

Podvodna buka

Faraguna, Armando

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka / Sveučilište u Rijeci**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:231:197725>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-04**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka University Studies, Centers and Services - RICENT Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI
Studij politehnike

Preddiplomski studij Politehnike

Armando Faraguna
Podvodna buka
Završni rad

Mentor: prof. dr. sc. Lidija Runko Luttenberger

Rijeka, 2022

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentorici prof. dr. sc. Lidiji Runko Lutemberger na svojoj ukazanoj pomoći, razumijevanju i znanju koje je nesebično pružila kako bih uspješno napisao ovaj završni rad. Također zahvaljujem se svim profesorima Preddiplomskog studija Politehnike u Rijeci koji su pomogli pri svakoj nastaloj prepreci u studiranju, te podijelili svoje znanje i iskustva koje je doprinijelo uspješnosti izrade ovoga rada.

Armando Faraguna

SVEUČILIŠTE U RIJECI
Studij politehnike
Rijeka, 23.2.2022.

Zadatak za završni rad

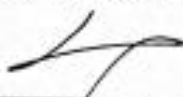
Pristupnik: Armando Faraguna

Naziv završnog rada: Podvodna buka

Naziv završnog rada na eng. jeziku: Underwater noise

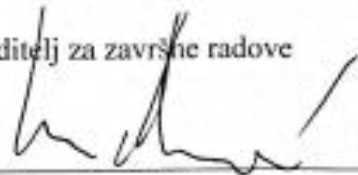
Sadržaj zadatka: U radu ju potrebno analizirati izvore podvodne buke, njezino širenje, utjecaj na morske ekosustave i ljude, prikazati stanje podvodne buke u Jadranu, te predložiti moguće tehničke i regulatorne mjere njezina suzbijanja temeljem primjera dobre prakse u svijetu.

Mentor: (Ime i prezime)

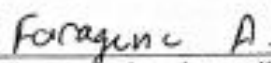


(potpis mentora)

Voditelj za završne radove



Zadatak preuzet: datum 14.3.2022.



(potpis pristupnika)

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA.....	III
SAŽETAK.....	IV
SUMMARY	V
1. UVOD.....	1
2. PODVODNA BUKA I IZVORI.....	2
2.1. Komercijalni brodski promet	2
2.2. Sonari	2
2.3. Građevinske aktivnosti u moru	4
2.4. Seizmička istraživanja.....	5
2.5. Utjecaj turizma na podvodnu buku	6
3. UTJECAJ NA MORSKI EKOSUSTAV I LJUDE	7
3.1. Utjecaj podvodne buke na morske sisavce	7
3.2. Utjecaj podvodne buke na druge morske životinje	8
4. STANJE PODVODNE BUKE NA JADRANU.....	12
5. TEHNIČKE I REGULATORNE MJERE SUZBIJANJA BUKE TEMELJEM PRIMJERA DOBRE PRAKSE U SVIJETU	16
6. ZAKLJUČAK.....	23
LITERATURA.....	24
PRILOZI.....	26

POPIS SLIKA

Slika 1. Princip odašiljanja i zaprimanja signala sonara

Slika 2. Brod i uređaj za seizmičko istraživanje

Slika 3. Postavljanje hidrofona na koraljni greben u Sulawesiju, Indonezija

Slika 4. Hidrofon – podvodni mikrofonski slušalica – služi za snimanje podvodnih zvukova

POPIS TABLICA

Tablica 1. Lokacije postaja na kojima će se pratiti kontinuirana buka

Tablica 2. Karakteristike autonomnog uređaja za mjerenje podvodne buke

SAŽETAK

Tema ovog rada je definiranje podvodne buke, s posebnim fokusom na antropogenu buku koja može imati iznimno negativan utjecaj na pojedine morske organizme i morski okoliš u cjelini mijenjajući životne navike tih organizama i dugoročno smanjujući njihov broj. U radu su identificirani glavni izvori takve buke, kao što su komercijalni brodski promet, sonari, seizmička aktivnost i građevinske aktivnosti u moru. Spomenuti su određeni morski organizmi koji su iznimno osjetljivi na pojedine vrste takve buke. Obrađena je također razina utjecaja na pojedine morske organizme, te načini na koji ona negativno utječe na njihov život, promjenu njihovog staništa te u krajnjem slučaju na smanjenje njihovog broja. Predložene su neke od regulatornih i tehničkih mjera koje bi mogle doprinijeti poboljšanju stanja, odnosno smanjenju razine štetnih utjecaja antropogene buke uzevši u obzir svjetsku dobru praksu koja je već u primjeni.

Ključne riječi: podvodna buka, antropogeni izvori buke, ekosustav, Jadran, regulatorne mjere

SUMMARY

Topic of this paper is defining of underwater noise, with a special focus on anthropogenic noise, which can have an extremely negative impact on individual marine organisms and the marine environment by changing the living habits of these organisms and reducing their number in the long term. The paper identifies the main sources of such noise, such as commercial ship traffic, sonars, seismic activities, and construction activities in the sea. Marine organisms are mentioned that are extremely sensitive to certain types of such noise. The level of impact on marine organisms, and the ways in which it negatively affects their life, the change of their habitat and finally the reduction of their number, are also discussed. Some regulatory and technical measures are proposed that could contribute to improving the situation through reducing the level of harmful effects of anthropogenic noise, considering good practice worldwide that is already applied.

Keywords: underwater noise, anthropogenic sound sources, ecosystem, Adriatic Sea, regulatory measures

1. UVOD

Posljednjih desetljeća život u moru je suočen s novom prijetnjom, a to je podvodna antropogena buka. Ovakva buka nastaje uslijed različitih ljudskih aktivnosti poput pomorskog prometa, seizmičkih istraživanja nafte i plina, građevinskih radova u moru i na obali, te korištenja vojnih sonara. Nažalost, buka se u posljednjih 100 godina izrazito povećala, čineći oceane daleko bučnijim nego ikad. Brojne morske životinje kojima zvuk predstavlja temeljno sredstvo komunikacije, pomoć prilikom pronalaska hrane i ostalih životnih aktivnosti koriste poseban medij u kojem zvuk putuje više od 4 puta brže nego kroz zrak.

Buka proizvedena od strane čovjeka ima identične frekvencije kao i zvuk kojeg koriste životinje. Takva buka može uzrokovati fizička oštećenja kod životinja ili u potpunosti prikriti zvuk putem kojeg komuniciraju. Podvodna buka ima i ekonomske posljedice, čak je dokazano i smanjenje ulova ribe zbog buke do 50% te negativan utjecaj na zooplankton. Onečišćenje oceana bukom je globalni problem s kojim se moraju pozabaviti vlade koje se udružuju i donose propise te razvijaju načine za praćenje zdravih razina zvuka u oceanima kako bismo svi mogli napredovati u jednom savršeno uravnoteženom ekosustavu.

U prvom dijelu rada se obrađuje koncept podvodne buke i njezinog utjecaja na okoliš. Potom se analiziraju izvori podvodne buke, te utjecaj podvodne buke na različite vrste morskih životinja. Slijedi dio u kojemu se detaljnije proučavaju negativne posljedice prouzročene pojačanim tempom turizma, te analiza potencijalnih mjere za sprječavanje ovakvog stanja i njegova daljnjeg pogoršanja. U zaključku su predstavljeni najvažniji aspekti do kojih se došlo prilikom izrade ovog završnog rada.

2. PODVODNA BUKA I IZVORI

Buka nastala u vodi može biti različitog trajanja i intenziteta, a ovisi o geografskim i okolišnim parametrima kao i sposobnosti životinja za odgovor. Obzirom na izvor, buka može biti prirodna ili uzrokovana ljudskom djelatnošću, odnosno antropogena buka, koja je i predmet ovog rada. Pod prirodnom bukom ubrajaju se zvukovi koji su posljedica nastanka djelovanja vremenskih nepogoda, valova, morskih organizama i dr. Antropogena buka se prema trajanju razlikuje kao impulsna (kratka) ili kontinuirana (duga). Kao primjer impulsne buke može se navesti zračna puška koja se koristi za 2D i 3D seizmička istraživanja, a za kontinuiranu buku može se navesti korištenje sonara [1].

2.1. Komercijalni brodski promet

Komercijalni brodski promet glavni je uzročnik i najčešći izvor onečišćenja bukom u oceanima. Glavnina podvodne buke uzrokovana je kavitacijom brodskog propelera, odnosno mjehurićima koji se stvaraju i implodiraju zbog prevelike brzine propelera. Još jedan veliki izvor onečišćenja oceana bukom koju proizvode brodovi su vibracije njihovog trupa i brodski dizelski motori. Brodovi proizvode zvuk niske frekvencije koji ide od 10 herca (Hz) do 1 kiloherca (kHz). Za usporedbu, raspon koje koriste kitovi kreće se od 10 do 31 herca (Hz), iako se razlikuje od vrste do vrste. Morski promet nije ravnomjerno raspoređen, a neka su područja posjećenija od drugih, poput putnih i komercijalnih ruta, što također vrijedi za luke i pristaništa, jer su one obično mjesta koncentracije brodova. Čak i kada u blizini nema prijevoza, pozadinsku razinu zvuka koja djeluje na niskim frekvencijama i dalje će uglavnom uzrokovati brodovi u blizini jer niske frekvencije mogu putovati na veće udaljenosti pod vodom, a na kraju stvaraju ometajuće učinke kod riba i drugih morskih sisavaca u blizini, budući da oni prvenstveno ovise o zvuku da bi se kretali i međusobno komunicirali [2].

