuje, še vedno lahko trpi fiziološke učinke (Wright, 2008). Če ima stres vpliv na posameznikovo preživetje, ima posledično tudi vpliv na populacijo (Wright in sod., 2007).

4. 3. 6. Spremembe v vedenju

Številne študije so pokazale, da lahko delfini, ki so bili izpostavljeni hrupu plovil, spremenijo vedenje (Williams in sod., 2002; Hastie in sod., 2003). Opaženo je bilo, da hrup vpliva na vedenje od komaj zaznavnih reakcij, pa vse do zelo izrazitih (Richardson in sod., 1995). Reakcije lahko na primer variirajo od sprememb v smeri plavanja pa do pobega. Tudi te spremembe imajo velik vpliv na njihove življenjske funkcije.

Večjo skrb kot posamezne kratkoročne motnje predstavlja dolgotrajna ali ponavljajoča se motnja, ki se lahko pojavi, če bi bila hrupna človekova dejavnost postavljena neposredno v bližino območja, kjer se nahaja večje število živali. Dolgoročne posledice dlje trajajočih motenj so deloma odvisne tudi od sposobnosti delfina, da se na njih navadi (Richardson, 1991). Prav tako obstaja možnost, da hrup vodi do nasedanj in smrti (ICES, 2005).

Spremembe vedenja so povezane tudi s prisotnostjo plovil. Z upoštevanjem preprostih pravil, je negativni vpliv mogoče zmanjšati. Slika 3 nam tako da jasno predstavo, kako se delfinom približamo ne da bi jih pretirano vznemirjali. Sledimo jim vzporedno v smeri njihovega plavanja, približamo pa se počasi, pri čemer se izogibamo nenadnim spremembam smeri in hitrosti. Ko smo v njihovi bližini, hitrost plovila upočasnimo in pustimo, da se nam približajo sami. Ne povzročamo nenadnih zvokov, saj jih to vznemirja, v njihovi bližini pa se ne zadržujemo več kot 30 minut. Prepričamo se, da je v premeru 100 m od delfinov le eno plovilo, v krogu 200 m pa ne več kot 3 plovila, saj se s številom plovil povečuje tudi hrup. Območje srečanja zapustimo postopoma in počasi pospešujemo šele, ko je plovilo oddaljeno vsaj 100 m od delfinov.



Slika 3: Prikaz uporabe pravil za zmanjšanje negativnih vplivov na delfine (vir: Plavi svijet, 2012)

4. 4. ZMANJŠANJE VPLIVA HRUPA PLOVIL

Vpliv hrupa zaradi človeških dejavnosti je pogosto mogoče zmanjšati s previdnim načrtovanjem. Zmanjševanje je včasih mogoče z ustrezno izbiro ali načrtovanjem opreme. Velikokrat je aktivnosti mogoče prilagoditi letnemu času, s tem bi se lahko izognili času, ko so živali prisotne ali najbolj občutljive (Richardson, 1991). Najbolj občutljivim območjem se je mogoče izogniti s preišljeno izbiro poti plovil.

Posebna zaskrbljenost se pojavi, kadar je večji del populacije delfinov skoncentriran na območju, kjer je hrup povečan. Bolj kot samo število plovil so pomembne poti plovbe in konstrukcija plovil (Southall, 2005). Obalne poti velikih plovil so relativno dobro definirane, medtem ko so neobalne poti veliko bolj nepredvidljive. Pričakovano je, da se bo gostota na obstoječih obalnih poteh povečala, prav tako pa lahko pričakujemo tudi nove poti, saj se odpirajo nove luke, stare pa se širijo.

Vojska ima razmeroma dolgo zgodovino »tihih« plovil, saj le tako lahko zmanjšajo možnosti, da jih zasliši oziroma odkrije sovražnik. Obstaja nekaj skupnih značilnosti med vojaškim in civilnim okoljem v smislu zmanjšanja hrupa plovil, kar je bazirano na fiziki zvoka in načinu gradnje (Southall, 2005). Prizadevanja za zmanjšanje hrupa so najbolj učinkovita, če so vključena v konstrukcijo ladje. Prav tako je učinkovito naknadno opremljanje plovil, vendar zelo drago.

