

Štetnosti antropogenog porijekla u moru

Hemetek, Aleksandar

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Metallurgy / Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:115:367178>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET
UNIVERSITY OF ZAGREB
FACULTY OF METALLURGY

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Metallurgy University of Zagreb - Repository of Faculty of Metallurgy University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET

Aleksandar Hemetek

ZAVRŠNI RAD

Sisak, lipanj 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET

Aleksandar Hemetek

ŠTETNOSTI ANTROPOGENOG PORIJEKLA U MORU
ZAVRŠNI RAD

Voditelj: prof. dr. sc. Anita Štrkalj

Članovi povjerenstva za ocjenu i obranu završnog rada:

Prof. dr. sc. Damir Hršak, predsjednik

Prof. dr. sc. Anita Štrkalj, član

Prof. dr. sc. Zoran Glavaš, član

Sisak, lipanj 2024.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET

UNIVERSITY OF ZAGREB
FACULTY OF METALLURGY

IME: Aleksandar

PREZIME: Hemetek

MATIČNI BROJ: 0124121276

Na temelju članka 19. stavak 2. Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu dajem sljedeću

IZJAVU O IZVORNOSTI

Izjavljujem da je moj **završni** / diplomski / doktorski rad pod naslovom:

ŠTETNOSTI ANTROPOGENOG PORIJEKLA U MORU

izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

Sisak,

(vlastoručni potpis)

Izrazi koji se koriste u ovoj Izjavi, a imaju rodno značenje, koriste se neutralno i odnose se jednako i na ženski i na muški rod.

ZAHVALA

Izrada ovog završnog rada ne bi bila moguća bez pomoći i podrške osoba kojima dugujem veliku zahvalnost.

Prije svega, želim zahvaliti voditeljici završnog rada prof. dr. sc. Aniti Štrkalj na stručnom vodstvu i usmjerenju tijekom izrade ovog završnog rada. Vaše znanje, iskustvo i strpljenje su bili od neprocjenjivog značaja.

Također, zahvaljujem prof. dr. sc. Damiru Hršaku i prof. dr. sc. Zoranu Glavašu na pomoći i savjetima prilikom pisanja.

Zahvaljujem se i svim profesorima i predavačima koji su mi prenijeli znanje tijekom studija te me inspirirali da odaberem ovu temu za završni rad.

Želim se zahvaliti svim kolegama s Fakulteta koji su mi pružali moralnu podršku tijekom cijelog procesa, kao i kolegama s posla koji su imali razumijevanja za moju „odsutnost“ s posla.

Posebnu zahvalnost dugujem svojim prijateljima i obitelji koji su mi pružili ljubav, razumijevanje i neizmjernu podršku tijekom studiranja. Vaša vjera u mene bila je moj najveći motivator.

ŠTETNOSTI ANTROPOGENOG PORIJEKLA U MORU

SAŽETAK

Napredak industrije, urbanizacija i intenzivno korištenje resursa imaju značajan utjecaj na kvalitetu morske vode. Iako je onečišćenje morske vode gorući problem čovječanstva ne pridaje mu se dovoljno važnosti. Samo onečišćenje najviše nastaje djelovanjem različitih industrija, ali ni utjecaj čovjeka ne možemo zanemariti. Ovaj rad istražuje različite izvore onečišćenja morske vode, identificirajući ključne uzroke i posljedice. Rad obuhvaća onečišćenja morske vode krutim i plastičnim otpadom, naftom, otpadnim vodama, balastnim vodama, radioaktivnim otpadom, kao i svjetlosno, zvučno, termalno i atmosfersko onečišćenje. Svaki od ovih izvora ima više potkategorija od kojih svaka ima specifične karakteristike onečišćenja te nam daje uvid u kompleksnu sliku onečišćenja morske vode. Cilj ovog rada je razumijevanje raznolikih izvora onečišćenja što je ključno za razvoj održivih strategija za zaštitu morskih ekosustava i osiguranje čiste morske vode za ljude i životinje. Daljnja istraživanja i primjena preventivnih mjera se trebaju usmjeriti na sprječavanje onečišćenja morske vode na samom izvoru kako bi se jednog dana riješio i taj problem.

Ključne riječi: onečišćenje morske vode, morski otpad, plastika, mikroplastika, eutrofikacija, kisele kiše, farmaceutici, otpadne vode, mrtve zone

HAZARDS OF ANTHROPOGENIC ORIGIN IN THE SEA

ABSTRACT

The progress of industry, urbanization, and intensive resource use have a significant impact on the quality of seawater. Although marine pollution is a pressing issue for humanity, it is not given sufficient importance. Pollution primarily arises from various industries, but the human impact cannot be overlooked. This paper explores different sources of marine pollution, identifying key causes and consequences. It encompasses pollution of seawater by solid and plastic waste, oil, wastewater, ballast water, radioactive waste, as well as light, sound, thermal, and atmospheric pollution. Each of these sources has multiple subcategories, each with specific pollution characteristics, providing insight into the complex picture of marine pollution. The aim of this paper is to understand the diverse sources of pollution, which is crucial for the development of sustainable strategies to protect marine ecosystems and ensure clean seawater for humans and animals. Further research and the implementation of preventive measures should focus on preventing marine pollution at the source to eventually resolve this issue.

Keywords: marine water pollution, marine litter, plastic, microplastics, eutrophication, acid rain, pharmaceuticals, wastewater, dead zones

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Onečišćenje mora krutim i plastičnim otpadom	2
2.1. Plastika.....	3
2.2. Mikroplastika	5
3. Onečišćenje mora naftom	8
4. Onečišćenje mora otpadnim vodama	11
4.1. Onečišćenje hranjivim tvarima (nutrijentima)	12
4.1.1. Eutrofikacija.....	13
4.1.2. Mrtve zone	14
4.2. Onečišćenje farmaceuticima	15
5. Onečišćenje mora balastnim vodama.....	16
6. Onečišćenje mora bukom (zvučno)	18
7. Termalno onečišćenje mora	20
8. Onečišćenje mora radioaktivnim otpadom	22
9. Svjetlosno onečišćenje	24
10. Onečišćenje mora iz zraka (atmosfersko onečišćenje)	26
10.1. Kisele kiše.....	28
11. Zaključak.....	30
12. Literatura.....	31
ŽIVOTOPIS.....	34

1. Uvod

Značenje mora je mnogostruko i može se promatrati iz različitih perspektiva [1]:

- 1) More je izvor života jer je najveći proizvođač kisika (fitoplankton u moru proizvodi dvostruko više kisika u usporedbi s kopnenim biljkama),
- 2) More je "tekući rudnik" svijeta (u morskoj vodi nalazimo gotovo sve kemijske elemente i spojeve), i
- 3) More je posrednik u povezivanju i organizaciji života na Zemlji.

Onečišćenje morskog okoliša nastaje kao posljedica ljudskih aktivnosti, a definirano je kao promjena stanja morskog okoliša uzrokovana nedozvoljenim otpuštanjem tvari u tekućem, plinovitom ili čvrstom obliku, emisijom energije (kao što su toplina, zračenje, buka, vibracije, svjetlost) ili otpuštanjem organizama iz određenog izvora u okoliš (obuhvaća i mikrobiološko onečišćenje okoliša) [1].

Zagađivač je biološka, kemijska ili fizička tvar ili energija koja je obično odsutna ili rijetka u okolišu, ali se nalazi u dovoljnoj koncentraciji da može negativno utjecati na žive organizme. Onečišćujuća tvar je tvar ili energija koja se unosi u okoliš i ima neželjene učinke. Dakle, ako je zagađivač prisutan u dovoljno visokoj koncentraciji, postaje onečišćujuća tvar. To može biti nešto što se prirodno pojavljuje u okolišu (npr. metali), ali je prisutno u višku, ili nešto što je stvoreno od strane čovjeka. Zagađivači se mogu klasificirati prema njihovom podrijetlu, utjecaju na organizme, svojstvima (kao što je toksičnost) ili njihovoj perzistenciji u okolišu [2].

Izvori onečišćenja mogu biti [1]:

- s kopna (što čini većinu, čak 80 % ukupnog onečišćenja mora),
- iz zraka,
- s pomorskih objekata (što čini 10 % ukupnog onečišćenja),
- rezultat oštećenja podmorskih cjevovoda,
- aktivnosti u podmorju (kao što su istraživanje i eksploatacija morskih resursa, posebno ugljikovodika), i
- potapanje pomorskih objekata i štetnih tvari.

Prema vrsti onečišćujućih tvari, onečišćenje se može podijeliti na [1]:

- onečišćenje uzrokovano uljem,
- onečišćenje uzrokovano štetnim tekućim tvarima i opasnim materijalima,
- onečišćenje izazvano sanitarnim otpadnim vodama, i
- biološko onečišćenje.

Posljedice ovih izvora onečišćenja mogu varirati, od onih s odmah vidljivim i trenutnim učincima, do onih s dugoročnim posljedicama koje će se manifestirati u budućim godinama. Briga za očuvanje oceana izravno proizlazi iz svijesti o potrebi očuvanja cijelog našeg planeta. More, zbog svoje ogromne veličine i prostranosti, često se doživljava kao odlagalište za sve što ljudima više ne treba. Sve što završi u moru ne nestaje, već ostaje prisutno i na kraju se vraća u obliku bolesti i prirodnih katastrofa [1].

2. Onečišćenje mora krutim i plastičnim otpadom

Morski otpad je otpad koji se nalazi u morskom okolišu i obalnom području koje je u neposrednom kontaktu s morem, a koji nastaje ljudskim aktivnostima na kopnu ili moru. Definira se i kao bilo koji antropogeni, proizvedeni ili obrađeni čvrsti materijal (bez obzira na veličinu) koji je odbačen, zbrinut ili napušten i koji završava u morskom okolišu. Morski otpad sastoji se od predmeta koje su ljudi izradili ili koristili i namjerno bacili u more, rijeke ili na plaže; neizravno dovedeni u more putem rijeka, otpadnih voda, oborinskih voda ili vjetra; slučajno izgubljeni, uključujući materijale izgubljene na moru u lošem vremenu (ribolovni pribor, teret); ili namjerno ostavljeni od strane ljudi na plažama i obalama. Obuhvaća plastiku, metal, staklo, beton i razne građevinske materijale, papir, karton, polistiren, gumu, užad, tkanine, drvo i opasne tvari poput streljiva, azbesta i medicinskog otpada. Ponekad morski otpad može služiti i kao nosač opasnih zagađivača koji se kasnije oslobađaju u morsko okruženje. Morski otpad može se gomilati u svih sedam oceanografskih segmenata: u sedimentima, na dnu, unutar vodenog stupca, na površini mora, na obalama, u ledu te među živim organizmima [3, 4].

Otpad je pronađen u svakom kutku oceana, od najudaljenijih obala, do leda u Arktiku, pa čak i u najdubljim dijelovima morskog dna. Neki od najčešćih i najštetnijih tipova morskog otpada uključuju plastiku, poput opušaka cigareta, plastičnih vrećica i omota hrane, te odbačen ribolovni pribor. Morski otpad također može varirati u veličini, od najmanjih plastičnih komadića, tzv. mikroplastike, koji mogu biti premali da bi se vidjeli golim okom, do ogromnih napuštenih i zastarjelih plovila, građevinskog otpada i kućanskih uređaja koji mogu oštetiti osjetljiva staništa. Iako se neki od ovih predmeta s vremenom mogu razgraditi, drugi su napravljeni da traju dugo (slika 1). Jednom kada se nađu u okolišu, ti predmeti možda nikada u potpunosti ne nestanu [5].



Slika 1. Vrste morskog otpada i vrijeme razgradnje nekih predmeta [6]

Otpad u more stiže na različite načine: izravno s kopna putem rijeka, odvodnih sustava ili vjetrom, kao i kroz aktivnosti koje se odvijaju na moru. Značajni kopneni izvori su obalne aktivnosti, kao što su neuređena odlagališta otpada u gradskim područjima uz more,

industrijske otpadne vode, kanalizacija, materijal donesen rijekama, padalinama, vjetrom s obale te turizam. Što se tiče morskih izvora, to uključuje otpad s brodova i drugih morskih objekata, nusprodukte ribarstva i marikulture, prometa na moru (uključujući aktivnosti u lukama), naftnih i plinskih platformi, te otpad nastao zbog turističkih aktivnosti, koji je također značajan [7].