2.2. Sonari

Sonari su također važni izvori koji pridonose onečišćenju podvodnom bukom. SONAR je izvedenica iz naziva (SOund NAvigation Ranging). Uređaj radi u dva ciklusa. Prvi ciklus je taj da odašilje pulsirajuće zračne valove kroz vodu. Ti valovi nakon određenog vremena (ovisno o udaljenosti) pogode prepreke, ribe ili dno, odbijaju se i vraćaju prema površini. Sonar mjeri koliko je vremena potrebno da val prođe kroz vodu, udari u objekt i vrati se. To je isti eho lokacijski sustav kakav možemo vidjeti kod šišmiša i dupina. Pomoću tih informacija, uređaj

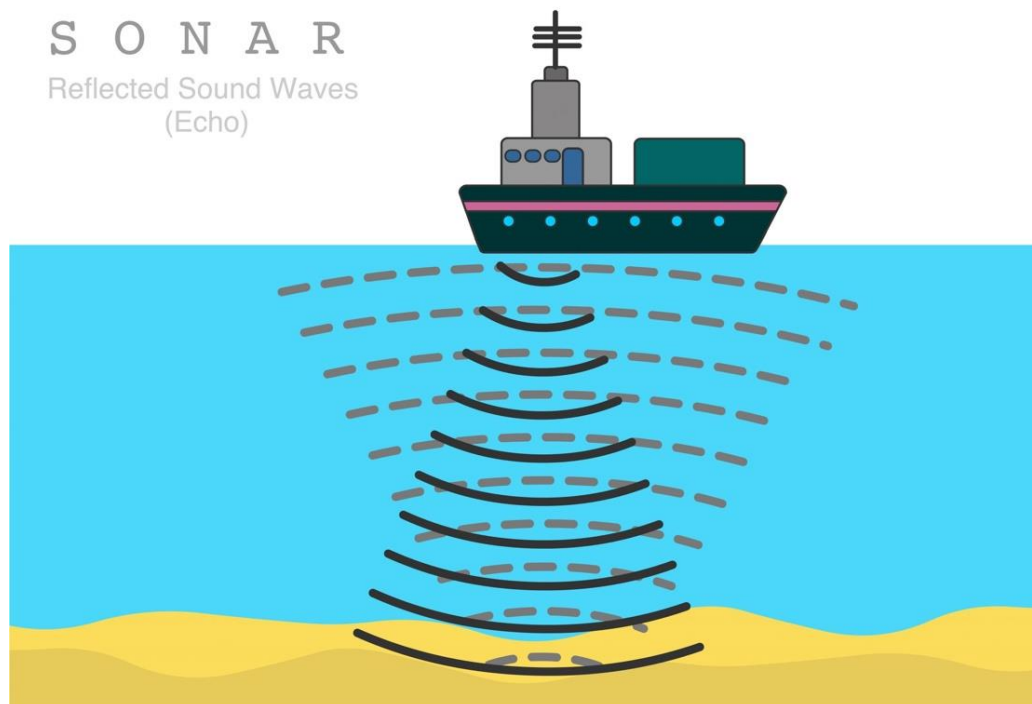
određuje dubinu na kojoj je objekt. Sonar mjeri i snagu povratnog vala – tvrđi objekt rezultira jačim povratnim valom. Kada je povratni val zaprimljen, odmah se šalje novi. Zvučni val putuje u vodi otprilike 1 nautičku milju u sekundi, a sam sonar odašilje veći broj impulsa u sekundi [3].

Kao primjer navode se neki od sonara tvrtke Deeper, kao što su Deeper pro i Deeper pro 2+. Ti sonari odašilju po 15 impulsa u sekundi. Valovi koje sonar zaprima pretvaraju se u električne signale koji se potom prikazuju na ekranu, pokazujući ribolovcu dubinu i tvrdoću dna, kao i sve objekte između.

Postoje dvije vrste sonara: pasivni sonari koji slušaju podvodne zvukove te aktivni sonari koji emitiraju zvukove za otkrivanje i lociranje objekata pomoću povratne jeke. Aktivne sonare vojska prvenstveno koristi u vježbama i rutinskim aktivnostima kao što je potraga za podvodnim objektima poput neprijateljskih podmornica. Aktivni sonari mogu se kategorizirati na temelju frekvencije signala koje šalju, a koji se klasificiraju kao niski (manje od 1 kiloherca (1 kHz)), srednji i visoki (10 kiloherca (10 kHz) ili više) [4].

Mornarički sustavi sonara rade poput akustičnih reflektora, šaljući zvučne valove kroz vode oceana desecima ili čak stotinama hiljada milja kako bi otkrili velike objekte na svom putu. Radi se o aktivnosti koja uključuje zaglušujući zvuk, tako čak i jedan niskofrekventni aktivni sonarni zvučnik može biti glasan kao dvomotorni borbeni zrakoplov pri polijetanju. Ova navala buke, koja daleko premašuje sigurnosna ograničenja mornarice za ljude, može imati razoran učinak na morske vrste – posebno kitove, koji koriste svoje oštro osjetilo sluha za gotovo sve što rade. Budući da sve morske vrste ne rade na istoj razini frekvencije zvuka, neke životinje mogu biti više pogođene od drugih, ovisno o intenzitetu i trajanju buke koju emitiraju sustavi sonara. Ukoliko se ne nadziru na odgovarajući način, sonarni sustavi mogu u velikoj mjeri poremetiti živote i ponašanje podvodnih životinja, na primjer uzrokovati gubitak sluha kod riba i natjerati kitove da izgube smjer jer neželjena buka ometa njihovu eholokaciju i mogu završiti nasukani na obali [3].

Sonar može potjerati kitove iz njihovog željenog staništa i poremetiti hranjenje, razmnožavanje, njegu, komunikaciju, navigaciju i druga ponašanja bitna za njihov opstanak. Što je najstrašnije, može izravno ozlijediti kitove – vrlo često ubijajući – uzrokujući gubitak sluha, krvarenja i druge vrste ozljeda tkiva. Na slici 1 vidljivo je kako sonar odašilje valne signale i kako obzirom na dubinu, povećava i zahvaća veću površinu.



Slika 1. Princip odašiljanja i zaprimanja signala sonara. Izvor <https://www.americanocéans.org/facts/what-is-sonar/> [3]

Korištenje vojnih sonara povezano je s masovnim nasukavanjem i smrću kitova na Havajima, Bahamima, Grčkoj, Madeiri, Kanarskim otocima, Španjolskoj, Japanu i američkom sjeverozapadu. No dok američka mornarica otvoreno priznaje da njezin aktivni sonar šteti morskim sisavcima, odbija se pridržavati zakona koji ograničavaju upotrebu istog [4].

2.3. Građevinske aktivnosti u moru

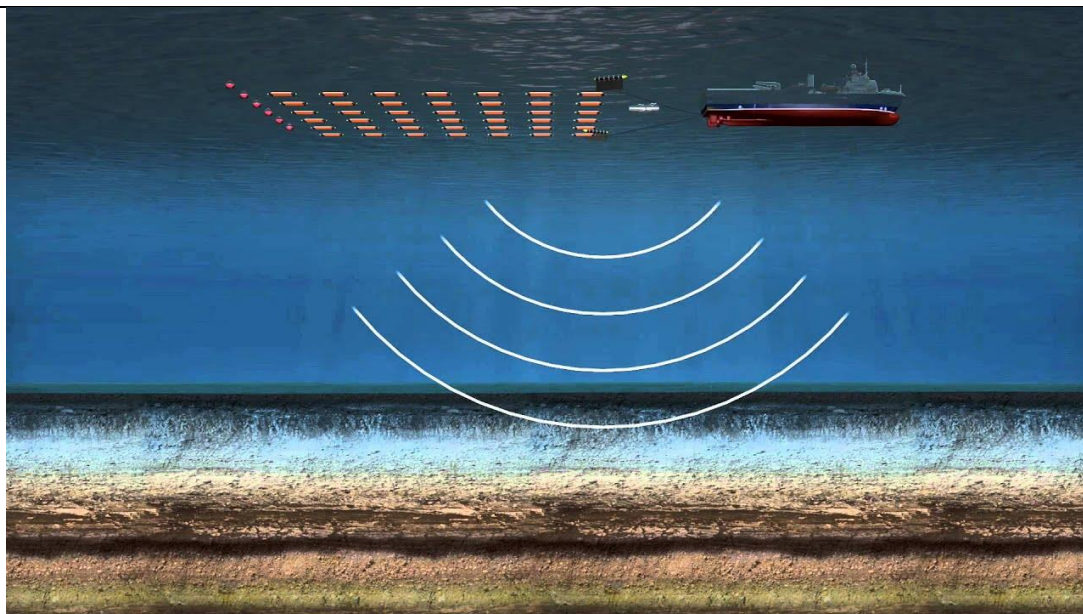
Aktivnosti uz obalu ili na moru kao što su jaružanje, platforme, bušenje i postavljanje naftnih platformi između ostalog, također stvaraju ogromne količine emisije buke. Nije tajna da su građevinski radovi na površini obično bučna aktivnost, a ni pod vodom nisu izuzeti od stvaranja izvora buke. Kontinuirano korištenje strojeva i prijevoza koji emitiraju glasnu buku na niskim frekvencijama na kraju ometaju floru i faunu oceana. Pomorsko jaružanje se često koristi u obalnim vodama za produbljivanje ili proširenje kanala za prolaze brodova i rudarenje resursa morskog dna. Ne samo da ova aktivnost mijenja sastav tla, potencijalno uzrokujući nestanak podvodnih biljaka ili intervenciju u staništa riba, te hranu, taj proces eksploatacije također povećava razinu zvuka u oceanu između 160 do 180 decibel-a (160 do 180 dB), intenziteta od 50 do 500 herca (50 do 500 Hz). U međuvremenu, u naftnim i plinskim aktivnostima poput

