

UTJECAJ POMORSKOG PRIJEVOZA NA OKOLIŠ

Krivokuća, Dorian

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:361146>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-29**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET

Prijediplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

UTJECAJ POMORSKOG PROMETA NA OKOLIŠ

Rijeka, kolovoz 2024.

Dorian Krivokuća

0069090155

SVEUČILIŠTE RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET

Prijediplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

UTJECAJ POMORSKOG PROMETA NA OKOLIŠ

Mentor: prof. dr. sc. Roko Dejhalla

Rijeka, kolovoz 2024.

Dorian Krivokuća

0069090155

Rijeka, 15.03.2024.

Zavod: Zavod za brodogradnju i inženjerstvo morske tehnologije
Predmet: Zaštita okoliša

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Dorlan Krlvokuća (0069090155)**
Studij: Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva (1010)

Zadatak: **UTJECAJ POMORSKOG PRIJEVOZA NA OKOLIŠ / ENVIRONMENTAL EFFECTS OF
MARINE TRANSPORTATION**

Opis zadatka:

Ukratko opisati brod kao sredstvo za pomorski prijevoz te obrazložiti razvoj i značaj pomorskog prijevoza. Obraditi utjecaj pomorskog prijevoza na okoliš. Pritom je potrebno obuhvatiti sve glavne utjecaje poput onečišćenja zraka, emisije stakleničkih plinova, ispuštanja balastnih voda, korištenja boja za sprečavanje obrastanja, izlivanje nafte i kemikalija, ispuštanje suhog rasutog tereta, podvodnu buku, rizike od nasukanja i potonuća brodova, itd. Posebno obraditi utjecaj za novu rutu pomorskog prijevoza preko Arktika. Podatke odgovarajuće sustavno obraditi, analizirati i zaključno komentirati.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanja diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

Zadatak uručen pristupniku: 20.03.2024.

Mentor:
prof. dr. sc. Roko Dejhalla

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:
izv. prof. dr. sc. Samir Žić

IZJAVA

Sukladno članku 7. Pravilnika sveučilišta u Rijeci o izradi završnih radova, završnih ispita i završetku prijediplomskih sveučilišnih studija Tehničkog fakulteta, ja, Dorian Krivokuća, student prijediplomskog sveučilišnog studija strojarstva, izjavljujem da sam samostalno izradio završni rad na temu „Utjecaj pomorskog prometa na okoliš“ pod vodstvom mentora Prof. dr. sc. Roka Dejhalle.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Roku Dejhali na ukazanom povjerenju i savjetovanju pri izradi ovog završnog rada.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. RAZVOJ I ZNAČAJ POMORSKOG PROMETA	2
3. UTJECAJ POMORSKOG PROMETA NA OKOLIŠ	8
3.1 ONEČIŠĆENJE ZRAKA	8
3.2 BALASTNA VODA	10
3.2.1 OPĆENITO O BALASTNOJ VODI	10
3.2.2 POVIJEST NESREĆA I ZAPAŽENI UTJECAJI	12
3.2.3 PREVENCIJA	15
3.3 BOJE ZA SPRJEČAVANJE OBRASTANJA	17
3.4 IZLIJEVANJE NAFTE I KEMIKALIJA	19
3.4.1 OPĆENITO O IZLJEVIMA NAFTE I KEMIKALIJA	19
3.4.2 POVIJEST NESREĆA I ZAPAŽENI UTJECAJI	22
3.4.3 PREVENCIJA	26
3.5 ONEČIŠĆENJE RASUTIM SUHIM TERETOM	33
3.6 PODVODNA BUKA	35
3.6.1 OPĆENITO O PODVODNOJ BUCI	35
3.6.2 ZAPAŽENI UTJECAJI	38
3.6.3 PREVENCIJA	41
3.7 NASUKAVANJA I POTONUĆA BRODOVA	43
3.8 UTJECAJI NOVIH ARTIČKIH RUTA	46
4. ZAKLJUČAK	49
LITERATURA	51
POPIS SLIKA	61
SAŽETAK	63
SUMMARY	64

1. UVOD

Pomorski promet već tisućljećima igra ključnu ulogu u povezivanju ljudi na globalnoj razini i oblikovao je društvo današnjice. Neprestana cirkulacija dobara, informacija i ideja je omogućila eksponencijalan rast u tehnološkoj sposobnosti ljudi i promicala opći gospodarski rast integrirajući udaljena gospodarstva i kulture. Kao ključan dio globalne trgovine i nezamjenjiva metoda prijevoza velikih količina dobara, moreplovstvo je odgovorno za 80% ukupnog volumena dobara koji se razmjenjuje na internacionalnoj razini i taj trend neprestano raste. Od 1990. do 2021. god. zapažen je porast prevezene tonaže brodovima s 4 na gotovo 11 milijardi tona. Veličina same globalne trgovačke flote je od 2013. god. porasla za otprilike 43%, dosegnuvši gotovo 2,1 milijun tona nosivosti u 2021. godini. [1]

21. stoljeće je obilježeno rastućom svijesti o ljudskom djelovanju na okoliš i nepovratnim posljedicama koje proizlaze iz neodgovornog ponašanja prema njemu. Stalno prometovanje morem je dovelo do očekivanog onečišćenja zraka ispuštanjem stakleničkih plinova i štetnih čestica, ali postoji mnoštvo drugih utjecaja na svakoj razini okoliša. More se onečišćuje izlivanjem nafte i kemikalija, bioraznolikost se narušava izlivanjem balastnih voda, onečišćenje podvodnom bukom narušava komunikaciju životinja, njihova staništa su ugrožena samom pomorskom infrastrukturom i olupinama brodova itd. Iako su brodovi neophodni za globalno tržište, njihov utjecaj je dalekosežan i značajan. Neki od navedenih utjecaja su tihi ubojice, stalni i neizbježni te se samo može raditi na njihovom ublažavanju, a neki su iznenadni i katastrofalni te u trenutku trajno promjene zahvaćeni ekosustav.

Ovaj završni rad će obraditi povijesni razvoj, tehnološki napredak, sadašnje poslovanje i budućnost pomorskog prometa. Analizirati će se postojeći izvori onečišćenja i njihove posljedice, te inovacije i propisi kojima se oni pokušavaju ublažiti ili potpuno ukloniti. Bolje razumijevanje brojnih izazova sa kojim se susreće današnje pomorstvo je ključno za postizanje ekološki prihvatljivije pomorske industrije i time čišće budućnosti. Istaknućem postojećih napora za ublažavanje ovih problema se podiže svijest društva i potiče zajednički napor u njihovom rješavanju. Sakupljeni podaci će se sustavno obraditi, analizirati te zaključno komentirati.

2. RAZVOJ I ZNAČAJ POMORSKOG PROMETA

Brod se smatra prvim napretkom u načinu ljudskog kretanja i njegova povijest je duga i značajna. Najraniji arheološki dokaz je Pesse kanu za kojeg je karbonskim datiranjem određeno da je izrađen u srednjem kamenom dobu, točnije na 8760 god. A.D. [2] Karbonsko datiranje u Australiji je odredilo znakove ljudske aktivnosti na tom prostoru staro 40.000 god. A.D. što sugerira morski prijelaz od 95 do 180 kilometara. [3] Prvi oblici brodova su bile splavi, ništa više od izdubljenih debla stabala ili povezanih stabljika bambusa. Iako su izrađene od organskih materijala koji su se odavno razgradili, primjeri njihove izgradnje se mogu vidjeti u ruralnim ljudskim populacijama koja su ostala nepromijenjena tisućama godina. Od Švedske do Kine, od američkog kayaka do indijskog kattumarama prikazanog na slici 2.1, čovjek je izrađivao plovila od njemu dostupnih materijala i sljedeći veliki korak u njihovoj izgradnji dolazi tek u metalnom dobu, 3.000 god. A.D. Metalni alati su Egipćanima omogućili oblikovanje i korištenje superiornijeg materijala u obliku dasaka drva uvezenih iz Libanona međusobno spojenih konopljem. [4]



Slika 2.1 Tradicionalna splav kattumaram, India [4]

Njihovi brodovi su koristili i jedra i vesla te njihova namjena nije bila ograničena na plovidbu Nilom već su korišteni za daleka putovanja sve do istočne obale Afrike oko 1400. god. A.D. Jedra su olakšala brzo uzvodno kretanje, a ojačana konstrukcija omogućila prijevoz kamena teških stotine tona. Također su imali prvu mornaricu čiji su brodovi bili namijenjeni za prijevoz ratnih trupa. Od ogromnih trirema Feničana, galijske galije sa tri reda vesla, 1550 god. A.D. do impresivnih džunka Kineza 200 god. A.D. brodovi korišteni za ratovanje su bili čuda inženjerstva i ključni dijelovi ratne strategije, igrajući veliku ulogu u pomorskoj dominaciji raznih civilizacija. Kontrola pomorskih ruta je omogućila siguran transport resursa svakog oblika. [5]

Jako rano se shvatila prednost jedrenjaka i usavršavanjem te tehnologije su nastajala sve složenija, četvrtasta jedra da iskoriste snagu vjetra koji nije fiksnog smjera i snage. Ona se pomoću rotacije oko jarbola mogu orijentirati prema vjetru. Glavni problem sve većih jedra je bilo uzdržavanje posade koja je bila odgovorna za dizanje i spuštanje jedra te se težilo što efikasnijim brodovima sa manjim brojem posade. Manja posada je bila od osobite važnosti za oceansku plovidbu koja je zbog svoje duljine tražila veliku količinu namjernica za osoblje. Početak zlatnog doba jedrenjaka se smatra sredina 15. stoljeća i obilježeno je mnoštvom jedrenjaka, brodova sa tri jarbola i pet ili šest jedara. Krajem tog stoljeća trgovina brodovljem postaje globalna i zemlje Europe kao Francuska, Portugal i Španjolska se natječu za dominaciju Atlantskim oceanom. Pošto je za postizanje većih brzina brodova bila potrebna veća površina jedara, brodovi postaju sve duži i teži. Amerikanci su sredinom 19. stoljeća kulminirali sva svoja tehnološka postignuća izgradnjom brodova zvanih kliperi. Prikazani na slici 2.2, ovi brodovi su bili specijalizirani za brzu plovidbu zbog prenošenja kvarnog tereta, čaja. Specifični izgled je postignut zbog iznimno dugog trupa s očekivana tri jarbola ali podosta razmaknutim jedrima. Jedan od zadnjih većih klipera je bio Lightning, izgrađen 1854. godine u Bostonu. Ovaj brod je ubrzo počeo postavljati rekorde jedan od kojih je rekordna plovidba 702 km unutar 24 sata. [6]



Slika 2.2 Američka vrsta jedrenjaka, kliper [5]

Dok je tehnologija jedrenjaka dostizala svoj vrhunac, industrijska revolucija je u punom zamahu i pojavljuje se novi oblik morskog prijevoza u obliku parobroda. Robert Fulton je odgovoran za prvi praktični parobrod Clermont koji svojim putovanjem 1807. god. ulazi u povijest brodski kotač. [7]

Fokus ovog završnog rada je sadašnji utjecaj morskog prometa na okoliš i 95% današnjih brodova je pogonjeno dizelskim motorima koji koriste teške naftne derivate. Ovo gorivo je bogato ugljikom i sadrži opasne nečistoće kao živu i sumpor. Osim poboljšavanja efikasnosti brodova u obliku optimalnije izrađenih mehaničkih dijelova ili biranje morskih ruta sa manje otpora, trebalo bi se težiti efikasnijim gorivima s povoljnijim utjecajem na okoliš. Inovacije su spore zbog dugog životnog vijeka pojedinih brodova ali industrija je svjesna potrebe za prebacivanje na goriva s niskim udjelom ugljika i alternativne izvore energije. [8] Klasifikacija današnjih trgovačkih brodova je na teretne, putničke, ribarske, javne, te na brodove za tehničke radove/posebne zadatke. Najznačajniji utjecaj na okoliš svojim prometom ostvaruju brodovi za rasuti teret, za tekući teret, kontejnerski brodovi i putnički brodovi. [9].

Brodovi za rasuti teret spadaju pod teretne brodove i projektirani su za prijevoz velikih količina nezapakiranog tereta (tri najzastupljenija su ugljen, žitarice i željezne rude) na velike udaljenosti. Razvijeni su 1950-ih god. i ključni su dio današnje globalne trgovine, prenoseći sirovine neophodne za moderan život (energija za stanovanje, grijanje, prehranjivanje stanovništva). Specifičan izgled ovih brodova proizlazi od duge, ravne palube s velikim otvorima kojima se pristupa skladištu tereta. [10] Na slici 2.3 je prikazan najveći brod za rasuti teret Pacific Flourish dužine 362 metra koji se koristi za prijevoz ruda i ima ukupnu nosivost od 399.000 tona. [11] Bitna statistika jest da tipičan brod rasutog tereta emitira 6,5 g CO₂/t dok za isti teret željeznički prijevoz emitira 61g CO₂/t. [12]



Slika 2.3 Najveći brod za rasuti teret Pacific Flourish [11]

Kontejnerski brodovi su sljedeća vrsta teretnog broda i specifični su po tome što prevoze standardizirane kontejnere TEU (kontejner dužine 20 imperijalnih stopa) i FEU (kontejner dužine 40 imperijalnih stopa). Za razliku od brodova rasutog tereta, kontejneri se postavljaju na gornju palubu. Sustav rukovanja teretom je mehaniziran i time efikasan što čini kontejnerizaciju vrlo brzim načinom transporta. Njihov potencijal je bio rano prepoznat pa se neprestano nastojala povećati njihova nosivost. 2002. god. je veći kontejnerski brod bio sposoban za prijevoz 6.500 TEU, danas je ta brojka dospjela nevjerojatnih 24.000 TEU. Cijena ekološkog utjecaja kontejnerskih brodova je 30 g CO₂/t u odnosu na 140 g CO₂/t za teška teretna vozila. [13]

Tankeri su teretni brodovi namijenjeni za prijevoz tekućina i plinova. Tanker za naftu je tipičan primjer ove klase broda, specijaliziran za prijevoz sirove nafte u rasutom stanju. Tankeri za ukapljeni prirodni plin (LNG) su sve češći zbog preferiranja sigurnih i čistih izvora energije. LNG tankeri imaju specifične spremnike namijenjene za tlačenje ili hlađenje prirodnog plina i time njegovo povoljnije skladištenje u tekućem stanju koje iziskuje puno manji volumena po težini. Ovi tankeri također često koriste parno-turbinske motore jer im to daje mogućnost pogona na sam teret koji prevoze. [14]

Putnički brodovi se svrstavaju na prekoceanske brodove i kruzere. Prekoceanski brodovi su pioniri međukontinentalnog prijevoza putnika i zlatno doba doživljavaju krajem 19. stoljeća pa sve do kraja Drugog svjetskog rata. Glavni pokretač njihova razvoja su bile masovne imigraciju u Sjedinjene Američke Države i Kanadu, te kasnije Australiju. Njihova svrha je bila redovna linijska plovidba sa fokusom na brzinu i udobnost. Zbog intenzivnih operativnih uvjeta, prekoceanski brodovi imaju prepoznatljive karakteristike u obliku dugog pramca namijenjenog za zaštitu strukture broda od visokih valova na otvorenom moru, velike brzine zbog potrebe za strogim držanjem rasporeda putovanja, ojačan trup radi zahtjevnijih radnih uvjeta i zapovjednički most na najvišoj palubi za bolje uviđanje prepreka. [15]

Drugi svjetski rat je potaknuo velika ulaganja u područje avioindustrije i time njihov nagli napredak. S pojavom velikih putničkih mlažnjaka 1960-ih, godina, doba prekoceanskih brodova se bližilo kraju te su prepušteni povijesti 1970. godine dolaskom prvog Boeing 747 aviona. [16]

Brodске tvrtke su izgubile glavni dio prihoda te su se ubrzo reorijentirale na rekreacijska krstarenja. U 2024. godini se očekuje oko 36 milijuna putnika diljem svijeta koji će se ukrcati na krstarenja. Porast samog globalnog tržišta krstarenja se procjenjuje za 9,29% od 2023. do 2027. god., što bi značilo da će u 2027. god. doći 35,87 milijardi dolara. [17] U vrijeme pisanja ovog rada, najimpresivniji današnji brod za kružna putovanja je *Icon of the Seas* koji spada u ikon-klasu kruzera najveće tvrtke, Royal Caribbean International (RCI). Ovaj brod za kružna putovanja je sa svojih 2.350 članova posade, maksimalnim kapacitetom od 7.600 putnika i bruto tonažom od 248.663 GT najveći brod za kružna putovanja na svijetu. [18] *Icon of the Seas* i svi budući brodovi za kružna putovanja te klase će kao gorivo koristiti LNG (Liquefied natural gas), prirodni plin ohlađen na -162°C koji se sastoji od 85-95% metana i sadrži manje ugljika od ostalih oblika fosilnih goriva. Iako je i dalje fosilno gorivo, LNG se smatra prijelaznim gorivom brodske industrije na budućnost bez emisija ugljika i korak je u pravom smjeru dok se pokušavaju usvojiti obnovljiva alternativna goriva. [19]

Količina pojedinih vrsta teretnih brodova glasi: 12.464 brodova za tekući teret, 13.578 brodova za rasuti teret i 6.129 kontejnerskih brodova. Ukupna nosivost svih brodova (DW tj. dead-weight tonnage) je zbroj korisne nosivosti i mase goriva, hrane, namirnica i posade s njihovom prtljagom. Godišnji izvještaj UNCTAD-a (United Nations Trade & Development) stavlja veličinu svjetske trgovačke flote na 108.787 brodova, od kojih je čak 28% specijalizirano za prijevoz nafte. Prema UNCTAD-u, ukupna nosivost svih brodova na svijetu iznosi 2.35 milijardi tona, od kojih najveći udio imaju brodovi za rasuti teret koji sami prevoze milijardu tona. [20] Daljnjim proučavanjem podataka proizlazi zanimljiva činjenica da nekolicina zemalja posjeduje većinu svjetske flote. Maršalovi otoci posjeduju 13,1% flote, Malta 4,3%, Hong Kong 8,5%, Panama 16,1%, Bahami 3,07% i Liberija nevjerojatnih 17,35%. Drugim riječima to znači da države koje zajedno zauzimaju 0,0012% ukupne površine svih država posjeduju 62,42% svjetske flote. Ove neočekivane brojke su rezultat tzv. „zastava pogodnosti“, zastave država koje imaju otvoren registar. Ova vrsta registra nema potreban zahtjev za nacionalnost ili prebivalište u državi u kojoj se želi registrirati brod. Time tvrtke mogu izbjeći stroge propise i sigurnosnih standarde matične zemlje brodovlasnika, smanjiti operativne troškove izbjegavanjem visokih poreznih stopa i zaobilaznjem zakona koji štite plaće i radne uvjete brodskih posada. [21]

Pojava brodskog prometa kao metode prijevoza ljudi i dobara označila je prekretnicu u ljudskoj povijesti, omogućavajući povezivanje do tad netaknutih civilizacija. Utjecaji pomorstva na čovječanstvo su dalekosežni i sveobuhvatni, od razmjenjivanja resursa i informacija do kontroliranja i projekcije snage velikih carstva. Od prvih pomoraca koji su plovili vođeni zvijezdama do današnjih kolosalnih kontejnerskih brodova i brodova za kružna putovanja vođenih satelitskim sustavima, pomorski promet razvio se u oslonac međunarodne suradnje i svjetske trgovine. Osim postepenog ubrzavanja samog kretanja broda implementacijom novih tehnologija pogona kao što su jedra, parni i dizelski motori, vrijeme putovanja se može drastično smanjiti ako se ustanovi kraća ruta prijevoza. Najpoznatiji primjeri su Sueski kanal, Panamski kanal i Sjeverozapadni prolaz.