2.1. Plastika

Više od 80 % morskog otpada čini plastika. Od 1950. godine, kada je svjetska proizvodnja plastike iznosila 1,5 milijuna tona, porasla je na više od 400,3 milijuna tona 2022. godine (u Europi je proizvedeno 58,7 milijuna tona). U posljednjih 10 godina proizvedeno je više plastike nego u cijelom prošlom stoljeću. Procjenjuje se da se trenutno u oceanima nalazi 75 do 199 milijuna tona plastičnog otpada, a svake godine u morski okoliš ulazi dodatnih 16,5 milijuna tona plastike. Prema informacijama Ujedinjenih naroda za okoliš (United Nations Environment Programme) samo 9 % ukupno proizvedenog plastičnog otpada je reciklirano, 12 % je spaljeno, dok se 79 % nakupilo na odlagalištima ili u prirodi. Također, oko 8,3 milijuna tona plastike godišnje završi u svjetskim oceanima. Rast proizvodnje i povećana uporaba plastike rezultirali su akumulacijom značajnih količina plastičnog otpada u prirodi [8, 9].

Kada otpad stigne u more, većina brzo potone na dno mora i skuplja se u obližnjim priobalnim područjima. Nešto od otpada ostaje plutati na površini mora dulje vrijeme te se može proširiti daleko od mjesta nastanka. Jedan dio pluta u vodenom stupcu (vertikalni dio mora između dna i površine), a dio se nakuplja na samoj obali (slika 2). S vremenom, plutajući otpad polako tone na dno mora gdje se sakuplja u specifičnim područjima, kao što su morski plovni putevi. Otpad koji završi na morskome dnu može tamo ostati neotkriven i nedostupan ljudima dugo vremena [6].



Slika 2. Plastika u svim dijelovima mora [10]

U svijetu se proizvodi mnogo različitih vrsta plastike, a najviše: polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinil klorid (PVC), polistiren (PS), poliuretan (PUR) i polietilen tereftalat (PET). Plastika za jednokratnu upotrebu predstavlja značajan dio plastičnog otpada i posebno je problematična jer se teško reciklira i često završava direktno u prirodi. S obzirom na to da većina plastike nije podložna biološkoj razgradnji, svaki plastični materijal prisutan u okolišu ostati će tamo stotinama ili tisućama godina. Iako se plastika obično koristi samo četiri godine u prosjeku (jako često samo jednom), u morskom okolišu zadržava se dulje vrijeme (5 godina za filter cigarete, 20 godina za plastičnu vrećicu, 50 godina za plastičnu čašu i čak do 600 godina za ribarski najlon). U nekim dijelovima mora dolazi do nagomilavanja ogromnih količina otpada, te se stvaraju tzv. "otoci smeća" ili "plastične juhe" koji s vremenom nastavljaju rasti, postajući sve ozbiljniji problem [8, 11].

Više od 90 % negativnih posljedica koje ljudski otpad ima na morske divlje vrste proizlazi iz plastike. Širom svijeta, postoji oko 700 morskih vrsta koje su ugrožene zbog prisutnosti plastike, a među njima je 17 % vrsta na crvenom popisu ugroženih vrsta Međunarodne unije za očuvanje prirode klasificirano kao "ugrožene" ili "kritično ugrožene", što uključuje havajsku morsku medvjedicu, glavatu želvu i garavog zovoja. Plastika predstavlja prijetnju morskom životu kroz zaplitanje, gutanje i onečišćenje, te prijenos stranih vrsta. Odbačene ribarske mreže i najloni, ali i prstenovi za pakiranje limenki piva i ambalaža zapetljavaju i zarobljavaju životinje, često ograničavajući njihove pokrete ili dijelove tijela. Plastika može uzrokovati ozljede, lezije i deformacije, uključujući one koje utječu na njihov rast, te može sprječavati kretanje životinja kako bi izbjegle grabežljivce, plivale ili se hranile. Ovo često ima fatalne posljedice, jer životinje umiru od gladi, utapanja ili postaju lak plijen [11].

Napuštena ribolovna oprema, uključujući najlon, mreže i zamke, nanosi štetu divljim vrstama, često dovodeći do zaplitanja riba i drugih morskih organizama, te na kraju do njihove smrti. Ovaj fenomen poznat je kao "ribolov napuštenim ribolovnim alatima" ili "fantomski ribolov". Morske ptice se orijentiraju prema mirisu kako bi odabrale svoju hranu. Plastika može biti zamijenjena za hranu zbog algi i bakterija koje rastu na njoj i otpuštaju intenzivan miris po sumporu. Morske ptice povezuju taj miris s hranom te upadaju u "mirisne zamke", što ih navodi da konzumiraju plastiku umjesto stvarnog plijena. S druge strane, morske kornjače biraju svoju hranu temeljem izgleda, a meduzama plastične vrećice i baloni izgledaju slično hrani. Trenutno, situacija je takva da je polovica svih morskih kornjača unijela neki oblik plastike u svoj organizam [11].

Plastični predmeti ili fragmenti počinju svoje putovanje plutajući u "čistom" stanju, ali se kasnije naseljavaju raznim organizmima. Više od 335 različitih skupina organizama pronađeno je na morskoj plastici, uključujući bakterije, alge, spužve, kao i insekte, rakove i mekušce. Ovo može značajno utjecati na morska staništa s kojima dolazi u kontakt prilikom prelaska velikih udaljenosti. Morske vrste mogu unijeti plastiku u svoj organizam namjerno, slučajno ili neizravno putem hrane koja već sadrži plastiku. Unošenje plastike u organizam, posebno velikih komada, ima ozbiljne posljedice. Može smanjiti kapacitet želuca, što dovodi do smanjenja osjećaja gladi i nakupljanja masnoća (to je iznimno važno za životinje koje migriraju na duže staze) te uzrokuje crijevne blokade, čireve, nekrozu (odumiranje stanica), perforacije i rane. Svi ovi učinci gotovo uvijek rezultiraju smrću životinje [11].

Ostaci plastike u morskom okolišu sadrže organske onečišćivače, kao što su pesticidi, ftalati, PCB-i i bisfenol A. Neki od tih spojeva se dodaju tijekom proizvodnje plastike, dok se drugi

apsorbiraju iz okolne morske vode. Od onečišćivača koji se vežu za plastiku u moru, 78 % su toksični, postojani i nakupljaju se u tkivima živih organizama. Plastika može sadržavati koncentrirane toksične spojeve koji su i do milijun puta jači od onih koji prirodno postoje u morskoj vodi. Negativni učinci ovih zagađivača također ovise o brzini njihovog otpuštanja u tijelo. Plastika otpušta do 30 puta više zagađivača kada se nalazi u tkivu (kao što su crijeva) nego kada se nalazi u morskoj vodi. Kada se plastika s toksičnim zagađivačima unese u organizam, mogu ometati važne biološke procese, oštetiti jetru ili utjecati na hormone. To dalje može utjecati na pokretljivost, reprodukciju, rast i čak izazvati razvoj raka. Tvari koje plastika apsorbira i otpušta također mogu uzrokovati promjene u DNA, što ima štetne posljedice po zdravlje [11].

2.2. Mikroplastika

Pod utjecajem dugotrajnog izlaganja sunčevoj svjetlosti i hidrološkim procesima, plastični otpad ima tendenciju raspada na manje komponente (mikroplastiku i nanoplastiku). Ove najmanje čestice su gotovo nevidljive ljudskom oku i ne mogu se ukloniti iz okoliša. Dodatni problem predstavlja činjenica da mnoge vrste plastike djeluju kao snažni adsorbenti, privlačeći na sebe druge štetne tvari. Zbog toga koncentracija štetnih tvari u mikroplastici može biti znatno veća nego u okolnoj morskoj vodi. To predstavlja rizik za morske organizme, jer ih izlaže štetnim kemikalijama koje se na taj način mogu unijeti u prehrambeni lanac [12].

U literaturi se mogu pronaći različite kategorizacije plastike, pri čemu autori često ističu problematiku različitih klasifikacija plastike prema veličini. Takve razlike stvaraju značajne probleme pri uspoređivanju podataka između različitih studija. Uobičajene kategorije plastike po veličini uključuju: nanoplastiku, mikroplastiku, makroplastiku, kao i mezoplastiku i megoplastiku. Većina autora definira mikroplastiku kao komadić plastike manji od 5 mm (slika 3), definicija koju su prihvatile Nacionalna oceanografska i atmosferska uprava (NOAA) SAD-a 2008. godine i Europska unija. Prema procjeni WWF-a (World Wildlife Fund), u svjetskim morima pluta oko 5000 milijardi čestica mikroplastike manjih od pet milimetara. Nanoplastika se odnosi na komadiće plastike veličine između 1 i 100 nm, dok mezoplastika obuhvaća komade plastike manje od 25 mm. Pojam makroplastike odnosi se na komade veće od 25 mm koji su vidljivi golim okom, ali manji od 1 m, dok megoplastika uključuje velike komade veće od 1 m. Postoje dvije glavne vrste mikroplastike. Primarna je ona koja se namjerno proizvodi za izravnu uporabu ili kao materijal za druge proizvode. Dok je sekundarna mikroplastika ona koja nastaje u okolišu razgradnjom većeg plastičnog materijala zbog utjecaja valova, vjetera ili sunčeve svjetlosti [8, 13].

Voda koja se svakodnevno koristi, kako u kućanstvima tako i u industrijskim postrojenjima, nakon upotrebe se odvodi putem kanalizacijskog sustava na pročišćavanje prije vraćanja u prirodni okoliš. Zbog malih dimenzija mikroplastike, ona lako prolazi kroz filtre tijekom procesa pročišćavanja otpadnih voda te završava u rijekama, koje se kasnije ulijevaju u mora. Uklanjanje mikroplastike iz vodenih sustava gotovo je nemoguće bez narušavanja ekosustava, budući da bi postupci kao što je vađenje mikroplastike mrežama istodobno uklonili plankton i druge mikroorganizme [8, 13].



Slika 3. Mikroplastika [4]

Mikroplastika sama po sebi nije otrovna, no ako je organizam dulje vrijeme izložen mikroplastici, može doći do trovanja zbog prisutnosti aditiva u njoj, kao što su plastifikatori poput ftalata, pigmenti, stabilizatori, antioksidansi kao bisfenol A, spojevi kadmija i olova, sredstva protiv klizanja (amidi masnih kiselina), biocidi (npr. spojevi arsena) i drugi. Osim toga, gutanje mikroplastike može uzrokovati različita oštećenja zbog oštih rubova mikroplastike. Mikroplastika obično ima manju gustoću od vode i nije podložna biološkoj razgradnji, no u vodenom okolišu mikroorganizmi je naseljavaju i stvaraju sloj zvani biofilm. Ovaj nastali biofilm ima ključnu ulogu u distribuciji mikroplastike u vodi jer povećava njenu gustoću, uzrokujući da se mikroplastika s vremenom taloži na dnu vodenog tijela, gdje se sedimentira. Unatoč malom promjeru, čestice mikroplastike imaju veliku aktivnu površinu na koju se vežu razne zagađujuće tvari, što doprinosi njenom toksičnom učinku. Na površinu mikroplastike adsorbiraju se teški metali, patogeni, organske zagađujuće tvari i pesticidi. Adsorpcija ovih zagađujućih tvari na mikroplastiku ovisi o raznim čimbenicima, uključujući starost mikroplastike, blizinu zagađujućih tvari, vrstu mikroplastike i njenu molekularnu strukturu, polarnost mikroplastike, omjer površine i volumena mikroplastike te uvjete u okolišu. S obzirom na navedena svojstva, mikroplastika predstavlja značajnu prijetnju okolišu i živim organizmima [13].