Kot je bilo že omenjeno, je večina oddanih zvokov iz velikih plovil rezultat kavitacije propelerja. Prav zato je največ truda za utišanje plovil osredotočenega na načrtovanje in delovanje propelerja, ki omejuje ali zmanjšuje kavitacijo. Prav tako je pomembno, kako globoko v vodi je propeler nameščen. Za zmanjšanje oddajanja hrupa plovil obstajajo tudi številne tehnike, ki zvok izolirajo ali absorbirajo. Moderne dizelske električne motorje se lahko opremi z izolacijo (včasih tudi dvojno) in fleksibilnimi cevmi za zmanjšanje oddajanja hrupa (Southall, 2005). Vendar pa so učinkoviti omejitveni ukrepi praktični le v primerih, kadar majhne spremembe v poti ali času plovbe znatno zmanjšajo izpostavljenost hrupu.

4. 5. VPLIV HRUPA PLOVIL V SLOVENSKEM MORJU

Tako kot drugje po svetu so tudi v slovenskem morju prisotna plovila. V zadnjem desetletju se je število rekreacijskih čolnov in ladij v Sredozemlju močno povečalo (Dobler, 2002) in se še povečuje, vendar pa so možnosti za nastale vedenjske motnje in izgubo habitata slabo preučene. Žal v Sloveniji še ni bilo opravljenih raziskav na temo vpliva hrupa na delfine, vendar pa lahko na podlagi drugih raziskav potegnemo vzporednice, ki očitno kažejo na motnje vsakdana pri delfinih.

V vseh slovenskih marinah je bilo v letu 2008 zabeleženih 7774 plovil. Od tega je bilo 2053 plovil nameščenih na kopnem, 5721 plovil pa je uporabilo urejene obale marin za privez v morju. Med plovili so glede na njihovo velikost najštevilčnejša plovila dolga od 10 do 12 m. Število plovil v slovenskih marinah (s privezom v morju ali na kopnem) se je v letu 2008 v primerjavi z letom 2007 povečalo za okoli 6 % (Statistični urad Republike Slovenije, 2009).

Po podatkih društva Morigenos, ki poleg preučevanja delfinov zbira tudi podatke o številu plovil, je v turistični sezoni (od junija do septembra) na območju Pirana dnevno prisotnih od 50 do 250 plovil (T. Genov in P. Kotnjek, osebna komunikacija). Očitno je, da so delfini tudi pri nas izpostavljeni hrupu plovil, zato bi tudi v Sloveniji morali razmisliti, kako zmanjšati vnos hrupa v njihov življenjski prostor.

Ker je območje severnega Jadrana relativno majhno in plitko, je izpostavljenost hrupu toliko večja. Najbolj učinkovito bi bilo omejiti samo oddajanje hrupa plovil – uporaba sodobnejše in predvsem tišje opreme. Ena od možnosti je tudi omejitev gostote plovil na območjih, ki so pomembna za biološke funkcije delfinov, verjetno pa bi veliko naredili že z ozaveščanjem ljudi o njihovi prisotnosti in pravilih približevanja. Namreč, velikokrat jim ljudje (da bi jih bolje videli) s čolnom sledijo, namesto da bi se umaknili ali celo ugasnili motor.

6. ZAKLJUČEK

V zaključni nalogi je predstavljen vpliv hrupa plovil na delfine na primeru velike pliskavke, ki je globalno najbolj raziskana vrsta delfina in je hkrati prisotna tudi v Sloveniji. Hrup vpliva na njihovo sposobnost zaznavanja zvoka in povzroči številne spremembe v oglašanju, vedenju, potopih, hranjenju, vpliva na izogibanje habitatu in odsotnost ter povzroča stres in okvare sluha. Prikazani so tudi odzivi delfinov na hrup plovil, ki so odvisni od vrste, posameznika, starosti, spola in predhodnih izkušenj s hrupom. Prav tako pa so predstavljene nekatere možnosti zmanjšanja hrupa plovil.