Sueski kanal je izgrađen 1869. godine da poveže Sredozemno i Crveno more. Time fizički odvaja Afriku od Azije. Jedan je od najkorištenijih plovnih puteva na svijetu jer povezuje Europu sa zemljama Indijskog i zapadnog Tihog oceana i igrao je veliku ulogu u europskoj kolonizaciji Afrike. Prije njegove izgradnje je jedini način prijevoza robe do Sredozemnog mora bila plovidba preko rta Dobre nade, najjužnije točke Afrike. Nedavno nasukavanje kontejnerskog broda Ever Given u kanalu 2021. godine je podsjetilo svijet na važnost Sueskog kanala za svakodnevni protok dobara. Estimira se da na dnevnoj bazi kanalom prođe 50 brodova sa ukupno 3 do 9 milijardi USD vrijednog tereta. Sa svojih milijardu tona tereta godišnje, što je otprilike 12% globalne trgovine i 30% globalnog kontejnerskog prometa, Sueski kanal je četverostruko prometniji od Panamskog. [22] [23]

Panamski kanal je dovršen 1914. godine i povezuje Tihi i Atlantski ocean. Ključan je dio svjetske trgovine jer brodovi koji plovo između istočne i zapadne obale SAD-a, a koji bi inače morali obići rt Horn u Južnoj Americi, korištenjem kanala skraćuju svoju plovidbu za otprilike 15.000 km. Služi i kao ušteda 6.500 km na putovanjima između jedne obale Sjeverne Amerike i luka na drugoj strani Južne Amerike. Brodovi koji plovo između Europe i istočne Azije ili Australije mogu uštedjeti čak 3.700 km korištenjem kanala. [24]

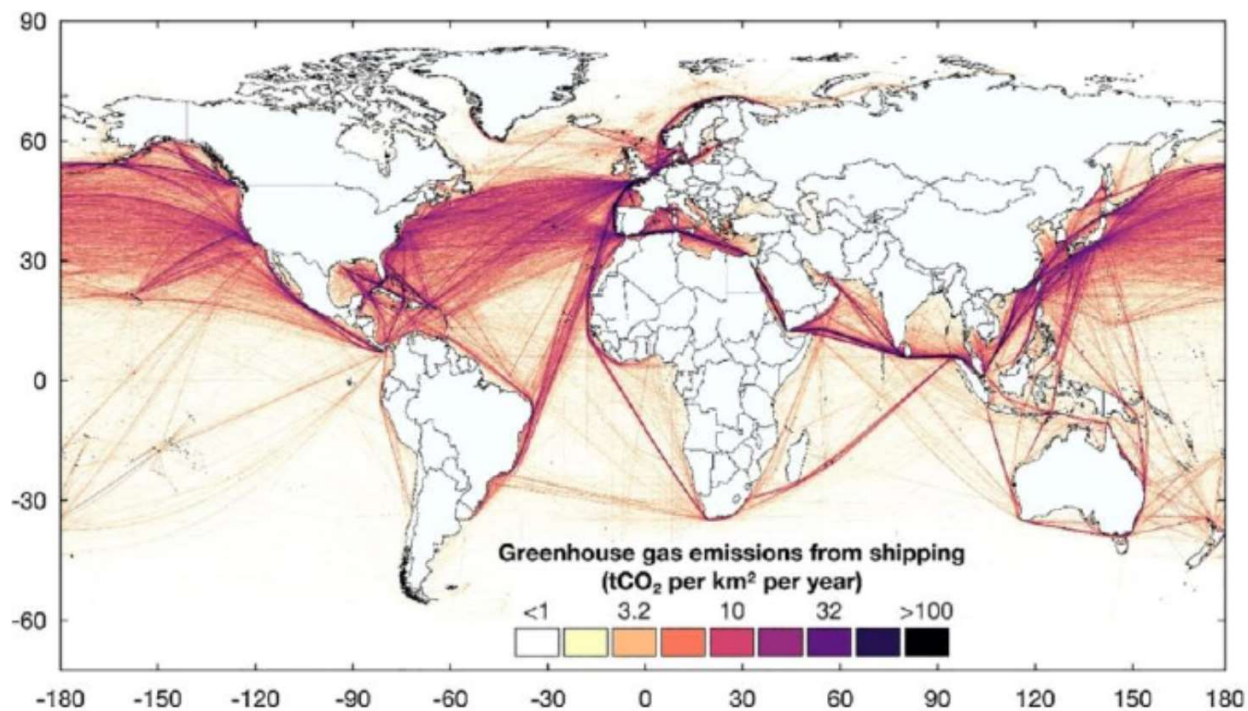
3. UTJECAJ POMORSKOG PROMETA NA OKOLIŠ

3.1 ONEČIŠĆENJE ZRAKA

Zračne emisije brodskog prometa sadrže ugljikov monoksid (CO), ugljični dioksid (CO₂), dušikove okside (NO_x), sumporne okside (SO_x), neizgorene ugljikovodike (HC) i fine čestice (PM_{2,5} i PM₁₀). Dušikovi oksidi uzrokuju upalu pluća i u većim količinama mogu biti smrtni zbog postepenog zatajenja srca i pluća. Sumporovi oksidi nose iste opasnosti uz dodatnu iritaciju očiju i povećani rizik infekcije dišnog sustava. Istraživanje od strane IMO-a 2020. godine je došlo do zaključka da su ukupne emisije stakleničkih plinova, što uključuje ugljični dioksid (CO₂), metan (CH₄) i dušikov oksid (N₂O), porasle za 9,6% u periodu od 2012. do 2018. godine (sa 977 milijuna na 1.076 milijuna metričkih tona CO₂ ekvivalenta). Udio brodskih emisija u ukupnim globalnim emisijama stakleničkih plinova je porastao s 2,76% u 2012. na 2,89% u 2018. Što se tiče specifičnih stakleničkih plinova, brodovi su zaslužni za 14-15% oslobođenog ukupnog dušika kao produkta izgaranja. Za ispuštanje PM_{2,5} pomorska industrija je odgovorna za 2% ukupnog volumena od 1,43 milijuna tona. Ove čestice su iznimno opasne za ljudsko zdravlje jer mogu ući u krvotok i doprinijeti raku pluća. Istraživački rad 2007. godine procjenjuje da je brodska industrija sa svojim ispuštanjem finih čestica u okoliš uzrokovala 60.000 smrti diljem svijeta s najrazornijim posljedicama na obalnim područjima uz najprometnije morske putove. Na temelju prijašnjih istraživanja je procijenjeno da se 3-8% od ukupnih smrtnih slučajeva može pripisati PM_{2,5} zbog podudaranosti područja povećane smrtnosti s povećanom koncentracijom PM_{2,5}. [25] [26] [27]

2018. godine IMO je postavila cilj za smanjenje emisija stakleničkih plinova od najmanje 50% do 2050. godine u usporedbi s 2008. godinom. Najveća kontejnerska tvrtka Maersk si je pak postavila cilj da će do 2030. godine imati flotu brodova sa nultim tzv. „ugljičnim otiskom“ što znači da želi operirati bez ispuštanja stakleničkih plinova. Smanjenje onečišćenja se može ostvariti na razne načine kao što su smanjenje potrošnje goriva, implementacija ekološki prihvatljivijih goriva, upotreba drugačijih pogona itd. Čest pristup je plovidba smanjenom brzinom, odnosno plovidba znatno nižom brzinom od maksimalne radi manje potrošnje goriva. Glavni problem nije manjak rješenja nego njihovo implementiranje. Nedostaju politički pritisak i zahtjevi tržišta koji bi potaknuli industriju na usvajanje ekološki prihvatljivijih rješenja. Zadani su ciljevi smanjenja

stakleničkih plinova ali nedostaju planovi koji su točno vremenski i cjenovno određeni. Izbor alternativnog pogona ovisi o veličini i namjeni broda a neki od njih su korištenje metanola ili vodika kao goriva, električni i nuklearni pogon. Kvaliteta samog goriva je puno niža od onog što se koristi u osobnim automobilima i velik faktor na njihovo onečišćenje je životni vijek samog broda. S prosječnim trajanjem od 30 do 50 godina, brodovi nisu koristili utjecaj na okoliš kao značajan faktor pri izradi broda i tadašnja tehnologija je sama po sebi bila ograničavajuća. Na slici 3.1 je prikazana prostorna raspoređenost emisija ovisno o vrsti korištenog goriva i veličine broda. Jasno vidljivo sporo napredovanje implementacije novih pogona leži u statistici da je od 300 milijuna tona globalno potrošenog goriva 2015. godine, 2% bio ukapljeni prirodni plin a 26% rafinirana nafta. Ostalih 72% pripada gorivima kao što je teško gorivo. [26] [28] [29]



Slika 3.1 Prostorna raspoređenost pomorskih emisija stakleničkih plinova [29]

3.2 BALASTNA VODA

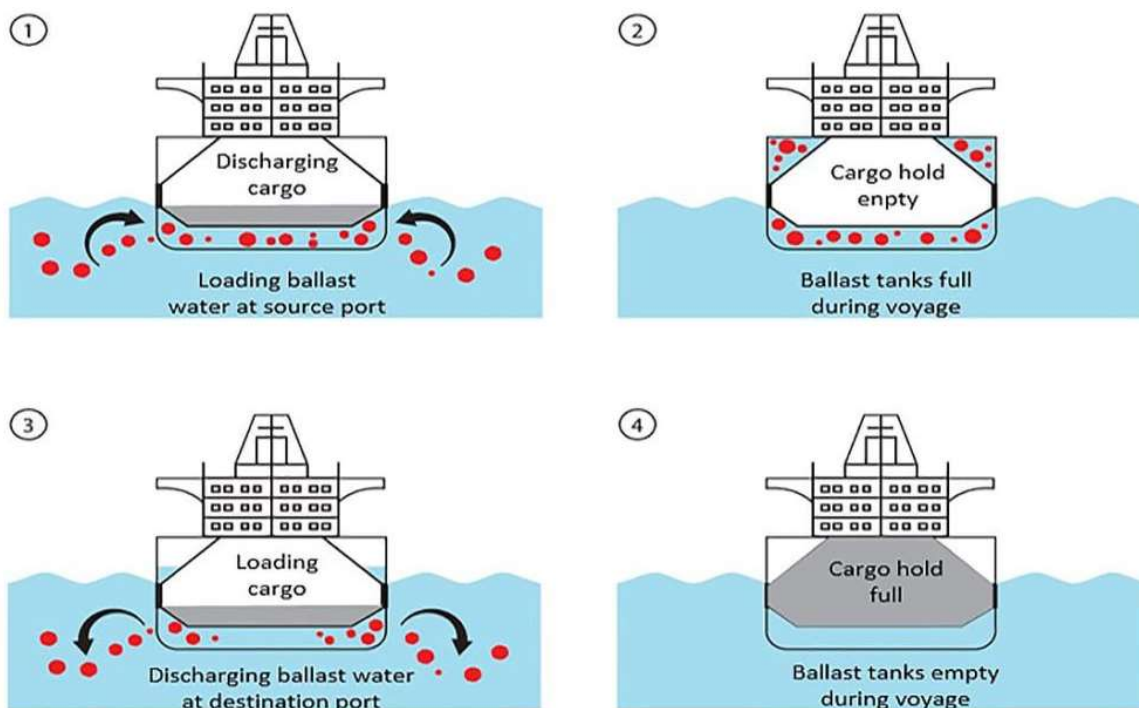
3.2.1 OPĆENITO O BALASTNOJ VODI

Balastna voda je ona voda koje se unosi u brod radi upravljanja njegovom težinom. Osigurava stabilnost, poboljšava sposobnost manevriranja broda i mijenja gaz broda u svrhu prolaza ispod niskih mostova ili drugih građevina. Ta dodatna težina je potrebna pri mijenjanju težine broda, tj. pri utovaru i istovaru tereta u različitim lukama. Brodovi ispuštaju i ponovno unose balastnu vodu u svakoj od njih jer bi inače brod izronio iz vode i postao nestabilan. Brodovi su prije 1880-ih god. koristili čvrste balastne materijale kao kamenje i pijesak koji je ručno unosio u skladišta tereta. Nosili su određen rizik jer bi neravnomjerno skladištenje ili pomicanje na uzburkanom moru uzrokovalo prevrtanje broda. Na slici 3.2 je prikazano punjenje replike vikinškog broda „Lofotr“ balastom u obliku kamenja. Tehnologije 20-og stoljeća kao što su vodene crpke i čelični trup broda omogućavaju korištenje vode kao balasta. Voda se pumpa u balastne spremnike u trupu broda i opterećuje dno i stijenke. Općenito pravilo je da gotovo sva plovila uzimaju neku količinu balastne vode, ali postoje iznimke kao što su brodovi koji koriste trajnu balastnu vodu u zapečaćenim spremnicima i time izbjegavaju proces balastiranja. Balastna voda se također može ispumpati na kopno ali se to rijetko provodi zbog visoke cijene specijalizirane opreme. Broj i veličina balastnih spremnika varira između pojedinih brodova ali je općenito pravilo da će uneseni balast iznositi 25% do 30% nosivosti broda uključujući njegov ukupan teret, gorivo i putnike. [30] [31]



Slika 3.2 Dno vikinškog broda ispunjeno balastom u obliku kamenja [32]

Postoje tri vrste unošenja tj. ispuštanja balastne vode: razrjeđivanje, sekvencijalna i protočna metoda. Sekvencijalna metoda, prikazana na slici 3.3, je najosnovnija i zahtijeva potpuno ispušavanje vode koja se nalazi u balastnim tankovima. Prazan brod u polaznoj luci upumpava balansnu vodu do vrha tanka, a zatim ju potpuno ispušta dok se puni teretom u odredišnoj luci. Protočna metoda nalaže pumpanje zamjenske balastne vode u tank dok se stara balastna voda i dalje nalazi u tanku i izbacuje kroz preljevne ventile. Metoda razrjeđivanja zahtijeva istovremeno unošenje zamjenske i iznošenje stare balastne vode. Održava se stalna razina vode u tanku tijekom postupka tako da se puni s vrha i prazni s dna. [33] WHO (World Health Organization) procjenjuje da se na godišnjoj razini ispušta 11 milijardi metričkih tona balastne vode iz tankova brodova diljem svijeta. Unesena slatka ili morska voda može biti puna bakterija, mikroba, malih beskralješnjaka, jaja ili ličinki raznih vrsta koje nisu autohtone tom području. U tom slučaju se taj životinjski život iz drugog ekosustava smatra neželjenim i invazivnim jer se može nekontrolirano širiti zbog manjka prirodnih grabežljivaca. Može doći do potpune dominacije invazivne vrste i time nanošenja nepopravljive štete na biološku raznolikost zbog odumiranja domaćih populacija. Lančana reakcija zbog manjka dostupne hrane i prihoda može dovesti do gospodarske propasti velikih lokalnih zajednica. WHO procjenjuje da se na dnevnoj bazi ovim putem prevozi 7.000 različitih morskih vrsta i da se jedna nova invazija dogodi svakih devet tjedana. [30] [34]



Slika 3.3 Sekvencijalna metoda unošenja balastne vode [32]

3.2.2 POVIJEST NESREĆA I ZAPAŽENI UTJECAJI

Glavni ekološki problemi povezani s balastiranjem su širenje invazivnih vrsta, prijenos bolesti i narušavanje kvalitete vode unošenjem nečistoća kao što su ostatci nafte, teški metali i smeće. Dokumentirano je mnogo invazivnih vrsta i IMO (The International Maritime Organization) je 2004. god. napravio listu deset najštetnijih invazivnih vrsta direktno unesenih u domaći ekosustav ispuštanjem balastne vode. [35]

Bakterija kolere (*Vibrio cholerae*) je unesena u Južnu Ameriku i Meksički zaljev 1992. godine. Luke koje se nalaze u blizini ušća rijeka su žarišta razmnožavanja bakterija kolere zbog loših higijenskih uvjeta uzrokovani velikom količinom otpadne vode. To je najviše vidljivo u državama s zastarjelom infrastrukturom kojoj smanjenje utjecaja na okoliš nije prioritet. Bakterije kolere se prijanjaju na površine planktonskih životinja, školjka i vodenih biljaka. Ti organizmi zatim služe kao prijevozno sredstvo i bakterija dospijeva u balastnu vodu i ima mogućnost širenja svijetom. Određeni sojevi ove bakterije mogu uzrokovati koleru u ljudi ako se progutaju. [36]

Vodena buha (*Cercopagis Pengoi*) je unesena u Baltičko more 1992. godine. Krajem 1990-ih godina je ova vrsta formirala je stalne populacije u različitim zaljevima i lagunama tog mora. Imaju velik utjecaj na populacije ličinki račića i autohtonih populacija zooplanktona. Brza reprodukcija je omogućena zbog do 24 jajašca pojedine ženke. Osjetljivi su na uzburkano more te su zato najviše zabilježeni u lokacijama zaštićenim od vjetrova sa slabim morskim strujama. U Finskom zaljevu je zabilježena najgušća populacija vodenih buha od 2.325 jedinki po metru kubnom, ali ta brojka u prosjeku iznosi 500 jedinki po metru kubnom. [37]

Kineski rak (*Eriocheir Sinensis*) je unesen u mora zapadne Europe, Baltičko more i zapadnu obalu Sjeverne Amerike 1912. godine. Sposobni su obitavanju u vodi različitih stupnjeva slanosti i tijekom vremena su se pokazali kao iznimno izdržljiva invazivna vrsta. Imaju nevjerojatnu sposobnost uzvodnog prodiranja i na svojim izvornim područjima Bliskog istoka su nađeni i do 1.000 km duboko u unutrašnjosti kopna. U sjeveru Njemačke su 1936. godine neuspješno provedeni pokušaji uklanjanja ove invazivne vrste iz rijeke Weser. Iako je izvučeno 220 metričkih tona rakova, naponi su zaustavljeni. Glavno sredstvo njihova prijenosa su balastne vode, ali

nažalost postoje naznake namjernog unosa u svrhu stvaranja komercijalnih uzgajališta. Specifično su sumnjive okolnosti njihova unošenja u San Francisco u 20-om stoljeću. U svom autohtonom području kineski rakovu nose parazit *P. westermanni* koji se prenese sa tamo obitavajućeg puža genusa *Semisulcospira*. Taj parazit može zaraziti ljude, ali srećom su invazivne vrste nezaražene zbog nedostatka puževa prenositelja u SAD-u i sjevernoj Europi. Na mjestima gdje su ustanovljene stalne populacije dolazi do erozije obale i raste rizik poplave. To je zato što ova vrsta raka kopa svoje stanište u mekim riječnim obalama. [38]

Glavoč okruglak (*Neogobius Melanostomus*) je uveden u Baltičko more i Sjevernu Ameriku 1990. godine. Vrlo su uspješna invazivna vrsta zbog širokog izbora prehrane, velike brzine razmnožavanja i time širenja, te velike tolerancije na promjenu temperature i koncentracije soli u vodi. Trenutno je jedna od najrasprostranjenijih invazivnih vrsta riba u Europi i Sjevernoj Americi. Uobičajeno obitava na stijenama u plićacima ali su zabilježene i uspješne populacije na otvorenim pješčanim područjima i dubinama do 180 metara. Gustoća nekih populacija u Velikim Jezerima dostiže i 20 jedinki po kvadratnom metru. U jezeru Erie je ova vrsta uzrokovala veliku ekološku i gospodarsku štetu. Izjeli su populaciju malousnog grgeča u uzgajalištu tog jezera jer bi glavoči napadali nezaštićena jajašca i konzumirali njih 4.000 u samo 15 minuta. [39]

Rebraš Morski orah (*Mnemiopsis Leidyi*) je uveden u Crno, Azovsko i Kaspijsko more 1982. godine. Rebraši roda *Mnemiopsis* su najproučavaniji zbog svoje velike rasprostranjenosti u gusto naseljenim područjima Sjedinjenih Država i zbog eksplozivnog rasta populacije nakon slučajnog unosa u Crno more ranih 1980-ih. Njihov status kao invazivna vrsta se dovodi u pitanje nakon njihova dolaska u Crno more. Primijećena je njihova iznimna izdržljivost tijekom širenja na susjedna vodena tijela jer su uspjele obitavati vodu sa udjelom soli od 3‰ u Azovskom moru pa sve do 39‰ u istočnom Sredozemlju. Također se ističu velikom izdržljivošću na promjene temperature mora u rasponu od 4°C zimi do 31°C ljeti. [40]

Sjevernopacifička morska zvijezda (*Asterias amurensis*) je uvedena u južnu Australiju 1986. godine. Porijeklom je iz Japana, Sjeverne Kine, Koreje i dalekoistočne Rusije, te je zbog toga sposobna tolerirati velike varijacije u vrijednosti temperature i slanosti vode. Često se nalazi u

estuarijima i međuplimumskim zonama. Ženka ove morske zvijezde je sposobna ispustiti do 20 milijuna jajašca koja rezultiraju planktonskim ličinkama čija faza rasta traje do 180 dana. Te ličinke se smatraju krivcem za rasprostranjivanje ove vrste morske zvijezde na područje južne Australije. Luka u Melburnu je bila veliko odredište brodova s Dalekog Istoka i bilo je pitanje vremena prije nego li se ta invazija dogodi. Danas čine ogromnu štetu na tom području i jedu jajašca ugroženih autohtonih vrsta. [36]

Zebrasta dagnja (*Dreissena Polymorpha*) je unesena u zapadnu i sjevernu Europu te istočnu polovicu Sjeverne Amerike u razdoblju 1800.-2008. godine. Invazija ovih slatkovodnih dagnji na Velika jezera, porijeklom iz Crnog i Kaspijskog mora u Europi, uzrokovala je značajnu štetu okolišu. Imaju sposobnost razmnožavanja u alarmantno velikom broju, procjenjuje se da ženke mogu položiti i do milijun jajašca godišnje. To rezultira brzim istiskivanjem lokalnih vrsta dagnji jer koriste isti izvor hrane i staništa. Također mogu aktivno ubijati autohtone dagnje tako što se zalijepe na njih i uguše ih. Tijekom godina, zebraste dagnje nastavile su se širiti u kanadskim vodama i pronađene su u Quebecu (rijeka St. Lawrence) i Manitobi (jezero Winnipeg). Njihova invazija je rezultirala troškovima u milijardama dolara zbog potrebe čišćenja i popravaka podvodnih infrastruktura, na primjer čišćenje začepljenih odvodnih cijevi i nakupina na stupovima. Procjenjuje se da samo u Kanadi invazivne vodene vrste svake godine uzrokuju štete u iznosu od šest milijardi dolara. [32]