bušenja, postavljanja odobalnih struktura i proizvodnje, smještenih uglavnom na kontinentalnom pojasu, podvodni zvukovi proizlaze iz strojeva za bušenje te propelera i potisnika, stvarajući zvukove koji mogu ići do 135 decibel-a (135 dB), a jačina frekvencije dostiže vrhunac na 40 do 100 herca (40 do 100 Hz) [4].

2.4. Seizmička istraživanja

Četvrti ali ne manje važan izvor podvodnog onečišćenja bukom su seizmička istraživanja. To je metoda prikupljanja informacija o karakteristikama i lokacijama geoloških struktura Zemljine površine iznad i ispod kako bi se proizvele karte koje mogu pomoći u identificiranju područja u kojima se nalaze nafta i plin. Otkrivanje takvih mjesta vrši se uz pomoć seizmičkih zračnih pušaka. Ove seizmičke zračne puške proizvode zvukove niske frekvencije koji se ponekad mogu širiti na udaljenosti do 4000 kilometara (4000 km). Eksplozije su kontinuirane i mogu trajati od nekoliko sekundi, za testiranje zračnih pušaka, pa sve do nekoliko dana, a nerijetki slučajevi su kada se istraživanje provodi i nekoliko mjeseci. Korištenje seizmičkih zračnih pušaka ima izravan utjecaj na morski život jer zvuk koji ispuštaju i prenose struje aktivno ometa ili se preklapa s komunikacijom podvodnih vrsta. Također, korištenje seizmičkih zračnih pušaka može utjecati na redovitost pojavljivanja ovih životinja u blizini obala i smanjit ulov ribe ovisno o području u kojem se istražuje morsko dno [4].

Seizmičko istraživanje se provodi pomoću istraživačkih brodova koji iza sebe vuku naprave koje se zovu „zračni topovi“. Zračni top radi tako da se u cijevi unutar njega komprimira zrak koji se zatim naglo ispušta te time izaziva podvodnu eksploziju. Ovisno o veličini zračnog topa, tj. ovisno o volumenu same cijevi razlikujemo i jačine zvukova koje se proizvode. Zvučni topovi se vuku u manjim ili većim nizovima tako da ih može biti i više desetaka, a same eksplozije se proizvode svakih 10-ak sekundi. Topovi se usmjere prema dnu jer cilj samog istraživanja je dobiti detaljnu sliku sastava dna, odnosno utvrditi pozicije potencijalnih nalazišta nafte ili plina. Zvuk putuje prema dnu te se od njega odbija, a odbijeni te u konačnici zaprimljeni zvuk ovisi o sastavu tla od kojeg se odbio. Zvuk se snima uređajima za snimanje zvuka u moru – hidrofona. Hidrofoni se također vuku iza broda, ali se nalaze i iza zračnih topova, kako bi „uhvatili“ odbijeni zvučni val proizveden zračnim topom. Nakon prikupljanja podataka provodi se analiza snimljenog zvuka, te se na temelju tih analiza izrađuju geološke karte podmorja i utvrđuje sastav dna te moguća ležišta nafte i plina [4]. Taj princip prikupljanja podataka prikazan je na slici 2.



Slika 2. Brod i uređaj za seizmičko istraživanje. Izvor <https://i.ytimg.com/vi/FN8IAb0rG9A/maxresdefault.jpg> [5]

2.5. Utjecaj turizma na podvodnu buku

Tijekom cijele godine u moru se nalazi određeni broj brodova i brodice koji odlaze na pučinu i radom motora te samim kretanjem unose antropogenu buku u more. Približavanjem ljetnih mjeseci povećava se broj gostiju i rezervacija noćenja primjerice na Jadranskoj obali što utječe na povećani promet plovila kao što su katamarani, kruzери, jahte i brodice, uz razne aktivnosti na moru, što rezultira povećanom količine buke. Mnoga priobalna mjesta žive od ljetnog turizma, tako da su i ponudu prilagodili toj vrsti turizma. Glavna turistička atrakcija su dnevni izleti brodovima, istraživanje plićina i obale morskog dna polu-podmornicama, iznajmljivanje barki, jedrilica, jahti, glisera, jet-skija i slično, čime se unos buke višestruko povećava i narušava mir podvodnog svijeta koji ionako nije neometan kroz cijelu godinu. Još neke od aktivnosti na moru koje utječu na podvodnu buku su para-sailing (vuča padobrana gliserom na moru), skijanje na vodi, ronjenje bocama i razna događanja u neposrednoj blizini mora, a to su i ugostiteljski objekti s glasnom glazbom.

3. UTJECAJ NA MORSKI EKOSUSTAV I LJUDE

Energija zvuka smatra se jednom od najraširenijih i najopsežnijih oblika antropogene energije. Njezina razina i povezani učinak na morski ekosustav rasli su kroz prethodna razdoblja, iako postoji malo istraživanja koja mogu izmjeriti takve promjene [6].

Postoje više i niže frekvencije zvuka. Zvuk viših frekvencija u morskom okolišu ima manji domet od zvuka nižih frekvencija. Moglo bi se reći da postoji velika razlika u širenju zvuka kroz morski okoliš. Problem izlaganja buci veoma je složen zbog velikog broja vrsta jedinki koje se nalaze u tom okolišu te im se zvukovi koje proizvode i koje bi trebali čuti preklapaju i isprepliću u prostoru i vremenu s izvorima buke [6].

Kada se govori o morskim organizmima važno je napomenuti da sve morske životinje koje imaju kralježnicu mogu čuti, te im je sluh primarno osjetilo. Naime, svjetlost ne prodire jako duboko u vodu, a duboki ocean je vrlo mračan, te se oceanske životinje još više moraju oslanjati na svoj sluh. Za morske organizme zvuk je jedan od glavnih sredstava za komunikaciju, snalaženje u prostoru, lov plijena ili traženje partnera. Najveći broj životinjskih vrsta u moru ima sposobnost da proizvodi i prima ili da samo prima zvukove koji su popratna pojava kretanja, hranjenja, znakovi upozorenja ili dozivanja te signali usmjeravanja jekom (eholokacija) ili sporazumijevanja [7].

3.1. Utjecaj podvodne buke na morske sisavce

Sluh je u morskih sisavaca također dobro razvijen. Morske svinje, npr., primaju cijeli spektar zvučnih i ultrazvučnih frekvencija do 100 ili 120 kiloherca (100 ili 120 kHz). Organ je sluha srednje i unutarnje uho, do kojega zvuk dolazi preko kože i koštanom vodljivošću lubanje i kanala ispunjenih masnim tkivom. Velikim kitovima u gotovo beskrajnom plavetnilu oceana upravo zvuk koji putuje stotinama kilometara omogućuje da ostanu međusobno povezani. Zvuk dupinima omogućava korištenje naprednog sustava eholokacije uz pomoć kojeg jasno vide svoj plijen i okoliš. Glasanje im omogućuje komunikaciju i prijenos informacija.

Promatrajući različite morske organizme i njihovu osjetljivost na buku uočeno je da na kitove buka djeluje tako da može prouzrokovati fizičke ozljede (uključujući oštećenja tkiva, ušiju, trajni ili privremeni pomak u pragu osjetljivosti sluha) koje mogu biti više ili manje ozbiljne i uzrokovati izravnu ili odgođenu smrtnost [7].

Buka utječe na percepciju te time smanjuje sposobnost otkrivanja zvuka koji proizvode druge životinje. Ometanja u međusobnoj komunikaciji između morskih sisavaca može utjecati na

veliki broj čimbenika poput poremećaja normalnog ponašanja kitova u smislu izbjegavanja nekih područja, promjene u obrascu zarona, povećani udio stresa i razne bolesti. To može utjecati na smanjenu sposobnost životinja da se razmnožavaju i prežive, a time može utjecati na vjerojatnost opstanka populacije [7].