V prihodosti so na tem področju potrebne še številne raziskave. V prvi vrsti je potrebno bolje preučiti slušne zmogljivosti vsake vrste posebej, saj le tako lahko razumemo vpliv hrupa plovil na delfine. Prav tako so potrebna tudi številna opazovanja odzivov delfinov. Zelo malo je znanega o dolgotrajnih posledicah hrupa na delfine, nekaj več sicer o kratkotrajnih, a je poskuse v naravi težko izvajati in še težje nadzorovati (potreben je nadzor vseh komponent, ne le dveh ali treh). Problem predstavljajo tudi podvodne aktivnosti delfinov, saj takrat največkrat nimamo nadzora nad dogajanjem oziroma reakcijami. Poskusi z delfini v ujetništvu nam tako lahko dajo le delno sliko, vendar so rezultati teh raziskav še vedno zelo pomembni pri razumevanju delfinov v naravi.

Ker hrup iz leta v leto narašča (okoli 3 dB na desetletje), so potrebne tudi raziskave na področju zmanjševanja hrupa plovil. Potrebno je razviti boljšo, predvsem pa tišjo opremo, s čimer bi zmanjšali vpliv hrupa na delfine. Prav tako je mogoče postaviti nove poti in preusmeriti stare ter se tako izogniti območjem, kjer so živali bolj občutljive.

7. LITERATURA IN VIRI

- Akamatsu, T., Teilmann, J., Miller, L. A., Tougaard, J., Dietz, R., Wang, D., Wang, K. X., Siebert, U. in Naito, Y. 2007. Comparison of echolocation behaviour between coastal and riverine porpoises. *Deep-Sea Research Part II – Topical Studies in Oceanography* 54, 290–297.
- Amundin, M. in Andersen, S. H. 1983. Bony nares air-pressure and nasal plug muscle-activity during click production in the harbor porpoise, *Phocoena phocoena*, and the bottlenosed dolphin, *Tursiops truncatus*. *Journal of Experimental Biology* 105, 275–282.
- Andrew, R. K., Howe, B. M. in Mercer, J. A. 2002. Ocean ambient sound: comparing the 1960s with the 1990s for a receiver off the California coast. *Acoustics Research Letters Online* 3, 65–70.
- Aroyan, J. L., Cranford, T. W., Kent, J. in Norris, K. S. 1992. Computer modeling of acoustic beam formation in *Delphinus delphis*. *Journal of the Acoustical Society of America* 92, 2539–2545.
- Au, W. W. L. 1993. *The Sonar of Dolphins*. Springer Verlag, New York.
- Au, W. W. L., Branstetter, B. K., Benoit-Bird, K. J. in Kastelein, R. A. 2009. Acoustic basis for fish prey discrimination by echolocating dolphins and porpoises. *The Journal of the Acoustical Society of America* 126, 460–467.
- Au, W. W. L., Houser, D. S., Finneran, J. J., Lee, W. J., Talmadge, L. A. in Moore, P. W. 2010. The acoustic field on the forehead of echolocating Atlantic bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *The Journal of the Acoustical Society of America* 128, 1426–1434.
- Au, W. W. L. in Moore, P. W. B. 1990. Critical ratio and critical bandwidth for the Atlantic bottlenose dolphin. *Journal of the Acoustical Society of America* 88, 1635–1638.
- Au, W. W. L., Moore, P. W. B. in Pawloski, D. 1986. Echolocation transmitting beam of the Atlantic bottlenose dolphin. *The Journal of the Acoustical Society of America* 80, 688–691.
- Au, W. W. L. in Pawloski, D. A. 1992. Cylinder wall thickness difference discrimination by an echolocating Atlantic bottlenose dolphin. *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology* 170, 41–47.
- Bachman, R., Schey, T., Philip, W., Booth, N. O. in Ryal, F. J. 1996. Geoacoustic databases for matched-field processing: preliminary results in shallow water off San Diego, California. *Journal Acoustical Society of America* 4, 2077–2085.
- Bearzi, G., Holcer, D., Notarbartolo di Sciara, G. 2004. The role of historical dolphin takes and habitat degradation in shaping the present status of northern Adriatic cetaceans. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 14, 363–379.
- Bearzi, G., Fortuna, C. M. in Reeves, R. R. 2008. Ecology and conservation of common bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* in the Mediterranean Sea. *Mamm. Rev.*
- Bejder, L. 2005. Linking short and long-term effects of nature-based tourism on cetaceans. PhD. thesis, Dalhousie University, Nova Scotia, Canada.
- Berta, A. in James, L. S. 1999. *Marine Mammals: Evolutionary Biology*. Academic Press, San Diego.
- Bradbury, J. W. in Vehrenkamp, S. L. 1998. *Principles of acoustic communication*. Sinauer Associates, Sunderland, MA.
- Branstetter, B. K. in Mercado, E., III. 2006. Sound localization by cetaceans. *International journal of comparative psychology* 19.