Azijska alga (*Undaria pinnatifida*) je unesena u južnu Australiju, Novi Zeland, zapadnu obalu Sjedinjenih Država, Europu i Argentinu u razdoblju 1971.-2016. godine. Ova jestiva morska trava je podrijetlom s obalnih područja Japana, Kine i Južne Koreje te se često koristi u njihovim kuhinjama. Ističe se sa sposobnošću da raste gotovo bilo gdje. Može rasti na bilo kojoj čvrstoj podlozi uključujući uže, plutajuće, trupove brodova, plastičan otpad itd. Prirodna podloga su joj stjenoviti grebeni i meki sedimenti. Potencijalno su štetne morskim uzgajalištima jer zahtijevaju konstantno čišćenje kaveza za ribe, površina za dagnje i slično. Ako se dopusti njezino neometano proširivanje ona može smanjiti protok vode kroz kavez i sprječavati prodor sunčeva svjetla. [41]

Europski zeleni rak (*Carcinus maenas*) je uveden u Južnu Australiju, Južnu Afriku, Sjedinjene Države i Japan u razdoblju 1817.-2003. godine. Izvorno iz sjeveroistočnog Atlantskog oceana i

Baltičkog mora, europski zeleni rak ima čvrsti hvat na svakom novootkrivenom području jer je grabežljivac koji jede razne životinje kao što su školjke, dagnje, kamenice i puževi. Uz manjak prirodnih neprijatelja, njegovo uvođenje u SAD 1950-ih godina je koštalo američku ribarsku industriju milijune dolara jer razara populacije komercijalno važnih školjaka. Njegov utjecaj nije samo direktan u obliku konzumiranja endemskih vrsta, već svojim naglim razmnožavanjem može uskratiti hranu ostalim životinjama i time raditi poremećaje u prehrambenom lancu. [36]

3.2.3 PREVENCIJA

BWM konvencija, međunarodna konvencija o kontroli i upravljanju brodskim balastnim vodama i sedimentima, je usvojena 2004. godine od strane IMO-a (International Maritime Organization) i na snazi je i danas. Potpisana od strane 81 zemlje, konvencija nalaže svim brodovima koji sudjeluju u međunarodnoj trgovini da na adekvatan način upravljaju svojom balastnom vodom i sedimentima prema određenim standardima. Godine 2017. IMO je izdao dodatan standard koji zahtjeva dodatno tretiranje balastne vode prije njezina ispuštanja. Od tad se na svjetskoj razini primjenjuju različite strategije obrade balastne vode koristeći fizičke i kemijske metode. Općenito se koriste kombinacije sustava za obradu kako bi postotak odstranjivanja neželjenih organizama bio što veći. Ta obrada se odvija u dva stupnja gdje se u prvom postupku fizički filtriraju krute čestice i zatim se voda kemijski obrađuje radi eliminiranja potencijalno štetnih organizama sadržanih u vodi ili sedimentima. [36]

Mehaničke metode obrade mogu uključivati izdvajanje mikroorganizma korištenjem filtera, magneta, gravitacije, ultrazvučne tehnologije, topline, električne energije ili svijetla. Svaka od tih metoda je uspješna u otklanjanju mikroorganizma, ali implementacija pojedinog procesa ovisi o nekoliko faktora kao što su vrsta broda, raspoloživ prostor i cijena opreme. [31]

Pojedine kemijske metode imaju sposobnost uništavanja i do 100% mikroorganizama u balastnoj vodi, ali je bitno obratiti pozornost na koncentracije toksičnih nusproizvoda koji mogu biti štetni za same prirodne organizme koje pokušavaju zaštititi. Nedostatak ove metode je to što zahtijevaju veliku operativnu cijenu u obliku troškova materijala i čak ako djeluju brže od mehaničkih metoda, uvijek postoji rizik od dugoročnih posljedica zbog ispuštanja toksičnih nusproizvoda u okoliš.

Najviše se ističu kloriranje, oksidacija i ozonizacija trenutno u primjenjivanim metodama za obradu vodenog balasta na pristaništu. [31]

Standardi upravljanja balastnim vodama prema Konvenciji uključuju:

D-1 standard se odnosi na izmjenu vodenog balasta i zahtijeva da brodovi izmjenjuju svoju balastnu vodu na otvorenom (najmanje 200 nautičkih milja od obale) i dubokom moru (najmanje 200 metara dubine), daleko od obalnih voda. U slučajevima kraćih putovanja i prometovanja u zatvorenim tijelima vode, brod mora zamijeniti vodeni balast najmanje 50 nautičkih milja od obale, ali još uvijek biti u vodi minimalne dubine od 200 metara. [42]

D-2 standard propisuje najveći broj živih organizama koji se smije ispustiti u balastnu vodu broda. Zahtijeva instaliranje sustava za tretiranje balastne vode prije njezina ispuštanja. Brodovi moraju instalirati sustave za upravljanje balastnom vodom za obradu vodenog balasta prije nego što se ispusti. Propisano je da ispuštena balastna voda iz broda mora sadržavati manje od 10 živućih organizama po kubnom metru koji su veličine od 50 ili više mikrometara i da mora sadržavati manje od 10 živućih organizama po mililitru koji su veličine od 10 do 50 mikrometara. Ispuštanje balastne vode je moguće ako su te vrijednosti zadovoljene. [42]

Provjera pridržavanja pojedinog broda s D-1 standardom je relativno jednostavna jer je samo potrebno provjeriti mjesto izlivanja balastne vode prije ulaska u luku. Provjera pridržavanja sa D-2 standardom je kompliciranije jer zahtijeva složenija i preciznija ispitivanja da bi se odredio prosječan broj mikroorganizama u balastnoj vodi.

Prijašnje navedene metode su izrazito efektivne u uklanjanju raznih mikroorganizama u balastnoj vodi i ključne su za uspješno provođenje D-2 standarda. Kloriranje postiže 75-99% uspješnosti u provedenim istraživanjima. Elektrokemijska metoda postiže učinkovitost od iznad 99% i oksidacija korištenjem raznih oksidansa postiže 97-99%. Oznoiranje se pokazalo iznimno učinkovito 99% uspješnosti uklanjanja mikroorganizama. Iako su iznimno učinkoviti, njihov utjecaj na okoliš je zasigurno negativan i potrebna su daljnja istraživanja otpadnih kemikalija. Trenutno u svijetu ne postoji regulativa posvećena praćenju i reguliranju tih kemikalija koje se ispuštaju u pristaništima nakon obrađivanja balastne vode. [43]

3.3 BOJE ZA SPRJEČAVANJE OBRASTANJA

Boje za sprječavanje obrastanja se primjenjuju na sve uronjene strukture kao što su pontoni, platforme, plutače, cjevovodi, razna morska uzgajališta i posebice na trupove brodova. Njihova svrha, kao što ime govori, jest sprječavanje nakupljanja biološkog materijala u obliku algi i raznih životinja na uronjenim površinama. Obrastao trup čamca, prikazan na slici 3.4, stvara veći otpor pri gibanju kroz vodu što rezultira manjim brzinama, većom potrošnjom goriva i time smanjenju učinkovitosti prijevoza. Procjenjuje se da obrastanje može povećati otpor gibanja broda kroz vodu za 20% do 60%. Obrastanje također uzrokuje jačanje prijašnje navedenih zagađenja buke, ispušnih plinova i invazivnih vrsta. Nepomične strukture su ugrožene zbog manjka stabilnosti i mogućeg neuočavanja strukturnih oštećenja. [44]



Slika 3.4 Obrastao trup čamca [45]

Najraniji oblik sprječavanja obrastanja se koristi i danas, fizičko struganje biološkog materijala sa zahvaćene površine. Nedostatak ove metode je velika cijena i dugo trajanje samog procesa, također nije trajan i mora se periodično obavljati. Boje za sprječavanje obrastanja su relativno nova metoda kojom vlasnici brodova pokušavaju riješiti problem obrastanja i pokazale su se kao jedna od najučinkovitijih metoda. Ima više načina na koje ove boje sprječavaju obrastanje i najčešći je ispuštanjem kemijskih pesticida. Cilj je odstraniti neželjeni morski život na obraslim površinama kontroliranim ispiranjem pesticida na obojenim površinama. Rane verzije ovih boja su se nakon mnogo istraživanja pokazale kao iznimno otrovne (npr. tributilkositar) i mnogo njih je zabranjeno ali danas opstaje popularna verzija pesticida na bazi bakra, bakrenog oksida. Ovi pesticidi uzrokuju odumiranje populacija algi i sličnih bioloških nakupina što onemogućuje nastajanje prikladnog hranilišta za veće organizme kao što su račići i školjke. [46]

Negativan učinak koje ove boje imaju na okoliš je njihovo neizbježno ljuštenje i ispiranje u vodu. Pošto utječu na same temelje hranidbenog lanca, ove kemikalije se nakupljaju i naposljetku kontaminiraju ljudsku hranu. Bakar je iznimno štetan teški metal i poznato je da je njegova kontaminacija štetna za ljudsko zdravlje. Utjecaj povišenih koncentracija ovih kemikalija je naročito vidljiv u gustim čvorištima morskog prometa kao što su luke i ušća. Redovito održavanje broda uključuje i radnju brušenja starih premaza što se redovito odvija u lukama i time se ispušta štetna prašina u okoliš. Naravno ovaj oblik zagađenja se može ublažiti kao i svaki drugi ako se implementiraju odgovarajući propisi. Upotrebnom mokrog brušenja i usisivača pri struganju, uz odgovarajuće postupanje sa prikupljenim otpadnim materijalom, osigurava čišći okoliš. Alternativno postoje boje za sprječavanje obrastanja koje se baziraju na otežavanju pričvršćivanja morskih organizma, a ne njegovom usmrćivanju. Bazirane su na plastici i time imaju isti negativni učinak, neizbježno ljuštenje u okoliš i ulazak u hranidbeni lanac. [46]

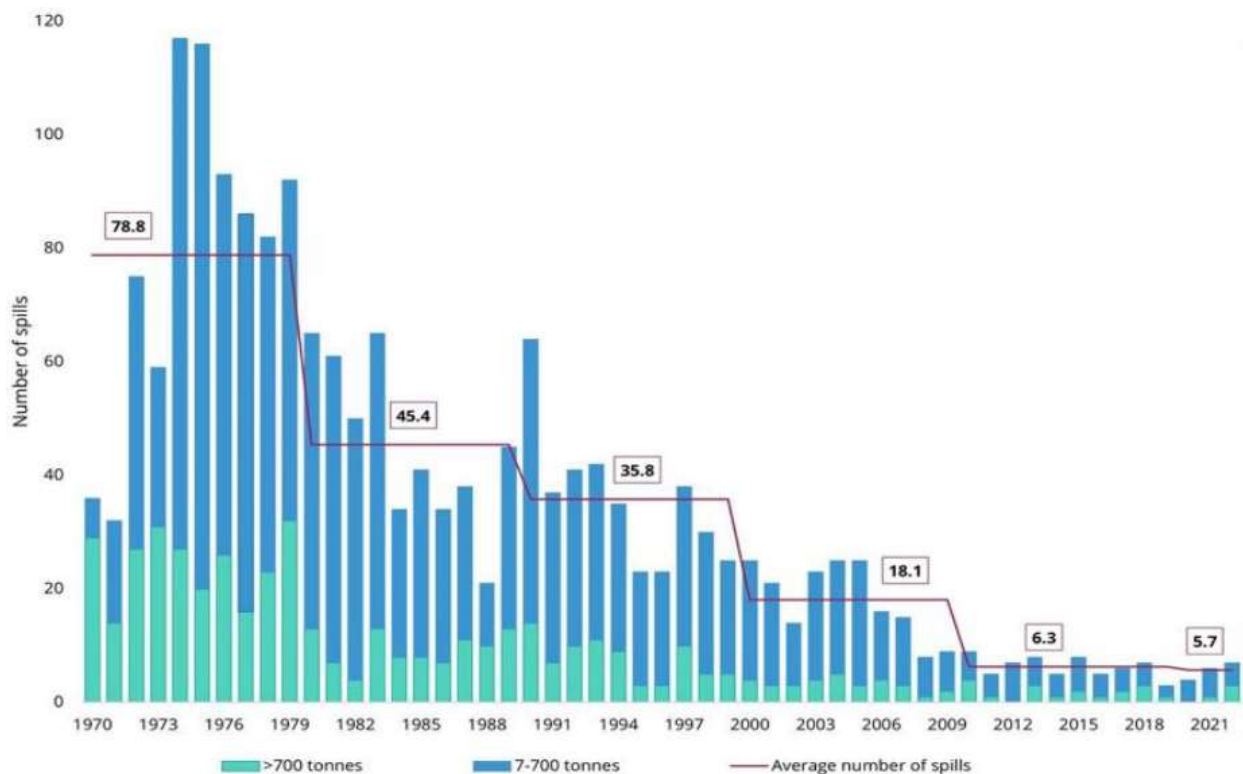
Prevenција zagađenja koje uzrokuju boje za sprječavanje obrastanja se ne zasniva na prestanku njihovog korištenja već na uporabi boljih tehnologija. Ističu se tri kanadske tvrtke koje svaka na svoj način pokušavaju razviti prihvatljivije verzije ovih boja. A20 Advanced Materials Inc. iz Vancouvera razvija učinkovitije podvodno ljepilo koje sprječava koroziju i koristi tehnologiju samozacjeljivanja. Time produžuje radni vijek i istovremeno poboljšava učinkovitost kretanja broda zbog manjeg otpora. Firma Graphite Innovation & Technologies locirana u Halifaxu je razvila boju na bazi mikroskopskih čestica grafena. Lako uočljiva prednost ovog premaza je ne korištenje pesticida, bakra ili mikroplastike koji se mogu ljuštiti u okoliš. Osim smanjenog ekološkog učinka, premaz se pokazao kao iznimno sklizak i time veoma povoljan zbog pružanja manje otpora. Inicijalna testiranja su pokazala da je premaz skliskiji od konvencionalnih boja. Tvrtka Mikrapon iz Quabeca je razvila boju na bazi silicija koja također ne rezultira štetnim otpadnim tvarima uz pružanje manje otpora i time veće učinkovitosti. [46]

3.4 IZLIJEVANJE NAFTE I KEMIKALIJA

3.4.1 OPĆENITO O IZLJEVIMA NAFTE I KEMIKALIJA

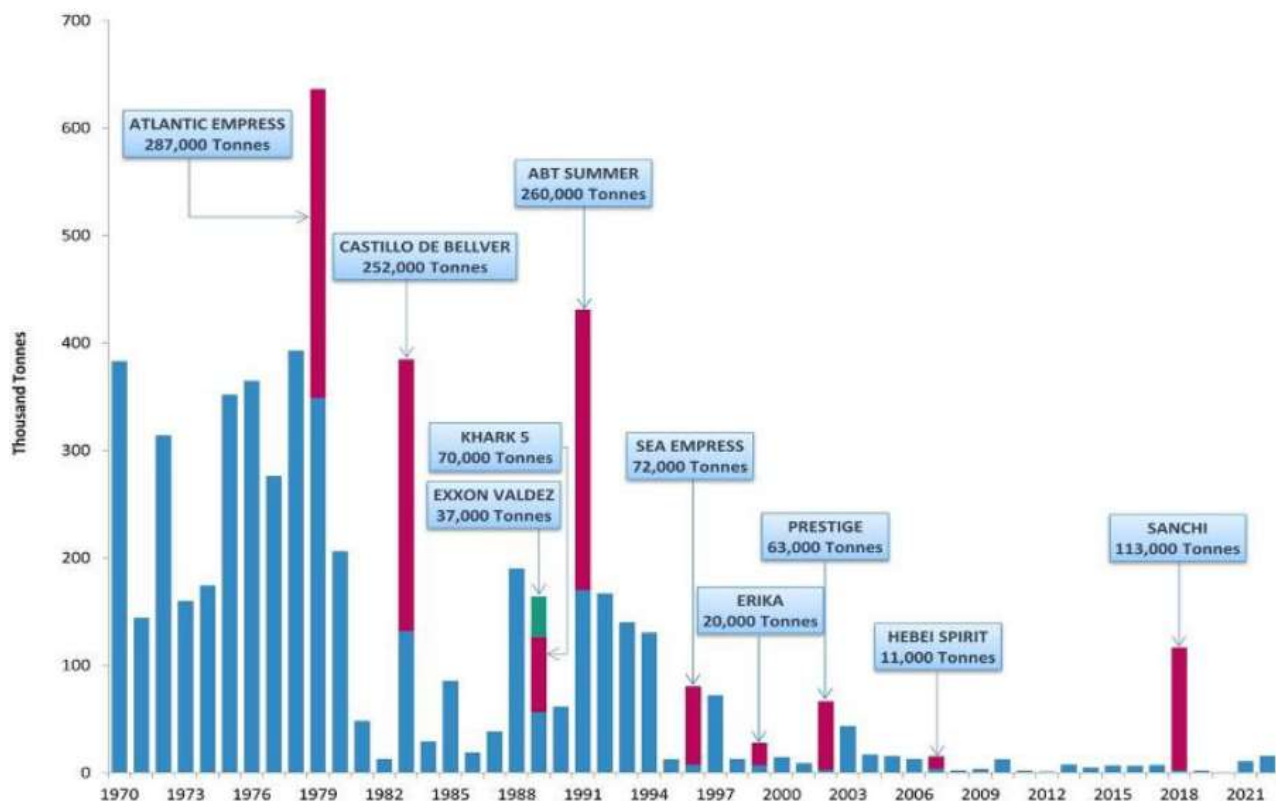
Izljevi nafte su jedan od najvećih izvora onečišćenja u morima i utječu na svaku razinu morskog ekosustava. Ukupna količina nafte koja godišnje dospije do mora se procjenjuje na 2.67 milijardi litara. To uključuje razne izvore koji mogu biti prirodni ili ljudski, kopneni ili morski. Nafta zatočena u sedimentnim stijenama je tipičan izvor prirodnog curenja. Uz njih, značajna količina prirodnog oslobađanja nafte dolazi uz pomoć erozije stijena koje su zasićene njom. Prema izvješću časopisa *WorldoceanReview* (2010.) 5% onečišćenja naftom dolazi iz prirodnih izvora, dok 45% dolazi od pomorskih aktivnosti poput nezakonitog ispuštanja i čišćenja spremnika, kao i prometa tankerima. Zajedno s inputima s naftnih bušotina te komunalnim i industrijskim otpadnim vodama, ovaj atmosferski udio čini 45% ukupne količine. Dodatnih 5% potječe iz izvora koji nisu jasni. Neki od načina na koje nafta dostiže u more su slučajna ispuštanja tijekom transporta tankerima, katastrofe u obliku puknuća spremnika, curenje iz podvodnih cjevovoda, ispuštanje iz rafinerija i bušotina itd. Godine 1993. je procijenjeno da 50% onečišćenja oceana naftom dolazi iz kopnenih izvora, a 50% iz pomorskih nesreća. Godine 2002. su kopneni izvori doprinijeli 37%. Često predviđen izvor ovog onečišćenja su prirodna curenja u obalnim sredinama. [47] [48]

Izljevi nafte su svrstani u više kategorija: mali izljevi do ispod 7 tona, srednji izljevi od 7 do 700 tona i veliki izljevi iznad 700 tona. Na temelju statistike ITOPF-a (The International Tanker Owners Pollution Federation Limited) u posljednjih 50 godina se broj srednjih i velikih izlijeva nafte znatno smanjio. 1970-ih godina je zabilježen prosječan broj godišnjih izlijeva od 79, ali u 2010-ima taj broj pada na svega 6, značajan pad od 90%. Ovi podaci su prikazani na slici 3.5. [49]



Slika 3.5 Broj srednjih (7-700 tona) i velikih (>700 tona) izlijeva nafte, 1970.-2022. god. [49]

Sukladno tim podacima, ova statistička analiza je pokazala pad u ukupnom volumenu prolivene nafte iako količina nafte koja se prevozi morem stalno raste. U 2010-ima je zabilježen ukupan prosječan gubitak od 164.000 tona, zbrojen od srednjih i velikih izlijeva nafte tj. izlijeva nafte većih od 7 tona. Ta brojka u 2010-ima pada na svega 26.000 tona nafte. Zanemarujući prosječan gubitak, ukupan volumen prolivene nafte pokazuje impresivan pad od 95%. Ovi podaci su prikazani na slici 3.6. [49]



Slika 3.6 Količina prolivene nafte u događajima iznad 7 tona, 1970.-2022. god. [49]

Istraživački rad objavljen 2019. god. je analizirao prijašnje navedene podatke ITOPF-a u svrhu određivanja glavnih izvora onečišćenja te time njegovog mogućeg predviđanja. Upotrebom Grayove teorije, metodologije koja se koristi za rješavanje neizvjesnih problema s djelomično poznatim informacijama, podaci analizirani od 1974. do 2015. god. su uspješno korišteni da bi se predvidjeli uzroci nesreća u 2016. god. Sudeći po danim podacima, određeno je sedam mogućih događaja za izljev nafte: sudar, nasukavanje, propuštanje trupa, kvar opreme, vatra/eksplozija, drugo i nepoznato. Svi navedeni mogući događaji se mogu dogoditi zbog četiri razloga: utovar/istovar tereta, punjenje broda gorivom, ostalo i nepoznato. Izljevni nafte su grupirani u prijašnje navedene male (< 7 tona), srednje ($7 < 700$ tona) i velike (> 700 tona) izljeve te su zasebno proučeni. Usporedbom predviđenih i stvarnih vrijednosti, rezultati su veoma dosljedni i određena je točnost predviđanja od iznad 96%. Ovaj rad je pokazao da se jednostavna primjena Grayove teorije može koristiti kao pokazatelj na moguće uzročnike budućih nesreća te njihovo sprječavanje pravodobnim reagiranjem. [50]