Polovicom 19. stoljeća masovna nasukavanja kitova bila su neobjašnjiva pojava, no znanstvenici su pribjegavali sumnji da je uzrok podvodna buka. Današnji slični događaji su neupitno povezani s podvodnom bukom. Masovna nasukavanja dramatično su učestaliya nego 1961. godine, od kada je američka ratna mornarica počela upotrebljavati puno jače sonare.

Nasukani kitovi krvarili bi u području mozga, slušnih organa, ali i drugih unutarnjih organa. Također, dokazano je da kitovi izloženi buci imaju povišenu razinu hormona stresa, a stres dovodi i do slabljenja imunološkog sustava. Kitovi oštećenog sluha ne samo da imaju problema u međusobnoj komunikaciji, već i pri izbjegavanju opasnosti poput sudara s brodovima ili zapetljavanja u ribarske mreže [8].

3.2. Utjecaj podvodne buke na druge morske životinje

Važnost zvuka nije bitna samo za morske sisavce već je veoma važna i drugim životinjama u moru - morskim kornjačama, ribama i morskim beskralješnjacima. Beskralješnjaci emitiraju zvukove koji se uglavnom sastoje od pucketanja. To su kratki impulsi značajnog intenziteta i širokog spektra, a emitiraju se prilikom hranjenja ili kretanja, kao što su pozivi na parenje, te kao signali opasnosti ili zaštite vlastitog teritorija. Rakovice proizvode zvukove pucketanja i škrgutanja kliještima, čeljustima i drugim dijelovima tijela pokrivenog oklopom za vrijeme hranjenja ili kretanja. Oktopodi proizvode metalni zvuk škrgutanja svojim kljunom za vrijeme hranjenja te zvukove klopotanja prilikom kretanja. Kretanje iglica i nogu ježeva može biti izvor slabog pucketanja. Slušni organi beskralješnjaka su osjetljive dlačice na površini tijela koje reagiraju kao osjetila kretanja vode i kao prijemnici zvuka. Navedeni morski organizmi prebivaju u okolišu gdje su ljudske aktivnosti tijekom posljednjih 50 godina udeseterostručile buku. Time utjecaj koji buka stvara na morske organizme, dramatično se povećao [9]. Kako bi se točnije moglo definirati koliko se buke stvara, istraživači postavljaju podvodne mikrofone – hidrofone, na određene lokacije, kao što se može vidjeti na slici 3.



Slika 3. Postavljanje hidrofona na koraljni greben u Sulawesiju, Indonezija. Izvor <https://www.morski.hr/mozemo-li-rijesiti-problem-utjecaja-buke-na-zivot-u-moru-znanstvenici-otkrili-jednostavne-nacine-rjesavanja-ovog-problema/> [10]

Prilikom izlaganja podvodnoj buci morski organizmi mogu biti ugroženi kroz kratko ili kroz duže vrijeme. Jedan od lakših štetnih učinaka mogu biti npr. privremeni gubitak ili slabljenje sluha, poremećaj u ponašanju ili mogu biti teži štetni učinci, u najgorem slučaju smrt. Neprestana podvodna buka može degradirati obitavalište, uzrokovati poteškoće u parenju, pronalaženju hrane ili otkrivanju predatora. Iako je u današnje vrijeme provedeno dosta istraživanja, posljedice podvodne buke na morske organizme nisu još u potpunosti poznati [6]. Glede utjecaja antropogene buke na morske kornjače, on se može očitovati kroz utjecaj na ponašanje, odnosno sposobnost životinje da raste, preživi i razmnožava se. Buka može utjecati na opće zdravlje i preživljavanje jedinki na razini populacije, djelujući kao stresor, te može promijeniti normalno ponašanje i aktivnost rezidentnih populacija, utjecati na koordinaciju i orijentaciju životinja, migracijske obrasce, učinkovitost kretanja u vodi, brzinu i smjer kretanja, intervale zarona i ponašanje, opažanje predatora i hranjenje što uključuje i veličinu područja u kojem se životinja hrani, vrijeme koje provodi u toj aktivnosti, putanju koju prati i općenito uspješnost pronalaska hrane. Utjecaj se može očitovati i kroz fizičke ozljede koje mogu biti više ili manje ozbiljne i uzrokovati izravnu ili odgođenu smrtnost [8].

Antropogena buka utječe i na ribe, time što utječe na njihovo ponašanje, fiziologiju, anatomiju. Dolazi do smanjenja grupne kohezije, izbjegavanja važnih staništa, manjeg broja potomaka, te

veće stope smrtnosti. Uočava se slaba stopa rasta, smanjenje imuniteta i niska stopa reproduktivnosti. Anatomski gledano može doći do abnormalnog razvoja ili malformacije, gubitaka sluha, nemogućnosti regulacije plovnosti, oštećenja vitalnih organa, što u konačnici može dovesti do nasukavanja jedinki, njihove dezorijentacije i smrti.

Promatrajući preživljavanje jedinki na razini populacije buka ugrožava brojnost populacije te uzrokuje slabu povezanost među populacijama. Larve istraživanih vrsta riba teže naseljavaju određeno područje i duže vremena borave plivajući, a time pate od veće mogućnosti stradavanja od drugih riba, a takvo opterećenje zahtjeva i veći utrošak energije. Dokazano je da zvukovi seizmičkih topova (za pronalaženje nafte) oštećuju sluh riba u krugu od 30 kilometara, često uzrokujući potpuni gubitak sluha [9].

Skupina engleskih znanstvenika otkrila je, radeći na australskom Velikom koraljnom grebenu, da se mlade tropske ribice oslanjaju na prirodne zvukove kako bi pronašle koraljne grebene koji će im potom pružiti sigurno utočište. Uvidjevši važnost zvuka za ribe, odlučili su istražiti koliki utjecaj na ponašanje mogu imati neprirodni zvukovi [8]. Došli su do nevjerojatne spoznaje da čak i kratkotrajno izlaganje antropogenim zvukovima uzrokuje dezorijentaciju riba te one odlaze prema neprirodnim izvorima zvuka umjesto prema grebenima. Naime u ranijim istraživanjima, dr. Steve Simpson, stariji istraživač na Sveučilištu prirodnih znanosti u Bristolu (UK), otkrio je da se par tjedana stare ribe oslanjaju na zvukove koje proizvode druge ribe, rakovi i ježinci, kako bi pronašle koraljne grebene. Istraživanje koje je proveo Dr. Simpson i njegov tim sadržavalo se od procesa koji se sastoji od nekoliko koraka. Najprije su morali uhvatiti par tjedana stare ribice, zatim su ih stavljali u posude i izlagali zvukovima grebena (prirodni zvukovi) i raznim drugim (neprirodnim) zvukovima. Sljedeće noći ribice bi stavili u posude i izložili ih s jednog kraja posude – prirodnim zvukovima, a s drugog kraja posude – neprirodnim zvukovima. Neke ribice koje su izlagane umjetnim zvukovima noć prije, kretale bi se u smjeru iz kojeg taj zvuk dolazi. Time su dokazali i da su ribe sposobne naučiti novi zvuk te ga pamtili još satima poslije, a to je ujedno i opovrgnulo mit da memorija riba traje 3 sekunde. Zaključeno je da ukoliko se ribe orijentiraju prema izvorima antropogenih zvukova, lako bi se mogle naći u okolini s nedostatnim zalihama hrane, bez skrovišta za bijeg od predatora i sl., a sve to naravno uzrokuje i smanjenje ukupnog ribljeg fonda [8].

Testiranjem utjecaja na glavonošce (sipe, lignje i hobotnice) uočeno je da im se poremeti ravnoteža pri izlaganju niskim frekvencijama zvuka, koji uzrokuje oštećenje živčanih stanica i statocističnih stanica [1].

Mnoga su istraživanja provedena na Humboldtovoj (ili divovskoj) lignji. Ono što ih je potaknulo na takvo istraživanje bilo je mnoštvo (više tisuća) mrtvih lignji koje su nađene na obali savezne američke države Oregon 2004. godine, a zatim i 2008. Pretpostavili su da je glavni uzročnik nagla promjena morskih struja, međutim daljnja istraživanja povezala su te događaje s podvodnom bukom [8].

Španjolska je imala identičnu situaciju 2001. godine i ponovno 2003., međutim niti tada se nije naslućivao uzrok. Na Tehničkom sveučilištu u Barceloni provedeno je istraživanje na 87 glavonožaca (lignje, sipe, hobotnice) koje su izložene niskofrekventnim zvukovima slabog intenziteta, između 50 do 400 herca (50 do 400 Hz). Dokazano je da pri kratkotrajnom izlaganju takvim zvukovima može doći do oštećenja stanica statocista. Statocisti su inače organi koji životinjama služe za održavanje ravnoteže. Oštećenjem istih životinjama se smanjuje sposobnost za lov, bijeg od predatora i pronalazak partnera, odnosno moglo bi se reći da utječe na sve njihove životne aktivnosti [8].