Mikroplastika se danas nalazi u svim ekosustavima, a njezin utjecaj na morske ekosustave posebno je zabrinjavajući, budući da predstavlja prijetnju raznolikosti tih sustava. Ribe često zamijene mikroplastiku za hranu, a procjene UN-a sugeriraju da oko 30 % riba sadrži mikroplastiku u svom tkivu. Mikroplastika je također pronađena u organizmima kao što su kamenice, dagnje i tune. Negativno utječe na sposobnost razmnožavanja morskih organizama, njihovu sposobnost lova, čvrstoću kostiju, tjelesnu pripremljenost koja utječe na preživljavanje, i produžuje vrijeme potrebno za traženje hrane. Mikroplastika može također začepiti probavni sustav životinja koje ju zamijene za plijen ili hranu, što može rezultirati njihovom smrću. Mikroplastiku koriste i različite mikrobne zajednice kao sklonište ili prijenosnik potencijalno patogenih mikrobnih vrsta. Mikroplastika niže gustoće često se akumulira u oceanskim vrtlozima i time ugrožava beskralježnjake koji se nalaze u tim

vrtozima, dok mikroplastika veće gustoće pada na dno i ima veći utjecaj na bentonsku zajednicu. Rakovi, poput dekapodnih rakova unose mikroplastiku u svoj organizam putem svoje hrane ili pasivno iz sedimenta u kojem je mikroplastika taložena. Školjkaši su također izloženi mikroplastici zbog svog načina prehrane i filtracije morske vode, što ih čini pokazateljima opterećenosti mikroplastikom u okolišu. Mikroplastika ima sposobnost vezivanja za toksične spojeve, uključujući ftalate koji mogu utjecati na endokrini sustav i jetru. Ovi spojevi često se koriste u kozmetičkim proizvodima i nalaze se u visokim koncentracijama u morskim sisavcima, poput dupina, kitova i ulješura. Također su pronađeni u školjkama koje ljudi konzumiraju [13].

3. Onečišćenje mora naftom

Zagađenje mora i oceana naftom i njenim derivatima je trenutno jedan od najozbiljnijih oblika zagađenja zbog širokog korištenja ovih materijala u različitim ljudskim aktivnostima. Ovo onečišćenje uzrokuje značajnu štetu i postaje sve vidljivije iz dana u dan. Kemijski sastav sirove nafte je kompleksna mješavina različitih organskih spojeva, pri čemu veći dio čine ugljikovodici (75 %), dok ostatak uključuje različite spojeve sumpora, kisika i dušika. Ključni naftni derivati uključuju rafinerijski plin, ukapljeni plin, benzine, kerozin, plinska ulja, loživa ulja, maziva i motorna ulja. Ti proizvodi mogu sadržavati različite štetne tvari koje se prepoznaju kao globalni onečišćivači, kao što su PAH (poliaromatski ugljikovodici), PCB (poliklorirani bifenili) i teški metali poput olova. Zabrinjavajući podatak je da je samo 8 g nafte dovoljno da onečisti 1 m³ mora, dok 1 m³ ispuštene nafte iscrpljuje kisik iz 400.000 m³ mora. Svake godine u svjetskim morima završi oko 6 milijuna tona nafte i njenih derivata, što čini otprilike 0,25 % ukupne svjetske godišnje proizvodnje [14].

Najvažnijim izvorima onečišćenja mora naftom smatraju se direktno i indirektno onečišćenje koje potječe iz [15]:

- 37 % potječe iz industrijskih otpadnih voda koje dopijevaju u more putem odvodnih sustava za oborinske vode, potoka, kanalizacije i rijeka,
- 33 % dolazi od naftnih brodova tijekom prijevoza,
- 2 % tijekom istraživanja,
- 12 % nastaje uslijed nesreća s tankerskim brodovima,
- 7 % potječe od prirodnih izvora poput pukotina na morskom dnu, i
- 9 % se apsorbira iz atmosfere.

Izljevi nafte u mora najčešće su uzrokovani nesrećama tankera, barži, cjevovoda, naftnih platformi, rafinerija, bušotina i skladišta. Izljevi se mogu dogoditi zbog [16]:

- ljudske greške ili nepažnje,
- kvara opreme,
- prirodnih katastrofa poput uragana, i
- namjernih djela terorista, zemalja u ratu, vandala ili kao rezultat ilegalnog odlaganja.

Prirodne pojave izlivanja nafte ispod površine Zemlje čine 40 % procijenjenog ukupnog opterećenja globalno. Ova izlivanja događaju se kada se nafta, koja je lakša od vode, oslobađa u vodeni stupac iz visoko pritisnutih stijena na morskom dnu. Veći dio prirodne nafte konzumira se od strane morskih bakterija koje su evoluirale kako bi konzumirale određene molekule nafte. Međutim, u mjestima koja nemaju prirodne izvore nafte i gdje se dogodi izljev nafte organizmi nisu imali priliku prilagoditi se i reagirat će drugačije [17].

Izljevi s naftnih platformi danas čine otprilike 3 % ukupnih izlivanja nafte u oceanima. Izljevi nafte s priobalnih naftnih platformi obično su rezultat puštanja nafte pod pritiskom. Takvi izljevi mogu trajati mjesecima dok se ne izbuše pomoćne bušotine, što rezultira enormnim količinama istjecanja nafte. Značajan primjer takvog izlivanja je Deepwater Horizon. Iako su tehnologije za bušenje u dubokom moru znatno napredovale u posljednjih 30-40 godina, naftne kompanije se sve više premještaju na sve teže dostupna područja što stvara problem [18].

U prošlosti, nesreće na naftnim tankerskim brodovima dominirale su medijskim prikazima izljeva nafte i činile su značajan dio ljudskog doprinosa izlivanju nafte iz morskih aktivnosti. Primjer takve nesreće može se vidjeti na slici 4. Broj takvih nesreća značajno se smanjio od 1970-ih godina, a količina istjecanja nafte još više. Iako tankerske nesreće s izlivanjima nafte ne čine najveći izvor onečišćenja mora, one predstavljaju katastrofu za područja u kojima se dogode, posebno ako se radi o zatvorenim ili poluzatvorenim morima. Takvi neželjeni incidenti uzrokuju ogromnu ekološku i ekonomsku štetu, stoga se danas veća pažnja posvećuje sigurnosti pri prijevozu nafte tankerima i prevenciji mogućih ekoloških katastrofa. Moderna tankerska plovila imaju dvostruke oplata, što smanjuje rizik od izljeva nafte nakon manjih udara. Tankeri su također podijeljeni u sekcije, što znači da u slučaju curenja, cijeli teret nije izgubljen. Najvažnije je korištenje GPS-a (Globalni sustav za pozicioniranje) koje omogućuje čak i najneiskusnijem kapetanu da vidi gdje se brod nalazi u svakom trenutku. Međutim, nesreće nisu jedini način na koji tankeri ispuštaju naftu u morski okoliš i nisu čak ni najvažniji kada je riječ o količinama ispuštene nafte. Operativna istjecanja, uključujući pranje tankova morskom vodom, sadržaj nafte u balastnoj vodi i izlivanje mulja od goriva, ispuštala su više nafte od nesreća još tijekom 1970-ih godina [14, 18].



Slika 4. Izlivanje nafte iz tankera [19]

Broj incidenata povezanih s cjevovodima za naftu koji su službeno prijavljeni i koji rezultiraju izljevima u morskom okolišu značajno je porastao tijekom posljednjih četiri desetljeća. Izljevi nafte iz cjevovoda mogu biti uzrokovani vučom ribarskih brodova, prirodnim katastrofama, korozijom cjevovoda, greškama u konstrukciji, sabotazom ili napadom. Međutim, najveći i najznačajniji izljevi nisu uključeni u te statistike. Na primjer, u delti Nigera, ruskom Arktiku i sjeverozapadnoj Amazoni, vrlo značajne količine nafte redovito se izljevaju, ali se rijetko prijavljuju i još rjeđe čiste. Istina, samo manji dijelovi te nafte dospjevaju do mora, ali to ne znači da posljedice nisu razorne. Procjenjuje se da cjevovodi kao izvori izljeva nafte doprinose s 1 % zagađenja nafte u morima. Razlozi za to uključuju neprijavlivanje, a mnogi izljevi nafte iz cjevovoda događaju se na kopnu, sa samo djelomičnim dospijevanjem nafte do mora [18].

Prilično veliki problem je i nafta na cestama i drugim površinama koja se ispire u more tijekom kišnih oluja. Iz automobila, kamiona i drugih vozila uslijed kvarova može kapati nafta na tlo, obično na nepropusni beton ili asfalt te ta nafta na kraju završi slijevajući se u more. Rekreativna plovila poput jet-skijeva, brodova i jahti mogu izliti naftu u ocean zbog operativnih ili ljudskih pogrešaka, nepripremljenosti, nedostatka obrazovanja, a vrlo često je

to jednostavno nemar. Količine su, međutim, male, i takva izlijevanja nafte teško je pratiti jer oko 80 % takvih slučajeva ostaje neprijavljeno [17].

Postoje tri osnovna načina na koje nafta šteti živim organizmima [2]:

- prekriva krzno i perje i uništava izolaciju, uzrokujući uginuće životinja od hipotermije (previše se ohlade),
- životinje jedu naftu, ili dok pokušavaju očistiti svoje krzno i perje ili dok traže hranu, a nafta je otrovna i
- nafta ih oštećuje na dugoročne kronične načine (oštećivanje jetre ili ometanje reprodukcije), te životinja ne može konkurirati za hranu i izbjegavati predatore.

Glavni učinak izlijevanja nafte je na morskom okolišu unutar kojeg ekologija morskog dna zauzima značajnu ulogu. U tom kontekstu, makro-fauna kao što je slučaj bentonske faune u sedimentima na otvorenom moru su detritivori (razlagači), hraneći se organskim česticama koje su ili suspendirane u vodi ili položene na morskom dnu, te su stoga vrlo osjetljive na onečišćivače vezane za čestice koje ih zatim čine dobrim pokazateljima bioloških uvjeta sedimenta [20].

Morski mikrosloj predstavlja primarni izvor hrane za plankton, a njegovo zagađenje naftom, njenim derivatima, teškim metalima i određenim organskim zagađivačima signalizira moguću prijetnju za cijeli morski prehrambeni lanac. Malene životinje koje grade koraljne grebene osjetljive su na sastojke nafte i često ugibaju kada dođe do izlijevanja nafte u blizini grebena. Koraljni grebeni su također osjetljivi na izlijevanja nafte jer se naftni spojevi mogu otopiti u vodi, što izlaže koralje potencijalno toksičnim spojevima [18, 20].

Ribe i školjkaši mogu biti ozbiljno pogođeni onečišćenjem naftom, a to se može dogoditi na tri načina (izravni smrtonosni učinak na samu ribu, izravan učinak na ribarstvo i neizravan učinak putem poremećaja u ekosustavu). Školjkaši su ranjiviji na izlijevanja nafte od riba zbog njihove bliske povezanosti s kontaminiranim sedimentima, a to vrijedi i za uzgojene ribe. Osim toga, organizmi vodenog stupa, kao što je plankton, mogu biti ozbiljno pogođeni onečišćenjem naftom. Nafta ima značajan utjecaj na embrije riba koji mogu uzrokovati odgođene učinke kada postanu odrasli. Ribolovna fauna izložena PAH-ovima također može razviti tumore. Nafta je također povezana s promjenama u ponašanju [18, 20].