- Brill, R. L., Sevenich, M. L., Sullivan, T. J., Sustman, J. D. in Witt, R. E. 1988. Behavioral evidence for hearing through the lower jaw by an echolocating dolphin (*Tursiops truncatus*). *Marine Mammal Science* 4, 223–230.
- Buckstaff, K. C. 2004. Effects of watercraft noise on the acoustic behavior of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in Sarasota Bay, Florida. *Marine Mammal Science* 20(4), 709–725.
- Bursina, S. 1888. Sisavci Jadranskog mora. Gradja za faunu hrvatsku uz obzir na ostale sisavce Sredozemnoga mora. – Rad Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti. Zagreb. Knjiga XCII 9, 79-177.
- Caldwell, M. C., Caldwell, D. K. in Tyack, P. L. 1990. Review of the signature-whistle hypothesis for the Atlantic bottlenose dolphin. V: S. Leatherwood in R. R. Reeves (ur.) *The Bottlenose Dolphin*. Academic Press, New York, 199–234.
- Castello, H. P. 1977. Food of a killer whale: eagle sting-ray *Myliobatis* found in the stomach of a stranded *Orcinus orca*. *Scientific Reports of the Whale Research Institute* 29, 107-111.
- Cato, D. H. 1976. Ambient sea noise in waters near Australia. *Journal of the Acoustical Society of America* 60, 320–328.
- Clark, C. W. in Ellison, W. T. 2004. Potential use of low-frequency sounds by baleen whales for probing the environment: evidence from models and empirical measurements. V: J. Thomas, C. Moss in M. Vater (ur.) *Echolocation in Bats and Dolphins*. The University of Chicago Press, 564–582.
- Clausen, K. T., Wahlberg, M., Beedholm, K., DeRuiter, S. in Madsen, P. T. 2010. Click communication in harbour porpoises (*Phocoena phocoena*). *Bioacoustics* 20, 1–28.
- Cockcroft, V. G., in Ross, G. J. B. 1990a. Age, growth and reproduction of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) from the east coast of southern Africa. *Fisheries Bulletin, United States National Oceanic and Atmospheric Administration* 88, 289–302.
- Cockcroft, V. G., in Ross, G. J. B. 1990b. Observations on the early development of a captive bottlenose dolphin calf. V: S. Leatherwood and R. R. Reeves (ur.) *The bottlenose dolphin*. Academic Press, San Diego, CA, 461-478.
- Connor, R. C., Wells, R. S., Mann, J. in Read, A. J. 2000. The bottlenose dolphin: social relationships in a fissionfusion society. V: Mann, J., R. C. Connor, P. L. Tyack in H. Whitehead (ur.) *Cetacean societies*. University of Chicago Press, Chicago, 91–126.
- Cook, M. L. H. 2006. Behavioral and auditory evoked potential (AEP) hearing measurements in odontocete cetaceans. PhD Thesis, University of South Florida, St. Petersburg.
- Cranford, T. W. 1988. The anatomy of acoustic structures in the spinner dolphin forehead as shown by x-ray computed tomography and computer graphics. V: P. E. Nachtigall and P. W. B. Moore (ur.) *Animal Sonar: Processes and performance*. Plenum Press, New York, 67–77.
- Cranford, T. W., Amundin, M. in Norris, K. S. 1996. Functional morphology and homology in the odontocete nasal complex: Implications for sound generation. *Journal of Morphology* 228, 223–285.
- Dawson, S. M. 1991. Clicks and communication – the behavioral and social contexts of Hector dolphin vocalizations. *Ethology* 88, 265–276.
- Diercks, K. J., Trochta, R. T., Greenlaw, C. F. in Evans, W. E. 1971. Recording and analysis of dolphin echolocation signals. *Journal of the Acoustical Society of America* 49, 1729–1732.
- Dobler, J.P. 2002. Analysis of shipping patterns in the Mediterranean and Black seas. *The Mediterranean Science Commission Workshop Monographs* 20, 19–28.