Istraživanja su pokazala da uporaba zračnih topova ima letalni učinak na zooplankton mikroskopskih dimenzija, pogotovo njegove nezrele stadije. Kod nekih zooplanktonskih vrsta zabilježena stopa mortaliteta iznosila je 95%. Buka uzrokuje potrošnju kisika zajedno sa ubrzanim radom metabolizma kod nekih rakova. Djeluje i kao stresor što je kao krajnji rezultat usporilo rast i razvoj, smanjenu potrošnju hrane, nižu stopu reproduktivnosti i povećan rizik od smrtnih bolesti kod nekih rakova [1].

Iz svega navedenog može se zaključiti da nije moguće predložiti samo jednu mjeru koja bi opisivala učinak na različite morske organizme, već je potrebna kombinacija različitih karakterizacija i mjerenja, obzirom da je i utjecaj antropogene buke na različite morske organizme različit.

4. STANJE PODVODNE BUKE NA JADRANU

Sredozemno je more prepuno rijetkih te značajnih morskih staništa koje nastanjuje veliki broj endemskih vrsta sa određenim brojem kritično ugroženih vrsti. Prepoznato je kao jedno od 25 najbitnijih žarišta bioraznolikosti jer sadrži između 4 i 18 % poznatih morskih vrsta u svijetu unutar područja koje pokriva manje od 1% svjetskih oceana [11].

Jadransko more je prepoznato kao „vruća točka“ bioraznolikosti Sredozemlja. Iako točan broj vrsta i podvrsta koje doista žive ili se razmnožavaju u Jadranu još uvijek nije poznat, prema grubim procjenama kreće se između 7000 i 8000, a novija saznanja upućuju na to da bi ukupan broj vrsta i podvrsta mogao biti veći od 12000. Od toga je više od 5500 morskih beskralješnjaka, oko 600 vrsta algi, više od 280 spužava, 449 vrsta riba, 116 vrsta koralja, 10 vrsta morskih sisavaca te četiri vrste morskih cvjetnica. Još jedna vrsta koja se nalazi među njima, a njeno prostrano stanište možemo naći čitavom dužinom hrvatske obale Jadranskog mora naziva se posidonija. Jadran je također jedno od dva najznačajnija hranilišta i zimovališta glavate želve (*Caretta caretta*) u Sredozemlju, te je važno stanište dobrog dupina (*Tursiops truncatus*). Koralji koji nastanjuju Jadran čine oko 65% poznatih vrsta zabilježenih u Sredozemnom moru, a od tih 65% vrsta, čak 36 vrsta koralja iz Jadrana su endemi Sredozemnog mora. U hrvatskom dijelu Jadranskog mora zabilježeno je oko tridesetak vrsta morskih pasa što čini oko 40 % zabilježenih u Sredozemnom moru, od kojih neke vrste stalno obitavaju, a neke samo povremeno zalaze u Jadran [1].

Prema broju i vrsti kitova i dupina koji se nalaze u južnom Jadranu, može se naslutiti kako im je to područje veoma zanimljivo. Kroz dosadašnja istraživanja koje je Institut Plavi svijet proveo s partnerima zabilježene su razne vrste poput velikog kita, Cuvierovog kljunastog kita, glavatog dupina, dobrog dupina, prugastog dupina i ulješura. Najdublji dijelovi južnog Jadrana smatraju se kao važno područje za Cuvierovog kljunastog kita koji je vrlo osjetljiv na buku. Ovdje se primjerice nalaze kritična staništa sredozemne medvjedice, morskih kornjača i pojedinih vrsta dupina [12].

Sjeverni Jadran je pod velikim utjecajem rastućeg pomorskog prometa, turističkih aktivnosti i eksploatacije prirodnih resursa što izravno ugrožava biološku raznolikost. Na otvorenom dijelu Jadranskog mora komercijalna i trgovačka plovila koja uplovljavaju u Jadran prolaze do najsjevernijih luka doprinose značajnom unosu buke u podvodni svijet. Prevladava veliki promet rekreacijskih plovila (220.459 samo u teritorijalnom moru RH tijekom 2015), pogotovo u ljetnim mjesecima i transportnih brodova (tijekom 2015. u hrvatske luke prispjelo je 258.670

brodova). Ovaj oblik onečišćenja podvodnog okoliša posve sigurno utječe na lokalnu faunu. Planirane aktivnosti na povećanju lučkog prometa dovest će i do značajnog povećanja buke [9]. Posljednjih godina na području Jadrana počela su se provoditi seizmička istraživanja podmorja u potrazi za naftom i plinom uzrokujući značajno povećanje buke u širem području i stvarajući utjecaj na velike dijelove mora. Nemoguće je dati ukupnu sliku onečišćenja podvodnom bukom u Jadranu jer o tome nema dovoljno podataka [9].

Postoje podaci o utjecaju antropogene buke na prostornu distribuciju lokalne populacije dobrih dupina (*Tursiops truncatus*) u Lošinjsko – creskom arhipelagu gdje je ustanovljeno da dupini izbjegavaju područja s najvećim prometom brodova, a posebno rutu Mali Lošinj – Rab. Institut Plavi svijet već desetak godina provodi istraživanje o utjecaju buke na lokalnu zajednicu dobrih dupina u području Lošinja i Kvarnera [9].

Riječ je o području (kao i u cijelom priobalnom području Jadrana) u kojem su rekreacijska plovila jedan od glavnih izvora buke, posebice ljeti. Istraživanje Instituta Plavi svijet prvo je istraživanje koje povezuje povećanje buke u okolišu s načinom korištenja staništa dobrih dupina u svijetu, a veći broj radova o tome objavljen je u poznatim svjetskim znanstvenim časopisima [14].

Rezultati su pokazali da je značajno povećanje buke u tom području ljeti razlog što dobri dupini izbjegavaju određena područja. Time se smanjuje raspoloživost staništa u kojem dupini obitavaju te uzrokuje stres što može imati dugoročni utjecaj na mogućnost njihova opstanka u području [9]. Utvrdili su da značajni izvor buke predstavljaju komercijalna, trgovačka plovila koja uplovljavaju u Jadran i prolaze sve do najsjevernijih luka (Ravena, Venecija, Trst, Kopar, Rijeka), kao i rastuća seizmička istraživanja provedena bez ikakvog nadzora, bez mjera ublažavanja i zaštite i bez izrađene studije utjecaja na okoliš. Institut Plavi svijet partner je na projektu SOUNDSCAPE, sufinanciranom od Europske unije. Projekt se provodi u suradnji s 8 partnera iz Italije i Hrvatske, a vodeći partner je Institut za oceanografiju i ribarstvo (IOR) iz Splita. Glavni cilj projekta znanstvene i institucionalne suradnje između Italije i Hrvatske pod nazivom SONARSCAPE je procijeniti utjecaj podvodne buke na morsku biološku raznolikost. Ovakva vrsta istraživanja važna je jer ima za cilj osigurati učinkovitu zaštitu osjetljivih morskih vrsta i održivo korištenje morskih priobalnih ekosustava [15]. Da bi pridonio ciljevima projekta SOUNDSCAPE, Institut Plavi svijet postavio je dva hidrofona na područje Kvarnera te istovremeno pomoću teodolita prati prostorno-vremensku distribuciju i intenzitet pomorskog prometa. Cilj istraživanja je bolje shvatiti učinke podvodne buke, te kako bi u tome uspjeli

potrebno je dobivene podatke povezati s podacima u prostornoj i vremenskoj raspodjeli morskih kornjača i dobrih dupina. Drugo istraživanje pokazalo je kako buka motornih jahti značajno ometa akustičnu komunikaciju populacija riba na području rezervata Miramare u tršćanskom zaljevu, što je mogući izvor problema u sezoni mrijesta [16].

Talijanski morski biolog Antonio Codarin je snimajući zvukove koristeći sličan uređaj prikazan na slici 4. od 2006. do 2015.godine u podmorju Tršćanskog zaljeva, Venecijanske lagune i Cresko - lošinjskog arhipelaga prikupio podatke koji ukazuju na prostorne varijacije razine buke između istraživanih područja sa sličnijim razinama između Trsta i Venecije dok je u arhipelagu Cresa i Lošinja buka ipak manjeg intenziteta. Njegovo istraživanje je sastavni dio Okvirne direktive o morskoj strategiji (ODMS) Europske komisije iz 2008.godine za zaštitu oceanskog okoliša.



Slika 4. Hidrofon – podvodni mikrofoni – služi za snimanje podvodnih zvukova. Izvor <https://www.plavi-svijet.org/soundscape-the-equipment-testing-for-the-underwater-noise-acoustic-monitoring/> [16]

Iako se čini kao da se sve više buke unosi u podvodni svijet i da se ništa ne poduzima po tom pitanju, ipak se provode projekti i postoje sredstva koja podupiru te projekte i dokazuju suprotno, da su morski biolozi svjesni stanja te da ipak pokušavaju napraviti pomak na bolje te da se utjecaj podvodne buke smanji maksimalno koliko je to moguće.