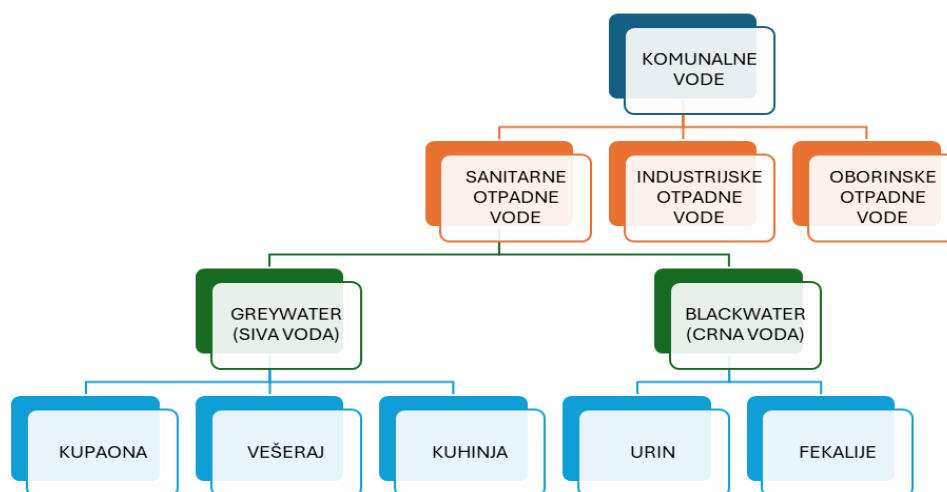
Skupine ptica koje rone za svoju hranu ili koje se okupljaju na površini mora (kormorani, galebovi itd.) su u najvećoj opasnosti jer su izložene nafti koja se nalazi na površinskom sloju mora. Najčešći uzrok smrti onečišćenih ptica je od utapanja, gladi i gubitka tjelesne topline. Morski sisavci poput tuljana i vidri koji se razmnožavaju na obalama skloniji su biti pogođeni onečišćenjem naftom. Najugroženije vrste sisavaca su one koje se oslanjaju na krzno za reguliranje tjelesne temperature jer ako se krzno kontaminira naftom, sisavac može umrijeti od hipotermije. Još jedna skupina morskih životinja za koje je izražena zabrinutost u vezi s izlijevanjem nafte su morske kornjače. Postoji mnogo izvještaja o nalascima mrtvih kornjača u blizini mjesta izlijevanja nafte [18, 20].

4. Onečišćenje mora otpadnim vodama

Otpadne vode su vode koje su bile upotrjebljene u naseljima ili industriji za određenu svrhu i koje su se prilikom te upotrebe dodatno onečistile, a pritom su im promijenjena biološka, kemijska i fizikalna svojstva. Voda se smatra onečišćenom ako je količina otpadnih tvari u njoj veća od količine propisane standardom o kvaliteti vode ili ako se zbog vrste prisutnih otpadnih tvari ne može koristiti za određenu namjenu [21].

Vode korištene u domaćinstvima i industriji poznate su kao komunalne vode. Općenito, najveća potrošnja komunalnih voda događa se u poljoprivredi (oko 70 %), dok industrija koristi 22 %, a samo 8 % se koristi u kućanstvima. Nakon uporabe, komunalne vode sadrže razne vrste onečišćenja prenesena vodom, a njihova svojstva variraju ovisno o izvoru. Komunalne otpadne se vode, ovisno o svom porijeklu (slika 5), mogu podijeliti na [21]:

- sanitarne,
- industrijske, i
- oborinske.



Slika 5. Podjela otpadnih voda [22]

Otpadna voda može sadržavati sljedeće tvari [23]:

- površinske onečišćivače,
- krutine,
- mikroorganizme,
- hranjive soli,
- postojane tvari,
- otrovne tvari,
- radioaktivne tvari,
- otopljene plinove i sl.

Površinski zagađivači obuhvaćaju krupni otpad, kao što su papir, krpe, plastični materijal, te kore voća, a uključuju i ulja i masti (poput nafte i njenih derivata) koji čine posebnu kategoriju

površinskih zagađivača. Ova su zagađenja posebno neugodna s estetskog stajališta. Veliki površinski zagađivači također su nositelji kolonija mikroorganizama, među kojima se mogu naći i patogene vrste. Krutine organskog i neorganskog (mineralnog) podrijetla prisutne su u otpadnim vodama u različitim oblicima - otopljene, koloidne i u obliku suspenzija. Otopljene i koloidne tvari mogu izazvati promjene u boji vode, što ne samo da predstavlja estetski problem zagađenja, već može ukazivati i na dublje ekološke poremećaje. U svim otpadnim vodama prisutni su mikroorganizmi. Mikroorganizmi koji se hrane mrtvom organskom tvari, poznati kao saprofiti ili razlagači, biološki razlažu organsku tvar i koriste otopljeni kisik. To može rezultirati nedostatkom kisika i stvaranjem anaerobnih uvjeta koji nisu poželjni. Hranjive soli (dušik, fosfor) su neophodne za rast fitoplanktona i zelenih biljaka. U vodenim ekosustavima gdje je protok vode ograničen, kao što su jezera, akumulacije ili zaljevi, može doći do pretjeranog rasta fitoplanktona. Ova pojava može rezultirati eutrofikacijom, koja se manifestira kao cvjetanje vode, ponekad i s pojavom otrovnih algi, posebno kada su uvjeti poput svjetlosti i temperature povoljni za njihov razvoj. Postojane tvari su organske ili umjetne biološki nerazgradljive ili teško razgradljive tvari. Tijekom vremena koje im je potrebno da se razgrade, one imaju štetan utjecaj na žive organizme u vodenom ekosustavu i mogu se akumulirati unutar tih organizama. Otrovnost je svaka tvar koja, ovisno o svojim svojstvima ili količini, može izazvati bolesti, abnormalno ponašanje, kancerogene i genetske promjene, fiziološke poremećaje, fizičke deformacije ili smrt kod živih organizama. Radioaktivne tvari u vodi mogu imati prirodno ili antropogeno (ljudskim djelovanjem stvoreno) podrijetlo. Radioaktivni otpad koji ulazi u ekološke sustave kao posljedica ljudskih aktivnosti može značajno povećati razinu radijacije, što dovodi do različitih promjena u tim sustavima. Povećana radijacija može izazvati genetske promjene, sterilnost, rak i smrtnost. Radionuklidi se uključuju u biokemijske procese i akumuliraju se u prehrambenom lancu, prelazeći od nižih ka višim organizmima, što ih čini posebno opasnim za ljude [23].

4.1. Onečišćenje hranjivim tvarima (nutrijentima)

Uobičajeni izvori viška nitrata i fosfata koji dosežu jezera i potoke pritom mijenjajući kemijski sastav vode i ekologiju uključuju septičke sustave, poljoprivredna gnojiva, hranu i stajski gnoj za životinje, domaće otpadne vode, industrijske otpadne vode, sanitarne deponije i odlagališta otpada. Čak i nakon obrade, otpadne vode sadrže visoke razine hranjivih tvari. Dušik i fosfor podržavaju rast algi, bakterija i vodenih biljaka u vodi, ali previše tih elemenata može biti štetno. Kada vodeno tijelo primi prekomjernu količinu dušika ili fosfora, može biti onečišćeno prekomjernim rastom algi i drugih vodenih biljaka. U vodi, dušik i fosfor često postoje u obliku nitrata i fosfata - organskih ili anorganskih spojeva koji sadrže dušik ili fosfor. Nitrat u vodi uglavnom koriste alge i ribe za sintezu proteina, ali prekomjerni nitrat u vodi može uzrokovati i ozbiljne bolesti kod dojenčadi i domaćih životinja. Fosfat je vitalan nutrijent za pretvaranje sunčeve svjetlosti u upotrebljivu energiju, što je bitno za rast i reprodukciju stanica. Obogaćivanje hranjivim tvarima zbog prekomjernih količina dušika je primarni uzrok narušenog ekosustava svjetske obalne vode. Dušik je esencijalno hranjivo i gnojivo koje je važno za poljoprivrednu produktivnost, ali kada ga previše dospije u vodu postaje zagađivač. Povećana upotreba komercijalnih gnojiva povećala je unos dušika deseterostruko u mnogim dijelovima svijeta. Samo oko 18 % dušika iz gnojiva zapravo dospijeva u proizvode; ostatak

se apsorbira u tlu, otječe u vodu ili ulazi u atmosferu. Hranjive tvari također dolaze iz atmosfere, dušik oslobođen izgaranjem fosilnih goriva vraća se i taloži na kopnu ili u vodi [2, 24].

Marikultura je još jedan od izvora onečišćenja mora hranjivim tvarima. Tijekom posljednjih dvadeset godina zabilježeno je značajno povećanje kaveznog uzgoja riba na globalnoj razini. Dugo vremena, glavni cilj marikulture bio je maksimizirati proizvodnju ribe, dok je njezin utjecaj na morski ekosustav bio većinom zanemaren. Međutim, kao i svaka proizvodnja, marikultura generira otpad čija organska komponenta može uzrokovati hipernutriciju, odnosno povećanje koncentracije otopljenih hranjivih tvari, posebno dušika i fosfora u okolnoj morskoj vodi. Kaveznim uzgojem riba neizbježno nastaje raznolik otpad koji utječe na morski okoliš, čime se dovodi u pitanje dugoročna održivost samog uzgoja. Od ukupne količine nutrijenata unesenih hranom u ribogojilišta, procjenjuje se da se samo oko 30 % dušika i do 40 % fosfora ugrađuje u riblju biomasu [24, 25].

4.1.1. Eutrofikacija

Globalni porast eutrofikacije posljedica je povećanja intenzivne poljoprivrede, industrijskih aktivnosti i ljudske populacije. Eutrofikacija (slika 6) je proces prekomjernog obogaćenja hranjivim tvarima u morskim vodama, a koji potiče pretjerani rast algi. Proces eutrofikacije može posljedično smanjiti sadržaj otopljenog kisika, ugušiti ribe i druge vodene organizme, smanjiti prozirnost vode, smanjiti ukupnu kvalitetu vode i narušiti ekološku ravnotežu. Neke alge čak mogu proizvesti toksine koji su štetni za stoku i ljudsko zdravlje. Mala povećanja algi mogu povećati produktivnost u prehrambenim lancima i održavati više ribe i školjkaša. Međutim, prekomjerno poticanje rasta algi može ozbiljno narušiti kvalitetu vode i ugroziti živi svijet. Kada cvjetanje algi na kraju zamre, mrtve stanice tonu na dno, gdje potiču bakterije na njihovu razgradnju. Proces razgradnje troši otopljeni kisik iz vode. Ako je aeracija vode miješanjem manja od kisika koji se troši bakterijskim metabolizmom, donje vode će postati hipoksične (s niskim sadržajem kisika) ili anoksične (bez kisika), stvarajući stresne ili smrtonosne uvjete za stanovnike dna. Hipoksija je veliki problem u mnogim estuarijima, posebno krajem ljeta i početkom jeseni, i globalno je u porastu [2].



Slika 6. Eutrofikacija [26]

Zone niskog sadržaja kisika smanjuju obilje i raznolikost odraslih riba te smanjuju stopu rasta tek naseljenih jastoga, rakova i mladih listova. Vrste koje ne mogu brzo migrirati ili se uopće ne mogu kretati mogu umrijeti u zonama niskog sadržaja kisika; otpornost na bolesti može biti narušena, a reprodukcija i razvoj embrija mogu biti oštećeni. Općenito, životinje se pokušavaju nositi s niskim kisikom smanjujući svoju aktivnost kako bi potrošile manje kisika. To često znači hranjenje u kraćim vremenskim razdobljima i unošenje manje hrane. Kada je donja voda hipoksična, zakopani školjkaši se pomiču bliže površini sedimenta i lakše ih jedu rakovi koji su tolerantniji na nizak kisik i mogu kratko ulaziti u hipoksičnu zonu. Eutrofikacija je posebno štetna za koraljne grebene, gdje hranjive tvari potiču alge da rastu preko, pokrivaju i guše koralje, što na kraju dovodi do zamjene zajednice koraljnih grebena zajednicom algi, posebice kada nema dovoljno biljojeda [2].