- Dolphin, W. F., Au, W. W. L., Nachtigall, P. E. in Pawloski, J. 1995. Modulation rate transfer-functions to low-frequency carriers in 3 species of cetaceans. *Journal of Comparative Physiology a-Sensory Neural and Behavioral Physiology* 177, 235–245.
- Dormer, K. J. 1979. Mechanism of sound production and air recycling in delphinids - cineradiographic evidence. *Journal of the Acoustical Society of America* 65, 229–239.
- Elsberry, W. R. 2003. Interrelationships between intranarial pressure and biosonar clicks in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). PhD Thesis, A and M University, Texas.
- Erbe, C. 2002. Underwater noise of whale-watching boats and potential effects on killer whales (*Orcinus orca*), based on an acoustic impact model. *Marine Mammal Science* 18, 394–418.
- Evans, W. E. 1971. Orientation behavior of delphinids: radio telemetric studies. *Annals of the New York Academy of Sciences* 188, 142-160.
- Evans, P. G. H. 1987. *The Natural History of Whales and Dolphins*. Christopher Helm Publishers, London.
- Evans, G.W. 2001. Environmental stress and health. V: A. Baum, T. Revenson in J.E. Singer (ur.) *Handbook of Health Psychology*. Erlbaum, Mahway, NJ.
- Evans, W. E. in Prescott, J. H. 1962. Observations of the sound capabilities of the bottlenose porpoise: A study of whistles and clicks. *Zoologica* 47, 121–128.
- Fletcher, H. 1940. Auditory Patterns. *Reviews of Modern Physics* 12, 47-65.
- Foote, A. D., Osborne, R. W., in Rus Hoelzel, A. 2004. Whale-call response to masking boat noise. *Nature*, London, 428, 910.
- Foote, A. D., Osborne, R. W. in Rus Hoelzel, A. 2008. Temporal and contextual patterns of killer whale (*Orcinus orca*) call type production. *Ethology* 114, 599–606.
- Forcada J., Gazo M., Aguilar A., Gonzalvo J., Fernandez-Contreras M. 2004. Bottlenose dolphin abundance in the NW Mediterranean: addressing heterogeneity in distribution. *Marine Ecology Progress Series* 275, 275-87.
- Gambaiani, D. D., Mayol, P., Isaac, S. J. in Simmonds, M. P. 2009. Potential impacts of climate change and greenhouse gas emissions on Mediterranean marine ecosystems and cetaceans. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 89, 179-201.
- Gannier A. 2005. Summer distribution and relative abundance of delphinids in the Mediterranean Sea. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)* 60, 223-238.
- Genov, T., Kotnjek, P., Lesjak, J., Hace, A. in Fortuna, C. M. 2008. Bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Slovenian and adjacent waters (northern Adriatic Sea). *Annales, Series Historia Naturalis* 18(2), 227–244.
- Haase, P. A. in Schneider, K. 2001. Birth demographics of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in Doubtful Sound, Fiordland, New Zealand—preliminary findings. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 35, 675–680.
- Hastie, G. D., B. Wilson, L. H. Tufft in P. M. Thompson. 2003. Bottlenose dolphins increase synchrony in reponse to boat traffic. *Marine Mammal Science* 19, 74–84.
- Heitmeyer, R. M., S. C. Wales in L. A. Pflug. 2004. Shipping noise predictions: capabilities and limitations. *Marine Technology Society Journal* 37, 54–65.
- Hemila, S., Nummela, S. in Reuter, T. 1999. A model of the odontocete middle ear. *Hearing Research* 133, 82–97.
- Herzing, D. L. 2000. Acoustics and social behavior of wild dolphins: implications for a sound society. V: W. W. L. Au A. N. Popper in R. E. Fay (ur.) *Hearing by whales and dolphins*. Springer Press, London.
- Houser, D. S. in Finneran, J. J. 2006a. A comparison of underwater hearing sensitivity in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) determined by electrophysiological and behavioral methods. *Journal of the Acoustical Society of America* 120, 1713–1722.