5. TEHNIČKE I REGULATORNE MJERE SUZBIJANJA BUKE TEMELJEM PRIMJERA DOBRE PRAKSE U SVIJETU

Posljednjih 20 godina antropogena podvodna buka izaziva sve veću pažnju na međunarodnoj razini. Potaknuta su nova istraživanja kako bi se pojasnio utjecaj različitih izvora i razina buke na morske vrste i otkrio odgovor na različite izvore i razine buke i kako bi se identificirala razina buke koja može negativno utjecati na morske životinje [1]. Provedene su brojne studije na svjetskoj razini koje su proučavajući različite ekosustave i pojedine skupine morskih organizama nastojale utvrditi koliki je opseg utjecaja pojedinih izvora antropogene buke na njih. Kao što je i prethodno navedeno, onečišćenje bukom posebno je velik problem za kitove koji redovito koriste zvuk kako bi međusobno komunicirali. Jedna studija iz 2012. godine otkrila je da se zvuk srednjeg dometa iz sonara brodova poklapa s njihovim međusobnim pozivima, tjerajući ih da se ponavljaju kao da gube vezu s mobilnim telefonom, a time doslovno utječe na smanjenje broja kitova jer im onemogućuje komunikaciju. Studija iz 2017. godine provedena na kitovima ubojicama utvrdila je da antropogena buka oceana može spriječiti kitove ubojice da se hrane onoliko koliko bi se hranili da buka nije prisutna [10].

Nadalje, od strane britanskih i australskih znanstvenika otkriven je inovativni način akustičnog podizanja kvalitete kojim se može pomoći u oporavljanju koraljnih grebena koji su ugroženi od strane ljudskog djelovanja i klimatske krize [17].

Putem regulatornih mjera nastoji se postići razina unosa podvodne buke na razini koja ne šteti morskom okolišu, te su na međunarodnoj razini donesene odredbe i smjernice za daljnje postupanje. Problematika je još uvijek dosta neistražena i nema jasno definiranih zakonskih okvira no postoji niz odluka, smjernica i direktiva koje se bave problemom podvodne buke.

Problem podvodne buke prepoznat je u kontekstu Okvirne direktive o morskoj strategiji (ODMS) koja od zemalja članica EU zahtjeva praćenje stanja očuvanosti morskog okoliša putem 11 pokazatelja. Pokazatelj 11 (Deskriptor 11 ili skraćeno D11) odnosi se na unos energije u morski okoliš, odnosno na podvodnu buku čija razina bi trebala biti na razini koja nema negativan utjecaj na morski okoliš, te opisuje izravni utjecaj podvodne buke na morske organizme, a koja se dodaje prirodnom podvodnom zvuku čiji su izvori gibanja u zemljinoj kori (potresi, pomicanja i sl.), meteorološki (vjetar, kiša, valovi i sl.) i biološki (mnogi organizmi u moru proizvode zvuk). U tu svrhu je i definicija dobrog stanja okoliša (DSO), definirana kao unos energije, uključujući podvodnu buku, svjetlost i toplinu na razinama koje ne štete morskom okolišu [6].

Pokazatelj 11 (D11) dijeli se na pokazatelje 11.1 (D11C1 – Pokazatelj 11, kriterij 1) i 11.2 (D11C2 – Pokazatelj 11, kriterij 2) gdje je pokazatelj 11.1 (D11C1) namijenjen nadzoru impulsne buke uzrokovane aktivnostima kao što su seizmička ispitivanja, istraživanje i eksploatacija nafte i plina, podvodni radovi, dok je 11.2 (D11C2) nadzor kontinuirane buke u okolišu koju uzrokuje pomorski promet [18].

Promatrano s aspekta Jadrana i Republike Hrvatske važno je napomenuti da je obzirom na dimenzije i hidromorfološke osobine Jadranskog mora, te glavne prometne pravce i odvijanje pomorskog prometa, u određivanju ekološkog stanja Jadrana preporučljiva međunarodna suradnja kako bi se na razini cijelog Jadrana pratila prostorna-vremenska raspodjela jačine i trend podvodne buke te odredili kriteriji. U veljači 2021. godine donesen je Akcijski program strategije upravljanja morskim okolišem i obalnim područjem od strane Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja u kojem je jasno definirano razgraničenje Pokazatelja 11.1 (D11C1) i Pokazatelj 11.2. (D11C2) te načini njihove provedbe [18].

Pokazatelj 11.1 (D11C1) definira „Postotak dana i njihova razdioba unutar kalendarske godine kao i njihov prostorni razmještaj u područjima koja se prostiru unutar točno određene površine, u kojem antropogeni izvori zvukova prekoračuju razine pri kojima postoji visoka vjerojatnost značajnih utjecaja na morske životinje, mjerene kao razina izloženosti zvuku (u dB u odnosu na $1\mu\text{Pa}^2\text{ s}$) ili kao maksimalna razina zvučnoga tlaka (u dB u odnosu na $1\mu\text{Pa}$ na 1 metar (m)), na udaljenosti od jednog metra u frekvencijskom području od 10 Hz do 10 kHz “[18]. Uočeno je da impulsna buka ima utjecaj na ponašanje nekih morskih vrsta, te da je većinom proizvode izvori koji imaju višu zvučnu razinu nego izvori kontinuirane buke. Pokazatelj opisuje utjecaj na ekosustav u cjelini, a ne na pojedinu vrstu što podrazumijeva prostornu i vremensku raspodjelu. Krajnji cilj je zapravo definirati i izvršiti pregled svih impulsnih izvora buke na određenom geografskom području i vremenu kako bi se mogao stvoriti registar pojavljivanja impulsne buke. Taj registar trebao bi biti prikaz svih ljudskih aktivnosti koje proizvode jaku impulsnu buku na određenom području, te bi trebao sadržati podatke o broju dana u kojem je razina impulsa ili niza impulsa buke prelazila određeni prag. Time bi se trebao stvoriti pravni okvir koji bi nalagao obvezu prijave aktivnosti s jakim impulsnim izvorima buke niske i srednje frekvencije kako bi se u daljnjim aktivnosti spriječila proizvodnja buke koja šteti ekosustavu ili bi ona barem bila svedena na najmanju moguću mjeru.

Pokazatelj 11.2. (D11C2) prati trendove u razini kontinuirane buke srednje frekvencije unutar tercnih pojasa 63 i 125 herca (63 i 125 Hz) u odnosu na 1 mikroPaskal ($1\mu\text{Pa}$) RMS (eng. root mean square, hrv. srednja kvadratna vrijednost – koristi se kao opis prosjeka amplituda

varijacija tlaka tijekom određenog vremenskog okvira) . Prosječna razina buke u navedenom rasponu oktava tijekom jedne godine izmjerena je na nadzornim postajama. Praktična realizacija elementa kriterija Pokazatelja 11.2 (D11C2) je praćenje apsolutnih razina podvodne buke te njihove prostorne i vremenske razdiobe. To je moguće na dva načina: mjerenjem i modeliranjem širenja buke. Za određivanje elementa kriterija Pokazatelja 11.2 (D11C2) predviđeno je modeliranje prostorno-vremenske razdiobe kontinuirane podvodne buke niske i srednje frekvencije. Numeričkim modeliranjem bi se odredila prostorno-vremenska raspodjela podvodne buke tijekom godišnjih razdoblja, uključujući ljetno razdoblje kad je prosječna buka najveća i zimsko kad je ona najmanja. Model bi se kalibrirao i verificirao podacima s osam mjernih postaja raspoređenih u reprezentativnim područjima s obzirom na frekvencijsku karakteristiku i razinu buke, te dnevno - noćne i sezonske promjene. Dosadašnjim istraživanjima utvrđeno je da bi se odabir mjernih postaja provodio na način da pokrivaju četiri tipa karakteristična za razinu, frekvencijski raspon i prostorno - vremensku raspodjelu buke:

1. na rubu važnog ribolovnog područja i blizu glavnim rutama pomorskog prometa od Južnog Jadrana do glavnih pomorskih luka (trgovačkih i putničkih) u sjevernom i srednjem dijelu Jadrana (Trst, Koper, Rijeka)
2. u izuzetno osjetljivom području (morski nacionalni parkovi, parkovi prirode i područja Natura 2000) gdje se očekuju relativno visoke razine podvodne buke u turističkoj sezoni kada se nautički i turistički promet jako povećava (Kornati, Mljet, Pakleni otoci)
3. u blizini važnih ribolovnih područja (Jabučka kotlina, vanjska strana srednje dalmatinskih otoka)
4. u području prilaza glavnim hrvatskim lukama gdje se očekuju visoke razine podvodne buke prouzročene intenzivnim putničkim i/ili teretnim pomorskim prometom, kojem se tijekom ljetnog razdoblja dodaje i turistički i nautički promet (Split, Rijeka, Zadar, Ploče, Dubrovnik)

Kontinuirana podvodna buka će se pratiti u produženom vremenu tijekom ljetnog i zimskog razdoblja (u vremenu ne kraćem od 17 dana po razdoblju s time da su uključene tri subote i nedjelje) na području izrade numeričkog modela i osam postaja koje se raspoređuju u četiri gore definirana karakteristična područja. Dosadašnjim postajama na kojima je mjereno u prethodnom razdoblju dodati će se nove postaje koje su koordinatama prikazane u tablici 1., a

one se nalaze u Riječkom zaljevu, Zadarskom kanalu, kod otoka Sušca i području ispred Dubrovnika [18].