3.4.2 POVIJEST NESREĆA I ZAPAŽENI UTJECAJI

Dana 02.08.1990. započela je invazija Kuvajta od strane iračkog diktatora Saddam Husseina. To je obilježilo početak Zaljevskog rata u kojem se okupila najveća koalicija od završetka Drugog svjetskog rata, ukupno 42 zemlje, radi oslobađanja okupiranog Kuvajta. Početkom 1991. godine iračka vojska je sistematski sabotirala naftna polja Kuvajta pri povlačenju od nadolazeće koaličijske vojske u svrhu provođenja vojne strategije zapaljene zemlje. U pokušaju da spriječe iskrcavanje marinaca na plaže, Iračani su ispustili stotine milijuna litara nafte iz tankera, spremnika na kopnu i terminala za utovar nafte duž kuvajtske obale. Toj je rezultiralo najvećim zabilježenim izlivanjem nafte u svijetu. Procjenjuje se da se u Perzijski zaljev izlilo između 1,44 i 1,97 milijardi litara. Sloj nafte je bio debljine do 10 centimetra i pokrio površinu od 4,200 kvadratnih kilometra. Najviše kontaminacije je viđeno duž 700 kilometara obale Saudijske Arabije, ali je nafta viđena i na obalama Irana, Bahreina i Katara. Procijenjeno je uništenje 50 do 90% faune tog prostora, uglavnom rakova, amfipoda i mekušaca. Stradala je i osjetljiva vegetacija mangrovih šuma i močvara. Deset godina nakon izlivanja je i dalje prisutna skorena nafta na tim plažama. Procjenjuje se da je između 22 i 50% populacija nekoliko vrsta kormorana i gnjuraca uginulo kao posljedica izlivanja. Procjenjuje se da je oko 100.000 ptica močvarica umrlo izravno ili neizravno u izlivanju nafte godine 1991. te da se dogodilo i nasukavanje 50 uginulih morskih krava i više vrsta dupina. [51]

Izlivanje iz Ixtoc 1 naftne platforme je između lipnja 1979. i ožujka 1980. godine ispustilo 530 milijuna litara sirove nafte u Meksički zaljev. Naftna platforma Ixtoc 1 je izvršavala istraživačko bušenje na dubini od 50 metara i pri uklanjanju bušilice je kaša nafte, prirodnog plina i sedimenta izjurila kroz cijev. Sigurnosni ventili nisu uspjeli zaustaviti mlaz koji se zapalio na površini platforme. Nafta se neprestano ispuštala u periodu od devet mjeseci i rezultirala gubitkom stotina milijuna dolara zbog utjecaja na okoliš, turizam i komercijalni ribolov u tom području. Procjenjuje se da je na dnevnoj bazi bušotina ispuštala između 10,000-30,000 barela nafte (1 barel \approx 159 litara). Napori za začepljivanje bušotine su bili otežani zbog olupine same platforme i 3.000 metara cijevi za bušenje u blizini otvora. Odgovorna tvrka PEMEX tvrdi da je polovica ispuštene nafte izgorjela na površini, dok je trećina isparila. Ostatak se raspršio po vodenom stupcu i ukupna razina njegovog utjecaja na okoliš nije poznata. Ono malo provedenih istraživanja tijekom i nakon

izlijevanja nije uočilo značajnu štetu na okoliš. Kontaminacija dostupne hrane je utjecala na prisutnost ptica, od kojih je mnogo napustilo svoja staništa za vrijeme trajanja izljeva. [52]

Izljevanje iz Torrey Canyon tankera 1967. godine je bila prva dokumentirana katastrofalna nesreća supertankera i najveće ispuštanje nafte do tog trenutka. Izlilo se otprilike 115.000 metričkih tona na greben u blizini obale Cornwella, južna Engleska. Nastala naftna mrlja je bila veličine 700 kvadratnih kilometra i zagadila je 290 kilometra obale. Korišteno je 10.000 tona raspršivača koji se nije pokazao efektivan zbog nedavnog utvrđivanja same metode. Kasnija istraživanja su pokazala da je nastala smjesa raspršivača bila štetnija od izvornog ulja. Ručne metode odstranjivanja su rezultirale uklanjanjem 4.000 tona s engleskih i 4.200 tona nafte s francuskih obala. Vlasti su odlučile bombardiranjem spaliti naftu čiji se crni oblak vidio kilometrima daleko, prikazano na slici 3.7. Nesreća se dogodila u vrijeme migracija morskih ptica što je rezultiralo smrću otprilike 25.000 ptica zbog gutanja ulja, upale pluća itd. Obala se prirodnim putem obnovila za pet do osam godina dok su područja zahvaćena raspršivačima trebala dužen otprilike deset godina. [53]



Slika 3.7 Engleski mještani promatraju bombardiranje olupine Torrey Canyon-a [54]

Nasukavanje Amoco Cadiz tankera sirove nafte 1978. godine na udaljenosti od dva kilometra do obale Francuske je bila najveća nesreća te vrste do tada. Veliki val je ošteti kormilo i hidraulički sustav broda te se on nekontrolirano približavao obali Bretanje. Tegljači su ga neuspješno pokušali odvući dalje od plitkih podvodnih stijena koje su mu rasparale trup i slomile ga na tri dijela. Ispuštenih 734 milijuna litara sirove nafte je rezultiralo mrljom veličine 1.440 kvadratnih

kilometra. Zagađeno je 320 kilometra francuske obale i utjecaj na životinjski svijet je bio razoran. Procjenjuje se smrt milijuna beskralješnjaka poput mekušca i rakova, 20.000 ptica i uništavanje ležišta kamenica ukupne mase od 9.000 tona. Mnogo organizama koji žive na dnu, poput ježeva, je bilo izbačeni na obalu u prvih dva tjedna nakon nesreće. Većina nastradalih ptica su bile ptice ronilice. Za ribe ulovljene u tom području je rečeno da imaju jak okus nafte. Ta nesreća je rezultirala najvećim gubitkom morskog života ikada zabilježenog do tog trenutka. Stradanje većine životinja se dogodilo tijekom dvomjesečnog razdoblja nakon izlivanja i populacije većine vrsta su se oporavile unutar godinu dana. [55] [56] [57]

Zloglasno izlivanje Exxon Valdez supertankera se dogodilo 1989. godine nakon što je udario greben u blizini obale Aljaske. Probušenih 11 tankova nafte je ispustilo 41 milijuna litara sirove nafte, samo dio naspram ukupnih 200 milijuna litara koje je prevezio u to vrijeme. Izlivanje je zahvatilo više od 1.300 milja obale, s ogromnim utjecajem na ribe i divlje životinje i njihova staništa, kao i na lokalne industrije i zajednice. Više faktora kao što su ekološki osjetljiva lokacija, godišnje doba i sama količina ovog izljeva je rezultiralo jednom od najvećih ekoloških katastrofa u povijesti SAD-a. Istraživači su pronašli lešine više od 35.000 ptica i 1.000 morskih vidri, brojke koje se smatraju djelićem stvarnog broja smrtno nastradalih životinja. Procjenjuje se da je umrlo 250.000 morskih ptica, 2.800 morskih vidri, 300 lučkih tuljana, 250 orlova krstaša i do 22 orka kitova uginulo zajedno s nebrojnom količinom jaja lososa i haringi. Izlivanje nafte u Exxon Valdezu bilo je toliko štetno da je donijelo Zakon o onečišćenju naftom, čiji je cilj bio povećati savezni nadzor nad vađenjem nafte i držati tvrtke financijski odgovornima za slučajeve izlivanja. [56] [58]

Nesreća Deepwater Horizon naftne platforme u vlasništvu naftnog diva BP je poznata kao najveće izlivanje nafte u povijesti. Platforma je 20. travnja 2010. godine bila locirana iznad Macondo nalazišta nafte u sjevernom Meksičkom zaljevu. Val prirodnog plina je uspio razbiti nedavno postavljen betonski čep na otvoru bušotine i zapalio se nakon dolaska na površinu platforme. Rezultirajuća eksplozija je na licu mjesta usmrtila 11 radnika i ozlijedila 17. Platforma se prevrnula i potonula dva dana kasnije. Inicijalne aproksimacije kompanije su stavile dnevno izlivanje nafte na oko 160.000 litara, ali je američka vlada smatrala da je izlivanje u najjačim periodima iznosilo 9,5 milijuna litara nafte. Prema nalazima Okružnog suda SAD-a, količina ukupno prolivene nafte

u tih par mjeseci dok je bušotina bila otvorena iznosi 507 milijuna litara. Nafta je zagadila nevjerojatnih 2.100 kilometra američke obale, od Teksasa pa sve do Floride i rezultirala naftnom mrljom veličine 149.000 kvadratnih kilometra, prikazanom na slici 3.8, što je površina trostruko veća od Republike Hrvatske. Naftna kompanija BP je platila 65 milijardi dolara odštete ljudima koji su se oslanjali na zaljev za život. Osim zabilježenog pada u turizmu, izlijevanje je imalo velik utjecaj na industrije koje su ovisile o moru. Zatvorila se trećina površine mora u Zaljevu zbog straha od kontaminacije. Rezultat je bio 8.000 do 12.000 privremeno nezaposlenih ljudi. Istraživanja živih dupina u blizini Luizijane 2013. godine su pokazala da je čak polovica ispitanih dupina bilo teško bolesno. Mnogi su imali poremećaje pluća i nadbubrežne žlijezde za koje se zna da su povezani s izloženošću ulju. Nasukalo se oko 1.400 kitova i dupina u razdoblju do 2015. godine. Izljev je imao velik utjecaj na populacije ptica i mnoge su stradale zbog gutanja ulja ili hipotermije zbog ne mogućnosti reguliranja tjelesne temperature. Ugroženi smeđi pelikan je bio među najviše pogođenim vrstama. Pretpostavlja se da je oko 12% smeđeg pelikana i 30% astečkih galeba smrtno stradalo u godinama nakon izlijevanja nafte. Procjena ukupnog broja stradalih ptica je 800.000. Samo u 2010. godini je pronađeno 1.700 smrtno stradalih kornjača, a ukupan broj kornjača stradalih na zahvaćenom području se estimira na 300.000 jedinki. [54] [59]



Slika 3.8 Satelitske slike Deepwater Horizon katastrofe [60]

3.4.3 PREVENCIJA

Metode tretiranja izljevna nafte su grupirane u tri grupe: fizički procesi, kemijske metode i biološka samoobnova. Neke od specifičnih tehnika su naftni bumovi (plutajuća ograda), skimeri, površinsko spaljivanje na licu mjesta, raspršivanje, visokotlačno pranje toplom vodom, primjena elastomizera i ručno odstranjivanje. Odabir specifičnih metoda koje će se koristiti na određenom izljevu najviše ovisi o udaljenosti izljevna nafte od obale. Za izljeve više od 200 nautičkih milja (1 nautička milja= 1.852 km) od obale nije potrebna intervencija osim u slučaju velikih ili kontinuiranih izljeva. Ako se izljev nalazi na udaljenosti od 20 do 200 nautičkih milja koriste se fizičke metode naftnih bumova i skimera za zadržavanje i uklanjanje nafte. Raspršivači se koriste na udaljenostima od 10 do 20 nautičkih milja, za sve bliže od toga se koriste kemijski absorbenti.

Fizički naftni bumovi su zapravo plutajuće pregrade i njihov zadatak je kontroliranje površinskog širenja nafte tj. lokaliziranje izljevna. Sastoje se od plutajućeg elementa, ograde i balasta. Plutajući dio buma koji izviruje iz vode zadržava prolivenu naftu i svojom visinom sprječava njezino prolijevanje preko pregrade. Ograda je hidrofobna i nepropusna jer je njezin zadatak da fizički odvoji emulziju nafte s jedne strane i čistu morsku vodu s druge. Balast je namijenjen da čak i u teškim vremenskim uvjetima drži bum u pravilnom položaju, a uglavnom se koristi debeli metalni lanac. Naftni bumovi se često upotrebljavaju i preferirana su metoda zbog svoje jednostavnosti i učinkovitosti sprječavanja širenja nafte i time većih posljedica nesreće. Njihova učinkovitost najviše ovisi o pravovremenom reagiranju na izljev nafte tj. njihova uporaba je najefektivnija dok je nafta koncentrirana. Veliko područje izljevna zahtijeva sve više i više bumova i time resursa. Također pate od vremenskih nepogoda kao što su visoki morski valovi i brzi vjetrovi. [59] [62]

Skimeri su još jedna fizička metoda odvajanja nafte i koriste se u tandemu s naftnim bumovima. Dok se fizičke pregrade koriste za sprječavanje širenja nafte, skimeri su zaslužni za njezino skupljanje i vađenje s površine mora. Sastoje se od uređaja za usisavanje nafte s površine i spremnika za skladištenje prikupljene nafte. Skimeri se izvode u raznim oblicima i veličinama te su neki specijalizirani za rad u mirnim vodama dok su drugi namjenjeni za rad u teškim vremenskim uvjetima. Također je rad sa samim skimerima odvojen na automatizirane i ručno upravljane. Velika prednost ove metode jest da se prolivena nafta može obraditi i time ponovno

upotrijebiti. Strojevi isplaćuju sami sebe ako uspješno prikupe prolivenu naftu. Glavni nedostatak je lako začepeljivanje ako se koriste u nepredviđenim situacijama kao što je zagađeno more. Fizičke metode izvlačenja nafte će uvijek biti od velike važnosti pri sanaciji nafte u blizini obale i unutar luka, ali njihova primjena na otvorenom oceanu u slučaju velikih izljeva je upitna. Primjer skimera koji koristi lančanu četku da prikupi plutajuću naftu je prikazan na slici 3.9. Istraživanje 2023. god. je pregledalo 30 izljeva nafte i zaključilo da se fizičkom metodom izvuklo samo 2-6% ukupne izlivenne nafte, puno manje vrijednosti od naglašavanih 10-30% kao “pravilo palca“. [63]



Slika 3.9 Lamor LAM Multimax skimer [64]

Sorbenti spadaju pod kemijske metode odvajanja i uključuju korištenje hidrofilnih materijala za upijanje/apsorbiranje ili adsorbiranje neželjenih tekućina. Apsorpcija uključuje uvlačenje tekućine u pore upijajućeg materijala, dok proces adsorpcije uključuje stvaranje sloja neželjene tekućine na površini upijajućeg materijala. Uobičajeno korišteni materijali za apsorpciju nafte su sijeno, slama, tresetna mahovina ili vermikulit. Nakon što se nafta apsorbira, iskorišteni apsorbirajući materijal sada zasićen naftom je potrebno prikupiti i ekološki zbrinuti. Ova metoda je najučinkovitija kod malih izljevova nafte jer prekomjerna količina sorbentskog materijala može ugroziti život na morskome dnu (tipični sorbenti nakon upotrebe postanu 3 do 15 puta teži od svoje početne težine. [61] [65]

Površinsko spaljivanje nafte na licu mjesta je jedna od neučinkovitijih metoda čišćenja izljeva nafte. Učinkovitost izgaranja ovisi o debljini sloja, vrsti i samoj površini prolivene nafte, a sam proces izgaranja može biti ometan vanjskim utjecajima kao što su brzina i smjer vjetrova. Izgaranjem se izdvajaju nestabilniji spojevi prisutni u nafti i zato je rezultat izgaranja gusta organska smjesa nalik katranu. Velika prednost ove metode je niska cijena zbog malo potrebnog osoblja i alata. Nedostatak ove metode je onečišćenje vode fizičkim ostacima nepotpunog izgaranja (uglavnom teški ugljikovodici) koji su otporniji na razgradnju i time se zadržavaju duže u okolišu od originalne nafte. Tijekom poznate DWH (Deep Water Horizon) nesreće, spaljivanje površinske nafte se provelo u 411 zasebnih incidenata. Laka sirova nafta, kao što je Macondo nafta u tom slučaju, gori veoma efikasno i mogu se postići postotci izgorenog volumena od 85-98%. [66] [67]

Zbog varijacija u prijašnje navedenim ključnim svojstvima izljeva kao što su debljina, vrsta i površina izljeva, ukupna učinkovitost izgaranja je estimirana na 85% sa 6.170–8.700 m³ ostataka izgaranja koji su potonuli u relativno duboke vode Meksičkog zaljeva. Dubokovodno uzgajalište kraljevskih škampa sjeverno od primarne zone spaljivanja izvora Macondo bušotine se zatvorilo zbog pronalaska katranskih loptica na dubini od 200 metara, prikazanih na slici 3.10. Znanstvena zajednica se osvijestila na potrebu za daljnjim istraživanjima fizičkih i kemijskih svojstva ostataka izgaranja te njihovog utjecaja na okoliš. Nedostatak ove metode je što zapravo jedan oblik zagađenja, morskog, pretvara u drugi, atmosferski. [67] [68]



Slika 3.10 Katranske loptice Deepwater Horizon nesreće [68]

Metoda fizičkog odstranjivanja nafte visokotlačnim pranjem toplom vodom se preporuča u slučajevima kada je izljev došao do stjenovite ili šljunčane obale, kada se radi o gustim starim naslagama velike masnoće i kada je nafta prodrla u šljunčane sedimente. Uobičajene fizičke metode naftnih bumova i skimera nisu dostupne pa se ovom metodom omogućiti pristup upravo tim strojevima za uspješno odstranjivanje nafte. Voda se u bojlerima zagrije na 27-100°C i radnik ju raspršuje visokotlačnom mlaznicom. Negativne posljedice visokotlačnog pranja su odstranjivanje sedimenta i erozija mekih stijena. Postoji opasnost uništavanja obalnog staništa mnogih vrsta zbog ispiranja pješčane plaže i mulja. Nafta se također može zarobiti u obalne sedimente prema kojima je isprana. [69]

Ručna metoda čišćenja izljeva nafte podrazumijeva ručni rad, tj. radnike koji koriste grablje i lopate da bi odstranili površinski sloj nafte i ikakve nastale emulzije. Prikupljen otpad se zatim sakuplja u određene spremnike i uklanja s obale. Postoji mogućnost korištenja mehanizirane opreme za teško dostupna ili izrazito zagađena područja. Iako je ova metoda radno intenzivna i dugotrajna, velike prednosti su ekološka prihvatljivost i delikatnost. Ova metoda ne koristi kemikalije koje bi mogle utjecati na okoliš i može se prilagoditi specifičnim uvjetima svakog izljeva. Nedostaci ručne metode čišćenja su vidljivi kod velikih i teško dostupnih izljeva kada ta metoda nije primjenjiva. Ova metoda rijetko prikupi više od 20% izljeva nafte. [61] [70]

Metoda raspršivanja je kemijska metoda i uključuje korištenje sredstava za raspršivanje nafte, raspršivača kao što je Corexit 9500. Raspršivači su napravljeni od površinski aktivnih tvari koje se vežu s uljima i time su slični deterdžentima. Namijenjeni su uklanjanju slojeva nafte s površine mora tako što ju rasprše cijelim vodenim stupcem u vrlo niskim koncentracijama. Oni funkcioniraju tako da povećavaju površinu molekula ulja i time olakšavaju njihovo vezivanje s molekulama vode. To omogućava ubrzanu razgradnju mikrobima na manje toksične spojeve u stupcu vode. Izljevi nafte imaju najkritičniji utjecaj kada se dogode u obalnim i priobalnim područjima te je u tim trenucima ključno korištenje raspršivača da bi se smanjili utjecaji na osjetljiva obalna staništa i ekosustave. Dugoročni utjecaji raspršivača se još istražuju, ali je sigurno da u povećanim koncentracijama predstavljaju opasnost za morski život. Primjenjuju se samo kada konvencionalne fizičke metode uklanjanja nafte nisu moguće. Moderna ulaganja u raspršivače su omogućila njihovu primjenu na razna ulja uz pravilne omjere i uvjete. Najefektivniji su kod lakih

nafti u kojem slučaju u optimalnim uvjetima postižu omjer jednog raspršivača na 100 dijelova nafte. Teže raspršuju tešku naftu gdje je potreban veći omjer raspršivača. Moguće ih je ispustiti na mrlju prolivenog ulja pomoći brodova i helikoptera, ali najčešća metoda je korištenjem aviona, prikazana na slici 3.11. [61] [71]



Slika 3.11 Zračno ispuštanje raspršivača nafte [72]

Jedan od njih je Corexit 9500, čak 10 puta manje toksičan od drugih raspršivača, ali daleko od bezopasne tvari. Provedeno je laboratorijsko istraživanje u kojem je praćena razgradnja nafte u morskim sedimentima u prisutnosti i odsutnosti raspršivača Corexit 9500. Zaključeno je da raspršivač nije ubrzao razgradnju nafte tijekom četiri mjeseca dugog promatranja što nam ukazuje da nije konačno rješenje. Raspršivači pomažu u otklanjanju površinskog sloja nafte, ali ova nafta se i dalje nalazi u stupcu vode i transportira na nepoznata mjesta s nepoznatim posljedicama. Jedan od faktora je niska temperatura morskih dubina koja definitivno utječu na brzinu razgradnje nafte. Raspršivač Corexit 9527 je ispušten u ukupno 493 zračnih misija u svrhu tretiranja 2.800 kvadratnih kilometra naftne mrlje nastale izlivanjem Ixtoc 1 bušotine. [61] [73]