4.1.2. Mrtve zone

U mnogim područjima hipoksija je toliko ozbiljna da se ta područja nazivaju "mrtve zone" jer ništa (osim bakterija) ne može živjeti tamo. Kada razina otopljenog kisika padne ispod 0,5 mg/l, dolazi do masovnog uginuća organizama. Globalno je prijavljen porast broja mrtvih zona, kao rezultat otjecanja i taloženja dušika iz izgaranja fosilnih goriva. Oko 150 mrtvih zona identificirano je širom svijeta, uključujući vrlo veliku u Meksičkom zaljevu koja prima vodu iz rijeke Mississippi, koja drenira veći dio poljoprivrednog centra Sjedinjenih Američkih Država. Taj slijev obuhvaća 41% kontinentalnih SAD i sadrži velik dio poljoprivrednog zemljišta te zemlje. Ova hipoksična zona prijeti vrijednom komercijalnom i rekreacijskom ribarstvu Meksičkog zaljeva. Od 415 područja širom svijeta identificiranih kao područja koja doživljavaju neki oblik eutrofikacije, 169 je hipoksično i samo 13 se klasificira kao oporavljeno. Znanstvenici su zabilježili drastičan pad bogatstva vrsta, raznolikosti vrsta i stope ulova u uvjetima niske razine otopljenog kisika, što sugerira da ribe počinju izbjegavati područje kada razine otopljenog kisika padnu ispod otprilike 4 mg/l, jer počinju trpjeti fiziološki stres. Ovaj odgovor na ovu vrijednost je zanimljiv jer je veći od 2 mg/l koji je formalna definicija hipoksije. Slika 7 pokazuje kako izgleda morsko dno u jednoj mrtvoj zoni [2].



Slika 7. Morsko dno u mrtvoj zoni [27]

4.2. Onečišćenje farmaceuticima

Farmaceutski proizvodi spadaju u kategoriju novih zagađivača okoliša, koji uključuju raznolike skupine lijekova i prehrambenih dodataka upotrebljivanih u ljudskoj i veterinarskoj medicini. Prema nekim procjenama, u svijetu se u ljudskoj medicini koristi oko 4000 različitih aktivnih farmaceutskih sastojaka za različite terapijske svrhe, s godišnjom proizvodnjom koja premašuje 100 000 tona. Farmaceutski proizvodi uključuju lijekove na recept i bez recepta, poput antibiotika, kontracepcijskih pilula, sedativa, lijekova protiv bolova i drugih lijekova, dok osobni higijenski proizvodi uključuju sapune, parfeme, kreme za sunčanje i kozmetiku. Koriste se za liječenje, dijagnostiku i prevenciju bolesti kod ljudi i životinja. Njihova proizvodnja je kontinuirana, a potražnja raste. Bolnice, nepravilno odlaganje neupotrijebljenih lijekova, te farme gdje se lijekovi (posebno antibiotici) dodaju u stočnu hranu radi poticanja rasta, bolje iskoristivosti hrane, i liječenja ili prevencije bolesti, predstavljaju načine na koje farmaceutici ulaze u okoliš. Kada se stajski gnoj, koji može sadržavati antibiotike, koristi za gnojidbu, ti lijekovi se mogu prenijeti na poljoprivredno zemljište, a odatle i u podzemne vode. Također, farmaceutici mogu dospjeti u tlo gnojenjem poljoprivrednih površina aktivnim muljem, koji je proizvod obrade komunalnih otpadnih voda. Industrija farmaceutike također predstavlja izvor zagađenja površinskih (slika 8) i podzemnih voda [2, 28, 29].



Slika 8. Farmaceutici u vodi [30]

Kada uđu u okoliš, mogu se akumulirati u tlu ili se prenijeti putem površinskih i podzemnih voda do krajnjih korisnika. Prisutnost lijekova kao što su analgetici, antibiotici i citostatici u površinskim vodama diljem Europe i svijeta izazvala je negativne utjecaje na okolišne organizme, što je pobudilo zabrinutost znanstvenika. Zabilježeni su negativni utjecaji na organizme u vodenim ekosustavima. Nedavna istraživanja otkrila su da farmaceutski proizvodi mogu izazvati štetne učinke, kao što su feminizacija riba i aligatora, te utjecati na ponašanje i migracijske rute lososa. Utjecaji na smanjenje populacije vodenih kukaca i na mriještenje školjkaša su zabilježeni od lijekova poput antiepileptika i antidepresiva. Osim toga, ti lijekovi mogu usporavati razvoj vodenih organizama i izazvati malformacije kod nekih riba. Jedna zanimljivost nevezana za vodene sustave je da je farmaceutski proizvod diklofenak, koji se često prodaje pod trgovačkim imenom Voltaren, bio na rubu izazivanja izumiranja bengalskih i indijskih tankokljunih supova. Voltaren, korišten kao protuupalni lijek za stoku, našao se u ostatcima uginule stoke kojom su se hranili supovi [28, 29].

5. Onečišćenje mora balastnim vodama

Balastna voda je voda koja se unosi u brod kako bi se kontrolirali trim, nagib, gaz, stabilnost i naprezanje broskog trupa, a sadrži razne tvari. U prošlosti brodovi su za balast koristili materijale poput kamena, drva i pijeska, ali od kasnog 19. stoljeća primjenjuje se voda kao balast. Kada brod istovari svoj teret, uzima balastnu vodu, a kada utovari teret, balast se ispušta (slika 9). S razvojem globalnog pomorskog prometa, ove radnje se često odvijaju u različitim ekosustavima, što dovodi do problema s balastnim vodama. Zbog intenziviranja trgovine i pomorskog prometa, broj organizama koji se prenose globalno brodskim balastnim vodama u samo mjesec dana nadmašuje onaj koji se prije prenosio tijekom cijelog stoljeća. Svaki dan se u balastnim vodama širom svijeta transportira oko 7 500 različitih vrsta (4 500 različitih vrsta organizama i 3 000 vrsta planktona), a godišnje se prenese oko 10 - 12 milijardi tona tih voda. Utjecaj na svjetsku ekonomiju procjenjuje se na oko 10 milijardi eura godišnje [2, 31].



Slika 9. Ispuštanje balastne vode [32]

Prijenos organizama putem balastne vode predstavlja jednu od najvećih prijetnji svjetskim morima i ekosustavima. Uzeti balast sadrži otpadne nečiste vode, strane morske organizme u različitim razvojnim stadijima, kao što su meduze, toksične alge, patogene bakterije, viruse, te sediment koji se prenosi u njemu do luke istovara balasta i ukrcaja tereta. Većina brodova uzima balastnu vodu nakon istovara tereta u lukama, estuarijima i zaljevima, gdje postoji velika raznolikost planktonskih vrsta, kao i razvojnih faza nektonskih i bentoskih organizama. Ovi organizmi uspijevaju preživjeti prolazak kroz sustave usisavanja, filtre, balastne pumpe i ostale dijelove balastnog sustava. Tokom putovanja s balastnom vodom, ovisno o uvjetima u balastnim tankovima, određen broj organizama preživljava i kasnije se ispušta zajedno s balastom u obalne vode prilikom ukrcaja tereta. Ovi preživjeli organizmi se počinju razmnožavati, čime narušavaju ekološku ravnotežu. Neke od tih vrsta mogu izazvati nepovratne štete na okolišu gdje se ispuštaju, uključujući potiskivanje autohtonih vrsta, što može imati ozbiljne posljedice na gospodarstvo obalnih zemalja [33].

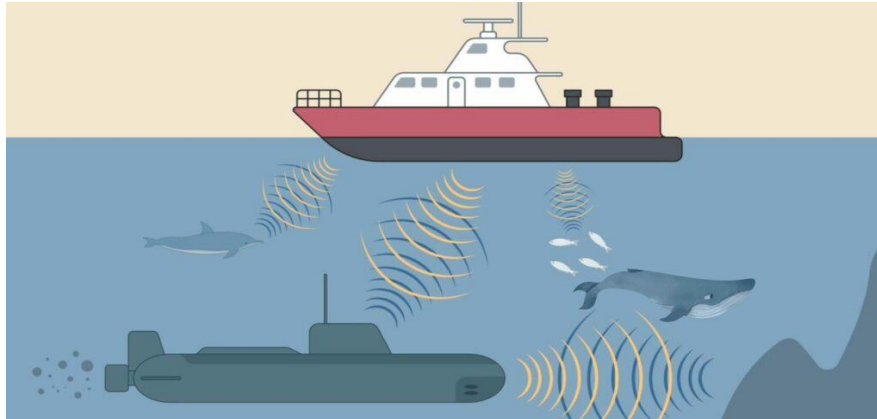
Organizmi oslobođeni putem vodenog balasta imaju negativan utjecaj na različite aspekte okoliša, gospodarstva i zdravlja ljudi. Invazivne biljne i životinjske vrste koje se donose u novi ekosustav obično su agresivnije od lokalnih vrsta. U novom okolišu, ove invazivne vrste mogu postati dominantne, smanjujući bioraznolikost i potencijalno uzrokujući nepredvidive i

dalekosežne posljedice kada se naruši hranidbeni lanac. U ekonomskom smislu, ribarstvo, obalna industrija i druge komercijalne aktivnosti poput turizma mogu trpjeti zbog invazije stranih vrsta. Što se tiče ljudskog zdravlja, toksični organizmi poput dinoflagelata mogu uzrokovati bolesti ili čak smrt. U povoljnim uvjetima, ovi organizmi se prekomjerno razmnožavaju i oslobađaju toksine koji, ako ih apsorbiraju filtrirajući školjkaši poput oštriga ili Jakobovih kapica, mogu kod ljudi izazvati paralitičko trovanje sa simptomima paralize ili čak smrti. Problemi s balastnim vodama također uključuju onečišćenje okoliša različitim anorganskim kemikalijama korištenim za pranje tankova te sredstvima za zaštitu od korozije, koji dodatno zagađuju okoliš. Ne prirodna i masovna distribucija organizama predstavlja ozbiljnu prijetnju prirodnoj ravnoteži svakog ekosustava u koji se ispušta balastna voda [33].

6. Onečišćenje mora bukom (zvučno)

U posljednjem stoljeću došlo je do značajnog porasta antropogenog zvuka koji proizvode teretni brodovi, sonari, seizmička ispitivanja, bušilice, zabijači pilota te rekreacijski brodovi. To je uzrokovalo proporcionalno povećanje razine podvodne buke diljem svijeta, stvarajući novi oblik onečišćenja - zvučno onečišćenje. Podvodno okruženje sastoji se od biotskih i abiotskih zvukova. Biotske izvore zvuka proizvode ribe, beskralješnjaci, morski sisavci i drugi morski organizmi i bitni su za komunikaciju, orijentaciju, otkrivanje partnera i plijena te eholokaciju. Abiotski izvori zvuka, koji pružaju važne informacije o okolnom okruženju morskim organizmima mogu se podijeliti u dvije kategorije: prirodni pozadinski zvuk i antropogeni zvuk. Valovi mora koji se lome na obali, struje koje se kreću preko grebena, kapljice kiše na površini oceana, plime, oceanske turbulencije i zvuk proizveden morskim potresima i erupcijama podmorskih vulkana su tipični prirodni pozadinski zvukovi. Tijekom posljednjih nekoliko desetljeća došlo je do značajnog povećanja u broju i vrstama antropogenih buka, kako u otvorenom moru, tako i u gusto naseljenim priobalnim regijama (uslijed rasta ljudskih djelatnosti). Zvukovi stvoreni ljudskim aktivnostima razlikuju se po svojoj frekvenciji i intenzitetu. Ovisno o frekvenciji i jačini, antropogeni zvukovi mogu se podijeliti u dva osnovna tipa: impulsni zvuk visokog intenziteta i kontinuirani zvuk niskih frekvencija. Impulsni zvukovi visokog intenziteta nastaju aktivnostima kao što su zabijanje pilota, podvodno razminiranje, seizmička istraživanja i korištenje aktivnog sonara. Za seizmička istraživanja na moru, koja uključuju proučavanje geologije i geofizike, kao i istraživanja nafte i plina te kartografiranje morskog dna, obično se koriste zračni topovi. Također, sonar koji stvara buku različitih jačina široko je u upotrebi ne samo od strane vojnih mornarica, već i kod komercijalnih brodova, u ribarstvu i kod morskih istraživačkih organizacija. S druge strane, kontinuirana buka niskih frekvencija nastaje uslijed djelovanja raznih brodova i plovila (slika 10). Budući da se zvuk pod vodom širi na velike udaljenosti, često dosežući stotine ili tisuće kilometara, dok je vid učinkovit samo na nekoliko desetaka metara, zvuk predstavlja primarno osjetilo za mnoge morske organizme [34, 35].

Buka pod vodom, kao neželjeni zvuk, može imati značajan negativan utjecaj na morski ekosustav. Morski sisavci i ribe, kao i većina drugih morskih životinja, iznimno su osjetljivi na zvukove i oslanjaju se na njih za ključne funkcije poput reprodukcije, detektiranja plijena ili grabežljivaca, navigacije i orijentacije, te komunikacije s partnerima, članovima grupe ili mladima. Također, buka može uzrokovati stres kod morskih životinja i povećati rizik od njihove smrtnosti [34, 35].



Slika 10. Brod i podmornica kao izvori onečišćenja bukom [36]

Onečišćenje bukom može dovesti do ozbiljnih i manje ozbiljnih posljedica na životinje. Većina životinja postaje uznemirena kada su izložene jakim zvukovima koji mogu oštetiti njihove unutarnje organe, uključujući uši, te izazvati stanje panike. Umjerene razine podvodne buke su dovoljne za privremeno oštećenje sluha kod nekih ribljih vrsta, pri čemu je u nekim slučajevima ribama potrebno nekoliko tjedana da se oporave. Buka kod nekih vrsta riba uzrokuje i stresnu reakciju. Ribe na buku mogu reagirati na različite načine, poput spuštanja na veće dubine, zastoja u pokretu, povećane aktivnosti ili formiranja gušćih jata. Izuzetno snažni, ali kratkotrajni zvukovi, kao što su oni koji se javljaju pri zabijanju pilota, mogu ozbiljno štetiti ribama u blizini. Najosjetljiviji organi na ovakvu buku su oni koji sadrže plin, poput ušiju, plivaćih mjehura i zračnih vrećica. Dodatne ozljede obuhvaćaju oštećenja stanica i tkiva, unutarnja krvarenja te oštećenja sluha. Morski sisavci, poput kitova i dupina, imaju vrlo razvijen sluh koji im pomaže u komunikaciji i orijentaciji zbog loše vidljivosti. Glave kitova i dupina su strukturirane tako da pojačavaju zvukove. Vojni sonar je toliko snažan da se može usporediti s eksplozijama bombi (soničke eksplozije mogu biti i do stotinu puta jače od razine koju morski sisavci mogu podnijeti, čak i na udaljenosti od 300 milja). Procjenjuje se da su tisuće kitova i dupina umrle ili pretrpjele gubitak sluha zbog izloženosti sonaru tijekom vojnih vježbi. Nasukavanja kitova i dupina, koji se često događaju satima nakon izloženosti ekstremno glasnoj podvodnoj buci, uobičajeni su nakon vježbi sonara (od šezdesetih godina prošlog stoljeća, kada su se počeli koristiti jači sonari, zabilježena su brojna masovna nasukavanja „Cuvierovih kljunastih kitova“ širom svijeta). S druge strane, manje intenzivni podvodni zvukovi koji traju dulje, poput onih koje stvaraju brodovi mogu imati utjecaj na mnogo veća područja i zahvatiti više životinja. Čini se da su čak i divovske lignje doživjele masovna nasukavanja uslijed upotrebe seizmičkih zračnih topova [2, 35].

7. Termalno onečišćenje mora

Termalno onečišćenje odnosi se na bilo kakvu promjenu u temperaturi prirodnih vodenih tijela uzrokovanu ljudskim djelovanjem. Najčešći oblik ovog onečišćenja je povećanje temperature. Glavni uzročnici toplinskog onečišćenja uključuju nuklearne i termoelektrane, rafinerije nafte, čeličane, termoelektrane na ugljen i industrijske kotlove koji koriste vodu iz prirodnih tokova za hlađenje svojih uređaja, a zatim je vraćaju zagrijanu (slika 11), povećavajući temperaturu vodenih ekosustava, što dovodi do promjena u njihovim fizikalnim, kemijskim i biološkim svojstvima. Posebno istaknute među ovim izvorima su nuklearne elektrane, koje zahtijevaju znatno više hladne vode nego ostale vrste elektrana. Osim industrijskih izvora, drugi značajni faktori toplinskog onečišćenja uključuju eroziju tla, urbano otjecanje te uništavanje obalne i šumske vegetacije. Globalno zatopljenje može dodatno pojačati štetne učinke toplinskog onečišćenja na okoliš. Klimatske promjene se smatraju difuznim izvorom toplinskog onečišćenja, koje široko utječe na slatkovodna staništa. Antropogeno hlađenje slatkih voda također može imati snažne učinke na vodeni život. Ispuštanje hladne vode iz donjih slojeva velikih rezervoara utječe na temperaturne uvjete rijeka na velikim udaljenostima. Takva ispuštanja mogu značajno promijeniti uobičajene sezonske temperature, snižavajući ih za više od 10 °C [37, 38].



Slika 11. Primjer industrijskog postrojenja koje ispušta zagrijanu vodu [39]

Ribe i drugi organizmi koji su prilagođeni životu u određenom temperaturnom rasponu mogu stradati zbog iznenadne promjene temperature vode, bilo da se radi o brzom porastu ili padu temperature, što se naziva toplinskim šokom. Različite vrste organizama imaju različite tolerancije na temperaturu, ali svaka vrsta ima svoj optimalni temperaturni raspon te minimalne i maksimalne granice unutar kojih može opstati. Povećanje temperature dovodi do ubrzanja rasta do određene mjere, ali iznad određene točke počinje oštećenje. Povećanje temperature za samo 1 °C do 2 °C može značajno utjecati na zajednice, budući da takva promjena može biti smrtonosna za neke vrste, a utjecati na rast i reprodukciju drugih. Podizanje temperature vode za samo 2 °C do 3 °C iznad optimalne može drastično smanjiti broj jaja kod nekih vodenih insekata. Viša temperatura smanjuje topljivost kisika u vodi i ubrzava razgradnju organskog materijala, što dodatno troši kisik. Nastavak zagrijavanja vode može dovesti do stvaranja anaerobnih uvjeta. Također, alge na površini vode mogu se brzo razmnožavati u toplim

uvjetima, čime dodatno smanjuju razinu otopljenog kisika. Glavne posljedice toplinskog onečišćenja za vodene ekosustave uključuju gubitak biološke raznolikosti zbog masovne smrti vodenih organizama (zbog toplinskog šoka), selidbu organizama zbog promjena temperature, izbjeljivanje koralja zbog povećanja temperature i ubrzanje metaboličkih procesa uslijed povećane aktivnosti enzima [37, 38].

8. Onečišćenje mora radioaktivnim otpadom

Prva operacija odlaganja radioaktivnog otpada u more dogodila se 1946. godine blizu obale Kalifornije u sjeveroistočnom dijelu Tihog oceana. Ova praksa nastavila se sve do 1993. i obuhvaćala je odlaganje tekućeg i čvrstog nuklearnog otpada, kao i nuklearnih reaktorskih posuda, s gorivom ili bez njega, u različite oceane. Tekući nuklearni otpad uglavnom se odlagao u Arktički i Tih ocean, dok se čvrsti otpad odlagao u Atlantski, Arktički i Tih ocean. U more su odlagane tri vrste radioaktivnog otpada: tekući otpad, čvrsti otpad i reaktorske posude pod tlakom, s gorivom ili bez njega. Tekući otpad odlagan je ili nezapakiran i razrijeđen na površini mora, ili u spremniku, ali nesolidificiran na morskome dnu. Čvrsti otpad uključivao je niskorazinski otpad poput papira i tekstila iz dekontaminacije, solidificiran s cementom ili bitumenom i zapakiran u metalne kontejnere, te nezapakiran čvrsti otpad poput velikih dijelova nuklearnih postrojenja. Reaktorske posude odlagane su bez goriva od strane bivšeg Sovjetskog Saveza i SAD-a, s oštećenim potrošenim gorivom od strane bivšeg Sovjetskog Saveza (obrada s furfuralom za dodatnu zaštitu), te u posebnim kontejnerima s oštećenim gorivom s ledolomca Lenjin [40]. Na slici 12 prikazano je odlaganje radioaktivnog otpada u more.



Slika 12. Odlaganje radioaktivnog otpada u more [41]

Pet glavnih izvora antropogenih radionuklida koji mogu kontaminirati morski ekosustav su: odlaganje radioaktivnog otpada u more, nesreće i gubitci na moru povezani s radioaktivnim materijalima, kontrolirana obalna ispuštanja radioaktivnih tekućina niske razine, padaline s atmosferskih nuklearnih testova oružja i podvodnih testiranja, te slučajna ispuštanja iz kopnenih nuklearnih postrojenja. Odlaganje radioaktivnog otpada u more dolazi iz različitih izvora poput nuklearnih elektrana, pogona za preradu, plovila na nuklearni pogon, industrija, bolnica i nuklearnih postrojenja. Nesreće i gubitci uključuju radioaktivne materijale, poput potapanja nuklearne podmornice, gubitka plovila s nuklearnim gorivom ili oružjem, pada satelita s nuklearnim materijalima ili gubitka zapečaćenih radioaktivnih izvora. Što se tiče nuklearnih nesreća najveća je bila ona u Černobilu 1986. godine, kada je oslobođena velika količina (1000 - 2000 PBq) uglavnom kratkotrajnih antropogenih radionuklida, dio kojih je stigao do mora. Najvažniji radionuklidi iz ove nuklearne nesreće koji su dosegli vode sjeverne Europe bili su ^{137}Cs i ^{134}Cs , čije su količine procijenjene na 10 PBq i 5 PBq. U usporedbi s tim, prirodno prisutni radionuklidi u oceanima i dalje su glavni izvori radijacije za ljude iz morskih

izvora. Ukupna količina ovih prirodnih radionuklida, kao što su ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{210}Po u svjetskim oceanima, procjenjuje se da premašuje 104 PBq. Lokacija za odlaganje u sjeveroistočnom Atlantiku, redovito se ispituje od 1977. Iako je završna analiza otkrila povećanje aktivnosti na mjestima odlaganja, utjecaj na radiologiju bio je zanemariv. Radiološka istraživanja lokacija u sjeveroistočnom Pacifiku i sjeverozapadnom Atlantiku provode se povremeno od strane američkih agencija. Do sada, analiza uzoraka iz ovih područja nije pokazala značajno povećanje razine radionuklida iznad onih uzrokovanih padalinama s nuklearnih testiranja, osim u nekim slučajevima gdje su detektirani izotopi cezija i plutonija u sedimentima blizu odbačenih paketa [40].

Nesreća u Fukushima (slika 13) 2011. godine nakon potresa u Japanu ponovno je potaknula zabrinutost o prisutnosti radioaktivnosti u oceanima. To uključuje zabrinutost za ribe u blizini Japana i migracijske ribe koje mogu prenijeti radioaktivnost preko oceana. Kratkotrajni radioaktivni elementi kao što je ^{131}I i dugotrajniji kao što je ^{137}Cs mogu biti apsorbirani morskim organizmima i kroz hranidbeni lanac dospjeti u ribe, morske sisavce i ljude. Istraživanja pokazuju da se radioaktivni materijali šire morskim strujama, talože u sedimentima i prenose se kroz hranidbeni lanac. Jednom apsorbirani, ti materijali mogu biti pohranjeni u kostima i tkivima te potencijalno izazvati genetska oštećenja ili rak. Ovisno o kemijskom obliku u kojem se apsorbiraju, radijacija može postati koncentriranija u višim razinama hranidbenog lanca. Nuklearna elektrana u Fukushima otpustila je iznimno velike količine radijacije u Tihom oceanu, gdje su se razine cezija drastično povećale. Velike količine radioaktivne vode ispuštene su u ocean, a manje količine i dalje cure. Analize 15 mjeseci nakon nesreće pokazale su da je velik broj riba bio kontaminiran ^{137}Cs i ^{134}Cs . Kontaminacija je zabilježena i u vrstama koje Japan izvozi. Iako su se razine kontaminacije u nekim vrstama riba smanjile, zabrinjavajuća kontaminacija ostala je prisutna. Tuna može prenijeti radijaciju preko oceana, a analize tuna ulovljenih kod obala Kalifornije pokazale su prisutnost radioaktivnog cezija. Iako su razine bile ispod standarda, to pokazuje globalno širenje radijacije [2].



Slika 13. Nuklearna nesreća u Fukushima [42]

9. Svjetlosno onečišćenje

Prema Zakonu o zaštiti okoliša [43] svjetlosno onečišćenje je promjena razine prirodne svjetlosti u noćnim uvjetima uzrokovana unošenjem svjetlosti proizvedene ljudskim djelovanjem. Svjetlosno onečišćenje odnosi se na prekomjerno ili ometajuće umjetno svjetlo koje, poput ostalih oblika zagađenja, može poremetiti ekosustave i štetno utjecati na zdravlje. Većina živih bića osjetljiva je na promjene u kvaliteti i jačini prirodnog svjetla u svom okruženju, što ukazuje na mogućnost da je ta karakteristika nastala u ranoj fazi evolucije. Ovo bi moglo značiti da se evolucija života u morima većinom odvijala u svjetlosnoj zoni. Za alge i morske trave, fotosinteza je direktno ovisna o svjetlu, dok morske životinje iskazuju ritmičke promjene u ponašanju i fiziologiji usklađene s prirodnim svjetlosnim ciklusima. Nakon dokaza o utjecaju na ponašanje ptica, šišmiša i insekata, raste zabrinutost da bi svjetlosno zagađenje moglo štetno utjecati na vodene organizme u jezerima, rijekama i morima, naročito u obalnim područjima. Svjetlosno zagađenje može utjecati na sve organizme s optičkim sustavom orijentacije. Istraživanja pokazuju da umjetno svjetlo utječe na ponašanje, reprodukciju i opstanak morskih beskralježnjaka, amfibija, riba i ptica. Svjetlosno onečišćenje (slika 14) utječe na životinje kroz promjene u orijentaciji, privlačenjem ili odbijanjem od izmijenjenih svjetlosnih uvjeta. [43,44]



Slika 14. Prikaz obalnog grada i njegovog umjetnog osvjetljenja [45]

Jedan od najpoznatijih primjera utjecaja noćnog osvjetljenja na morski svijet je zbunjivanje mladih morskih kornjača koje se izlegu noću na plažama i trebaju se usmjeriti prema moru. Mladi primjerci morskih kornjača prirodno su skloni kretanju prema najsvjetlijem području. Na prirodnoj plaži to je pogled na otvoreno noćno nebo iznad mora. Ovo ponašanje ne ovisi o mjesečevoj svjetlosti. Međutim, umjetno svjetlo iz hotela i drugih građevina u blizini plaže može ih dezorijentirati. Svjetlo djeluje privlačno jer je blizu, ali nije dovoljno jako da osvjetli nebo. Pogrešnim kretanjem po plaži, mlade kornjače troše svoju ograničenu energiju koja im je potrebna za plivanje. Dezorijentirane mlade kornjače mogu zalutati, umrijeti od dehidracije, grabežljivaca, biti pregažene ili se utopiti u bazenima. Svjetlosno onečišćenje također može narušiti odnose između plijena i grabežljivaca. Na primjer, morski tuljani se skupljaju u osvjetljenim područjima kako bi lovili mlade losose prilikom njihove migracije. Kod

zooplanktona, umjetno svjetlo ometa vertikalne migracije koje su prirodni način smanjenja rizika od grabežljivaca. Ovo može dovesti do promjena u zajednicama i utjecati na funkcije ekosustava. Iako možda iznenađujuće, svjetlosno onečišćenje prodire čak i u duboka morska područja. U takvim okruženjima dominira vrlo slabo svjetlo, a mnogi morski organizmi proizvode vlastito svjetlo putem bioluminiscencije. Ovi organizmi su vrlo osjetljivi na svjetlo, što ih čini ranjivima na štetu od umjetnih svjetala koja se koriste u podvodnim vozilima. Mnogi bioluminiscentni organizmi u špiljama su iznimno osjetljivi na svjetlo i mogu biti pogođeni svjetlosnim onečišćenjem. Većina organizama koji žive u špiljama ili udaljeni od svjetla evoluirala je od organizama koji su nekada živjeli u svjetlosnom okruženju i zadržala je osjetljivost na svjetlo [2, 44].

10. Onečišćenje mora iz zraka (atmosfersko onečišćenje)

Iz brodova se oslobađaju plinovi i pare zbog izgaranja, isparavanja ili curenja raznih plinskih sustava, što može imati toksične, eksplozivne i štetne učinke na atmosferu (efekt staklenika i oštećenje ozonskog sloja). Ovi plinovi mogu izazvati direktne (trenutno onečišćenje) i indirektne (zapaljivost i onečišćenje od produkata sagorijevanja) posljedice. Plinovita komponenta tereta, bilo da se radi o čvrstim tvarima, tekućinama ili ukapljenim plinovima, koji se prevoze u spremnicima s otvorenim ventilima, oslobađa se u okoliš. Količina oslobađanja ovisi o sklonosti tereta isparavanju [46].

Ukapljeni plinovi, prevoženi na vrlo niskim temperaturama, posebno su skloni isparivanju, gubeći oko 0,25 % tereta dnevno u toplijim klimama, što se može osloboditi u atmosferu ili koristiti kao gorivo. Ukapljeni plinovi se smatraju opasnim teretom, a njihovo oslobađanje treba nadzirati zbog rizika od eksplozije. Spremnici s tekućim teretima također predstavljaju ekološki rizik jer su pare koje se oslobađaju iz tekućih tereta često zapaljive i toksične. Manipulacija s određenim fluidima u brodskoj strojarnici, poput rashladnih tekućina i pjena za gašenje požara, trebala bi biti kontrolirana i po mogućnosti ekološki prihvatljiva. Čvrsti tereti također mogu emitirati štetne pare ili plinove, koji se zato ventiliraju izvan brodskih skladišta. Čak i živa stoka može ispuštati plinove neugodnog mirisa, što se smatra štetnim za okoliš [46].

Ispušni ili dimni plinovi nastaju kao rezultat izgaranja brodskih goriva i oslobađaju se u atmosferu. Da bi došlo do potpunog izgaranja goriva, potrebna je značajna količina zraka, koji se nakon izgaranja vraća u okoliš u izmijenjenom fizikalnom i kemijskom stanju. Sastav ovih ispušnih plinova prvenstveno ovisi o tipu goriva koje se koristi i učinkovitosti procesa izgaranja. Kod onečišćenja zraka s brodova, fokus je uglavnom na emisijama štetnih plinova koje proizvode brodovi s dizelskim motorima kao glavnim pogonskim sustavom. Sporohodni dizelski motori su temelj pogonskog sustava većine velikih trgovačkih brodova, uključujući tankere i brodove za prijevoz rasutog tereta. Među najštetnijim plinovima na brodovima su određene vrste freona i halona. Freoni se koriste u rashladnim sustavima, dok su haloni namijenjeni za gašenje požara. Svi ovi plinovi pohranjeni su u spremnicima ili instalacijama, a u okoliš obično dopijevaju zbog nepravilnog rukovanja [46, 47]. Na slici 15 prikazano je onečišćenje zraka s brodova.



Slika 15. Onečišćenje zraka s brodova [48]

Glavni onečišćivači iz dizelskih motora, kao i iz drugih vrsta motora s unutarnjim izgaranjem su [47]:

- Dušikovi oksidi (NO_x) – Ovi plinovi doprinose stvaranju smoga i kiselih kiša. Kada se u atmosferi pomiješaju s hlapivim organskim spojevima i drugim reaktivnim plinovima, uz prisustvo sunčevog zračenja, sudjeluju u stvaranju prizemnog ozona. Emisija dušikovih oksida raste zbog povećanja prometa i uglavnom se javlja kao rezultat sagorijevanja bilo kojeg tekućeg goriva.
- Sumporovi oksidi (SO_x) – Posebno sumporov dioksid (SO₂) je poznat kao kiseli plin jer se njegovom transformacijom u atmosferi formiraju kiseli sastojci koji dovode do kiselih kiša. Emisija SO₂ direktno ovisi o kvaliteti goriva, odnosno o njegovom sadržaju sumpora.
- Ugljikov monoksid (CO) – Ovaj plin je posljedica nepotpunog izgaranja goriva i pridonosi nastanku smoga i oštećenju ozonskog omotača. Moderni motori imaju nisku emisiju ugljikovog monoksida zbog visoke koncentracije kisika i efikasnog procesa izgaranja.
- Ugljikovodici (HC) – Količina ugljikovodika u ispušnim plinovima ovisi o tipu goriva, podešavanju motora i njegovoj konstrukciji. Samo mali dio HC izlazi iz procesa neizgoren, doprinoseći efektu staklenika.
- Ugljikov dioksid (CO₂) – Iako nije otrovan, CO₂ je u fokusu zbog svoje uloge u stvaranju efekta staklenika. Korištenje motora visoke učinkovitosti i goriva s niskim udjelom ugljika ključni su za smanjenje emisije CO₂.

Iz proučavanja emisija s brodova uočeno je da je doprinos ugljikovodika i ugljikovog monoksida u usporedbi s drugim oblicima tehničkog pogona relativno nizak. Također, zahvaljujući visokoj termalnoj učinkovitosti dizelskog procesa, i emisije ugljikovog dioksida i sumporovog dioksida su niske. Stoga se u brodarstvu posebna pažnja posvećuje smanjenju emisija dušikovih oksida (NO_x) [47].

10.1. Kisele kiše

Kisela kiša je oblik oborine onečišćene sumporovim i dušikovim oksidima, kao i drugim kemijskim spojevima. SO_2 i NO_x kada se oslobode u atmosferu, prenose se na velike udaljenosti, prolazeći kroz različite fizikalno-kemijske promjene. Ti spojevi dosežu zemlju putem suhog ili mokrog taloženja, isprani kišom, snijegom ili maglom, što dovodi do procesa kao što su acidifikacija, eutrofikacija i stvaranje prizemnog ozona. Ovaj tip onečišćenja na daljinu također uključuje prijenos sitnih čestica, teških metala i perzistentnih organskih spojeva. U vlažnoj atmosferi, ovi plinovi oksidiraju s vodenom parom formirajući sulfatnu i nitratnu kiselinu, koje se otapaju u zraku i padaju na zemlju zajedno s padalinama. Za razliku od normalne kiše koja ima pH vrijednost oko 5,5, kisela kiša obično ima pH između 4 i 4,5, što znači da sadrži približno 40 puta više kiseline nego čista kišnica. Kako su ovi plinovi često prisutni u većim količinama u urbanim i industrijskim područjima, pH vrijednost kisele kiše obično je niža u tim područjima u usporedbi s ruralnim sredinama [49].

Ugljikov dioksid je jedan od plinova koji zagađuje atmosferu, čime pridonosi klimatskim promjenama. On se ubraja u skupinu stakleničkih plinova koji su odgovorni za staklenički efekt. Ovi plinovi dovode do neobičnog zagrijavanja površine Zemlje kada djeluju u atmosferskim slojevima. Kada reagira s vodom, ugljikov dioksid stvara ugljičnu kiselinu (H_2CO_3) [49].

Dušikovi oksidi (NO_x) uključuju dušikov monoksid (NO) i dušikov dioksid (NO_2), koji uglavnom nastaju sagorijevanjem fosilnih goriva. Tijekom bilo kojeg procesa sagorijevanja, dušikovi oksidi se formiraju kao spojevi dušika iz zraka i kisika, pri čemu viša temperatura sagorijevanja ubrzava stvaranje dušikovih oksida. Dušikov monoksid koji se inicijalno oslobađa tijekom sagorijevanja kasnije u zraku oksidira u štetni dušikov dioksid. Ovaj dušikov dioksid, reagirajući s vlagom, tvori nitratnu kiselinu koja je odgovorna za oko trećinu nastanka kisele kiše [49].

Sumporov dioksid je daleko najopasniji zagađivač zraka. To je bezbojni plin s jakim i neugodnim mirisom koji primarno utječe na ljudske dišne organe. Tijekom zimskih mjeseci, visoke razine sumporovog dioksida u zraku, u kombinaciji s prašinom, stvaraju smog. Sagorijevanjem fosilnih goriva dolazi do značajnog onečišćenja atmosfere sumporovim dioksidom. Ovaj plin se transformira u sulfatnu kiselinu te u kombinaciji s vodom stvara kiselu kišu, koja je ključni faktor u uništavanju šuma. U reakciji s vodom, iz sumporovog dioksida nastaju sulfitna (H_2SO_3) i sulfatna kiselina (H_2SO_4) [49].

Utjecaji kiselih kiša su posebno destruktivni u vodenim ekosustavima (slika 16). Kiša se slijeva s kopna u rijeke, jezera i močvare, te direktno pada u te vodene sustave. Povećanje kiselosti vode dovodi do smanjenja broja vodenih organizama. Dok se neke vrste mogu prilagoditi novoj razini kiselosti, mnogi organizmi ne mogu preživjeti pri izmijenjenom pH vode. Posebno su ugrožene vrste poput škampa, puževa, dagnji i ribe poput lososa. Iznimno su pogođeni i razvojni stadiji poput jajašaca i mladunaca. Prekisela voda može dovesti do nepravilnog razvoja, deformacija ili smrti mladih organizama, što narušava ekosustav. Nestanak jedne vrste može uzrokovati lančanu reakciju koja destabilizira cijeli, inače balansirani ekosustav [49].



Slika 16. Utjecaj kiselih kiša na ribu [50]

11. Zaključak

Analizirajući različite izvore onečišćenja, uključujući industrijske emisije, poljoprivrednu praksu, urbano zagađenje, brodski promet i otpadne vode, jasno je da je svaki od tih čimbenika značajan doprinositelj problemu onečišćenja morskih voda. Od krutog i plastičnog otpada, preko naftnih izljevova, otpadnih voda iz različitih izvora, do balastnih voda, buke, termalnog onečišćenja, atmosferskog pa čak i radioaktivnog otpada, uočava se da su oceani i mora pod stalnom prijetnjom. Posebno je zabrinjavajući utjecaj svih oblika onečišćenja na žive organizme u vodi. Pri tome se ističe mikroplastika koja se može naći i u najmanjim pripadnicima morske faune, ali i eutrofikacija i mrtve zone koje dramatično mijenjaju život u morima.

Svjetlosno i zvučno onečišćenje, te atmosfersko onečišćenje, poput kiselih kiša, pokazuju da se utjecaji ljudskih aktivnosti na more ne ograničavaju samo na direktne izvore onečišćenja. Jedan od zabrinjavajućih izvora onečišćenja jesu farmaceutici koji su topljivi u vodi i jako ih je teško u potpunosti ukloniti iz vode metodama koje su u uporabi.

Izvori onečišćenja morske vode su često međusobno povezani i složeni, što zahtijeva sveobuhvatan pristup u rješavanju ovog problema. Ključno je usmjeriti pažnju na prevenciju onečišćenja na izvoru, primjenom strožih regulativa, tehnoloških inovacija i edukacije javnosti o važnosti očuvanja morskih ekosustava. Sve navedeno u ovom završnom radu ukazuju na potrebu za hitnom i sveobuhvatnom akcijom u zaštiti naših mora i oceana. To uključuje bolje upravljanje otpadom, promjene u navikama potrošnje, te globalnu suradnju u cilju smanjenja negativnih učinaka na morski živi svijet i same ekosustave. Samo zajedničkim naporima cijelog čovječanstva može se osigurati očuvanje ovog neizmjereno važnog blaga za buduće generacije.

12. Literatura

- [1] D. Lulić Krivić, Onečišćenje mora, Ministarstvo mora prometa i infrastrukture, Zagreb, 2018.
- [2] J. S. Weis, Marine pollution. What everyone needs to know, Oxford University Press, New York, 2005.
- [3] Zakon o gospodarenju otpadom NN 84/21, 142/23
- [4] United Nations Environment Programme, From Pollution to Solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution, Nairobi, 2021.
- [5] <https://marinedebris.noaa.gov/discover-marine-debris/what-marine-debris> (23.01.2024.)
- [6] <https://www.vijesti.me/vijesti/drustvo/486465/sve-manje-ribe-u-moru-plastike> (25.01.2024.)
- [7] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja Republike Hrvatske, Plan gospodarenja morskim otpadom, NN 97/17.
- [8] B. Činčurak Erceg, Problemi pravne (ne)reguliranosti (mikro)plastike u morskom i riječnom okolišu, Poredbeno pomorsko pravo, 61(2022)176, 135-175.
- [9] <https://www.condorferries.co.uk/marine-ocean-pollution-statistics-facts> (24.01.2024.)
- [10] <https://www.iucn.org/resources/issues-brief/marine-plastic-pollution> (26.01.2024.)
- [11] E. Alessi, G. Di Carlo, Izlaz iz zamke plastike: Spašavanje Sredozemnog mora od onečišćenja plastikom, World Wide Fund For Nature (WWF), 2018.
- [12] I. Gudelj, Važnost i ugroženost mora i oceana, Hrvatska vodoprivreda, 30(2002)239, 5-18.
- [13] K. Bule, K. Zadro, A. Tolić, E. Radin, M. Miloloža, V. Očelić Bulatović, D. Kučić Grgić, Mikroplastika u morskom okolišu Jadrana, Kemija u industriji, 69(2002)5-6, 303-310.
- [14] S. Frka Milosavljević, Utjecaj naftnog zagađenja na površinski mikrosloj mora, Kemija u industriji, 55(2006)12, 523-529.
- [15] I. Colak, A. Tugsan, Ship Based Oil Pollution for Black Sea, Istanbul Technician University Maritime Faculty, Turkey, 2011.
- [16] <https://response.restoration.noaa.gov/training-and-education/education-students-and-teachers/how-do-spills-happen.html> (27.01.2024.)
- [17] <https://www.nationalgeographic.com/science/article/140325-texas-pollution-oil-spills-animals-science> (27.01.2024.)
- [18] A. Jernelöv, The threats from oil spills: Now, then, and in the future, Ambio 39(2010)5-6, 353-366.

- [19] <https://www.greenpeace.org/international/story/49085/mauritius-worst-environmental-disaster-one-year-on/> (27.01.2024.)
- [29] E. Xhelilaj, S. Sinanaj, Postupak i posljedice u slučaju onečišćenja morskog okoliša i oceana naftom, Pomorstvo, 24(2010)1, 19-25.
- [21] A. Štrkalj, Onečišćenje i zaštita voda, Metalurški fakultet, Sisak, 2014.
- [22] J. N. Edokpayi, J. O. Odiyo i O. S. Durowoju, Impact of Wastewater on Surface Water Quality in Developing Countries: A Case Study of South Africa, InTech, 2017.
- [23] https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/otpadne_vode.pdf (28.01.2024.)
- [24] J. Li, J. Qinghao, L. Yuran, G. Junfeng, X. Jianxin, C. Huiying, Y. Miaoying, Highly Efficient Removal of Nitrate and Phosphate to Control Eutrophication by the Dielectrophoresis-Assisted Adsorption Method., International journal of environmental research and public health, 19(2022)3, 1-11.
- [25] I. Katavić, Rizici eutrofikacije kao posljedica nekontrolirane hranidbe riba u kaveznom uzgoju, Krmiva, 48(2006)3, 157-164.
- [26] https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/Bio_vodo_P4_DK_novo.pdf (28.01.2024.)
- [27] <https://www.treehugger.com/what-are-ocean-dead-zones-5202668> (28.01.2024.)
- [28] S. Zrnčević, Farmaceutici i metode obrade otpadne vode iz farmaceutske industrije, Hrvatske vode, 24(2016)96, 119-136.
- [29] M. Vuković Domanovac, M. Šabić Runjavec, N. Janton, D. Kučić Grgić, Bioremedijacija farmaceutske otpadne vode, Kemija u industriji, 68(2019)9-10, 437-445.
- [30] <https://www.sciencealert.com/do-pharmaceuticals-pose-a-threat-to-aquatic-life-here-s-what-experts-think> (19.03.2024.)
- [31] P. Amižić Jelovčić, Onečišćenje morskog okoliša balastnim vodama s posebnim osvrtom na međunarodnu konvenciju o nadzoru i upravljanju brodskim balastnim vodama i talozima iz 2004. godine, Zbornik radova Pravnog fakulteta u Splitu, 45(2008)4, 797-810.
- [32] <https://www.treehugger.com/what-is-ballast-water-5179976> (29.01.2024.)
- [33] Ž. Kurtela, V. Jelavić, T. Novaković, Štetno djelovanje ispuštenoga vodenog balasta na morski okoliš, Naše more, 54(2007)1-2, 1-6.
- [34] C. Peng, X. Zhao, G. Liu, Noise in the Sea and Its Impacts on Marine Organisms. International journal of environmental research and public health, 12(2015)10, 12304–12323.
- [35] https://awionline.org/sites/default/files/uploads/documents/Weilgart_Biodiversity_2008-1238105851-10133.pdf (29.01.2024.)

- [36] <https://sinay.ai/en/international-standards-for-noise-monitoring-shipowners-and-operators-responsibility/> (30.01.2024.)
- [37] S. Singh, P. Singh, S. Rangabhashiyam, K. K. Srivastava, Global climate change, Elsevier, 2021.
- [38] W. K. Dodds, M. R. Whiles, Freshwater Ecology (Third Edition), Academic Press, 2020.
- [39] <https://www.treehugger.com/what-is-thermal-pollution-5219795> (30.01.2024.)
- [40] https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1105_prn.pdf (30.01.2024.)
- [41] <https://www.downtoearth.org.in/blog/water/radioactive-pollution-in-water-a-global-concern-for-human-health-80637> (30.01.2024.)
- [42] <https://u.osu.edu/engr2367nuclearpower/fukushima/> (30.01.2024.)
- [43] Zakon o zaštiti okoliša NN 80/13, 153/13, 78/15, 12/18, 118/18.
- [44] M. Depledge, C. Godard-Codding, R. Bowen, Light pollution in the sea, Marine pollution bulletin, 60(2010),1383-1385.
- [45] <https://www.ecowatch.com/light-pollution-coastal-ecosystem-threat.html> (30.01.2024.)
- [46] V. Jelavić, Ž. Kurtela, Raščlamba štetnog djelovanja broda na morski okoliš, Naše more, 54(2007)5-6, 214-226.
- [47] B. Milošević-Pujo, N. Jurjević, Onečišćenje mora iz zraka emisijom ispušnih plinova, Naše more, 51(2004)5-6, 178-184.
- [48] <https://www.marineinsight.com/maritime-law/marpol-convention-shipping/> (31.01.2024.)
- [49] <http://ekokutak.pondi.hr/KiseleKise.htm> (31.01.2024.)
- [50] W. H. Al-Dahhan, A. A. Abd Ali, E. Yousif, Environmental problem from the Combustion of Sulfur in Mishraq Field. Specialty Journal of Chemistry, 2(2017),10-16.

ŽIVOTOPIS

OSOBNI PODACI:

Ime i prezime: Aleksandar Hemetek

Datum i mjesto rođenja: 17.08.1988., Požega

Telefon: 099/685 5986

E-mail: aleksandar.hemetek@gmail.com

OBRAZOVANJE:

1995-2003 – Osnovna škola „Budaševo – Topolovac – Gušće“

2003-2007 – Tehnička škola Sisak, tehničar za računalstvo

2014-2015 – Policijska škola „Josip Jović“, policijski službenik

2020-2024 – Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, sveučilišni prijediplomski studij „Sigurnost, zdravlje na radu i radni okoliš“

ZAPOSLENJE:

2015-2024 (neodređeno) - policijski službenik za foto i video dokumentiranje u Interventnoj jedinici policije PU sisačko-moslavačke

VJEŠTINE:

Rad na računalu (MS Word, MS Excel, MS PowerPoint, Internet)

Strani jezik: engleski

Vozački ispit: B kategorija

Samostalno upravljanje bespilotnim letjelicama