Tablica 1. Lokacije postaja na kojima će se pratiti kontinuirana buka. Izvor https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/Uprava_vodnoga_gospodarstva_i_zast_mora/Strategija_upravljanja_morem/Akcijски%20program%20Sustav%20pra%20C4%87enja%202021_2026.pdf [18]

Oznaka postaje	X koordinata (HTRS96)	Y koordinata (HTR96)
P1	269412,95	49881786,87
P2	396312,41	4860178,90
P3	427243,30	4832435,04
P4	493170,61	4814242,07

Numerički model širenja kontinuirane buke niske i srednje frekvencije izraditi će se temeljem podataka koji se mogu podijeliti u dvije grupe: podaci o izvorima podvodne buke i podaci o okolišu (podmorju) kroz koji se podvodna buka širi. Podaci o izvorima kontinuirane podvodne buke uključuju podatke o pomorskom prometu (broj i tip plovila, smjerovi plovidbe, razine emitirane buke od pojedinog tipa plovila) i drugim izvorima kontinuirane podvodne buke (npr. instalacije za istraživanje i eksploataciju ugljikohidrata). Podaci o okolišu uključuju batimetriju, vrstu dna (sediment), meteorološke podatke (valovi, padaline), i vertikalne profile gustoće vode (ili brzine zvuka) u vodenom stupcu. Temeljem tih podataka izrađuju se simulacije širenja podvodnog zvuka u određenom frekvencijskom području (redovito pojasa trećine oktave - tercnog pojasa) unutar željenog vremenskog perioda (mjesec, sezona, godina) u promatranom prostoru. Mjerenja kontinuirane buke niske i srednje frekvencije provodit će se autonomnim uređajima za mjerenje podvodne buke. Karakteristike uređaja kojima se mjeri podvodna buka na definiranim područjima prikazani su u tablici 2. Uređaj se postavlja na morsko dno te u određeno vrijeme i u određenom frekvencijskom području snima i pohranjuje razine podvodne buke. Uređaj je kalibriran pa se snimljene razine buke mogu odrediti u apsolutnom iznosu [18]. Uređaj se postavlja i diže s dna pomoću standardne oceanografske opreme (uteg, uzgonska tijela, akustički odvajač). Za postavljanje i dizanje uređaja može se koristiti i manje plovilo i na taj način optimizirati troškove. Uređaj ima mogućnost prijenosa snimljenih podataka o razinama podvodne buke na vanjsko računalo na kojem se provodi provjera kvalitete, obrada i analiza podataka. Mjerna jedinica za dostizanje dobrog stanja morskog okoliša (DSO) prema kriteriju Pokazatelja 11, kriterij 2 (D11C2), je godišnji prosjek razine kontinuirane buke po

jedinici površine nekog područja; godišnji prosjek razine buke ili druga odgovarajuća privremena mjerna jedinica po jedinici površine, prostorna raspodjela unutar područja procjene, te površina (% , km²) područja procjene na kojoj su dostignute utvrđene granične vrijednosti. U svrhu izrade numeričkog modela širenja kontinuirane buke niske i srednje frekvencije pokrenut je 2019. godine projekt SOUNDSCAPE pomoću kojeg bi se trebao omogućiti pristup svim podacima potrebnim za izvješćivanje koje se zahtjeva prema okvirnoj direktivi o morskoj strategiji (ODMS), te za buduće definiranje graničnih vrijednosti. Ovaj europski projekt vrijedan je 2,1 milijuna eura. Projekt provodi 8 partnera iz Hrvatske i Italije. Krajnji je cilj da se temeljem istraživanja prvi put naprave mape buke po mjesecima i sezonama [18].

Tablica 2. Karakteristike autonomnog uređaja za mjerenje podvodne buke. Izvor https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/Uprava_vodnoga_gospodarstva_i_zast_mora/Strategija_upravljanja_morem/Akcijски%20program%20Sustav%20pra%20C4%87enja%202021_2026.pdf [18]

Frekvencijsko područje	10 Hz – 20 kHz ± 1 dB; Uređaj sadrži visoko propusni filter s podesivom donjom graničnom frekvencijom u području 2 -10 Hz
Osjetljivost	Buka – 185 dB re 1V / μPa do – 165 dB re 1V / μPa, Osjetljivost uređaja je poznata u apsolutnom iznosu iz kalibracije koja je dokumentirana ispravnim kalibracijskim listom.
Usmjerenost	Neusmjerenost ± 2 dB u specificiranom frekvencijskom području
Pojačanje	Promjenljivo 0 - +16 dB
A/D konverzija i pohrana podataka	16 bita ili bolje. Flash memorija, SD kartica ili slično. Kapacitet za pohranu 30 dana kontinuiranog mjerenja u specificiranom frekvencijskom području. Format bez gubitka izvornih podataka (wav ili sličan). Niskoenergetski algoritam snimanja koji omogućava programibilni vremenski tok pohrane (buđenje/snimanje/ spavanje)
Vlastiti šum	Ispod šuma stanja mora 0 u specificiranom frekvencijskom pojasu (posebno < 50 dB Re 1 μPa ² /Hz na 63 Hz i < 47 dB Re 1 μPa ² /Hz na 125 Hz).
Kalibracija	Omogućena kalibracija cijelog mjernog lanca (hidrofon, pojačalo, filteri, A/D konverzija). Postoji kalibracijski list za tvorničku kalibraciju cijelog mjernog lanca. Hidrofonski kalibrator (pistonofon) omogućava brzu provjeru cijelog mjernog lanca na terenu, prije postavljanja instrumenta u more na mjernoj postaji.
Napajanje	Baterijsko s kapacitetom dovoljnim za 30 dana kontinuiranog snimanja u specificiranom frekvencijskom pojasu.
Dubina rada	Do 300 m

Instrumenti za mjerenje podvodne buke postavljeni su na 9 različitih lokacija, blizu ulaza u luke i uz rute teretnih brodova. Među partnerima je i lošinjski Institut Plavi svijet koji je već

istraživao utjecaj buke na dupine i morske kornjače. Uključeni su i stručnjaci Nastavnog zavoda za javno zdravstvo. Projekt je trajao do 30.11.2021.godine nakon čega se pristupilo izradi karata buke u Jadranu temeljem koje će se dogovoriti migracijske mjere koje imaju za cilj smanjenje utjecaja buke na životinjski svijet u Jadranu [18].

Hrvatski prirodoslovni muzej i Institut Plavi svijet u suradnji s Zavodom za biologiju mora Institut Texas A&M Sveučilišta Galveston, SAD izradili su program istraživanja skupine kitova i buke u okolišu u Južnom Jadranu korištenjem visokofrekventnog uređaja za akustičko snimanje (High-frequency Acoustic Recording Package - HARP). Radi se o autonomnom uređaju za snimanje zvuka koji može kontinuirano snimati zvuk širokog spektra frekvencija omogućujući dugotrajni akustički monitoring. Može snimati glasanje kitova ulješura koji koriste zvuk niskih frekvencija kao i glasanje dupina koji proizvode svoje klikove na visokim frekvencijama. Istodobno može snimati buku u morskom okolišu te zvukove koje proizvode seizmička istraživanja ili sonar u širokom području mora. Cilj postavljanja HARP uređaja u periodu od šest-sedam mjeseci bilo je bolje razumijevanje prisutnosti dupina i kitova i kvalitetu akustičkog okoliša u Jadranu.

Usprkos nizu provedenih istraživanja i studija u Svijetu i na području Jadrana koji su za svrhu imali promatranje različitih područja i pojedinih skupina morskih organizama kako bi se jasno definirao utjecaj koji različiti oblici podvodne buke imaju na ekosustave i ljude, još uvijek nisu stvoreni jasno definirani zakonski okviri koji bi regulirali razinu podvodne buke i okvire u kojima ona nije štetna za ekosustave i ljude, kao i jasno definiranje područja koja su više izloženi podvodnoj buci.

Određene studije također pokazuju da zapravo postoje iznenađujući jednostavni načini kojima bismo mogli pokušati riješiti problem onečišćenja podvodnom bukom i spriječiti ugrožavanje podmorja i ekosustava. Na primjer, nakon terorističkih napada 11.rujna 2001. u Americi je iznad i ispod mora zavlдалo zatišje. Kao što su ljudi manje putovali zrakoplovima, tako je i brodski promet značajno smanjen, čak i sjeverno do zaljeva Fundy u Kanadi, što je rezultiralo da je podvodna buka pala za nevjerojatnih šest decibela na ispod 150 Hz što je jednako tihoj kiši ili mačjem predenju. Kako to područje često posjećuju sjevernoatlantski kitovi znanstvenici su proveli istraživanje kako bi utvrdili da li mirnije i tiše vode imaju bilo kakav utjecaj na kitove. Analizom njihovih fekalnih tvari na hormone stresa, otkrili su da niža buka na moru, koju uzrokuju ljudi, dovodi do nižih razina stresa.

Stoga bi definitivna tendencija trebala biti da se smanji i ograniči antropogena buka pogotovo u onim područjima gdje obitavaju morske vrste na koje ona posebno negativno utječe kako ne

bi trajno onemogućila njihovu sposobnost preživljavanja te time dovela i do izumiranja pojedinih vrsta.