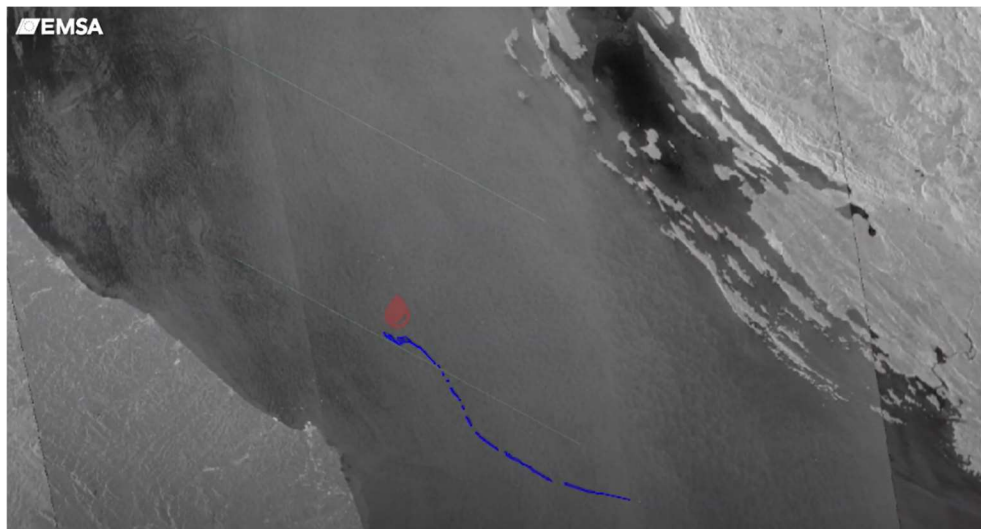
Biološka samoobnova je prirodna i ekološki najprihvatljivija metoda koja se oslanja na mikroorganizme za uklanjanje otrovnih i štetnih spojeva nafte. Korištene bakterije, gljivice i alge razgrađuju naftu na jednostavnije netoksične molekule poput masnih kiselina i ugljičnog dioksida. Ovaj proces može trajati godinama, ali je neinvazivan i učinkovit. Rast i razmnožavanje mikroorganizma se može pospješiti korištenjem gnojiva i dodatnih reagensa, ali to sa sobom

donosi određene rizike. Gnojiva mogu potaknuti rast neželjenih algi koje konzumiraju previše kisika i svojom pojavom sprječavaju prodor svjetlosti do većih dubina mora. U tom slučaju se šteti ekosustavu i zaustavlja sam proces biološke samoobnove. Zato je potrebno pažljivo razmatranje pojedinog izljeva nafte i procijeniti da li je korištenje dodatnih aditiva neophodno. [61]

Kontradiktoran pristup čišćenju je napraviti ništa, tj. dopustiti prirodnim procesima da sami očiste naftu. Zračenje sunca, raznošenje vjetrom i valovima, plima i oseka, razgradnja postojećim mikroorganizmima su neke od tih metoda. Ovaj pristup se koristi kada interventno čišćenje nafte nije moguće ili poželjno. Nije brz niti učinkovit način čišćenja izljeva nafte, ali je u nekim slučajevima jedina opcija. Primijećeno je da velika količina nafte ispari netom nakon nesreće i upravo u tom hlapljivom obliku nafte se nalazi većina opasnih spojeva. Tijekom Exxon Valdez nesreće se predviđa da je najmanje 30% od 35.000 tona prolivene nafte isparilo u atmosferu, dok je kod Amoco Cadiz izljeva ukupno 40% od 240.000 tona isparilo. [61] [73]

Ključan dio prevencija izljeva nafte je njihovo predviđanje i razumijevanje. Uz to pomažu sustavi za modeliranje koji predlažu odgovarajuće postupke čišćenja nafte, obučavaju osoblje zaduženo za intervenciju tijekom nesreća te omogućavaju proaktivno stvaranje planova za hitne intervencije. Unutar sustava se proučava interakcija kompleksnog matematičkog modela prolivene nafte s okolinom, uzimajući u obzir mnogo varijabli i mogućnost manipuliranja njima kao što su putanja izlijevanja, vremenski uvjeti, površinske struje, dubina mora, interakcije s modelima naftnih bumova, skimera, sustava za kemijsko raspršivanje, apsorbenata, kompleksne topografije obale itd. Pojedina simulacija može sadržavati tisuće interaktivnih objekata kao što su oprema za čišćenje, brodovi i ljudi. Provođenjem simulacija različitih mogućih scenarija nesreća se skraćuje vrijeme reakcije na stvarne događaje. To je ključno jer je čišćenje najefektivnije prije nego što se nafta promiješa sa stupcem vode ili dođe do obale. U tim slučajevima intervencija nije moguća ili je znatno otežana. Chihat Asan je u svojem istraživanju koristio PISCES sustav (Potential Incident Simulation and Evaluation System) da bi simulirao širenje izljeva nafte unutar brodogradilišta u Istanbulu u svrhu stvaranja plana hitne intervencije. Određeno je da je ključno intervenirati unutar 2 sata i 30 minuta od trenutka izlijevanja nafte jer se time najviše smanjuje utjecaj dva kritična faktora, raspršivanje nafte u vodenom stupcu i njezin dolazak do obale. [73] [74]

CleanSeaNet je europska satelitska usluga namijenjena za praćenje izljeva nafte u gotovo realnom vremenu. EMSA (European Maritime Safety Agency) je postavila satelite u travnju 2007. godine i njima upravlja od tad. Usluga je dostupna svim članovima EU-a, njezinim kandidatima i EFTA državama (European Free Trade Association) koje su Island, Lihtenštajn, Norveška i Švicarska. Analizira satelitske slike kako bi se otkrio mogući izljev nafte na površini mora, identificirali potencijalni zagađivači kao što su brodovi u blizini i pratilo samo širenje nafte u svrhu pravodobne intervencije. Na slici 3.12 je prikazana satelitska slika izljeva nafte uz obalu Republike Hrvatske otkrivenog pomoću CleanSeaNet usluge. [75]



Slika 3.12 Izljev nafte uz obalu Republike Hrvatske [76]

3.5 ONEČIŠĆENJE RASUTIM SUHIM TERETOM

Port Equipment Manufacturing Association (PEMA) je 2022. godine objavila sveobuhvatan informacijski papir o suhom rasutom teretu i njegovom utjecaju na onečišćenje zraka u lukama te se puno istraživačkih radova poziva na njih. Onečišćenje rasutim suhim teretom je najintenzivnije u lukama pri ukrcaju i iskrcaju te se tamo najviše može utjecati na njegov utjecaj. Tipičan rasuti teret su žitarice, željezne rude, ugljen, pijesak itd. Njihovo rukovanje stvara prašinu koja onečišćuje vodu i zrak, te osim što se sastoji od mikroskopskih čestica samog materijala postoji i mogućnost da u sebi sadrži razne bakterije i gljivice. Eliminacija zagađenja suhog rasutog tereta se osniva na stvaranju što manje prašine. Raspršivanje materijala pri njegovom rukovanju ovisi o obliku njegova skladištenja i vrsti opreme kojom se utovaruje/istovaruje. [77]

Velika prepreka u rješavanju ovog problema su potrebna velika ulaganja u infrastrukturu luka koje se bave s rasutim teretom. Većina njih je zastarjele konstrukcije i ne mogu zadovoljiti logističke zahtjeve koje donosi moderan način rada. Implementacija te nove opreme za brži i efikasniji ukrcaj/iskrcaj zahtjeva više mjesta, veću nosivost i veću operativnu cijenu. To se pokazuje neisplativim za mnoge luke koje barataju jeftinim rasutim teretom. Pojedina luka treba biti dovoljno fleksibilna u vrsti tereta koju može zaprimiti pošto je globalno tržište iznimno promjenjivo. Problem efikasne i ekološki prihvatljive opreme je taj što su uglavnom specijalizirane za jednu vrstu tereta. Sama lokacija luka je problematična ako se nalaze blizu naseljenih područja ili zaštićenih prirodnih površina. Nedostaje globalni konsensus u obliku propisanih zakona i regulativi za pravilno rukovanje suhim rasutim teretom iako su vidljivi i priznati štetni rezultati neadekvatnog rukovanja. Zagađenje proizvedeno u pojedinoj luci će se prenositi daleko od izvornog mjesta te ona neće nužno biti pogođena. Zato postoji veliki politički otpor pri pokušaju implementiranja ekološki prihvatljivijih sustava. [77]

Učinci prašine rasutog tereta ovise o materijalu i veličini čestica prašine, u centru pažnje je njihov utjecaj na ljudski dišni sustav a sekundarno na zagađenje okoliša. Ultrafine čestice sa srednjim promjerom manjim od 0,1 mikrometara mogu lako ući u krvotok ljudi. [77]

Privremeno skladištenje materijala u luci je neizbježno zbog varijabilnih vremena isporuke, te dolaska kopnenih prijevoznih sredstva kao kamiona i vlakova. Moguće izvedbe su otvorena zaliha, ograđena zaliha, skladište i silos. Njihova inicijalna investicija i naknadni operativni troškovi rastu tim redoslijedom od najmanje do najviše. Otvorena skladišta su najjednostavnije ali time i najizloženija. Materijal može degradirati zbog vlage, isprati se zbog kiša, biti otpuhan vjetrom ili spržen ultraljubičastim svjetlom sunca. Ograđivanje tih skladišta zidom uklanja dio problema uz očuvanje velike fleksibilnosti i niske cijene. Zatvorena skladišta su sljedeći korak i povoljnija za sigurno čuvanje tereta. Cijena njihove instalacije eksponencijalno raste ovisno o tome koliko zatvoren i time siguran oblik skladištenja je poželjan. Rezultat nepravilnog skladištenja suhog rasutog tereta ponekad može imati katastrofalne posljedice, jasno vidljivo u eksploziji Beirutske luke 2020. godine. Vlasti u Libanonu su 2013. godine zaplijenile 2.750 tona amonijeva nitrata i bez puno pažnje ga sljedećih sedam godina skladištili u zatvorenom hangaru na području luke. Iako su zabrinuti stručnjaci godinama upozoravali na nepravilno skladištenje tog eksplozivnog materijama i slali pisma nadležnim pravnim tijelima, ništa nije poduzeto. Razbacane vreće amonijeva nitrata u hangaru broj 12, prikazane na slici 3.13, su se zapalile pri širenju požara i uzrokovale najveću eksploziju te vrste u povijesti ekvivalentnu detonaciji 1,1 kilotona TNT-a. Eksplozija je ubila 218 ljudi, učinila 300.000 ljudi beskućnima i nepovratno uništila gospodarstvo Libanona. [77] [78] [79]



Slika 3.13 Razbacane vreće amonijeva nitrata u skladištu 12 Beirutske luke [78]

3.6 PODVODNA BUKA

3.6.1 OPĆENITO O PODVODNOJ BUCI

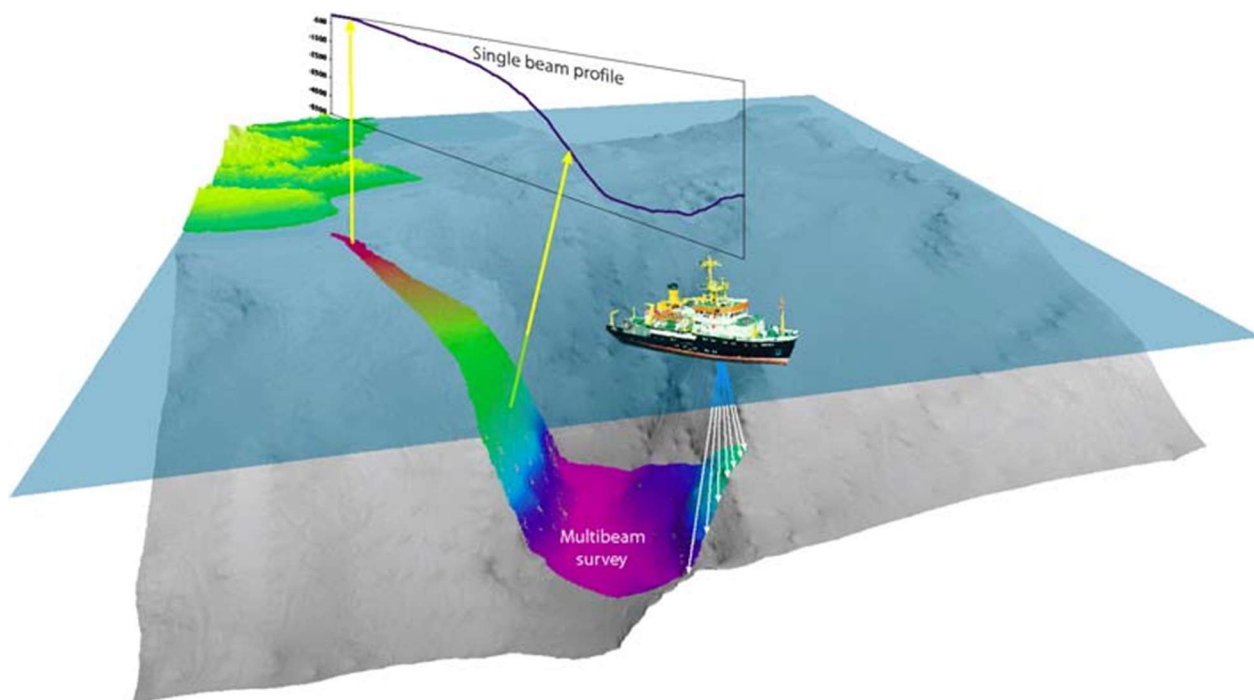
Sunčeva svjetlost u optimalnim uvjetima prodire do 1.000 metara dubine, ali rijetko ima značajne količine svjetlosti ispod 200 metara. Životinjski svijet se stoga primarno služi zvukom kao osjetilom komunikacije zbog velike brzine propagiranja zvučnih valova koji se šire pet puta brže u vodi nego zraku. Životinje koriste zvuk u svim aspektima svog života, od pronalaženja hrane i međusobne komunikacije do razumijevanja svog okoliša i samoobrane. Za razliku od kopna, do sada nije pronađen niti jedan gluhi kralješnjak u moru što pokazuje da su oceani pretežno akustički svijet. Glavni izvori zagađenja bukom su manja plovila, veliki komercijalni brodovi, jednosnopni i višesnopni ultrazvučni dubinomjeri, stvaranje bušotina, sonari, vjetrove turbine, zračni topovi i detonacije. [80] [81]

Brodovi su glavni izvori zagađenja bukom i uz veliki porast pomorskog prometa posljednjih desetljeća ovaj oblik onečišćenja će se nastaviti pogoršavati. Opće pravilo glasi da što je brod veći i brži time je i glasniji jer buka nastaje zbog kavitacije pri radu propelera. Procjenjuje se da 15% ukupnog morskog prometa sastavljen od najvećih brodova pridonosi polovicu ukupnog zagađenja bukom. Podvodna buka niske frekvencije je prirodno uzrokovana životinjama, razbijanjem valova ili raznim seizmološkim aktivnostima, ali dolaskom industrijske revolucije i nastupom motornih brodova zagađenje bukom eksponencijalno raste. Pretpostavlja se da se morska buka udvostručuje svako desetljeće od 1960-ih i u europskim vodama je udvostručenje količine buke zabilježeno u razdoblju od čak samo pet godina (od 2014. do 2019. godine). Osim samog propelera, uzrok buke raznih frekvencija je i strujanje vode uz trup broda. [82]

Mala, rekreacijska plovila su također izvor buke i njihova prisutnost se kontinuirano povećava. Broj registriranih rekreacijskih plovila u Sjedinjenim Američkim Državama je doživio godišnji porast od 1% u periodu od 1980. do 2017. godine, u Australiji je zabilježen porast od 3% godišnje u periodu između 1999. i 2009. godine, te u Europskoj Uniji gdje se broj građana koji redovito sudjeluju u rekreacijskoj plovidbi procjenjuje na 48 milijuna. Smatra se da će ta industrija biti prezasićena u popularnim odredištima Sredozemnog mora. Njihov utjecaj je najznačajniji u

obalnim područjima gdje su ova vozila glavni uzročnici. Rezultiraju bukom raznih frekvencija u rangu 1-10 kHz i jačine između 130 i 195 decibela. [83]

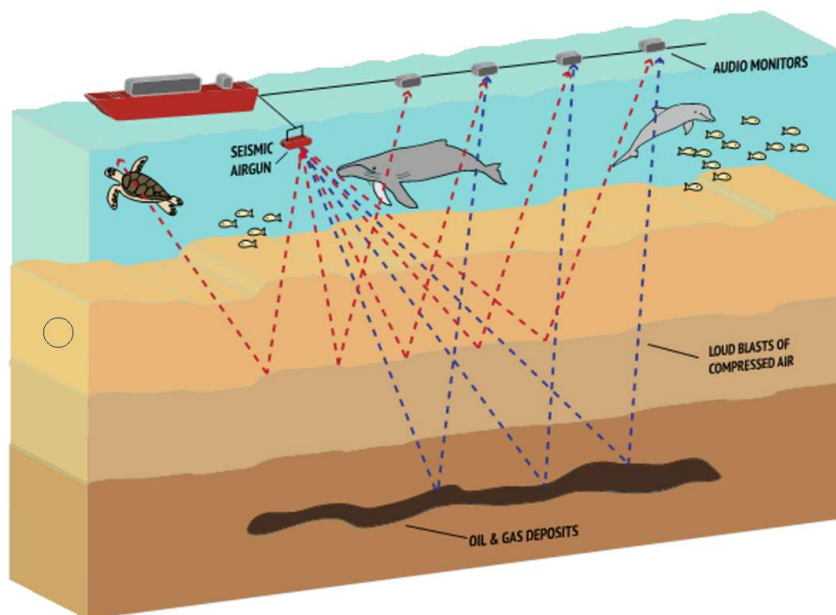
Ultrazvučni dubinomjeri imaju više upotreba kao što su navigacija, mjerenje dubine i detekcija jata riba. Dijele se na jednosnopne koji emitiraju impuls zvuka u uskom luku od 2° - 12° i višesnopne koji emitiraju plašt tipične širine 120° . Višesnopni dubinomjeri se koriste za mapiranje morskog dna i uz prikupljanje podataka same topografije oni mogu istražiti karakteristike vodenog stupca. Općenito dubinomjeri mogu proizvoditi impulse raznih frekvencija i izbor frekvencije će ovisiti o mjerenoj dubini. Frekvencije od 12-20 kHz se koriste za plitku vodu dubine manje od 100 metara ali ovi sustavi mogu proizvoditi impuls jačine do 455 kHz. Trajanje samog impulsa je 10 milisekundi ili manje. Primjer njihovog mapiranja je prikazan na slici 3.14 gdje je vidljiva razlika u vrsti povratnih podataka koju daju ovisno o izvedbi. Istraživanja su pokazala da mnoge vrste zubatih kitova koriste visokofrekventne klikove (60-170 kHz) za eholokaciju. Pri istraživanju populacija američke lojke (*Alosa sapidissima*) je viđena promjena ponašanja u prisutnosti ultrazvučnih dubinomjera. [84] [85] [86]



Slika 3.14 Mapiranje morskog dna pomoću ultrazvučnih dubinomjera [87]

Izgradnja velikih vodenih konstrukcija kao što su mostovi, vjetrene turbine, nafte i plinske bušotine zahtijeva izradu potpora u obliku čeličnih stupova zvanih pilona. Najčešća metoda ugradnje ovih potpora je korištenjem hidrauličkih čekića koji pylon zabijaju u dno kontinuiranim udaranjem njegova vrha. Uz razne faktore koji utječu na trajanje ovog procesa kao što su širina pilona, veličina čekića i svojstva dna, procjenjuje se da je za ugradnju svakog pilona potrebno više sati i preko 5.000 udaraca u morsko dno. Ti intenzivni impulsi se mogu čuti kilometrima od mjesta udara i karakterizirani su padajućim frekvencijskim karakteristikama. Blizu mjesta udara su u rasponu od 10 Hz do 3 kHz, a na većim udaljenostima dominiraju frekvencije manje od 1 kHz. [88]

Zračni topovi se primarno koriste za ispitivanje slojeva morskog dna u svrhu proučavanja povijesti ili lociranja podvodnih nalazišta nafte i plina. Ispuštanje komprimiranog zraka stvara mjehuriće čija kavitacija proizvodi zvuk. Taj zvuk se putuje do morskog dna i nastavlja se širiti morskim sedimentima i potencijalno do nalazišta goriva. Dio zvuka se reflektira nazad do plovila gdje se može analizirati u svrhu dobivanja informacija o morskome dnu i geološkog sastava ispod njega. Na slici 3.15 je prikazan opisani način rada. Kako bi se mapiralo područje, 12 do 48 zračnih topova na komprimirani zrak se vuče iza broda i kombinacija tih impulsa proizvodi kontinuiranu buku do 260 decibela svakih 10 do 15 sekundi. Ti zvučni valovi mogu putovati kilometrima duboko u morsko dno. Procjenjuje se da razina ambijente buke doživi povećanje za faktor od 100 u radijusu do 300 000 km². [89] [90]

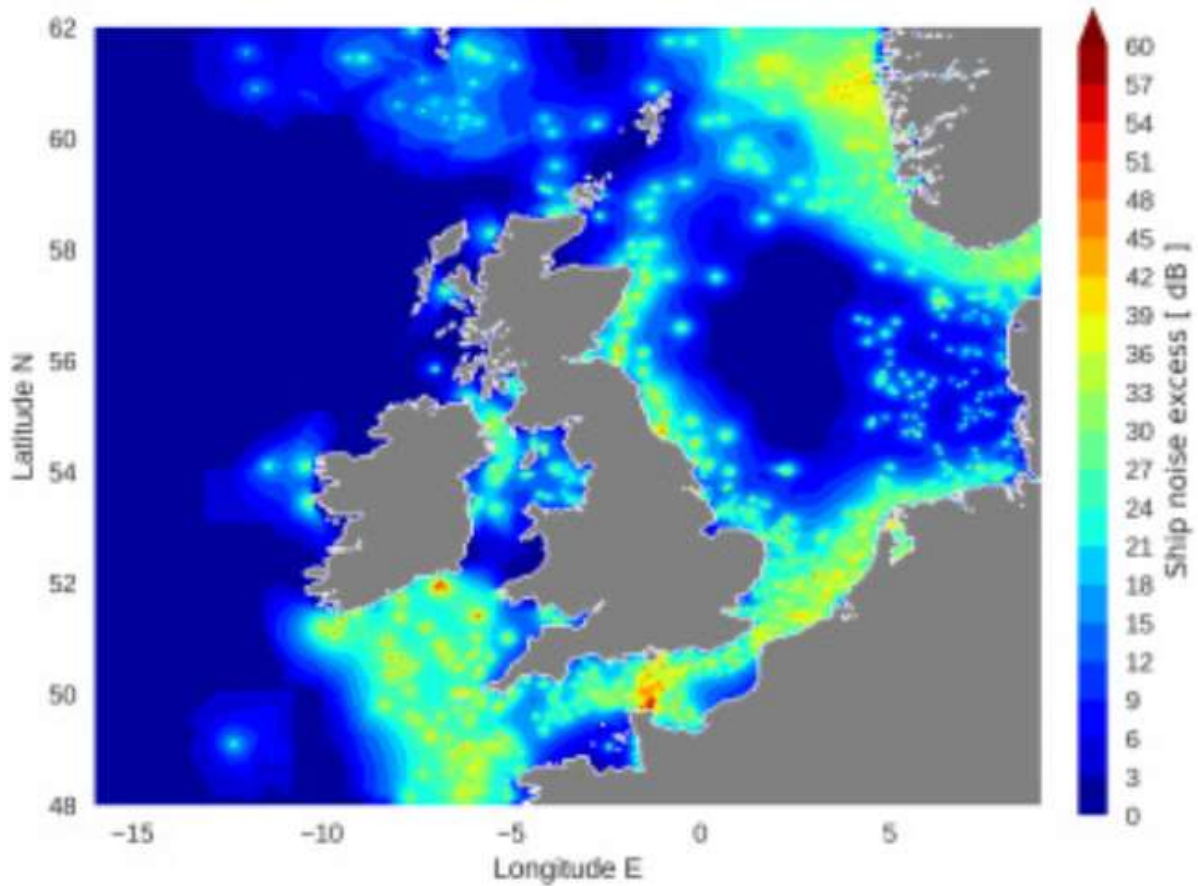


Slika 3.15 Proučavanje sastava morskog tla pomoću zračnih topova [91]

Sonar je vrsta tehnologije koja koristi podvodne impulse zvuka u svrhu eholokacije. Dije se na aktivne i pasivne. Pasivni sonar ne ispušta impulse zvuka, samo sluša okolinu. Aktivni sonar ispušta impulse i sluša tj. analizira njegov povratan zvuk da bi odredio svoje okruženje. Povratan signal nam može reći da li se odbio od podmornice, kamena, jata riba, kita itd. Aktivni sonari mornarica postižu signale jačine do 240 decibela da bi otkrili neprijateljske podmornice. Vojne vježbe su velik dio onečišćenja jer mnoge aktivnosti dovode do raznih detonacija kao što su testiranje oružja, starog potonulog streljiva. [92]

3.6.2 ZAPAŽENI UTJECAJI

Osviještenje na moguće negativne utjecaje podvodne buke se pojavilo 1970-ih godina kada je zamijećeno da se dominantne frekvencije zvuka brodskih propelera znatno preklapaju sa frekvencijama glasanja kitova. Buka utječe na morske sisavce, ribe i beskralješnjake na mnoge načine od kojih su glavni maskiranje, promjene ponašanja, gubitak sluha i nasukavanja. Maskiranje je radnja za koju se smatra da ima najopsežniji i najkritičniji utjecaj na akustičnu komunikaciju morskih organizama. Do maskiranja dolazi kada ljudsko proizvedeni zvukovi onemogućuju životinji da percipira i tumači dolazne zvučne valove. Njegovo utjecanje ovisi o ispuštenim frekvencijama i duljini buke. Najrazornije je kada je vrijednost frekvencije podvodne buke približan izvornom zvuku kojeg životinja pokušava analizirati. Reakcije životinja na ovo onečišćenje variraju, moguće je zaustavljanje vokalizacije, pokušaj nadglasavanja izvora buke i promjena frekvencije vokalizacije životinja. Na slici 3.16 je prikazana mapa zagađenja bukom brodovima dobivena kombiniranjem mape kretanja brodova sjeveroistočnim Atlantskim oceanom 2017. godine i mape buke koju stvara vjetar, ta buka je oduzeta da se dobije prikaz viška buke prikazane na decibel skali. [93] [94] [95]



Slika 3.16 Mapa zagađenja brodskom bukom u sjeveroistočnom Atlantskom oceanu [95]

Česta reakcija na buku je promjena ponašanja životinja u pokušaju minimiziranja utjecaja buke na njihov svakodnevni život. Učestala reakcija morskih životinja je napuštanje preferiranih područja hranjenja i mijenjanje značajki svog glasanja. Proučavanje populacije beluga kitova i narvala u visokom Arktiku Kanade je pokazalo različite reakcije na približavanje brodova. Beluge su tipično izbjegavale brodove dok su se narvali činili indiferentni na njihovu prisutnost. Približavanjem brodova se glasanje beluga pojačalo i manje grupe su se konvergirale u veće radi sigurnosti. Kretanje jedinki je bilo asinkrono i brzo. Narvali su imali staloženiju reakciju i zamijećeno je da su se prestali glasati približavanjem broda. Također su se brže vratili u područja zahvaćena bukom. [96]

Istraživanje provedeno u Sališkom moru na populaciji orka kitova je pokazalo da prisutnost brodova utječe na vjerojatnost uspješnog lova. Zaranjanja u blizini brodova su bila duža i spuštanje u dubinu je bilo sporije, pretpostavlja se zbog potrebe za većom koncentracijom na lov ribe. [97] Proveden je 16-dnevni eksperiment u kojem se uspoređivao utjecaj redovite i nasumične buke na ponašanje, rast i razvoj ličinki atlantskog bakalara. Nakon dva dana obiju vrsta buke bakalari su imali manji rast, dok je redovita buka rezultirala bržom potrošnjom žumanjčane vrećice. Te ribe su na kraju eksperimenta imale manji omjer duljine i širine tijela te ih je bilo lakše uhvatiti u simuliranom lovu. [98] Rakovi izloženi brodskoj buci su imaju jednaku sposobnost otkrivanja i reagiranja na simulirani predatorski napad kao i kontrolna grupa sa ambijentom bukom, ali su se sporije povukli u zaklon. Također, rakovi okrenuti na leđa su se brže ispravili u prisutnosti buke što povećava rizik od viđanja i time napada od strane grabežljivca. [99]

Najtragičniji događaji povezani sa zagađenjem bukom su smrti kitova i dupina koji se nasuču ili umru u moru zbog dekompresijske bolesti. Unutarnje krvarenje vitalnih organa poput srca i mozga može doći unutar četiri sata nakon izlaganja podvodnom sonaru. Dokumentirano je mnogo pojedinačnih i masovnih nasukavanja i u nekoliko dobro dokumentiranih slučajeva je buka igrala ključnu ulogu te su dostupna službena izvješća o istrazi događaja. U svibnju 1996. godine dvanaest Cuvierovih kljunastih kitova se nasukalo duž 38 kilometara grčke obale u Sredozemnom moru [100]. U vrijeme ovog masovnog nasukavanja se odvijala vojna vježba provedena od strane znanstveno-istraživačke organizacije povezana s NATO-om. U vježbi su korišteni sonari na frekvencijama 450-700 Hz i 2,8-3,3 kHz. Na Bahamima se 2000. godine nasukalo 14 kljunastih kitova, jedan pjegavi dupin i dva pjegava kita duž obale od 240 km u razdoblju od 36 sati. U isto vrijeme se odvio prolazak pet brodova američke mornarice. U vojnoj vježbi su korišteni sonari srednje frekvencije (1-10 kHz). Na Kanarskim otocima 2002. godine se dogodilo masovno nasukavanje četrnaest kljunastih kitova. Pokušaj spašavanja jednog je prikazano na slici 3.17. Do nasukavanja je došlo četiri sata nakon izvođenja približne NATO ratne vježbe u kojoj su korišteni mnogi sonari srednje frekvencije. Za deset nasukanih životinja otkriveno je da imaju mjehuriće plina i krvarenja u nekoliko organa. Postoji više hipoteza o uzroku njihove smrti i razlogu tih mjehurića plina. Jedna hipoteza je nastupanje dekompresijske bolesti. Znanstvenici su sugerirali da su je buka rezultirala promjenama uobičajenog oblika ronjenja kljunastih kitova, tj. da su reagirali na buku bržim izranjanjem na morsku površinu nego inače, uzrokujući stvaranje

potkožnih mjehurića. Nasukavanja ima mnogo i iako se u puno slučajeva sumnja na zagađenje bukom, ono se rijetko može zaključiti kao ključni faktor u pojedinom nasukavanju. [100]



Slika 3.17 Pokušaj spašavanja nasukanog kljunastog kita, Kanarski otoci 2002. god. [101]

3.6.3 PREVENCIJA

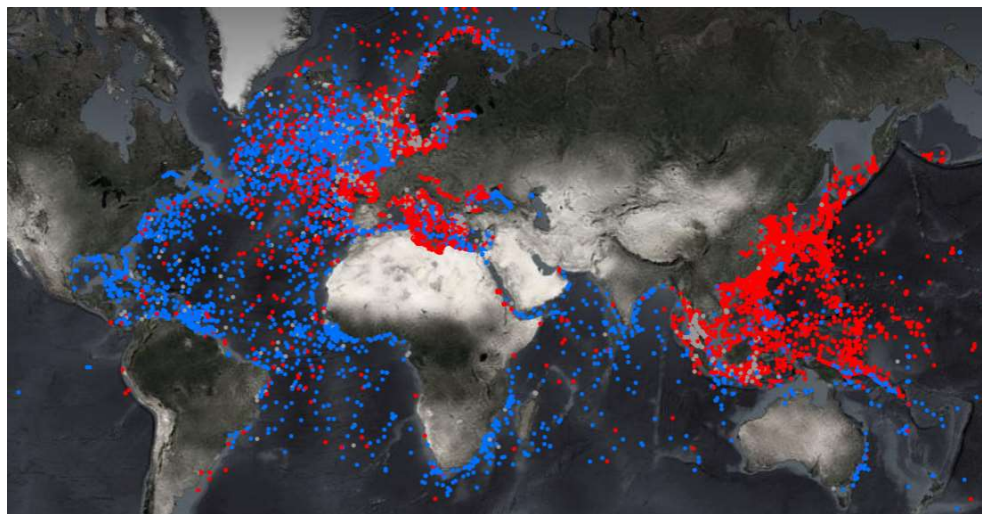
Većina buke koji proizvodi brod proizlazi iz propelera tj. kavitacije na njegovoj površini. Nastanak kavitacije je složen proces. Konstruiranje krila propelera sa većom površinom rezultira manjom razlikom tlaka između prednje i stražnje strane krila i time manje kavitacija. Veći propeler zahtjeva veći utrošeni rad za pokretanje i to je nepovoljno za trgovačke brodove koji se fokusiraju na ekonomičnost plovidbe. Dobro konstruiran trup broda je ključan za postizanje jednolikog pritjecanja vode na propeler što uvelike utječe na nastajanje kavitacija. Postoji mogućnost poboljšanja protoka u propeler na postojećim brodovima uz ugradnju raznih privjesaka na trupu. Postoje specijalizirani propeleri na ratnim i istraživačkim brodovima, ali oni nisu primjenjivi na globalnu trgovačku flotu jer bi njihovo korištenje povećalo ugljični otisak plovila i operativne troškove brodova. Godine 2017. je broderska tvrtka Maersk uspješno modificirala nekoliko svojih brodova ugradnjom učinkovitih propelera i učinkovitije oblikovanog trupa. Ustanovljeno je da su te ugradnje rezultirale smanjenjem buke koju emitira brod za 75%. Daljnja rješenja mogu uključivati postavljanje motora na nosače kako ne bi prenosio buku vibracijama duž cijelog trupa broda. Redovno čišćenje trupa osigurava najoptimalnije kretanje kroz vodu. [84] [102]

Najjednostavniji i najbrži način za smanjenje podvodne buke morskog prometa je smanjenje brzine broda. Russell Leaper, IFAW konzultant i stručnjak za buku, izračunao je da bi smanjenje brzine globalne brodske flote za 10% smanjilo proizvodnju buke za 40%, a smanjenje brzine od 20% bi rezultiralo sa 67% manje buke. Uz onečišćenje buke, ovaj pristup bi smanjio onečišćenje ugljikovim dioksidom i smanjenje sudara s kitovima. Općenito pravilo je da se za svaki 1 čvor u smanjenju brzine, buka broda smanjuje za 1 decibel. Stvarni primjer ove metode u akciji je provela lučka uprava Vancouver-Fraser u Britanskoj Kolumbiji 2022. godine. Tražili su brodove da uspore na 11 ili 14,5 čvorova (ovisno o vrsti broda) dok se približavaju luci, kako bi smanjili buku za kritično ugroženu populaciju južnih orka kitova. 80% velikih plovila koja su sudjelovala u usporavanju su rezultirala smanjenjem buke za čak 55%. [88] [102]

Glavni nedostatak borbe protiv zagađenja morskom bukom je manjak regulativa. Nedostaje međunarodni konsensus o uzrocima i opasnosti podvodne buke, zbog toga ne postoje propisana pravila kojih bi se trebali pridržavati proizvođači brodova i brodovlasnici radi smanjena zagađenja. IMO je 2014. godine ratificirala smjernice za smanjenje buke s komercijalnih brodova, s fokusom na propelere, oblik trupa, strojeve na brodu i razne preporuke za rad i održavanje. [102]

3.7 NASUKAVANJA I POTONUĆA BRODOVA

Nasukavanja i potonuća brodova su, osim prijašnje navedenih inicijalnih izljeva, štetna zbog sekundarnih ispuštanja tereta u okoliš. Olupine mogu desetljećima ležati netaknute na dnu i postepenom razgradnjom njihovih trupova raste opasnost o ispuštanju tereta sadržanog u njima, time postaju tempirane bombe. Procjenjuje se da postoji oko tri milijuna olupina raznih veličina od kojih su nešto više od 8.500 klasificirane kao potencijalno zagađujuće prema međunarodnoj bazi podataka od strane Environmental Research Consulting (ERC) 2004. godine. Veliki dio te statistike je prikazan na slici 3.18 i proizlazi iz Drugog svjetskog rata, tj. 20.000 brodova potopljenih u tom ratu. Plavom bojom su označeni brodovi Savezničkih sila, a crvenom bojom brodovi sila Osovine. Njihov problematičan teret uključuje kemijski štetne spojeve, neeksplozivna streljiva raznih kalibra i procijenjenih 22,5 milijardi litara nafte. Kao referencu na tu količinu nafte možemo iskoristiti prijašnje navedeni Deepwater Horizon izljev 2010. godine koji je sa svojih 507 milijuna prolivenih litara ušao u povijest kao najkatastrofalniji primjer te vrste zagađenja. Trenutna procjena zarobljene nafte u svim svjetskim morima premašuje taj izljev za faktor od 45. Olupine postaju sve više zabrinjavajuće jer se procjenjuje da će početi ispuštati svoj teret u ovom desetljeću. Razlog zabrinutosti je jačanje vremenskih neprilika kao rezultat toplinskog zatopljenja i time bržeg raspada olupina koje već trunu desetljećima. Iako je nafta najveći potencijalni zagađivač, vrijedi spomenuti ispuštanje zagađivača kao što su teški metali, radioaktivne tvari i razni otrovni kemijski elementi. Sekundarne eksplozije su uzrok zagađenja bukom i mogući katalizatori za oslobađanje zagađivača. [103] [104]



Slika 3.18 Mapa zabilježenih potonuća brodova u Drugom svjetskom ratu [105]

Ključan dio u borbi protiv ove vrsta onečišćenja je međunarodna suradnja i prikupljanje podataka. Vladajuća tijela ne mogu sa velikom točnošću predvidjeti gdje i kada će doći do katastrofalnih izljeva i nisu u mogućnosti razviti ljestvicu prioriteta. Ljestvica prioriteta je ključna za prvobitno zbrinjavanje najkritičnijih olupina i time najefikasnije korištenje resursa. Suradnja vlada je neophodna za stvaranje međunarodnog fonda koji bi pružio financijsku potporu oštećenim zajednicama i zemljama u razvoju jer je zbrinjavanje otpada skup i dugotrajan proces. Bezuvjetna suradnja zaobilazi očiti problem traženja krivca, trošak zbrinjavanja olupine ne bi trebao pasti na zemlju u čijim je vodama brod potopljen, ali postupak postaje sve kompliciraniji ako se uvodi u obzir zastava pod kojom je brod plovio. [103]

Europska parlamentarna skupština je 2012. godine iznijela rezoluciju o potonulim brodovima, formalni pismeni izraz mišljenja i volje tog zakonodavnog tijela. Navode da su brodolomi među najvećim izvorima zagađenja mora i iznose veliku zabrinutost zbog ilegalnog odlaganja otrovnih i radioaktivnih tvari, česta praksa zbog brzog i jeftinog „zbrinjavanja“ otpada. Dalje pridonose pažnju manjku podataka koji su temelj dobre procjene rizika i analize troškova budući da je svaki pokušaj zbrinjavanja obično skup, dugotrajan i riskantan. Spominju Nairobijску konvenciju sastavljenu 2007. godine koja je definirala pravni okvir za rješavanje ovog oblika zagađenja i koja navodi da su vlasnici potopljenih plovila prvenstveno odgovorni i financijski obvezani za označavanje i uklanjanje olupina. Skupština poziva države članice da potpišu i ratificiraju Međunarodnu konvenciju o uklanjanju olupina iz Nairobija. Dalje traže da se stvori europska baza podatak o olupinama, podrže daljnja istraživanja i procjene zagađenja. 2015. godine je konvencija stupila na snagu nakon ratifikacije od strane 10 država, i prema zadnje dostupnim informacijama je ratificirana od strane 41 države uključujući Republiku Hrvatsku. Belgija koja je u sklopu europskog projekta za dokumentiranje, procjenu i ublažavanje rizika od olupina u Sjevernom moru provela istraživanje 80 godina stare olupine V-1302 John Mahn. Promatrani su uzorci sedimenta i bakterija u blizini olupine te su pronađeni tragovi ugljikovodika, raspadajućeg TNT-a i teških metala. Promatrane su populacije bakterija poput *Rhodobacteraceae* i zabilježena je veća prisutnost u blizini broda jer su one razgrađivači ugljikovodika i za njih je poznato da razgrađuju određene spojeve pronađene u fosilnim gorivima. Istraživači upozoravaju na ubrzanu degradaciju olupine zbog viših temperatura oceana što pospješuje razgradnju. [104] [106]

Nasukavanje brodova može uzrokovati uništavanje koraljnih grebena i plaža direktnim kontaktom s tim staništima ili naknadnim ispuštanjem nafte i kemikalija u skladištu broda. Proveden je istraživački rad koji je analizirao prikupljene podatke o dosadašnjim nasukavanjima. Uočeno je da su noviji brodovi skloniji nasukavanju. Iako su tehnološki napredniji i sadrže najmodernije navigacijske alate, posada i dalje ima ključnu ulogu u uspješnoj plovidbi brodova. Do nasukavanja novijih brodova dolazi zbog neuvježbane posade koja nije vješta u rukovanju s novom opremom. Teretni brodovi su statistički najizglednija vrsta broda koja će se nasukati zato što se često kreću plitkim morskim putevima i prometnim obalnim područjima. Brodovi stariji od 25 godina zauzimaju 24,5 % ukupnog broja nasukanih brodova. S vremenom dolazi do kvara opreme. [107]

Oštećenje koraljnih grebena varira u pojedinim nasukavanjima te posljedice mogu biti veoma razorne. Osim odstranjivanja samih koralja struganjem trupa i narušavanje strukturne čvrstoće sedimentnih stijena na kojima se greben nalazi, nasukavanje može trajno promijeniti životinjski svijet na tom području koji ovisi o koraljnom grebenu za preživljavanje. Zabilježeno je ispuštanje prijašnje navedenih bakrenih oksida koji se nalaze u boji za sprječavanje obrastanja. Brod za kružna putovanja je nasukavanjem i sljedstvenim struganjem te boje na koraljnom grebenu u Bermudima uzrokovao onečišćenje toksičnim biocidima. Ključno sredstvo u borbi protiv ove vrste onečišćenja su novčane kazne. One mogu uključivati troškove kao što su sanacija olupine broda, obnavljanje zahvaćenog okoliša i kontinuirano praćenje napretka oporavljanja flore i faune na tom području. [108]



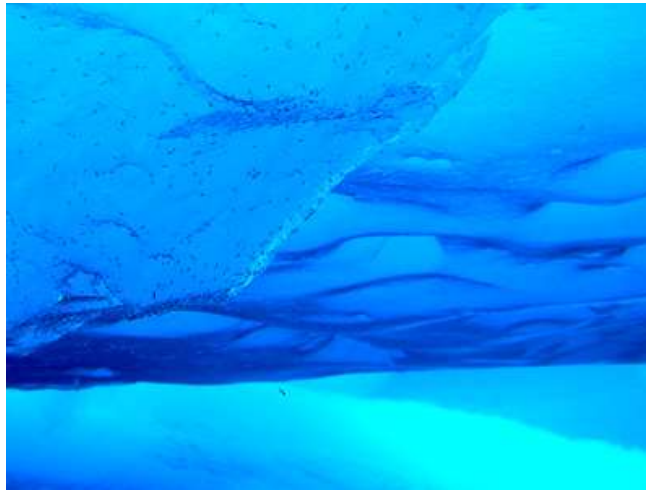
Slika 3.19 Nasukavanje broda za rasuti teret uz obalu Havaja [109]

3.8 UTJECAJI NOVIH ARTIČKIH RUTA

Dugi niz godina se upozorava na rast globalnih temperatura i ubrzano topljenje arktičkog leda. Trenutačne razine otapanja leda su otvorile nove morske tržišne rute čija se plovnost kroz cijelu godinu sve više povećava. Države pokazuju sve veću zainteresiranost i potiču daljnja istraživanja koja nastoje predvidjeti kada će ti putevi biti ekonomski isplativi. Tromjesečni vremenski prozor sigurnog prijevoza arktičkim rutama je porastao za 35% od 1979. do 2018. godine i zabilježen je postepen rast bez znakova usporavanja. Pretpostavlja se da će razvijene arktičke rute preuzeti 5% tonaže globalnog pomorskog prometa. Arktičke rute su se pokazale 30-50% kraće od ruta Sueskog i Panamskog kanala. Procjenjuje se da bi uspostavljanje otvorenih arktičkih puteva smanjilo emisije stakleničkih plinova za oko 24%, uz uštedu vremena i time novaca. Poznato jest da je Arktik veliko nalazište prirodnih resursa poput nafte i prirodnog plina te se očekuju sve veći naponi za njihovo izvlačenje. Ekološka zabrinutost je velika zbog praktički netaknutog okoliša zaleđenog Arktika. Istraživanja na njegovom području su skupa i zahtjevna zbog negostoljubivih uvjeta plovidbe, a potreban je njihov veliki broj da bi se točno ustanovili utjecaji ljudskih djelovanja na tom području. Nedostatak obalne infrastrukture i pomoćnih plovila u slučaju nužde je ključno za ostvarivanje velikog volumena prometa kroz određeni put. Niske radne temperature zahtijevaju bolje održavanje opreme i specijalizirane alate što ukazuje da su potrebna velika ulaganja u brodove koji planiraju ploviti tim tržišnim rutama kroz cijelu godinu. [110] [111]

Profesor Natsuhiko Otsuka na Hokkaido sveučilištu je predstavio istraživački rad u kojem je pregledano 75 znanstvenih članaka u svrhu otkrivanja ključnih zagađivača Arktika i opsežnosti samog zagađenja. Prikupljeni podaci su ukazali na poznate uzroke zagađenja kao što su podvodna buka, otpadna voda brodova, udari u životinje i ispuštanje stakleničkih plinova. Svjetska flota uglavnom koristi teško gorivo izrazito visoke viskoznosti i gustoće. Razgrađuje se vrlo sporo zbog svojih svojstva što je dalje usporeno hladnim temperaturama Arktika. Manjak potrebne infrastrukture onemogućava pravodobno i ispravno saniranje eventualnih izljeva. Arktičke vode su dom 17 različitih vrsta kitova koji su izloženi udarima brodova. Ledeni podvodni krajolik je specifično okruženje koje ne dopušta širenje zvuka na daleke udaljenosti. Na slici 3.19 je prikazana površina leda odozdo gdje su jasno vidljiva nazubljena i mjehuri zraka koji raspršuju zvuk. Relativno tih okoliš arktičkih voda je izrazito osjetljiv na prolaze brodova koji su nova

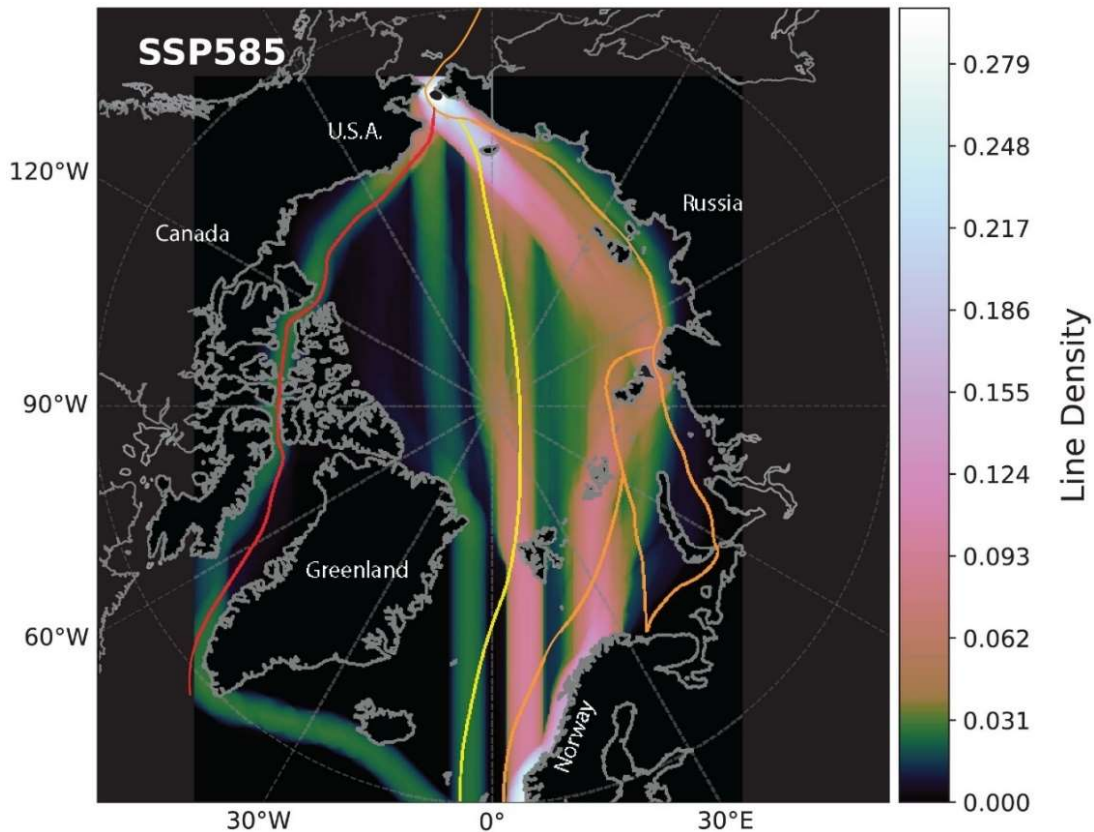
pojava. Ispušni plinovi su veći zagađivači na ovom području zbog slabijeg sloja ozona koji ovisi o temperaturi zraka. Poziva se na daljnja istraživanja koja će pobliže opisati manje istražene utjecaje, npr. utjecaj na zdravlje i svakodnevni život domorodaca na tom području. Sveobuhvatni pregled ekološkog utjecaja na Arktik je ključan za uspostavljanje potrebnih regulativa koje će biti od najveće koristi što ranijim propisivanjem dok taj sektor pomorskog prometa još raste. Uspostavljanje međunarodnih zakona je dugotrajan proces te je stoga ključno pravodobno informiranje država o mogućim štetnim utjecajima na okoliš. Mjere poput postavljanja čvrsto definiranih plovnih staza s pravilno raspoređenim prometom. Smanjenje brzine brodova je i dalje neučinkovitiji način za smanjenje zagađenja na više načina poput manje buke i potrošnje goriva. [110] [112]



Slika 3.20 Arktički krajolik pod vodom [113]

Ekonomska i geopolitička neizvjesnost nastanka jačanja ovih ruta može utjecati na regulaciju neometanog prometa i dovesti do vojnog sukoba u regiji. Arktik će se pokazati kao sve veće strateško oruđe i države sa obalama na Arktičkom moru će se pozivati na nacionalnu sigurnost i potrebu za kontroliranje pojedinih dijelova. Povećavanje infrastrukture na tom području od strane pojedine države jača njezin utjecaj i postavlja temelje za budući konflikt. Pitanje suvereniteta ovih područja je ključno. Jasno definirana pravila plovidbe uklanjaju nesporazume između država i njihovo kontroliranje osigurava uklanjanje ilegalnih aktivnosti poput nereguliranog ribolova. Nedavna razvijanja ruske i kineske infrastrukture na Arktiku je zabrinjavajuće jer u svojim lukama mogu propisati prolaz samo određenih brodova, obvezno plaćanje praćenja njihovim ledolomcima, plaćanje njihovih usluga i slično. [111] [114]

Izrađena je projekcija nastajanja alternativnih ruta u slučaju ostvarivanja scenarija SSP5-8.5. Jednostavno rečeno taj scenarij uključuje najveće moguće ispuštanje emisija u slučaju da je ljudsko ponašanje nepromjenjivo. U slučaju odvijanja tog scenarija u periodu 2015.-2065. godine vidljivo je nastajanje održive rute koja prolazi od Norveške kroz središnji Arktik. Ta transpolarna ruta je prikazana žutom bojom, Sjeverozapadni prolaz je prikazan crveno, istočni i zapadni Sjeverni morski put narančasto. Na slici 3.20 je prikazana ta projekcija koja prikazuje najizglednije rute trgovine u budućnosti izražene kao učestalost moguće plovnosti po jedinici vremena. [115]



Slika 3.21 Prostorni raspored predviđenih pomorskih ruta [115]

4. ZAKLJUČAK

Pomorski promet je ključan dio globalne trgovine i nezamjenjiv oblik prijevoza. Omogućuje kretanje ogromnih količina i vrsta robe uz neusporedivu isplativost ali njegov utjecaj na okoliš je značajan. Utječe na životinjski svijet koji ovisi o moru za preživljavanje, sve od sićušnih planktona do ogromnih plavetnih kitova, te na ljude koji se nalaze u blizini obale i koegzistiraju s morem. Potrebno se upoznati sa raznim načinima na koje pomorski promet šteti okolišu te prikupljenim znanjem postepeno razvijati ekološki prihvatljivija rješenja.

Brodovi su oduvijek bili mjerodavan pokazatelj tehnološke razvijenosti pojedine civilizacije zbog ključne uloge u njezinom održavanju. Relativno nedavan povijesni prijelaz na fosilna goriva i drastična promjena izvedbe brodova zbog tehnoloških napretka je rezultiralo prijašnje neviđenim oblicima zagađenja. Balastna voda služi kao prijevozno sredstvo za invazivne vrste i njezinim nereguliranim ispuštanjem dovodimo autohtoni ekosustav u opasnost od izumiranja. Potrebno je kemijskim i fizičkim metodama obraditi vodu prije ispuštanja i čin samog ispuštanja izvoditi dalje od obale. Izljevi nafte su katastrofalni događaji čiji se broj sve više smanjuje zbog propisivanja snažnih regulativa izazvanih velikim javnim pritiskom. Svaki pojedini izljev je kompleksan slučaj i odabir metode čišćenja ovisi o mnogo faktora kao što su udaljenost od obale, debljina sloja nafte, kretanju vode itd. Utjecaji izljeva su dobro dokumentirani i njihovim daljnjim proučavanjem se dobiva uvid u ustrajnost i opširnost pojedinog zagađenja. Podvodna buka ima velike posljedice na pomorski životinjski svijet koji je primarno ovisan o zvuku za dobivanje informacija o svojem okruženju. Boje za sprječavanje obrastanja su napredovale od svojih inicijalnih, veoma toksičnih, verzija ali su potrebna daljnja ulaganja za globalno implementiranje ekološki prihvatljivih rješenja.

Olupine brodova su sve zabrinjavajući izvor onečišćenja jer se procjenjuje njihovo ubrzano raspadanje i time ispuštanje štetnog tereta. Zbog njihovog velikog broja je od iznimne važnosti ustanoviti ljestvicu kritičnosti da se sredstva za njihovo zbrinjavanje mogu na najoptimalniji način iskoristiti. Iskrcaj ili ukrcaj suhog tereta predstavlja oblik onečišćenja koji je teško kvantificirati zbog velikih operativnih razlika između pojedinih luka. Može se minimizirati sa velikim ulaganjima u restrukturiranje luka, ali time se nailazi na veliki politički otpor zbog velike cijene koja u većini slučajeva nije isplativa. Onečišćenje zraka stakleničkim plinovima je veliko ali ipak

minimalno ako se smatra količina tereta koja se uspijeva prenijeti na tu količinu goriva. Potrebne su investicije u alternativne oblike pogona i goriva koji su ekološki prihvatljiviji. Očekivano je utvrđivanje trajnih arktičkih ruta koje su financijski veoma isplative. Potreban je proaktivan pristup stvaranju zakonika koji će čvrsto definirati prava država u novo otkrivenim prostorima. To će osigurati neometano prometovanje tim putevima i izbjeći moguće konflikte koji bi proizašli iz iznenadnog interesa za kontrolu nad tim unosnim područjem.

Ovaj završni rad je istaknuo važnost surađivanja zemalja na globalnoj razini ako se želi implementirati pojedino rješenje. Javna svijest i pritisak potrošača može igrati ključnu ulogu u pokretanju pomorske industrije u održivijem, čistijem smjeru. Štetnih ekoloških utjecaja je mnogo, ali zajedničkim naporima se ostvaruju konstantni napreci u rješavanju pojedinog problema, bilo to tehnološkom inovacijom ili novim propisanim zakonom.

LITERATURA

- [1] Statista Research Department: "Ocean shipping worldwide - statistics & facts"
<https://www.statista.com/topics/1728/ocean-shipping/#topicOverview> 20. srpnja 2024.
- [2] dr. W. van Zeist: „Nieuwe Drentse Volksalmanak 1957.“
<https://www.archeoforum.nl/Pesse1.html> 20. srpnja 2024.
- [3] Chuck Meide: „The Dugout Canoe in the Americas: An Archaeological, Ethnohistorical, and Structural Overview“ chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpegclclefindmkaj/https://31104791/Meide_1995_Dugout_canoes-libre.pdf 20. srpnja 2024.
- [4] Jean Vucher: „History of Ships, Prehistoric Craft“
https://www.iro.umontreal.ca/~vaucher/History/Ships/Prehistoric_Craft/index.html 20. srpnja 2024.
- [5] Bridgeman Team: „A History of Sea Vessels“ <https://blog.bridgemanimages.com/blog/a-history-of-sea-vessels> 20. srpnja 2024.
- [6] Ernest A. J. Davis, John B. Woodward: „History of ships“
<https://www.britannica.com/technology/ship/History-of-ships> 20. srpnja 2024.
- [7] David A. Fryxell: „History Timeline: Steamships“
<https://familytreemagazine.com/history/timelines/history-of-steamships/> 20. srpnja 2024.
- [8] Nathaniel Bullard: „Shipping has largely relied on one fuel. It now needs many“
<https://economictimes.indiatimes.com/small-biz/trade/exports/insights/shipping-has-largely-relied-on-one-fuel-it-now-needs-many-sparklines/articleshow/99832494.cms> 20. srpnja 2024.
- [9] Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje: „brod“ Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013. – 2024. Pristupljeno 26.7.2024. <https://www.enciklopedija.hr/clanak/9625> 20. srpnja 2024.
- [10] Clarksons: „a guide to bulk sized vessel sizes“ <https://www.clarksons.com/glossary/a-guide-to-bulk-vessel-sizes/> 20. srpnja 2024.
- [11] Container news: „World’s largest cargo ships in 2023“ [https://container-news.com/worlds-largest-cargo-ships-in-2023/#:~:text=Pacific%20Flourish%20\(IMO%3A%209807736\),carrying%20capacity%20of%20399%2C000%20tons.](https://container-news.com/worlds-largest-cargo-ships-in-2023/#:~:text=Pacific%20Flourish%20(IMO%3A%209807736),carrying%20capacity%20of%20399%2C000%20tons.) 20. srpnja 2024.

- [12] International Chamber of Shipping: „Bulk carriers“ <https://www.ics-shipping.org/explaining/ships-ops/bulk-carriers/> 20. srpnja 2024.
- [13] international Chamber of Shipping: „Container ships“ <https://www.ics-shipping.org/explaining/ships-ops/container-ships/> 20. srpnja 2024.
- [14] Masaaki Okubo, Takuya Kuwahara: „New Technologies for Emission Control in Marine Diesel Engines“ <https://www.sciencedirect.com/book/9780128123072/new-technologies-for-emission-control-in-marine-diesel-engines> 20. srpnja 2024.
- [15] Cris Cunard: „What is an Ocean Liner?“ <https://www.chriscunard.com/cunard-history/ocean-liners/> 20. srpnja 2024.
- [16] National Air and Space Museum: „The Jet Age“ <https://airandspace.si.edu/explore/stories/jet-age> 20. srpnja 2024.
- [17] Max Wolf: „43+ Cruise Industry Statistics for 2024“ <https://photoaid.com/blog/cruise-industry-statistics/> 20. srpnja 2024.
- [18] Royal Carribean International Press Center: „Ship Fact Sheets“ <https://www.royalcaribbeanpresscenter.com/fact-sheet/35/icon-of-the-seas/> 20. srpnja 2024.
- [19] Wärtsilä: „LNG as fuel for ships: expert answers to 17 important questions“ <https://www.wartsila.com/insights/article/lng-fuel-for-thought-in-our-deep-dive-qa#:~:text=LNG%20is%20natural%20gas%20that,is%20ideal%20for%20ship%20propulsion.> 20. srpnja 2024.
- [20] UNCTAD statistical portal: „Merchant fleet by flag of registration and by type of ship, annual“ <https://unctadstat.unctad.org/datacentre/dataviewer/US.MerchantFleet> 20. srpnja 2024.
- [21] Winward: Flag of Convenience [https://windward.ai/glossary/flag-of-convenience/#:~:text=The%20ship%20operates%20under%20the,registry%2C%E2%80%9D%20see%20below\).](https://windward.ai/glossary/flag-of-convenience/#:~:text=The%20ship%20operates%20under%20the,registry%2C%E2%80%9D%20see%20below).) 20. srpnja 2024.
- [22] Britannica: „Suez Canal“ <https://www.britannica.com/topic/Suez-Canal> 21. srpnja 2024.
- [23] New Zealand Foreign Affairs & Trade: „The Importance of the Suez Canal to Global Trade - 18 April 2021“ <https://www.mfat.govt.nz/en/trade/mfat-market-reports/the-importance-of-the-suez-canal-to-global-trade-18-april-2021> 21. srpnja 2024.
- [24] Britannica: „Panama Canal“ <https://www.britannica.com/topic/Panama-Canal/American-intervention> 21. srpnja 2024.

- [25] IMO: „Fourth Greenhouse Gas Study 2020“
<https://www.imo.org/en/ourwork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx> 13. kolovoza 2024.
- [26] Stefan Gössling i dr.: „A global review of marine air pollution policies, their scope and effectiveness“ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964569121003070#bib37> 13. kolovoza 2024.
- [27] James J. Corbett i dr.: „The Impact of Shipping on Air Quality in the Port Cities of the Mediterranean Area: A Review“
https://www.researchgate.net/publication/292808851_Prevention_of_air_pollution_from_ships 13. kolovoza 2024.
- [28] Paul Balcombe i dr.: „How to decarbonise international shipping: Options for fuels, technologies and policies“
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890418314250> 13. kolovoza 2024.
- [29] Tuswan Tuswan i dr.: „Current research outlook on solar-assisted new energy ships: representative applications and fuel & GHG emission benefits“
https://www.researchgate.net/publication/363806269_Current_research_outlook_on_solar-assisted_new_energy_ships_representative_applications_and_fuel_GHG_emission_benefits 13. kolovoza 2024.
- [30] Katherine Gallagher What Is Ballast Water? Why Is It a Problem?
<https://www.treehugger.com/what-is-ballast-water-5179976> 27. srpnja 2024.
- [31] Clear Seas: „Ballast water management: stopping the spread of invasive species by ships“
<https://clearseas.org/insights/ballast-water-management-stopping-the-spread-of-invasive-species-by-ships/> 27. srpnja 2024.
- [32] Stephen Fox: „Heavy First Day: Learning to Load the Ballast of a Viking Longship“
<https://archaeofox.wordpress.com/2015/05/28/a-heavy-first-day/> 27. srpnja 2024.
- [33] Praneet Mehta: „What is Ballasting and De-ballasting?“
<https://www.merchantnavydecoded.com/ballasting-and-de-ballasting/> 27. srpnja 2024.
- [34] World Health Organization: „Guide to Ship Sanitation, 3rd edition; Chapter 5: Ballast Water.“ <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK310820/> 27. srpnja 2024.

- [35] E. Lakshmi: „An overview on the treatment of ballast water in ships“
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0964569120302064?via%3Dihub> 27. srpnja 2024.
- [36] International Maritime Organization: „Ballast water management - the control of harmful invasive species“
<https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/BWM-default.aspx#:~:text=Ballast%20water%20may%20be%20taken,a%20new%20invasive%20marine%20species.> 27. srpnja 2024.
- [37] Irena V. Teleshi, Henn Ojaveer: „The predatory water flea *Cercopagis Pengoi* in the Baltic sea: Invasion history, distribution and implications to ecosystem dynamics“
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-015-9956-6_7 27. srpnja 2024.
- [38] Matt G. Bentley: „The Global Spread of the Chinese Mitten Crab *Eriocheir sinensis*“
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-0591-3_3 27. srpnja 2024.
- [39] USGS: „Nonindigenous Aquatic Species: *Neogobius melanostomus*“
<https://nas.er.usgs.gov/queries/factsheet.aspx?SpeciesID=713> 27. srpnja 2024.
- [40] ISSG: „Global Invasive Species Database: *Mnemiopsis leidyi*“
<https://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=95> 27. srpnja 2024.
- [41] ISSG: „Global Invasive Species Database: *Undaria pinnatifida*“
<https://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=68> 27. srpnja 2024.
- [42] IMO: „Implementing the Ballast Water Management Convention“
<https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Implementing-the-BWM-Convention.aspx> 27. srpnja 2024.
- [43] Setyo Budi Kurniawan i dr.: „Ecological impacts of ballast water loading and discharge: insight into the toxicity and accumulation of disinfection by-products“
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844022003954> 27. srpnja 2024.
- [44] The impact of antifouling on the marine environment <https://www.electronic-fouling-control.com/the-impact-of-antifouling-on-the-marine-environment/> 29. srpnja 2024.
- [45] Chris Beeson: „What difference does fouling make?“
<https://www.yachtingmonthly.com/sailing-skills/difference-fouling-make-54330> 29. srpnja 2024
- [46] Clear Seas: „Anti-fouling paints: What are they and what effects do they have on the environment?“ <https://clearseas.org/insights/anti-fouling-paints-what-are-they-and-what-effects->

- [do-they-have-on-the-environment/#:~:text=Although%20effective%20at%20preventing%20bioaccumulation,chemicals%20into%20the%20marine%20environment.](#) 29. srpnja 2024.
- [47] J. Vinicio Macías-Zamora: „Waste“ <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/oil-pollution> 21. srpnja 2024.
- [48] World Ocean Review 1: „Living with the oceans“ <https://worldoceanreview.com/en/wor-1/> 21. srpnja 2024.
- [49] Cihat Asan: „An Evaluation of the Environmental Impact of Oil Pollution from Maritime Transportation“ https://www.researchgate.net/publication/379053536_An_Evaluation_of_the_Environmental_Impact_of_Oil_Pollution_from_Maritime_Transportation 21. srpnja 2024.
- [50] Dong-Taur Su itd.: „Investigation of Oil Spills from Oil Tankers through Grey Theory: Events from 1974 to 2016“ <https://www.mdpi.com/2077-1312/7/10/373> 21. srpnja 2024.
- [51] O. Linden: „The Environmental Impacts of the Gulf War 1991“ <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/7427/> 23. srpnja 2024.
- [52] Incident News: „IXTOC I; Bahia de Campeche, Mexico“ <https://incidentnews.noaa.gov/incident/6250#!> 23. srpnja 2024.
- [53] Cedre: „Torrey Canyon“ <https://wwz.cedre.fr/en/Resources/Spills/Spills/Torrey-Canyon> 23. srpnja 2024.
- [54] BBC news: „Torrey Canyon oil spill: The day the sea turned black“ <https://www.bbc.com/news/uk-england-39223308> 23. srpnja 2024.
- [55] Encyclopedia Britannica: „9 of the Biggest Oil Spills in History“ <https://www.britannica.com/explore/savingearth/9-biggest-oil-spills-in-history> 23. srpnja 2024.
- [56] Laura Moss: „The 14 Biggest Oil Spills in History“ <https://www.treehugger.com/the-largest-oil-spills-in-history-4863988#toc-14-exxon-valdez-oil-spill> 23. srpnja 2024.
- [57] Incident News: „Amoco Cadiz; Brittany, France“ <https://incidentnews.noaa.gov/incident/6241#!> 23. srpnja 2024.
- [58] Damage Assessment, Remediation, and Restoration Program: „Exxon Valdez“ <https://darrp.noaa.gov/oil-spills/exxon-valdez> 23. srpnja 2024.
- [59] Britannica: „Deepwater Horizon oil spill“ <https://www.britannica.com/event/Deepwater-Horizon-oil-spill> 23. srpnja 2024.

- [60] NDAA; „This Day in History: Deepwater Horizon Oil Spill Occurred“
<https://www.nesdis.noaa.gov/news/day-history-deepwater-horizon-oil-spill-occurred>
- [61] Chezhian A, Mukesh M „A review on marine oil pollution and cleanup strategies“
https://www.researchgate.net/publication/377498483_A_REVIEW_ON_MARINE_OIL_POLLUTION_AND_CLEANUP_STRATEGIES 23. srpnja 2024.
- [62] Xing Feng, Baiyu Zhang: „Applications of bubble curtains in marine oil spill containment: Hydrodynamic characteristics, applications, and future perspectives“
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X23008056> 23. srpnja 2024.
- [63] Dagmar Schmidt Etkin, Tim J. Nedwed: „Effectiveness of mechanical recovery for large offshore oil spills“ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X20309668>
 23. srpnja 2024.
- [64] LAMOR: „Multimax“ <https://www.lamor.com/technology/environmental-preparedness/oil-skimming-systems/multimax>
- [65] Hyeongoo Kim i dr.: „A Role for Newly Developed Sorbents in Remediating Large-Scale Oil Spills: Reviewing Recent Advances and Beyond“
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/adsu.202100211> 23. srpnja 2024.
- [66] Laurens van Gelderen i dr.: „Importance of the slick thickness for effective in-situ burning of crude oil“
https://www.researchgate.net/publication/281477115_Importance_of_the_slick_thickness_for_effective_in-situ_burning_of_crude_oil 23. srpnja 2024.
- [67] Aprami Jaggi: „Composition of the dissolved organic matter produced during in situ burning of spilled oil“
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0146638019301639> 23. srpnja 2024.
- [68] Gary Shigenaka i dr.: „physical and chemical characteristics of in-situ burn residue and other environmental oil samples collected during the Deepwater Horizon spill response“
https://www.researchgate.net/publication/274897699_PHYSICAL_AND_CHEMICAL_CHARACTERISTICS_OF_IN-SITU_BURN_RESIDUE_AND_OTHER_ENVIRONMENTAL_OIL_SAMPLES_COLLECTED_DURING_THE_DEEPWATER_HORIZON_SPILL_RESPONSE] 23. srpnja 2024.
- [69] Zunaira Asif, Zhi Chen i dr.: „Environmental Impacts and Challenges Associated with Oil Spills on Shorelines“ <https://www.mdpi.com/2077-1312/10/6/762> 23. srpnja 2024.

[70] Abhinav Dhaka, Pradipta Chattopadhyay: „A review on physical remediation techniques for treatment of marine oil spills“

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479721004904> 23. srpnja 2024.

[71] R.R Lessard, G DeMarco: „The Significance of Oil Spill Dispersants“

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1353256199000614> 23. srpnja 2024.

[72] King, William and Dethier, Megan N: „Oil dispersant effectiveness and ecological consequences in San Juan County marine waters“ <https://www.eopugetsound.org/articles/oil-dispersant-effectiveness-and-ecological-consequences-san-juan-county-marine-waters> 23. srpnja 2024.

[73] Paul F Kingston: „Long-term Environmental Impact of Oil Spills“

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1353256102000518?via%3Dihub> 23. srpnja 2024.

[74] Marko Perkovic, A. Sitkov: „Oil spill modeling and combat“

https://www.researchgate.net/publication/290345064_Oil_spill_modeling_and_combat 23. srpnja 2024.

[75] European Maritime Safety agency: „Oil pollution response“

<https://www.emsa.europa.eu/protecting-the-marine-environment/oil-pollution-response.html> 23. srpnja 2024.

[76] European Maritime Safety agency: „CleanSeaNet Service“ <https://www.emsa.europa.eu/csn-menu.html> 23. srpnja 2024.

[77] PEMA: „Dry Bulk Cargoes and the Impact on Air Pollution in Ports“

<https://www.pema.org/wp-content/uploads/2022/09/Pema-DryBulkCargoes-22022022-02.pdf> 13. kolovoza 2024.

[78] Human Rights Watch: „They Killed Us from the Inside“

<https://www.hrw.org/report/2021/08/03/they-killed-us-inside/investigation-august-4-beirut-blast> 13. kolovoza 2024.

[79] Keehoon Kim, Michael E. Pasyanos: „Yield Estimation of the August 2020 Beirut Explosion by Using Physics-Based Propagation Simulations of Regional Infrasound“

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2022GL101118> 13. kolovoza 2024.

[80] Ocean Care: „The impacts of underwater noise on marine life“

https://www.oceancare.org/en/stories_and_news/underwater-noise-impacts/ 30. srpnja 2024.

- [81] DOSITS: „Why is sound important to marine animals?“
<https://dosits.org/animals/importance-of-sound/why-is-sound-important/> 30. srpnja 2024.
- [82] DOSITS: „Commercial Vessel Traffic“ <https://dosits.org/animals/effects-of-sound/anthropogenic-sources/commercial-vessel-traffic/> 30. srpnja 2024.
- [83] DOSITS: „Small Vessels“ <https://dosits.org/animals/effects-of-sound/anthropogenic-sources/small-vessels/> 30. srpnja 2024.
- [84] DOSITS: „Single Beam Echosounders“ <https://dosits.org/animals/effects-of-sound/anthropogenic-sources/echosounders/> 30. srpnja 2024.
- [85] DOSITS: „Multibeam Echosounder“ <https://dosits.org/animals/effects-of-sound/anthropogenic-sources/multibeam-echosounder/> 30. srpnja 2024.
- [86] Dennis T. T. Plachta, Arthur N. Popper: „Evasive responses of American shad (Alosa sapidissima) to ultrasonic stimuli“
https://www.researchgate.net/publication/243528750_Evasive_responses_of_American_shad_Alosa_sapidissima 30. srpnja 2024.
- [87] Benjamin Hell: „Towards the compilation of a new Digital Bathymetric Model of the North Atlantic Ocean“
https://www.researchgate.net/publication/237227463_Towards_the_compilation_of_a_new_Digital_Bathymetric_Model_of_the_North_Atlantic_Ocean
- [88] DOSITS: „Pile driving“ <https://dosits.org/animals/effects-of-sound/anthropogenic-sources/pile-driving/> 30. srpnja 2024.
- [89] DOSITS: „Seismic Airguns“ <https://dosits.org/animals/effects-of-sound/anthropogenic-sources/seismic-airguns/> 30. srpnja 2024.
- [90] Ocean Care: „Who pollutes the ocean with noise?“
https://www.oceancare.org/en/stories_and_news/ocean-noise-polluters/ 30. srpnja 2024.
- [91] Ocean News: „seismic airguns a threat to our ocean“
<https://sharkresearch.earth.miami.edu/seismic-airguns-a-threat-to-our-oceans/> 30. srpnja 2024.
- [92] DOSITS: „Sonar“ <https://dosits.org/animals/effects-of-sound/anthropogenic-sources/sonar/> 30. srpnja 2024.
- [93] DOSITS: „Masking in Mammals“ <https://dosits.org/animals/effects-of-sound/potential-effects-of-sound-on-marine-mammals/masking-in-mammals/> 30. srpnja 2024.

- [94] DOSITS: „Behavioral Changes in Mammals“ <https://dosits.org/animals/effects-of-sound/potential-effects-of-sound-on-marine-mammals/behavioral-changes-in-mammals/> 30. srpnja 2024.
- [95] Adrian Farcas i dr.: „Validated shipping noise maps of the Northeast Atlantic“ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720330266> 30. srpnja 2024.
- [96] K.J. Finley i dr.: „Reactions of belugas, *Delphinapterus leucas* and narwhals, *Monodon monoceros*, to ice-breaking ships in the Canadian high Arctic“ <https://eurekamag.com/research/021/640/021640975.php> 30. srpnja 2024.
- [97] Marla M Holt i dr.: „Vessels and their sounds reduce prey capture effort by endangered killer whales (*Orcinus orca*)“ https://www.researchgate.net/publication/353433786_Vessels_and_their_sounds_reduce_preycapture_effort_by_endangered_killer_whales_Orcinus_orca 30. srpnja 2024.
- [98] Sophie L. Nedelec: „Impacts of regular and random noise on the behaviour, growth and development of larval Atlantic cod (*Gadus morhua*)“ <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rspb.2015.1943> 30. srpnja 2024.
- [99] Matthew A. Wale: „Noise negatively affects foraging and antipredator behaviour in shore crabs“ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003347213001991> 30. srpnja 2024.
- [100] DOSITS: „Strandings“ <https://dosits.org/animals/effects-of-sound/potential-effects-of-sound-on-marine-mammals/strandings/> 30. srpnja 2024.
- [101] Mindy Weisberger: „Sonar can scare whales to death, new study shows“ <https://www.nbcnews.com/mach/science/sonar-can-scare-whales-death-new-study-shows-ncna964801> 30. srpnja 2024.
- [102] Regan Nelson; „Why All the Concern About Underwater Ship Noise?“ <https://www.nrdc.org/bio/regan-nelson/why-all-concern-about-underwater-ship-noise> 30. srpnja 2024.
- [103] IUCN: „Marine pollution from sunken vessels“ <https://iucn.org/resources/issues-brief/marine-pollution-sunken-vessels> 11. kolovoza 2024.
- [104] Parliamentary Assembly: „The environmental impact of sunken shipwrecks“ <https://assembly.coe.int/nw/xml/XRef/Xref-XML2HTML->

[en.asp?fileid=18077&lang=en#:~:text=The%20North%20Atlantic%20Ocean%20contains,of%20the%20estimated%20oil%20volume.](#) 11. kolovoza 2024.

[105] Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community: „Sunken Ships of the Second World War“

<https://www.arcgis.com/apps/dashboards/fe88b5e18c6443c7afaf6e32f8432687> 11. kolovoza 2024.

[106] James Ashworth: „World war shipwrecks are leaking pollutants into the world's oceans“

<https://www.nhm.ac.uk/discover/news/2022/october/world-war-shipwrecks-leaking-pollutants-into-worlds-oceans.html> 11. kolovoza 2024.

[107] Samy Youssef: „Hazard identification and scenario selection of ship grounding accidents“

https://www.researchgate.net/publication/323309068_Hazard_identification_and_scenario_selection_of_ship_grounding_accidents 16. kolovoza 2024.

[108] Syafyudin Yusuf: „Investigation of coral reef degradation due to ship grounding“

https://www.researchgate.net/publication/274697538_INVESTIGATION_OF_CORAL_REEF_DEGRADATION_DUE_TO_SHIP_GROUNDING 16. kolovoza 2024.

[109] NOAA: „How can ship grounding affect your community?“ <https://darrp.noaa.gov/ship-groundings/how-can-ship-grounding-affect-your-community>

16. kolovoza 2024.

[110] Xinli Qi i dr.: „Environmental impacts of Arctic shipping activities: A review“

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964569123004611> 16. kolovoza 2024.

[111] Swiss Re institute: „Climate change, trade and geopolitics – new risks in the Arctic“

<https://www.swissre.com/institute/research/sonar/sonar2023/new-risks-in-arctic.html>

16. kolovoza 2024.

[112] WWF Global Arctic Programme: „Shipping“ <https://www.arcticwwf.org/threats/shipping/>

16. kolovoza 2024.

[113] Rolf Gradinger: „Sea Ice“ <http://www.arcodiv.org/SeaIce.html> 16. kolovoza 2024.

[114] Gabriella Griecius: „Geopolitical Implications of New Arctic Shipping Lanes“

<https://www.thearcticinstitute.org/geopolitical-implications-arctic-shipping-lanes/> 16. kolovoza 2024.

[115] Amanda H. Lynch: „The interaction of ice and law in Arctic marine accessibility“

<https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.2202720119> 16. kolovoza 2024.

POPIS SLIKA

Slika 2.1 Tradicionalna splav kattumaram, India [4].....	2
Slika 2.2 Američka vrsta jedrenjaka, kliper [5]	3
Slika 2.3 Najveći brod za rasuti teret Pacific Flourish [11].....	4
Slika 3.1 Prostorna raspoređenost pomorskih emisija stakleničkih plinova [29]	9
Slika 3.2 Dno vikinškog broda ispunjeno balastom u obliku kamenja [32]	10
Slika 3.3 Sekvencijalna metoda unošenja balastne vode [32]	11
Slika 3.4 Obrastao trup čamca [45].....	17
Slika 3.5 Broj srednjih (7-700 tona) i velikih (7-700 tona) izljevna nafte, 1970.-2022. god. [49]	20
Slika 3.6 Količina prolivene nafte u događajima iznad 7 tona, 1970.-2022. god. [49]	21
Slika 3.7 Engleski mještani promatraju bombardiranje olupine Torrey Canyon-a [54].....	23
Slika 3.8 Satelitske slike Deepwater Horizon katastrofe [60]	25
Slika 3.9 Lamor LAM Multimax skimer [64]	27
Slika 3.10 Katranske loptice Deepwater Horizon nesreće [68]	28
Slika 3.11 Zračno ispuštanje raspršivača nafte [72]	30
Slika 3.12 Izljev nafte uz obalu Republike Hrvatske [76]	32
Slika 3.13 Razbacane vreće amonijeva nitrata u skladištu 12 Beirutske luke [78]	34
Slika 3.14 Mapiranje morskog dna pomoću ultrazvučnih dubinomjera [87]	36
Slika 3.15 Proučavanje sastava morskog tla pomoću zračnih topova [91].....	37
Slika 3.16 Mapa zagađenja brodskom bukom u sjeveroistočnom Atlantskom oceanu [95]	39
Slika 3.17 Pokušaj spašavanja nasukanog kljunastog kita, Kanarski otoci 2002. god. [101]	41
Slika 3.18 Mapa zabilježenih potonuća brodova u Drugom svjetskom ratu [105].....	43
Slika 3.19 Nasukavanje broda za rasuti teret uz obalu Havaja [109]	45

Slika 3.20 Arktički krajolik pod vodom [113].....	47
Slika 3.21 Prostorni raspored predviđenih pomorskih ruta [115].....	48

SAŽETAK

Ovaj završni rad istražuje razne zagađivače okoliša koji proizlaze iz pomorskog prometa te načine na koje ih pokušavamo smanjiti ili potpuno ukloniti. Brodovi su efikasna metoda prijevoza tereta, ali i dalje ispuštaju ogromne količine stakleničkih plinova u atmosferu. Razvijanje alternativnih izvora energije je ključno za smanjenje emisija. Ispuštanje balastne vode je čvrsto regulirano i drastično je smanjena mogućnost pojave novih invazivnih vrsta zbog kemijske i fizičke obrade balastne vode. Izljevi nafte i kemikalija su veoma razorne nesreće koje je teško ignorirati. Temeljitim istraživanjem prijašnjih nesreća su utvrđene smjernice za pravilno saniranje pojedinih izljeva i iznimna važnost brze reakcije regulirajućih tijela. Pojedini zagađivači se ne mogu potpuno ukloniti već se uglavnom ublažavaju unapređenjem operativnih postupaka koji smanjuju količinu onečišćenja kao u slučaju podvodne buke, suhog rasutog tereta, balastne vode i emisija stakleničkih plinova.

Međunarodna suradnja u postavljanju novih regulativa i kontinuiran tehnološki napredak su ključni za postizanje čistijeg okoliša. Ulaganja u pomorsku infrastrukturu i neprestano istraživanje ljudskog učinka na okoliš postavlja bitne temelje za ostvarivanje održive pomorske industrije.

Ključne riječi: onečišćenje okoliša, brodovi, pomorski promet, buka, izljevi nafte, balastna voda, Arktik, rasuti teret, more

SUMMARY

This thesis explores the various environmental pollutants that arise from maritime transport and the ways in which we are trying to reduce or eliminate them altogether. Ships are an efficient method of transporting cargo, but they still release huge amounts of greenhouse gases into the atmosphere. Developing alternative energy sources is key to reducing emissions. The discharge of ballast water is tightly regulated and the possibility of the appearance of new invasive species is drastically reduced due to the chemical and physical treatment of ballast water. Oil and chemical spills are very acute accidents that are difficult to ignore. Through a thorough investigation of previous accidents, guidelines were established for the proper remediation of individual spills and the extreme importance of a quick reaction by regulatory bodies. Certain pollutants cannot be completely removed but are mostly mitigated by improving operating procedures that reduce the amount of pollution, such as in the case of underwater noise, dry bulk cargo, ballast water and greenhouse gas emissions.

International cooperation in setting new regulations and continuous technological progress is key to achieving a clean environment. Investments in maritime infrastructure and ongoing research into human impact on the environment lay essential foundations for the realization of a sustainable maritime industry.

Keywords: environmental pollution, ships, maritime traffic, noise, oil spills, ballast water, Arctic, bulk cargo, sea