- Houser, D. S., in Finneran, J. J. 2006b. Variation in the hearing sensitivity of a dolphin population obtained through the use of evoked potential audiometry. *Journal of the Acoustical Society of America* 120, 4090-4099.
- ICES (International Council for the Exploration of the Sea). 2005. Report of the Ad-hoc Group on the Impact of Sonar on Cetaceans and Fish (AGISC). ICES CM 2005/ACE: 01, 41.
- IWC (International Whaling Commission). 2007. Report of the Scientific Committee. Annex K. Report of the Standing Working Group on Environmental Concerns. *Journal of Cetacean Research and Management*, (Suppl) 9, 227–296.
- Janik, V. M. in Thompson, P. M. 1996. Changes in surfacing patterns of bottlenose dolphins in response to boat traffic. *Marine Mammal Science* 12, 597–602.
- Janik, V. M., in Slater, P. J. B. 1998. Context-specific use suggests that bottlenose dolphin signature whistles are cohesion calls. *Animal Behavior* 56, 829-838.
- Jefferson, T. A., Stacey, P. J. in Baird, R. W. 1991. A review of killer whale interactions with other marine mammals: predation and co-existence. *Mammal Review* 21(4), 151-180.
- Jensen, F. H. 2011. Acoustic behaviour of bottlenose dolphins and pilot whales. PhD Thesis, University of Aarhus, Denmark.
- Johnson, C. S. 1968a. Masked tonal thresholds in bottlenosed porpoise. *Journal of the Acoustical Society of America* 44, 965–967.
- Johnson, C. S. 1968b. Relation between absolute threshold and duration-of-tone pulses in the bottlenosed porpoise. *The Journal of the Acoustical Society of America* 43, 757–763.
- Ketten, D. R. 1992. The marine mammal ear: Specializations for aquatic audition and echolocation. V: D. Webster, R. Fay and A. Popper (ur.) *The evolutionary biology of hearing*. Springer Verlag, New York.
- Klopper, L. N., Nachtigall, P. E. in Breese, M. 2010. Change in echolocation signals with hearing loss in a false killer whale (*Pseudorca crassidens*). *The Journal of the Acoustical Society of America* 128, 2233–2237.
- Kryštufek, B. in Lipej, L. 1993. Whales (*Cetacea*) in the northern Adriatic. *Annals for Istrian and Mediterranean Studies* 3, 9–20.
- Lusseau D. in Bejder, L. 2007. The long-term consequences of short-term responses to disturbance: Experiences from whalewatching impact assessment. *International Journal of Comparative Psychology (Special Issue)* 20, 228-236.
- Mackay, R. S. in Liaw, H. M. 1981. Dolphin Vocalization Mechanisms. *Science* 212, 676–678.
- Madsen, P. T., Kerr, I. in Payne, R. 2004. Echolocation clicks of two free-ranging, oceanic delphinids with different food preferences: false killer whales *Pseudorca crassidens* and Risso's dolphins *Grampus griseus*. *Journal of Experimental Biology* 207, 1811–1823.
- McCowan, B. and Reiss, D. 1995. Quantitative comparison of whistle repertoires from captive adult bottlenose dolphins (Delphinidae, *Tursiops truncatus*): a re-evaluation of the signature whistle hypothesis. *Ethology* 100, 194–209.
- McDonald, M. A., Hildebrand, J. A. in Wiggins, S. M. 2006. Increases in deep ocean ambient noise in the Northeast Pacific west of San Nicolas Island, California. *Journal Acoustical Society of America* 120(2), 711–718.
- Mooney, T. A., Nachtigall, P. E., Taylor, K. A., Rasmussen, M. H. in Miller, L. A. 2009. Auditory temporal resolution of a wild white-beaked dolphin (*Lagenorhynchus albirostris*). *Journal of Comparative Physiology a-Neuroethology Sensory Neural and Behavioral Physiology* 195, 375–384.

- Norris, K. S. 1967. Some observations on the migration and orientation of marine mammals. V: R. M. Storm (ur.) Animal orientation and navigation. Oregon State University Press, Corvallis, 101–125.
- Nowacek, S. M., Wells, R. S. in Solow, A. 2001. Short-term effects of boat traffic on bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in Sarasota Bay, Florida. Marine Mammal Science 17, 673–688.
- Nummela, S., Reuter, T., Hemila, S., Holmberg, P. in Pauku, P. 1999a. The anatomy of the killer whale middle ear (*Orcinus orca*). Hearing Research 133, 61–70.
- Nummela, S., Wagar, T., Hemila, S. in Reuter, T. 1999b. Scaling of the cetacean middle ear. Hearing Research 133, 71–81.
- Ott, P. H. in Danilewicz, D. 1998. Presence of franciscana dolphins (*Pontoporia blainvillei*) in the stomach of a killer whale (*Orcinus orca*) stranded in southern Brazil. Mammalia 62(4), 605-609.
- Payne, R. in Webb, D. 1971. Orientation by means of long range acoustic signaling in baleen whales. Annals of the New York Academy of Sciences 188, 110–141.
- Peddemors, V. M., Fothergill, M. in Cockcroft, V. G. 1992. Feeding and growth in a captive born bottlenose dolphin *Tursiops truncatus*. South African Journal of Zoology 27, 74–80.
- Plavi svijet. 2012. Pridobljeno 22. 9. 2012, iz <http://www.plavi-svijet.org/hr/zastita/pravilaponasanja/>
- Popov, V. V. in Supin, A. Y. 1997. Detection of temporal gaps in noise in dolphins: Evoked-potential study. Journal of the Acoustical Society of America 102, 1169–1176.
- Purves, P. E. in Pilleri, G. E. 1983. Echolocation in Whales and Dolphins. Academic Press, London.
- Rako, N., Picciulin, M., Mackelworth, P., Holcer, D. in Fortuna, C. M. 2012. Long-term monitoring of anthropogenic noise and its relationship to bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) distribution in the Cres–Lošinj archipelago, Northern Adriatic, Croatia. Advances in Experimental Medicine and Biology 730, 323-325.
- Reeves, R. R., Read, A. J. in Notarbartolo di Sciara, G. 2001. Report of the workshop on interactions between dolphins and fisheries in the Mediterranean: Evaluation of Mitigation Alternatives, 4–5 May 2001, Rome, Italy. Paper SC/53/SM3 presented to the IWC Scientific Committee, July 2001, London, 44.
- Reeves, R., B. Stewart, P. Clapham, J. Powell. 2002. National Audobon Society Guide to Marine Mammals of the World. Alfred A. Knopf, New York.
- Reeves, R. R. in Notarbartolo di Sciara, G. 2006. The status and distribution of cetaceans in the Black Sea and Mediterranean Sea. IUCN Centre for Mediterranean Cooperation, Malaga, Spain, 137.
- Reidenberg, J. S. in Laitman, J. T. 1988. Existence of vocal folds in the larynx of odontoceti (toothed whales). The Anatomical Record 221, 884–891.
- Rice, D. 1984. Cetaceans. V: S. Anderson, J Jones Jr. (ur.) Orders and Families of Recent Mammals of the World. John Wiley and Sons, New York, 447–490.
- Richardson, J. 1991. Effects of Noise on Marine Mammals: Executive Summary. LGL Ecological Research Associates Inc., TX.
- Richardson, J. W., Greene Jr., C. R., Malme, C. I. in Thomson D. H. 1995. Marine mammals and noise. Academic Press, New York, California, 576.
- Ridgway, S. H. 1980. Electrophysiological experiments on hearing in odontocetes. V: R. G. Busnel in J. F. Fish (ur.) Animal Sonar Systems. Plenum, New York, 483–493.

- Romano, T. A., Keogh, M. J., Kelly, C., Feng, P., Berk, L., Schlundt, C. E., Carder, D. A., in Finneran, J. J. 2004. Anthropogenic sound and marine mammal health: Measures of the nervous and immune systems before and after intense sound exposure. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 61, 1124–1134.
- Rosowski, J. J. (1992). Hearing in transitional mammals: predictions from the middle-ear anatomy and hearing capabilities of extant mammals. V: D. B. Webster, R. R. Fay in A. N. Popper (ur.) *The Evolutionary Biology of Hearing*. Springer Verlag, New York, 615–632.
- Ross, D. 1976. *Mechanics of Underwater Noise*. Pergamon, New York.
- Ross, D. 2005. Ship Sources of Ambient Noise. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Journal of Oceanic Engineering* 30, 257–261.
- Shane, S. H., Wells, R. S. in Würsig, B. 1986. Ecology, behavior and social organisation of the bottlenose dolphin: a review. *Marine Mammal Science* 2, 34–63.
- Simmonds, M., Dolman, S., Weilgart, L. 2004. *Oceans of Noise. A Whale and Dolphin Conservation Society Scientific Report*.
- Southall, B. L. 2005. *Shipping Noise and Marine Mammals: a Forum for Science, Management, and Technology*. U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration Fisheries, Arlington, Virginia, May 18–19, 2004.
- Statistični urad Republike Slovenije. 2009. *Navtični turizem, Slovenija, 2008*. Pridobljeno 19. 9. 2012, iz http://www.stat.si/novica_prikazi.aspx?id=2287
- Stonehaven Dolphin Research Trust. 2012. Pridobljeno 29. 8. 2012, iz <http://www.stonehavendolphinresearch.co.uk/interestingFacts.html>
- Supin, A. Y. in Popov, V. V. 1995. Temporal resolution in the dolphins auditory-system revealed by double-click evoked-potential study. *Journal of the Acoustical Society of America* 97, 2586–2593.
- Szymanski, M. D., Supin, A. Y., Bain, D. E. in Henry, K. R. 1998. Killer whale (*Orcinus orca*) auditory evoked potentials to rhythmic clicks. *Marine Mammal Science* 14, 676–691.
- Thompson, R. K. R. in Herman, L. M. 1975. Underwater frequency discrimination in the bottlenosed dolphin (1–140 kHz) and the human (1–8 kHz). *The Journal of the Acoustical Society of America* 57, 943–948.
- Urick, R. J. 1983. *Principles of Underwater Sound*. Peninsula, Los Altos.
- Van Parijs, S. M. in P. J. Corkeron. 2001. Boat traffic affects the acoustic behavior of Pacific humpback dolphins, *Sousa chinensis*. *Journal of Marine Biological Association of the United Kingdom* 81, 533–538.
- Weilgart, L. S. 2007a. A brief review of known effects of noise on marine mammals. *International Journal of Comparative Psychology* 20, 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., Lusseau, D., in Hammond, P. S. 2006. Estimating relative energetic cost of human disturbance to killer whales (*Orcinus orca*). *Biological Conservation* 133(3), 301–311.
- Williams, R., Trites, A. W. in Bain, D. E. 2002. Behavioural responses of killer whales (*Orcinus orca*) to whale-watching boats: opportunistic observations and experimental approaches. *Journal of Zoology London* 256, 255–270.
- Worley, R. D. in Walker, R. A. 1982. Low-frequency ambient ocean noise and sound transmission over a thinly sedimented rock bottom. *Journal Acoustical Society of America* 71, 863–870.
- Wright, A. J. 2008. *International Workshop on Shipping Noise and Marine Mammals, Hamburg, Germany, 21st–24th April 2008*.

- Wright, A. J., Aguilar Soto, N., Baldwin, A. L., Bateson, M., Beale, C., Clark, C., Deak, T., Edwards, E. F., Fernandez, A., Godinho, A., Hatch, L., Kakuschke, A., Lusseau, D., Martineau, D., Romero, L. M., Weilgart, L., Wintle, B., Notarbartolo-di-Sciara, G. in Martin, V. 2007. Do marine mammals experience stress related to anthropogenic noise?. *International Journal of Comparative Psychology* 20(2-3), 274–316.
- Yovel, Y. in Au, W. W. L. 2010. How can dolphins recognize fish according to their echoes? A statistical analysis of fish echoes. *PLOS One* 5, 1–10.
- Zakarauskas, P., Chapman, D. M. F. in Staal, P. R. 1990. Underwater acoustic ambient noise levels on the eastern Canadian continental shelf. *Journal Acoustical Society of America* 87, 2064–2071.