Neke luke, kao što su glavne luke na američkom pacifičkom sjeverozapadu i Vancouveru uvele su programe usporavanja, što se u daljnjim istraživanjima pokazalo kao mjera koja donosi znatno poboljšanje i razliku jer uzrokuje veliki pad u razini buke. Kako brodovi usporavaju i smanjuju buku tako se i kitovi vraćaju svojim normalnim navikama te više jedu. Tendencija u daljnjoj budućnosti bi trebala biti promjena u zahtjevima gradnje brodova tako da dijelovi koji stvaraju najviše buke, poput motora i propelera, budu dizajnirani tako da budu tiši.

Naime, provedena studija Roba Williamsa, morskog biologa i osnivača Oceans Initiative, neprofitne organizacije koja radi na zaštiti morskog života, utvrdila je proučavajući buku koja proizlazi iz flote od 1500 brodova da 50 % buke dolazi sa samo 15% plovila, stoga bi trebalo uložiti napore da se takve brodove opremi novim propelerima za smanjenje buke jer bi to značajno promijenilo ukupni učinak cijele flote [19].

Što se tiče ostalih izvora antropogene buke jedan od adekvatnih načina smanjenja njenog štetnog učinka je kvalitetno i pravovremeno planiranje pri odabiru lokacija i izrada studija utjecaja na okoliš. Naime u slučaju vjetroelektrana na moru jedan od načina smanjenja njenog štetnog utjecaja je stvaranje zavjese s mjehurićima oko mjesta koji bi tvorili kao zid koji blokira dio zvuka koji se emitira iz izvora. Trebalo bi potaknuti smanjenu upotrebu vojnih sonara, te voditi računa da se frekventne zračne luke smještene blizu vodenih površina udalje od područja u kojima žive morski organizmi osjetljivi na tu vrstu podvodne buke.

Seizmička aktivnost vezana za pronalazak nafte i plina trebala bi se ograničiti ograničenjem decibela na određenim točkama gdje postoje osjetljiva morska staništa, te bi vladine agencije koje se bave zaštitom okoliša trebale nadzirati takve projekte. Jedno od mogućih rješenja je ublažavanje zvuka putem ispuštanja zraka u kontinuiranim, nižim frekvencijama tijekom dužih vremenskih razdoblja.

6. ZAKLJUČAK

Iako je problem podvodne buke veliki i izuzetno zabrinjavajući, dobra je vijest da se po tom pitanju ipak nešto može poduzeti. Izvor buke, ipak se može riješiti određivanjem mjesta ili aktivnosti koja uzrokuje samu buku ili vibraciju, koja je također štetna te time smo već korak bliže pronalasku rješenja za smanjenje štetnih učinaka podvodne buke. Zvuk se može gotovo trenutnim zahvatima smanjiti, ako ne i potpuno isključiti, te time onečišćenje podvodnom bukom nema utjecaj usporediv s onečišćenjem plastikom ili utjecajem klimatskih promjena, koji su veoma teško rješivi.

Iako je istraživanje oceanskog zvučnog krajolika još uvijek novo područje, postoje napori i brojne studije i istraživanja kako bi se dobilo čim više podataka, te razvilo bolju i pristupačniju tehnologiju slušanja.

Ono što je bitno je ne fokusirati se samo na jedan izvor zvučnog onečišćenja ili na jednu pogodenu vrstu jer to na globalnoj razini neće smanjiti štetno djelovanje podvodne antropogene buke, već treba uzeti u obzir sveobuhvatan utjecaj na okoliš i morski ekosustav, te izraditi višegodišnje planove djelovanja i zakonske okvire ograničavanja razina buke. Daljnjim sustavnim praćenjem okoliša i ekosustava bit će moguće utvrditi napredak koji je postignut i kontinuirano raditi na daljnjem poboljšanju i smanjenju štetnosti antropogene buke.

Stoga je od iznimne važnosti na međunarodnoj razini izvršiti provedbu procjene utjecaja na okoliš različitih vrsta zahvata koji uzrokuju antropogenu buku, te utvrditi što se može učiniti da bi se prijetnja podvodne antropogene buke smanjila u budućnosti. Naglasak treba staviti na stručne argumente i kvalitetan konzultacijski proces.

Sve dok su ljudi u blizini, zvukovi koji ih prate biti će prisutni, no smislenim načinom reguliranja štetnih zvukova može se spriječiti smanjenje bioraznolikosti morskog ekosustava.

LITERATURA

- [1] Republika Hrvatska, 2017., Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, Utjecaj antropogene buke na morsku bioraznolikost, dostupno na: <https://www.haop.hr/index.php/hr/tematska-podrucja/prirodne-vrijednosti-stanje-i-ocuvanje/ugrozenost-vrsta-i-stanista/uzroci-0>
- [2] Sinay Maritime Dana Solution, 2022., „What are 4 Sources of Noise Pollution by Humans in the Ocean?“, dostupno na :<https://sinay.ai/en/what-are-4-sources-of-noise-pollution-by-humans-in-the-ocean/>
- [3] American Oceans, „What is sonar?“, dostupno na: <https://www.americanoceans.org/facts/what-is-sonar/>
- [4] Deep Trekker; Sonar systems; All you need to know, dostupno na: <https://www.deeptrekker.com/news/sonar-systems>
- [5] <https://i.ytimg.com/vi/FN8IAb0rG9A/maxresdefault.jpg> pristupljeno
- [6] Baltazar; More; Podvodna buka, dostupno na: http://baltazar.izor.hr/portal/clanak?p_id=21
- [7] Pomorska enciklopedija. 6. izdanje. Zagreb : Jugoslavenski leksikografski zavod, 1983. Str. 186-187
- [8] Biologija, „Morske životinje pate zbog nepodnošljive buke“, 2011., dostupno na: <http://www.biologija.com.hr/modules/AMS/article.php?storyid=8563>
- [9] Podvodni „U Sredozemnom moru je jako bučno“, dostupno na: <http://www.podvodni.hr/more/ekologija/1721-u-sredozemnom-moru-je-jako-bucno>
- [10] Morski, „Možemo li riješiti problem utjecaja buke na život u moru, znanstvenici otkrili jednostavne načine rješavanja ovog problema“,2022., dostupno na: <https://www.morski.hr/mozemo-li-rijesiti-problem-utjecaja-buke-na-zivot-u-moru-znanstvenici-otkrili-jednostavne-nacine-rjesavanja-ovog-problema/>
- [11] Pharos4mpas projekt, Nacionalni izvještaj, 2019. „Je li moguć suživot morskih zaštićenih područja i sektora koji koriste morske resurse u Hrvatskoj ?“str. 77, dostupno na: https://maritime-spatial-planning.ec.europa.eu/sites/default/files/hr_national_report.pdf
- [12] Stenella Consulting, „Podvodna antropogena buka prijeti životu u moru - što učiniti?“, 2018., dostupno na: <https://www.stenella-consulting.hr/post/podvodna-antropogena-buka-prijeti-zivotu-u-moru-sto-uciniti>

-
- [13] Morski, „Znanost istražuje Koliki su razmjeri buke u Jadranu?“, 2021., dostupno na: <https://www.morski.hr/znanost-istrazuje-koliki-su-razmjeri-buke-u-jadranu/>
- [14] Antić, J.: „Biolog otkriva kakvi su to problemi doveli ulješare do Rovinja“, 2016., dostupno na: <https://www.tportal.hr/vijesti/clanak/biolog-otkriva-kakvi-su-to-problemi-doveli-uljesare-do-rovinja-20160826>
- [15] Institut Plavi svijet, „Soundscape“, dostupno na: <https://www.plavi-svijet.org/cime-se-bavimo/nasi-projekti/soundscape/>
- [16] Institut Plavi svijet, „SOUNDSCAPE – testiranje opreme za akustični monitoring podvodne buke“, 2020., dostupno na: <https://www.plavi-svijet.org/soundscape-the-equipment-testing-for-the-underwater-noise-acoustic-monitoring/>
- [17] Ekovjesnik, „Znanstvenici otkrili način kako pomoći ugroženim koraljnim grebenima“, 2019., dostupno na: <https://www.jutarnji.hr/domidizajn/eksterijeri/znanstvenici-otkrili-nacin-kako-pomoci-ugrozenim-koraljnim-grebenima-9768043>
- [18] Republika Hrvatska, 2021., Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, „Akcijski program strategije upravljanja morskim okolišem i obalnim područjem; Sustav praćenja i promatranja za stalnu procjenu stanja jadranskog mora (2021.-2026.)“, dostupno na: https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/Uprava_vodnoga_gospodarstva_i_zast_mora/Strategija_upravljanja_morem/Akcijski%20program%20Sustav%20pra%C4%87enja%202021_2026.pdf
- [19] Veirs S, Veirs V, Williams R, Jasny M, Wood J. 2018. A key to quieter seas: half of ship noise comes from 15% of the fleet. PeerJ Preprints 6:e26525v1, dostupno na: <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.26525v1>

PRILOZI

- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija