

Metode utvrđivanja onečišćenja morskog dna primjenom daljinski upravljanih podvodnih vozila

Škugor, Bruno

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:631504>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-30**



Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

BRUNO ŠKUGOR

**METODE UTVRĐIVANJA ONEČIŠĆENJA MORSKOG DNA
PRIMJENOM DALJINSKI UPRAVLJANIH PODVODNIH
VOZILA**

DIPLOMSKI RAD

Rijeka, 2023.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

**METODE UTVRĐIVANJA ONEČIŠĆENJA MORSKOG DNA
PRIMJENOM DALJINSKI UPRAVLJANIH PODVODNIH
VOZILA**

**METHODS FOR DETECTING MARINE POLLUTION ON
THE SEABED USING UNDERWATER REMOTELY
OPERATED VEHICLES (ROVS)**

DIPLOMSKI RAD

Kolegij: Morske tehnologije

Mentor/komentor: *Izv. prof. dr. sc.* Lovro Maglić

Student/studentica: Bruno Škugor

Studijski smjer: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0171277100

Rijeka, srpanj 2023.

Student/studentica: Bruno Škugor

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0171277100

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI DIPLOMSKOG RADA

Kojom izjavljujem da sam diplomski rad s naslovom *Metode utvrđivanja onečišćenja morskog dna primjenom daljinski upravljanih podvodnih vozila* izradio/la samostalno pod mentorstvom *Izv. prof. .dr. sc. Lovro Maglić*.

U radu sam primijenio/la metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio/la literaturu koja je navedena na kraju diplomskog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo/la u diplomskom radu na uobičajen, standardan način citirao/la sam i povezao/la s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student/studentica



Bruno Škugor

Student/studentica: Bruno Škugor

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0171277100

IZJAVA STUDENTA – AUTORA
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG DIPLOMSKOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor diplomskog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa diplomskim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog diplomskog rada kao autorskog djela pod uvjetima *Creative Commons* licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>

Student/studentica - autor



Bruno Škugor

Istraživanje i izrada diplomskog rada *Metode utvrđivanja onečišćenja morskog dna primjenom daljinski upravljanih podvodnih vozila* provedena je u suradnji sa edukacijsko-istraživačkim Centrom za morske tehnologije (CMT) Pomorskog fakulteta u Rijeci. Prilikom istraživanja korištena je daljinski upravljiva podvodna ronilica Blueye Pioneer i FIFISH V6 Expert u vlasništvu Pomorskog fakulteta u Rijeci.

SAŽETAK

U ovom diplomskom radu istražena je problematika morskog otpada kroz analizu vrsta, izvora onečišćenja i geografske raspodjele. Posebna važnost je pridana detaljnoj analizi plastičnog onečišćenja kao jednog od najzastupljenijih oblika otpada u morskome okolišu. Također su analizirani pravni okviri za nadzor otpada i postojeće metode detekcije na morskome dnu. Kroz studiju slučaja u uvali Selehovica primjenom ROV-a, istraženo je stanje onečišćenja morskim otpadom. Provedbom ovog istraživanja, cilj je pružiti uvid u stvarno stanje morskog otpada na odabranoj lokaciji. Kroz temeljitu analizu vizualnih podataka, istaknuta je važnost dobivanja preciznih informacija o količini i vrsti otpada prisutnog u tom području. Identificiranje vrste i količine otpada ključno je za usmjeravanje napora prema specifičnim izvorima onečišćenja i primjenu ciljanih mjera za smanjenje i sprječavanje daljnjeg onečišćenja. Rad ima za cilj podizanje svijesti o važnosti održivog upravljanja otpadom i očuvanju morskog okoliša.

Ključne riječi: morski otpad, geografska raspodjela otpada, vrste otpada, izvori onečišćenja, pravni okviri, metode detekcije, studija slučaja u uvala Selehovica, daljinski upravljiva podvodna vozila, održivo upravljanje otpadom, očuvanje morskog okoliša.

SUMMARY

This master's thesis explores the issue of marine litter through an analysis of its types, sources, and geographical distribution. Special emphasis is placed on conducting a detailed analysis of plastic pollution as one of the most prevalent forms of waste in the marine environment. Furthermore, the study analyzes the legal frameworks for waste monitoring and the existing methods for detecting marine pollution on the seabed. Through a case study conducted in Selehovica Bay, utilizing remotely operated vehicles (ROVs), the thesis investigates the state of marine debris pollution in the area. The primary goal of this research is to gain insights into the actual state of marine litter at the chosen location. By conducting a thorough analysis of visual data, the study highlights the significance of obtaining accurate information regarding the quantity and types of waste present in the region. Identifying the specific types and quantities of litter is vital for directing efforts towards targeted pollution sources and implementing effective measures to reduce and prevent further contamination.

Ultimately, this thesis aims to raise awareness about the importance of sustainable waste management and the preservation of the marine environment.

Keywords: marine litter, geographical distribution of waste, types of waste, sources of pollution, legal frameworks, detection methods, case study in Selehovica Bay, remotely operated underwater vehicles, sustainable waste management, marine environment conservation.

SADRŽAJ

SAŽETAK	III
SUMMARY	III
SADRŽAJ	V
1. UVOD	1
1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKTI ISTRAŽIVANJA.....	1
1.2. RADNA HIPOTEZA	1
1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA	2
1.4. ZNANSTVENE METODE	2
1.5. STRUKTURA RADA.....	2
2. MORSKI OTPAD	4
2.1. GEOGRAFSKA RASPODJELA MORSKOG OTPADA	10
2.2. VRSTE I PODJELA PLASTIČNOG OTPADA.....	15
2.3. IZVORI ONEČIŠĆENJA MORSKIM OTPADOM.....	20
2.4. STANDARDIZACIJA MORSKOG OTPADA	25
3. PRAVNI OKVIRI ZA NADZOR MORSKOG OTPADA	30
4. PREGLED POSTOJEĆIH METODA ZA DETEKCIJU ONEČIŠĆENJA - NA MORSKOM DNU	37
4.1. RONJENJE.....	38
4.2. ROV.....	39
4.3. AUV.....	41
4.4. POVLAČNE KAMERE	43
4.5. POVLAČNE MREŽE	45
4.7. SWOT ANALIZA METODA	45
4.8. METODE SNIMANJA PODMORJA ROV-OM.....	53
5. ISTRAŽIVANJE ONEČIŠĆENJA MORSKOG DNA	60
5.1. LOKACIJA ISTRAŽIVANJA	60
5.2. METODA ISTRAŽIVANJA.....	62
5.3. ANALIZA REZULTATA NA TEMELJU VIZUALNOG OSMATRANJA SNIMKI	67
6. ZAKLJUČAK	82
LITERATURA	83

POPIS SLIKA.....	90
POPIS TABLICA.....	91
POPIS GRAFIKONA	92

1. UVOD

1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKTI ISTRAŽIVANJA

Analizom relevantnih činjenica o istraživanoj problematici, moguće je definirati problem istraživanja: morski ekosustavi sve više su ugroženi zbog onečišćenja, posebno morsko dno. Onečišćenje morskog dna predstavlja ozbiljan ekološki problem s negativnim utjecajem na morski ekosustav i ljudsko zdravlje.

Predmet istraživanja ovog rada je primjena daljinski upravljanih podvodnih vozila (eng. *Remotely operated vehicle*) za utvrđivanje onečišćenja morskog dna. Fokus istraživanja je na primjeni ROV-ova za identifikaciju, dokumentiranje i kvantifikaciju onečišćenja morskog dna.

Objekt istraživanja je morsko dno, odnosno podvodna površina koja je detaljno istražena kako bi se identificirala i analizirala prisutnost onečišćenja. Istraživanje je provedeno na lokaciji uvala Selehovica, s ciljem analiziranja stanja morskog dna i utvrđivanja stupnja onečišćenja.

1.2. RADNA HIPOTEZA

Sukladno bitnim odrednicama problema, predmeta i objekta istraživanja postavljena je radna hipoteza: korištenjem daljinski upravljanih podvodnih vozila moguće je dobiti pouzdane rezultate u utvrđivanju stupnja onečišćenja i identifikaciji različitih vrsta onečišćenja morskog dna.

Usvajanjem postavljene radne hipoteze otvaraju se mogućnosti za formuliranje dodatnih pomoćnih hipoteza koje nadopunjuju temu istraživanja. Na temelju toga, mogu se istaknuti sljedeće pomoćne hipoteze:

P. H. 1.: ROV-ovi omogućuju istraživačima da brzo i učinkovito obave vizualni pregled podvodnih područja te identificiraju eventualno prisutne tragove onečišćenja.

P. H. 2.: Primjena ROV-a omogućuje sustavno praćenje i dokumentiranje stanja morskog dna tijekom vremena, što omogućuje utvrđivanje trendova onečišćenja i donošenje ciljanih mjera za sprječavanje i smanjenje onečišćenja.

1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Svrha ovog istraživanja je pružiti detaljan uvid u problematiku onečišćenja morskog dna i istražiti mogućnosti primjene ROV-a za detekciju i praćenje tog onečišćenja. Ovaj rad ima za cilj pružiti uvid u problem onečišćenja morskog dna, istražiti primjenu ROV-a kao metode detekcije te analizirati rezultate istraživanja na odabranoj lokaciji.

U okviru ovog istraživanja, kroz primjenu znanstvenih metoda, istaknuti su sljedeći ključni ciljevi s ciljem dobivanja odgovora na bitna pitanja:

- koliko je efikasna primjena ROV-a u detekciji i identifikaciji onečišćenja morskog dna?
- kako se ROV može najučinkovitije koristiti za otkrivanje i dokumentiranje onečišćenja morskog dna?
- koji su potencijalni izazovi i ograničenja u primjeni ROV-a?
- kako poboljšati monitoring i kontrolu onečišćenja morskog dna kroz integraciju ROV-a i drugih relevantnih metoda?
- kako se mogu razviti smjernice i strategije za učinkovito korištenje ROV-a u svrhu očuvanja morskog okoliša i smanjenja onečišćenja?
- kakvo je trenutno stanje morskog dna na studijskoj lokaciji u pogledu onečišćenja?

1.4. ZNANSTVENE METODE

Pri provedbi istraživanja, izrade i prezentacije rezultata, primijenjene su odgovarajuće kombinacije sljedećih znanstvenih metoda: metoda analize i sinteze, metoda indukcije i dedukcije, metoda specijalizacije i generalizacije, komparativna metoda, metoda klasifikacije, metoda deskripcije, metoda kompilacije, metoda snimanja i vizualnog osmatranja.

1.5. STRUKTURA RADA

U uvodu rada su izneseni problem, predmet i objekt istraživanja, postavljena radna hipoteza i pomoćne hipoteze, definirana svrha i ciljevi istraživanja, opisane znanstvene metode te objašnjena struktura rada.

U drugom dijelu rada, fokus je stavljen na analizu problema morskog otpada. Detaljno je istražena geografska rasprostranjenost morskog otpada. Zatim su opisane različite vrste plastičnog otpada i pružena podjela prema njihovim karakteristikama. Identificirani su izvori onečišćenja morskim otpadom kako bi se bolje razumjela njihova priroda i utjecaj na morski ekosustav. Također je posvećena pažnja standardizaciji morskog otpada, odnosno postojećim smjernicama i normama koje se primjenjuju.

‘Pravni okviri za nadzor morskog otpada’ naziv je trećeg dijela. Posvećen je pravnim okvirima za nadzor morskog otpada, s naglaskom na pravnu regulativu Republike Hrvatske. Analizirani su relevantni zakoni, propisi i međunarodni sporazumi kako bi se sagledali postojeći pravni alati i smjernice za upravljanje problemom morskog otpada.

Četvrti dio, ‘Pregled postojećih metoda za detekciju onečišćenja na morskom dnu’ se odnosi na prikaz različitih metoda za detekciju onečišćenja na morskom dnu. Provedena je SWOT analiza metode ronjenja, ROV-ova, autonomnih podvodnih vozila (eng. *Autonomous underwater vehicle*) te metode snimanja podmorja putem povlačnih kamera i povlačnih mreža.

U petom dijelu rada predstavljena je studija slučaja koja se odnosi na istraživanje u uvali Selehovica primjenom daljinski upravljanih podvodnih vozila. Odabrana je ova lokacija istraživanja kao primjer za prikaz primjene ROV-ova u identifikaciji i analizi onečišćenja na morskom dnu. Opisana je metoda istraživanja koja je primijenjena kako bi se prikupili relevantni podaci. Analizirani su rezultati na temelju vizualnog osmatranja snimki dobivenih ROV-om.

Na kraju rada, u zaključku, sažeti su glavni rezultati istraživanja i izneseni zaključci temeljeni na prikupljenim podacima i provedenim analizama.

2. MORSKI OTPAD

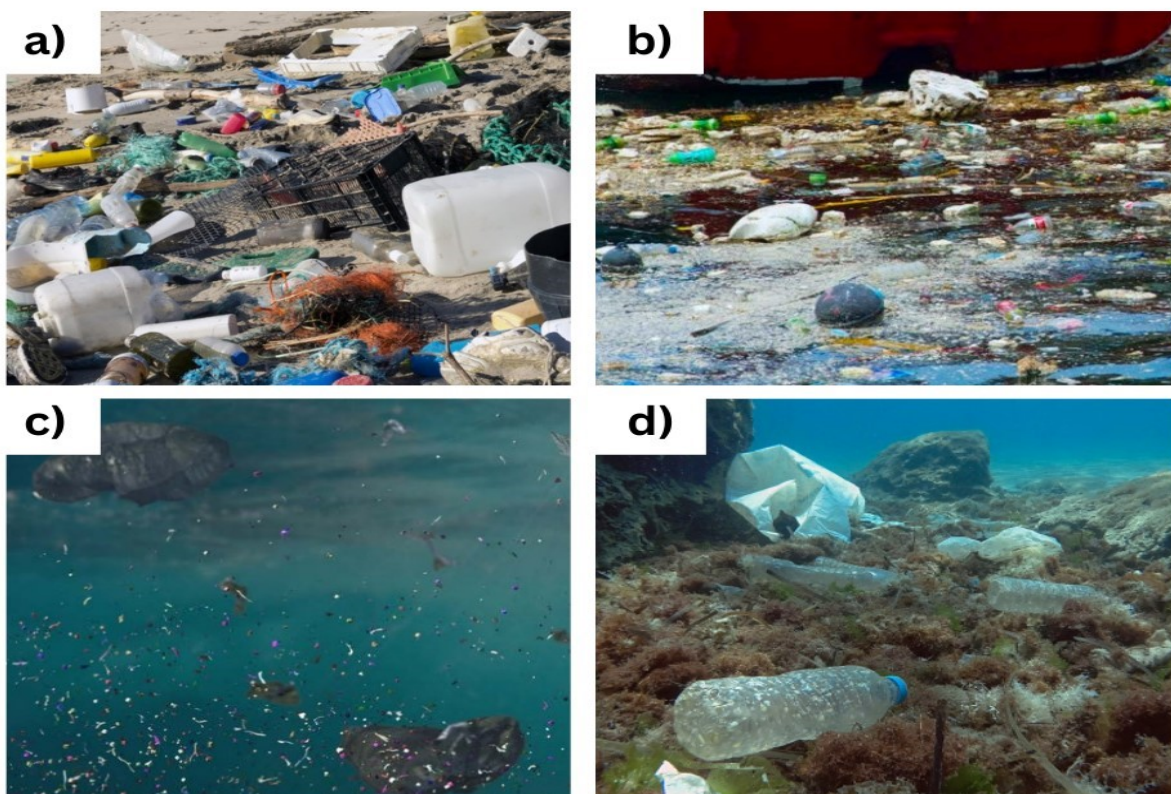
Morski otpad jedna je od glavnih ekoloških prijetnji 21. stoljeća. Rastuće količine generiranog otpada i spor tempo razgradnje, uglavnom plastike, rezultiraju nakupljanjem otpada u morima i oceanima, predstavljajući ozbiljnu prijetnju za čistoću mora i zdravlje morskih organizama. Opće je prihvaćeno da kopnene aktivnosti čine glavni izvor morskog otpada. Međutim, važno je napomenuti da i morske aktivnosti pridonose ukupnom problemu morskog otpada. Godišnje se u svjetska mora i oceane ispušta otprilike 10 milijuna tona otpada, a prema procjenama, otprilike 80% morskog otpada dolazi s kopna, dok se preostalih 20% otpada stvara izravno u morskome okolišu. Procjenjuje se da na svakom četvornom kilometru oceana pluta tisuće komada smeća [2].

Otpad u moru (tzv. morski otpad) definiran je kao bilo koji postojani, proizvedeni ili prerađeni čvrsti materijal koji nije prirodnog podrijetla nego je proizveden, korišten ili odbačen od strane čovjeka izravno u more ili je u more dospio iz kopnenih izvora putem rijeka, otpadnih voda ili vjetrom [1]. Postoje razne definicije morskog otpada u stručnim literaturama, gdje se razlikuju pojmovi *marine litter* (morski otpad) i *marine debris* (morski otpadak). Morski otpadak ili *marine debris* smatra se sinonimom za morski otpad (*marine litter*), koji može biti antropogeni, proizvedeni ili obrađeni čvrsti materijal (bez obzira na veličinu) koji se odbacuje, odlaže ili napušta te završava u morskome okolišu. To uključuje, ali nije ograničeno na plastiku, metale, staklo, beton i druge građevinske materijale, papir i karton, polistiren, gumu, uža, tekstil, drvo te opasne materijale poput municije i medicinskog otpada [2]. U nekim slučajevima, morski otpadak može biti nositelj opasnih onečišćivača koji se na kraju oslobađaju u morskome okolišu. Morski otpad sastoji se od predmeta koji su napravljeni ili korišteni od strane ljudi i namjerno odbačeni u more, rijeke ili na plaže, doneseni neizravno u more rijekama, kanalizacijom, odvodnim vodama ili vjetrom, te slučajno izgubljeni, uključujući materijal izgubljen na moru u lošem vremenu (ribarska oprema, teret) ili namjerno ostavljenih od strane ljudi na plažama i obalama. Ovi pojmovi se često koriste kao zamjenjivi. Ne postoji dogovoren ili službeni tekst o kategorizaciji plastičnog otpada ili smeća.

Morski otpad, podijeljen u nekoliko kategorija, predstavlja ozbiljan ekološki problem za morske ekosustave diljem svijeta. Plastični otpad, koji uključuje razne oblike polimerne plastike, zajedno s mikroplastikom, predstavlja veliki izazov zbog dugotrajne prisutnosti u moru i štetnih posljedica po morske organizme. Otpad od ribolova, poput mreža, udica i plovaka, može uzrokovati zapetljavanje i ugroziti sigurnost morskih organizama. Otpad s

kopna, uključujući plastiku, staklo, metal i druge materijale, koji završava u moru uslijed nepravilnog odlaganja, te industrijski otpad s kemikalijama i toksičnim tvarima, dodatno pridonose zagađenju morskog okoliša. Razumijevanje ovih vrsta morskog otpada ključno je za razvoj strategija za smanjenje i upravljanje otpadom te za očuvanje zdravlja morskih ekosustava.

Možda najveća odlagališta otpada na našem planetu su oceani. Oni akumuliraju različite vrste otpada, preciznije rečeno morskog otpada. Ipak, najveći i vjerojatno najštetniji dio morskog otpada su plastični otpadci. 94% plastike koja dospijeva u ocean završava na morskome dnu. Prosječno se procjenjuje da se na svakom kvadratnom kilometru morskog dna nalazi oko 70 kg plastike. Jedva 1% morske plastike nalazi se plutajući na ili blizu površine oceana, s prosječnom globalnom koncentracijom manjom od 1 kg/km². Nasuprot tome, količina plastike koja se procjenjuje da se nalazi na plažama diljem svijeta pet puta je veća, a koncentracija je znatno veća, iznoseći 2.000 kg/km² [3].

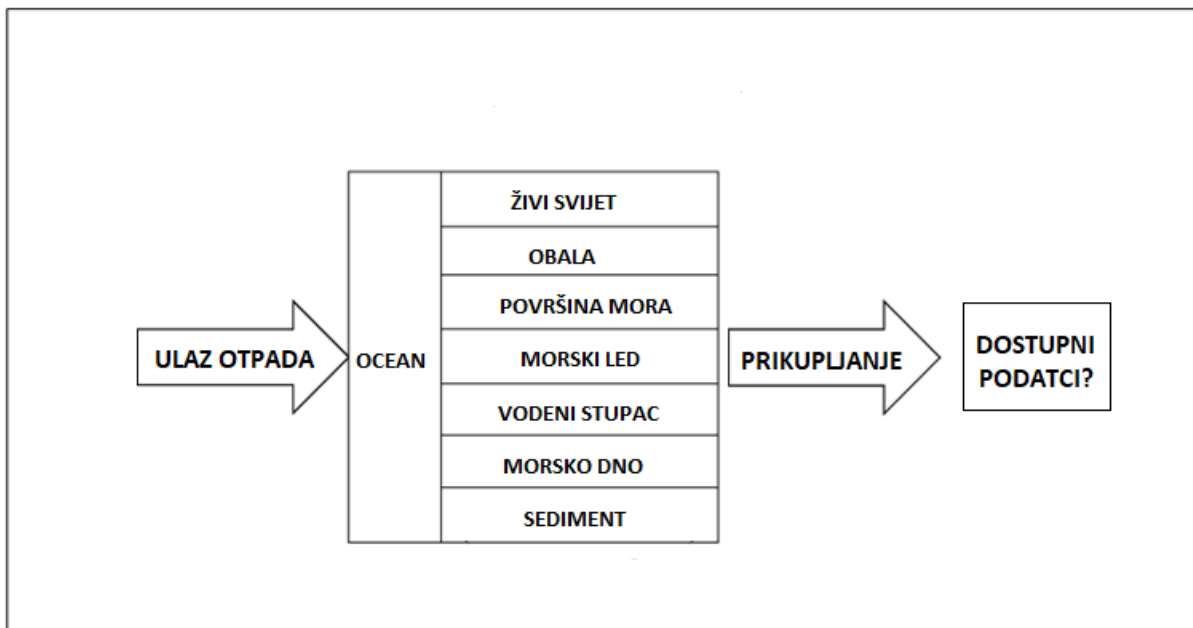


Slika 1. Plastični otpad: a) na obali, b) na površini mora, c) u vodenom stupcu, d) na morskome dnu

Izvor: izradio student prema [2]

Nedostaci u provedbi i provođenju postojećih međunarodnih, regionalnih i nacionalnih propisa i standarda koji bi mogli poboljšati situaciju, u kombinaciji s nedostatkom svijesti među glavnim dionicima i općom javnosti, glavni su razlozi zbog kojih se problem morskog otpada ne samo zadržava, već i nastavlja rasti diljem svijeta. Nadalje, morski otpad je dio šireg problema gospodarenja otpadom koji postaje značajan javnozdravstveni i okolišni problem u mnogim zemljama [4]. Ipak, neodržive prakse prijete osjetljivoj ravnoteži morskih ekosustava što dovodi do nastanka morskog otpada, oštećenja morskog dna, gubitka biološke raznolikosti i zagrijavanja oceana.

Načelno, morski otpad može se nakupljati u svih sedam oceanografskih komponenti: živom svijetu (eng. *biota*), obalama, na površini mora, na morskome dnu, kao i u sedimentima, ledu i vodenom stupcu. Često se provode pregledi prikupljanja morskog otpada kako bi se utvrdio obujam i vrsta otpada prisutnog na morskome dnu, površini i plažama, koristeći različite metode istraživanja. Ti pregledi pružaju važne podatke o stanju morskog okoliša i pomažu u donošenju odluka o učinkovitim mjerama za smanjenje otpada i očuvanje oceana.



Slika 2. Shematski prikaz protoka morskog otpada

Izvor: preuredio student prema [5]

Postoji niz problema i prijetnji koje izravno ili neizravno uzrokuje morski otpad, uključujući ekološke, društvene i ekonomske posljedice. Ove posljedice su raznolike i obično

su međusobno povezane, što ih čini teškim za pojedinačno suzbijanje. Unatoč tome, naše općenito razumijevanje ovih pitanja je ograničeno u nekim područjima, posebno što se tiče neizravnih i socioekonomskih učinaka. Primjer toga su različiti utjecaji izgubljenih ili odbačenih ribolovnih alata (eng. *ghost fishing*), koji rezultiraju ekonomskim gubicima u komercijalnom i rekreativnom ribolovu kao i trajnim i kumulativnim utjecajima na okoliš. Izvješće iz studenog 2019. godine koje je objavila ekološka grupa Greenpeace¹ zaključilo je da izgubljena i napuštena ribarska oprema čini većinu makroplastike (veće od 20 centimetara) u oceanima. Odbačen ili izgubljen ribolovni alat je posebno smrtonosna forma plastičnog onečišćenja koja zarobljava, zapetljava, guši i ubija morske životinje.



Slika 3. Odbačena ribolovna mreža koja i dalje nanosi smrtonosne posljedice [60]

Tako odbačeni ribolovni alat odgovoran je za zarobljavanje i ubijanje milijuna morskih životinja. Procjenjuje se da od ukupnog morskog otpada koji dospije u oceane svake godine otprilike 10% odnosi se na izgubljen ili odbačen ribolovni alat [9]. 1 % ribolovnog alata se izgubi po brodu svake godine. Prema procjenama Azijske ronilačke organizacije ADEX, trenutno se na svakom četvornom kilometru mora nalazi oko 4,4 kilometara odbačenih mreža.

¹ Neovisna globalna nevladina organizacija koja provodi kampanje s ciljem zaštite okoliša

Edukacija ribara o odgovornom odlaganju ribolovnog alata i podizanje svijesti o posljedicama odbačenih ribolovnih alata igraju ključnu ulogu u smanjenju ovog problema.

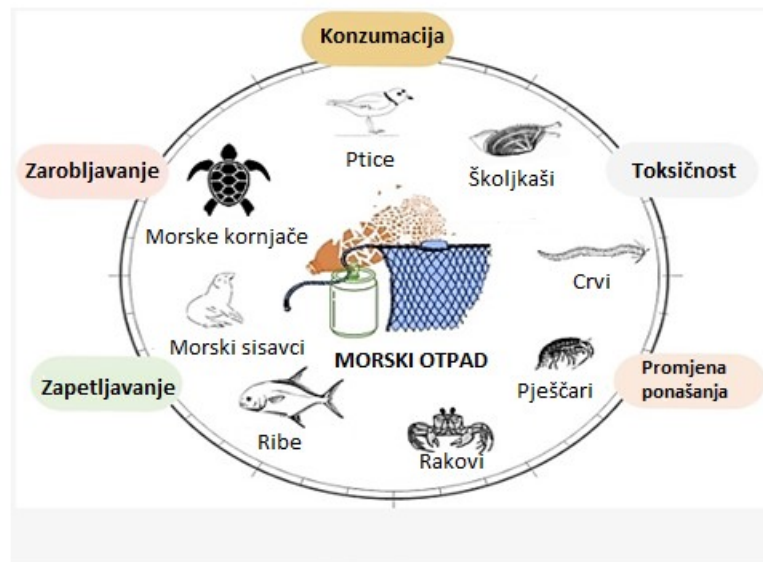


Slika 4. Odbačene ribolovne mreže [2]

Najznačajniji oblik odbačenog ribolovnog alata su ribolovne mreže. Kada ribolovne mreže završe kao odbačeni otpad u moru, one nastavljaju loviti i zarobljavati morske organizme. Odbačene ribolovne mreže često su izrađene od trajnih materijala, kao što je plastika, što znači da se vrlo sporo razgrađuju i ostavljaju dugotrajan negativan utjecaj na morsko okruženje.

Morski otpad ozbiljno ugrožava zdravlje i produktivnost morskih ekosustava. Prisutnost morskog otpada rezultira raznovrsnim kratkoročnim i dugoročnim negativnim utjecajima na pojedinačne organizme, vrste i cjelokupne ekosustave. Morski otpad može oštetiti bentoska staništa, uzrokovati gubitak bioraznolikosti i dovesti do smanjenja ukupne funkcionalnosti ekosustava [6]. Zapetljavanje morskih organizama i unošenje morskog otpada u svoje organizme najuočljiviji su kratkoročni utjecaji. Procjenjuje se da morski otpad (posebno plastični) dovodi do smrti jednog milijuna morskih ptica, 100.000 morskih sisavaca (uključujući 30.000 tuljana) i 100.000 kornjača diljem svijeta svake godine, bilo direktno ili

indirektno, putem zaplitanja ili gutanja istog [7]. Sekundarni dugoročni utjecaji obično su povezani s sudbinom i interakcijom morskog otpada na licu mjesta tijekom dužeg vremenskog razdoblja. Propadanje ekosustava može biti rezultat kombinacije tih utjecaja, poput oštećenja staništa (fizičko oštećenje, ribarska oprema), smanjenja veličine populacije (bioakumulacija toksina, povećana konkurencija od invazivnih vrsta, veći postotak smrtnosti) i gubitka biološke raznolikosti.



Slika 5. Negativni utjecaji morskog otpada na morske organizme

Izvor: preuredio student prema [8]

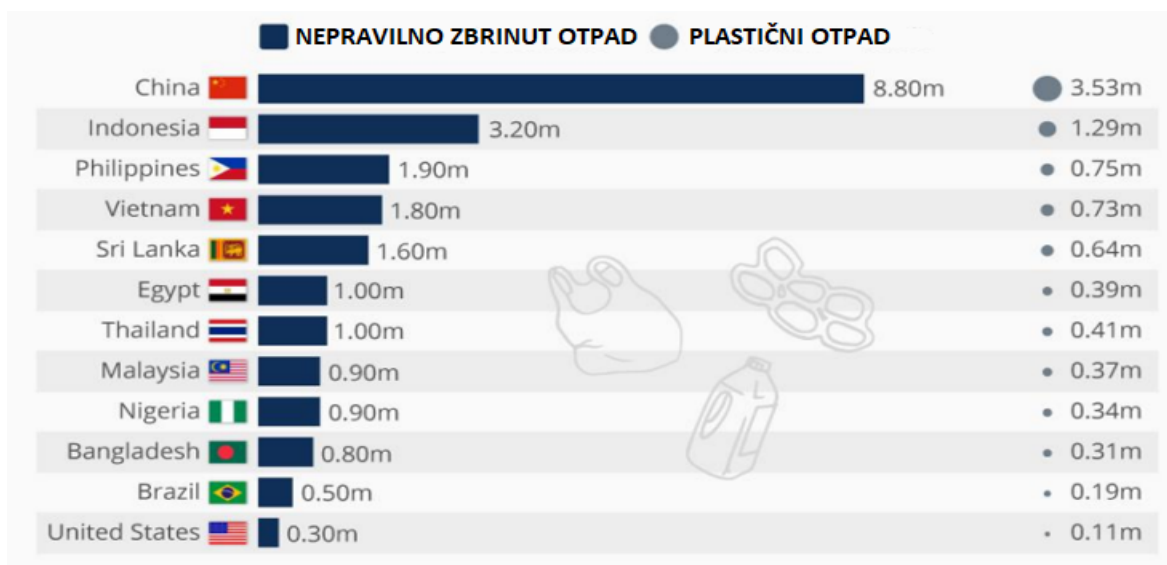
Prisustvo morskog otpada u kombinaciji s drugim faktorima stresa u morskom okolišu (prekomjerni ribolov, obalni razvoj i sl.) može dovesti do propadanja ekosustava (kako kratkoročno tako i dugoročno) i smanjenja otpornosti ekosustava na velike poremećaje u okolišu, poput klimatskih promjena.

Pored prethodno spomenutih negativnih utjecaja morskog otpada na morski okoliš, valja istaknuti kako isti ima socijalne utjecaje uključujući izravne kratkoročne probleme za javno zdravlje i neizravne dugoročne utjecaje na kvalitetu života. Njegova posljedica, mikroplastika, se nakuplja u živim organizmima, uključujući one koje ljudi konzumiraju. Stoga, morski otpad ima neposredan utjecaj na zdravlje ljudi.

2.1. GEOGRAFSKA RASPODJELA MORSKOG OTPADA

Istraživanja su pokazala da je raspodjela morskog otpada neravnomjerna i varira između različitih geografskih područja. Najveće količine otpada obično se nalaze u blizini gusto naseljenih obalnih područja, industrijskih zona i ušća rijeka. Osim toga, klimatski uvjeti i oceanske struje mogu značajno utjecati na geografsku raspodjelu morskog otpada. Na primjer, tropske i suptropske regije često su podložnije akumulaciji otpada zbog svojih specifičnih oceanografskih uvjeta. Oceanske struje mogu prenositi otpad iz jedne regije u drugu, čime se mijenja geografska raspodjela i povećava izazov u rješavanju problema morskog otpada.

Grupa istraživača iz Sjedinjenih Američkih Država i Australije provodila je istraživanje o razinama plastičnog otpada u svjetskim oceanima (slika 6.) [53]. Na prikazu se može vidjeti količina otpada koja dopijeva u morsko okruženje svake godine (plavi kvadratić označava količinu nepravilno zbrinutog plastičnog otpada, dok sivi krug prikazuje koliko tog nepravilno zbrinutog otpada završava u moru). Analiza je otkrila da su Kina i Indonezija vodeći izvori onečišćenja plastičnim bocama, vrećicama i ostalim smećem koje onečišćuje morski ekosustav. Velike količine plastičnog otpada iz tih zemalja ulaze u rijeke i kanale te putem rijeka dopijevaju u oceane. Osim plastičnog otpada, industrijski otpad i otpadne vode također su veliki izvori zagađenja mora u tim regijama. Neadekvatna kontrola i regulacija industrijskih postrojenja, posebno u sektorima poput tekstila, kemikalija i proizvodnje hrane, dovode do ispuštanja štetnih tvari i onečišćenja.



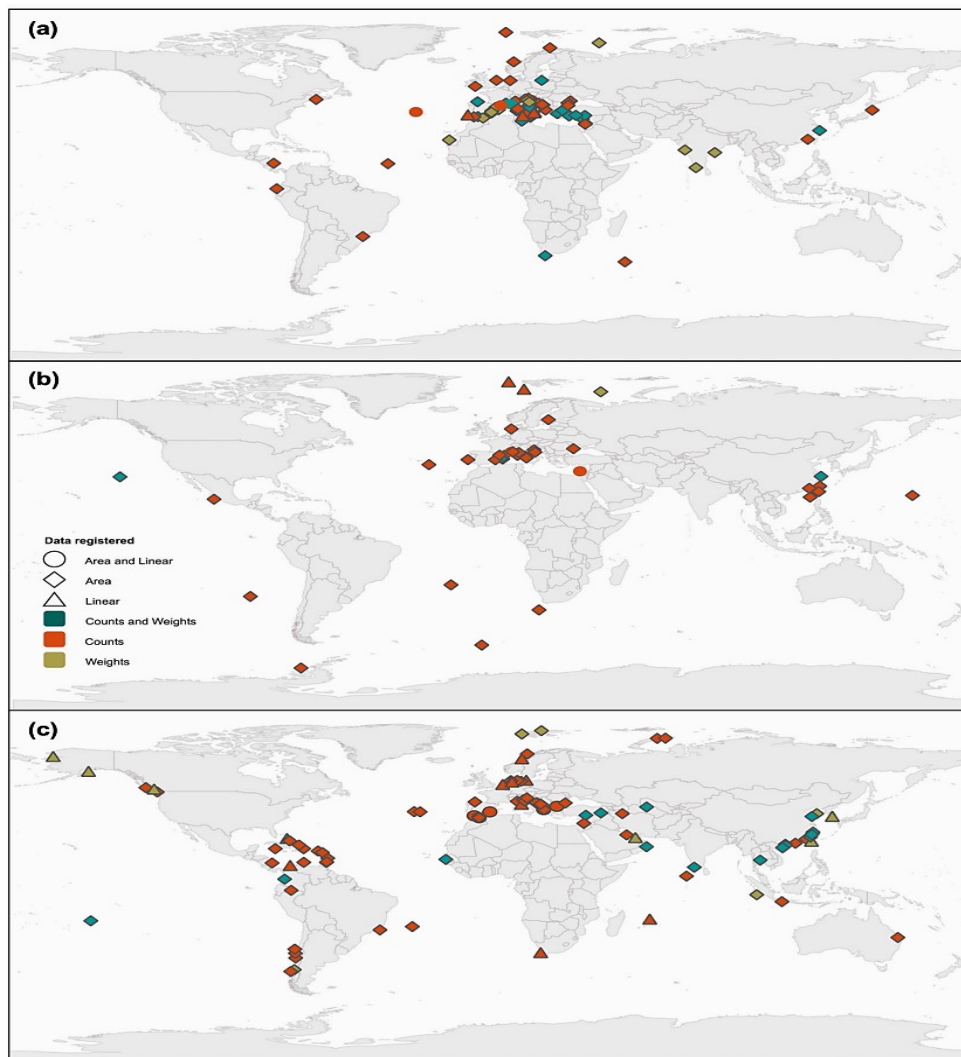
Slika 6. Najveći onečišćivači svjetskih oceana, izraženo u milijunima metričkih tona

Izvor: preuredio student prema [10]

Postoje značajni nedostaci informacija kada je riječ o prostorno-vremenskim trendovima gustoće otpada u različitim regijama diljem svijeta. Podatci iz regija za koje se procjenjuje da nepravilno gospodare najvećim količinama plastičnog otpada su vrlo ograničeni i nedostupni. Takvi nedostaci informacija, uzrokovani geografskim pristranostima, trebaju se adresirati kako bi se identificirale daljnje potrebe za istraživanjem. Nadalje, dostupni podaci obično potječu iz priobalnih područja s malo podataka o koncentraciji morskog otpada na otvorenom moru. Podaci o pelagičkom otpadu uglavnom su ograničeni na površinu mora, uz malo ili nimalo informacija o otpadu dublje u vodenoj koloni (vodenom stupcu i na morskom dnu).

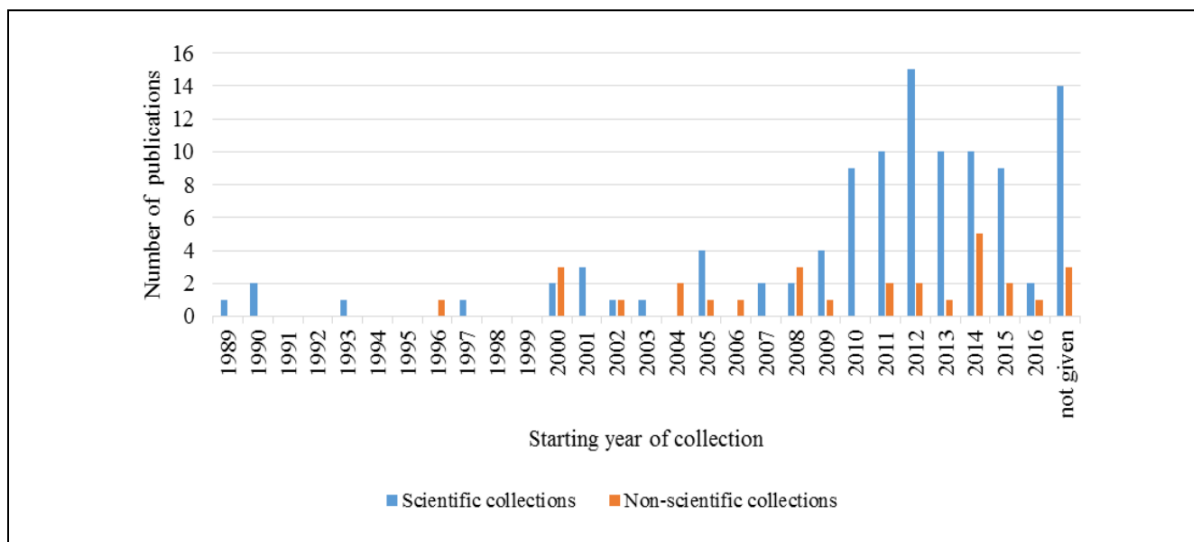
U regijama gdje su dostupni podaci, obično se odnose na priobalna područja. Haarr et al. [11] ističe da su se čak 57% studija o pelagičkom otpadu i 87% studija o otpadu na morskom dnu odvijali unutar 100 km udaljenosti od obale. Podaci o pelagičkom otpadu uglavnom su ograničeni na površinu mora, a samo su dvije od 30 studija o pelagičkom otpadu izmjerile veći otpad dublje u vodenom stupcu. Međutim, postoji općeniti nedostatak korespondencije između procijenjene količine plastike koja ulazi u oceane i procijenjene količine plastičnog otpada na temelju empirijskih podataka, pri čemu se obala i morsko dno navode kao glavna akumulacijska područja.

Analize pregledane literature otkrivaju određene trendove u pogledu regija i zemalja koje su bile fokus istraživanja morskog otpada i objavljivanja radova. Većina studija provedena je u Europi, posebno u mediteranskoj regiji koja je činila značajan dio unesenih podataka. Sjeverna Amerika, uključujući Sjeverni Atlantik i Sjeverni Pacifik, također je značajna regija za istraživanje morskog otpada. Mediteransko more ističe se kao jedno od najistraženijih područja za otpad na morskom dnu, s velikim brojem unesenih podataka. Sjeverni Atlantik i Sjeverni Pacifik također su privukli značajnu pažnju u istraživanju pelagičnog otpada, s primjetnim koncentracijama studija u tim regijama. Većina podataka o otpadu na morskom dnu (81%) odnosi se na sjeverni Atlantik, pri čemu je 65% podataka prikupljeno u Sredozemlju (slika 7a). Sjeverni Atlantik je također najviše istraživan u pogledu pelagičkog otpada (61% podataka), slijedi sjeverni Pacifik s 29% podataka (slika 7b). Slično tome, 58% studija o otpadu na obalama provedeno je u sjevernom Atlantiku, pri čemu je 45% podataka prikupljeno u Sredozemlju (slika 7c). Navedeni podaci (kao i postotci) su izdvojeni iz 148 znanstvenih istraživačkih članaka [11]. Gotovo polovica podataka o gustoći makrootpada u moru objavljenih u stručnim literaturama odnosi se na napušteni otpad na obali. Empirijske studije pelagičkog otpada najmanje su zastupljene.



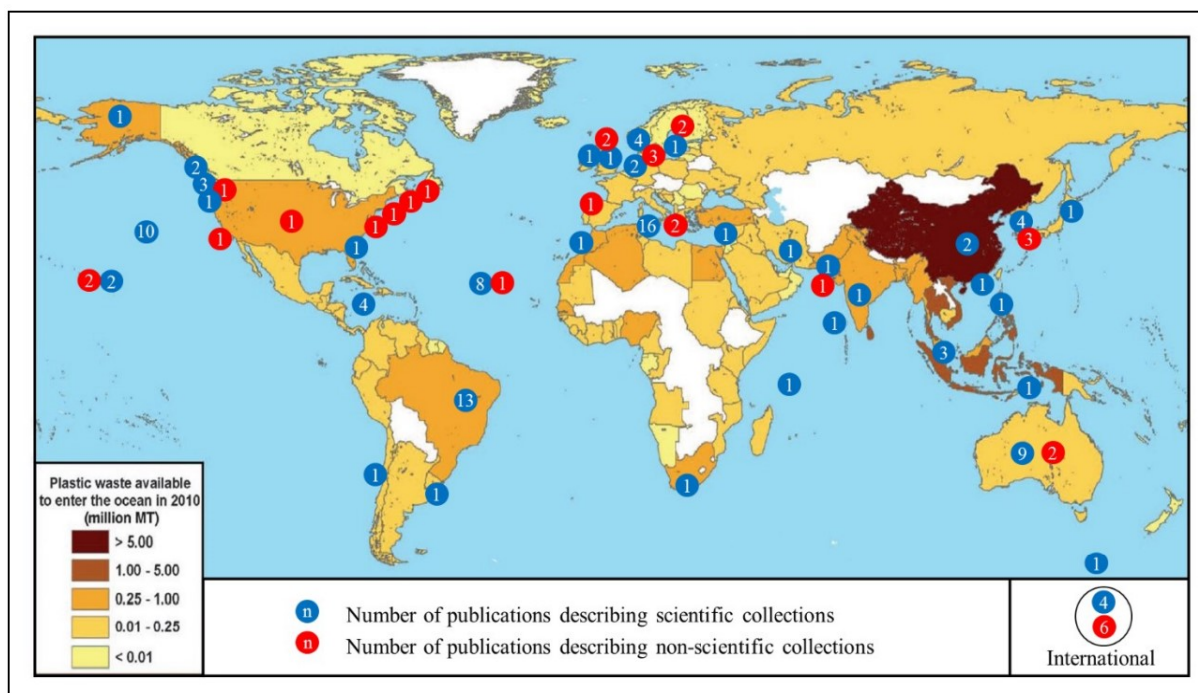
Slika 7. Karte studija koje su uključene u pregled prema zemlji i geografskim područjima mo-ra (tj. unosima) za a) morsko dno, b) pelagički otpad, c) otpad na obali [11]

Prema Schneider et al. [5] na temelju načina prikupljanja dostupne svjetske znanstvene literature o morskom otpadu autori su istu klasificirali u dvije kategorije: znanstvene i nestrukturirane (ne znanstvene) zbirke. Znanstvene zbirke obuhvaćaju studije koje detaljno opisuju strukturirani proces sakupljanja podataka kako bi se omogućila ponovljivost i usporedba rezultata. Nestrukturirane zbirke, s druge strane, uključuju sakupljanje podataka koje nije jasno definirano ili ne slijedi stroge protokole. Ove zbirke često uključuju podatke prikupljene od strane neznanstvenih sudionika ili opću evidenciju morskog otpada bez detaljne metodologije. Ovakva recenzija jasno ima svoje ograničenje u smislu pristupa i baza podataka koje su korištene za pretraživanje literature. Pristup se usredotočuje na prikupljanje morskog otpada, ali ne obrađuje načine obrade otpada.



Slika 8. Znanstvena i ne znanstvena prikupljanja podataka o morskom otpadu tijekom godina [5]

Slika 9. prikazuje položaj pregledanih prikupljanja morskog otpada na svjetskoj karti temeljenoj na Jambeck et al. [13] kako bi se izravno usporedilo porijeklo plastičnog otpada s mjestom prikupljanja. Europa, Sjeverna Amerika i Australija provode velike napore pri prikupljanju, a snažno su zastupljeni i Brazil i Južna Koreja. Znanstveni projekti prikupljanja često se usredotočuju na Sredozemno more, Brazil, Tihi ocean i Australiju, dok se neznanstveni projekti prikupljanja obično provode na sjevernoj hemisferi.



Slika 9. Broj objavljenih publikacija o morskom otpadu diljem svijeta [13]

Sintetiziranje kvantitativnih podataka na globalnoj razini izazovno je kako zbog općeg nedostatka empirijskih podataka u usporedbi s velikim područjima koja su pogođena morskim otpadom, tako i zbog nedostatka standardizacije metoda koje se koriste. Velike geografske razlike u istraživačkim naporima i objavama onemogućuju temeljitu analizu geografskih trendova. Stoga su moguće samo općenite usporedbe, a formalne statističke analize nisu provedene. Shodno tome postoji potreba za uspostavljanjem kompatibilnih nacionalnih i regionalnih baza podataka o morskom otpadu radi dijeljenja podataka s međunarodnom zajednicom. Međunarodna zajednica (u prvom redu *United Nations*) prepoznaje da je smanjenje gustoće plutajućeg plastičnog otpada ključno za održivo korištenje mora i oceana. Međutim, trenutno ne postoji međunarodno prihvaćeni "indeks gustoće" plutajućeg plastičnog otpada.

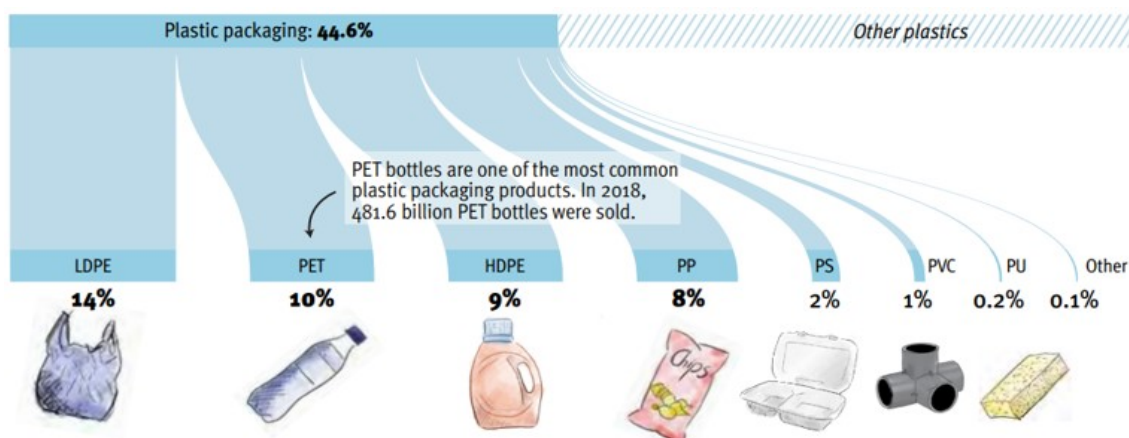
Prema istraživanju provedenom između 2007. i 2013. godine, koje je obuhvatilo 24 ekspedicije, procjene pokazuju da na površini svjetskih oceana plutaju najmanje 5,25 bilijuna čestica plastike što znači da se u svakom četvornom kilometru oceana nalazi čak 46.000 komadića plastike, čija ukupna težina iznosi 268.940 tona [54]. Međutim, važno je napomenuti da značajan dio plastike, čak 90%, završava na dnu oceana. Ovo ukazuje na to da problem plastičnog zagađenja uključuje ne samo vidljivu plastiku na površini, već i velike količine koje se talože na dnu oceana, što ima ozbiljne posljedice za morski ekosustav.

Razumijevanje geografske raspodjele morskog otpada ključno je za identifikaciju prioritetnih područja za intervenciju i razvoj učinkovitih mjera upravljanja. Međunarodna suradnja i razmjena podataka između zemalja od vitalnog su značaja za praćenje i analizu geografske raspodjele otpada te za razvoj globalnih strategija i politika usmjerenih na smanjenje morskog otpada.

2.2. VRSTE I PODJELA PLASTIČNOG OTPADA

Općenito prihvaćena podjela morskog otpada obuhvaća klasifikaciju otpada prema veličini i vrsti materijala. Ova podjela pomaže u razumijevanju različitih kategorija otpada i njihovog utjecaja na morski ekosustav. Osnovne kategorije otpada obuhvaćaju različite materijale poput plastike, metala, stakla, gume, papira i razne vrste krutog materijala. Prema stručnjacima GESAMP-a (eng. *Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection*) [16] ne postoji dogovoreni ili službeni tekst o kategorizaciji plastičnog otpada ili smeća. Plastični otpad prevladava nad svim ostalim vrstama otpada i zbog toga je nužno pružiti detaljniji uvid u različite aspekte povezane s njim, uključujući vrste, predložene veličine, utjecaj na okoliš te dugoročne posljedice.

Među predmetima koji su u cijelosti ili u dijelovima postali otpad, prevladavaju materijali pod zajedničkim nazivom plastika, predstavljeni u 5 glavnih plastomera od ukupno 50-ak postojećih: polietilen, polipropilen, polietilentereftalan, polivinilklorid i polistiren [17]. Plastomeri su najzastupljenija kategorija u cjelokupnom morskom otpadu, čineći više od 90% otpada koji pluta na površini mora.



Slika 10. Najzastupljenija kategorija plastomera [20]

Postoji kontinuirana rasprava o definiciji različitih veličina plastike. Na primjer, Andrady [18] je argumentirao potrebu za tri kategorije veličine: mezoplastika (500 μm - 5 mm), mikroplastika (50-500 μm) i nanoplastika (<50 μm), svaka s vlastitim skupom fizičkih karakteristika i bioloških utjecaja. Veličinske klase predložene od strane Lusher et al. [19]: mega >1 m; macro 25 mm-1 m; meso 5 mm-25 mm i mikro < 5 mm. Plastične čestice veličine 1 μm ili manje nazivaju se nanoplastikom.

Tablica 1. Kategorije veličine plastičnog otpada

PODJELA	RASPONI VELIČINA - GESAMP	VIZUALIZACIJA	TEHNIKA	RASPONI VELIČINA - MSFD
<i>MAKROPLASTIKA</i>	100 – 2.5 cm	Golim okom	Vizualno brojanje	> 2.5 cm
<i>MEZOPLASTIKA</i>	2.5 – 0,1 cm (1000 mikrona)	Golim okom ili optički mikroskop	Neuston mreže ili sito (sito za filtriranje)	0.5 – 2.5 cm
<i>MIKROPLASTIKA</i>	0.1 cm (1000 - 1 mikron)	Optički mikroskop	Mikrofilteri	0.5 cm (5000 – 1 mikron)
<i>NANOPLASTIKA</i>	< 1 mikron	Elektronski mikroskop	Nanofilteri	< 1 mikron

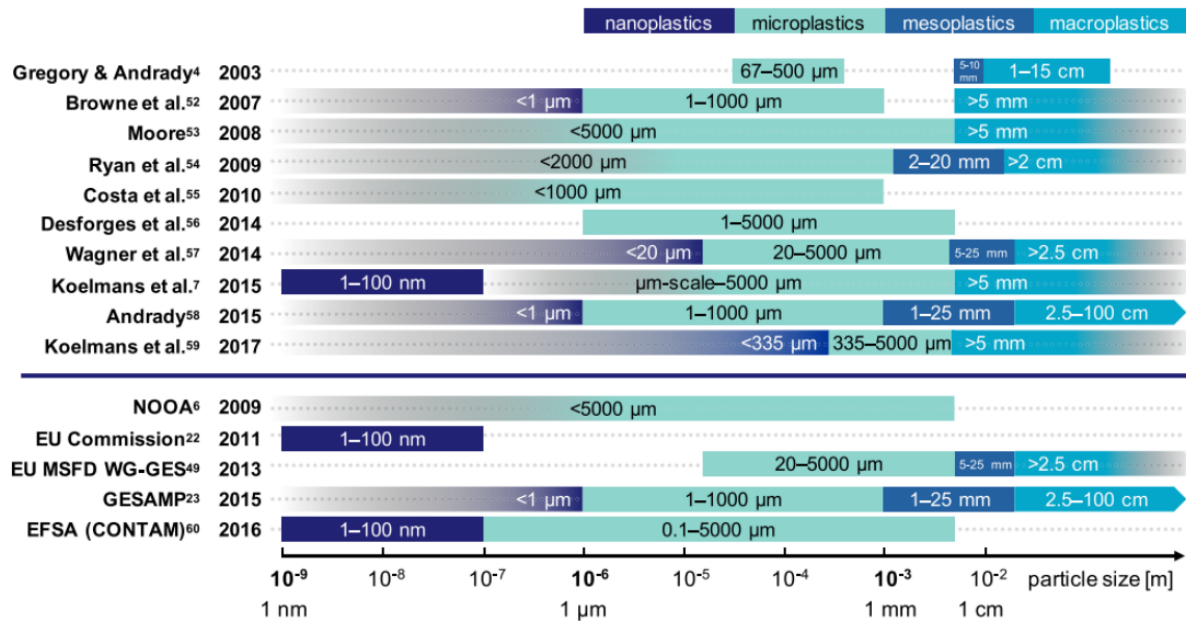
Izvor: izradio student prema [18]

Tablica 2. Sažetak definicija veličina plastičnog morskog otpada i uobičajenih izvora [19]

Kategorija veličine morskog otpada	DIMENZIJE				
	Nano < 0,1 μm	Mikro < 5 mm	Mezo < 2,5 cm	Makro < 1 m	Mega > 1 m
<i>IZVOR</i>	Primarni: nano-plastika Sekundarni: fragmentacija mikroplastike	Primarni: mikroplastika Sekundarni: fragmentacija većih plastičnih predmeta	Izravno i neizravno: uključujući fragmentaciju	Izravno: izgubljeni predmeti iz morskih aktivnosti	Izravno: napuštena oprema Neizravno: otpad na kopnu
<i>PRIMJER</i>	Primarni: industrijske primjene uključujući farmaceutsku industriju i industriju medicinskih uređaja Sekundarni: mikroplastični fragmenti	Primarni: smole u obliku granula Sekundarni: fragmenti i vlakna	Čepovi bočica, plastični fragmenti	Plastične vrećice, hrana i druga pakiranja, plutače za ribolov, bove	Odbačene ribarske mreže i zamke, užad, plastične folije iz poljoprivrede

Izvor: izradio student prema [19]

Važno je istaknuti da su definicije veličine i izvori plastike u morskom okolišu podložni promjenama i različitim tumačenjima ovisno o istraživačkim pristupima i kontekstu istraživanja. Stoga je potrebno kontinuirano praćenje i usklađivanje definicija kako bi se omogućila usporedba rezultata istraživanja i razumijevanje utjecaja plastike na morski okoliš. Slika 11. najbolje prikazuje razliku kategorizacije plastičnih otpadnih materijala prema veličini kako se primjenjuju (i/ili definiraju) u znanstvenoj literaturi i institucijskim izvješćima.



Slika 11. Primjeri razlika u kategorizaciji plastičnih otpadnih materijala prema veličini [21]

Nanoplastika je podkategorija mikroplastike stvorena degradacijom. Zbog izuzetno male veličine, nanoplastika ulazi u prehrambeni lanac kada ih morski organizmi progutaju. Gigault et al. [22] definiraju nanoplastiku kao "čestice koje se nenamjerno proizvode (tj. tijekom degradacije i proizvodnje plastičnih predmeta) i koje imaju koloidno ponašanje". Koloidno se odnosi na stanje u kojem se čestice tvari raspršuju na mikroskopskoj razini u drugoj supstanci. U kontekstu nanoplastika, koloidno ponašanje odnosi se na njihovu sposobnost da ostanu suspendirane i interakciju s drugim tvarima u okolišu.

Mikroplastika se kategorizira kao primarna i sekundarna. Smatra se kako je udio primarne mikroplastike u okolišu vjerojatno mali u usporedbi s sekundarnom mikroplastikom. Primarna mikroplastika namjerno se proizvodi kao mali komadići plastike (npr. kozmetički proizvodi, abrazivi za zračno čišćenje ili plastične granule namijenjene za predproizvodnju). Sekundarna

mikroplastika predstavlja rezultat trošenja ili fragmentacije većih predmeta (makroplastike), kako tijekom korištenja, tako i nakon gubitka u okoliš (poput vlakana tekstila i užadi, trošenja i fragmentacije većih otpadnih predmeta, trošenja guma vozila, otpadanja boje). To su manji dijelovi koji se stvaraju kao posljedica raspadanja većih predmeta ili materijala u okolišu [2]. Kada se izvještava o obliku mikroplastika, istraživači obično koriste pet glavnih kategorija. Mikroplastike se obično kategoriziraju prema njihovom obliku u fragmente (tvrde mikroplastike s nepravilnim oblikom), folije (membranastu mikroplastiku), pelete (sferičnu mikroplastiku) i vlakna (žičanu mikroplastiku). Međutim, nazivi i metode klasifikacije tih oblika nisu usklađeni [23].

Tablica 3. Kategorije koje se koriste pri klasifikaciji mikroplastika prema obliku

KLASIFIKACIJA OBLIKA	OSTALI KORIŠTENI POJMOVI
<i>Fragmenti (eng. Fragments)</i>	Nepravilno oblikovane čestice, kristali, vlakna, prah, granule, strugotine, listići, folije
<i>Vlakna (eng. Fibres)</i>	Filamenti, mikrovlakna, niti
<i>Zrnca (eng. Beads)</i>	Zrnca, sferične mikroperle, mikrosfere
<i>Pjene (eng. Foams)</i>	Polistiren, ekspanzirani polistiren
<i>Granule (eng. Pellets)</i>	Smolne granule, "nurdles", granule predproizvodnje, komadići

Izvor: izradio student prema [19]

Kada mikroplastika dospije u ocean, njezina sudbina u okolišu uglavnom ovisi o gustoći polimera kojeg čini (tablica 4.). Gustoća polimera utječe na njihovu plovnost, tj. sposobnost da plutaju ili potonu u vodi. Polimeri koji imaju veću gustoću od morske vode ($> 1,027 \text{ kg/cm}^3$), poput polivinilklorida (PVC), će potonuti, dok će polimeri s nižom gustoćom, kao što su polietilen (PE) i polipropilen (PP), imati tendenciju da plutaju u vodenom stupcu.

Tablica 4. Specifična gustoća mikroplastika [19]

VRSTA PLASTIKE	UOBIČAJENA PRIMJENA	SPECIFIČNA TEŽINA²
<i>Polietilen</i>	Plastične vrećice, spremnici	0,91–0,95
<i>Polipropilen</i>	Konopi, čepovi bočica, ribolovna oprema, trake	0,90–0,92
<i>Polistiren (ekspanzirani)</i>	Rashladne kutije, plutače, čaše	1,01–1,05
<i>Polistiren</i>	Pribor za jelo, spremnici	1,04–1,09

² Specifična težina je omjer gustoće materijala i gustoće čiste vode pri 4°C.

<i>Polivinilklorid</i>	Folija, cijevi, spremnici	1,16–1,30
<i>Poliamid ili najlon</i>	Ribarske mreže, konopi	1,13–1,15
<i>Polietilen tereftalat</i>	Boce, trake, tekstil	1,34–1,39
<i>Poliesterska smola + staklena vlakna</i>	Tekstil, brodovi	>1,35
<i>Celuloza acetat</i>	Filteri za cigarete	1,22–1,24

Izvor: izradio student prema [19]

Nekoliko publikacija je dokumentiralo boje prikupljenih mikroplastika. Najčešće spominjane boje u istraživanjima uključuju prozirnu, bijelu, plavu i crnu boju. Ne postoje jasni standardi za bilježenje boja mikroplastika, stoga rezultati mogu biti subjektivni. Tablica 5. prikazuje sintezu prethodno navedenih kategorija za opisivanje izgleda mikroplastike.

Tablica 5. Kategorije koje se koriste - za opisivanje izgleda mikroplastike

Veličina	Zabilježena veličina svakog predmeta. Veličine se mjeru u mikrometrima μm
Vrsta	Plastični fragmenti, granule, filamenti, plastične folije, pjene od plastike, granule i stiropor
Oblik	Za granule: cilindrične, diskaste, ravne, ovalne, sferuloidne Za fragmente: zaobljene, podatno zaobljene, podatno kutne, kutne Općenito- nepravilne, izdužene, razgrađene
Boja	Prozirna, kristalna, bijela, prozirno-bijelo-kremasta, crvena, narančasta, plava, neprozirna, crna, siva, smeđa, zelena, roza, žuta

KATEGORIJE ZA MIKROPLASTIKU	
Materijal	Opis
Plastika	Plastični fragmenti zaobljeni
	Plastični fragmenti podatno zaobljeni
	Plastični fragmenti podatno kutni
	Kutni plastični fragmenti
	Cilindrične plastične granule
	Diskaste plastične granule
	Ravne plastične granule
	Ovalne plastične granule
	Sferuloidne plastične granule
	Plastični filamenti
	Plastične folije
	Pjena od plastike
	Plastične granule
	Stiropor
Ostalo	Ostalo (staklo, metal)

Izvor: izradio student prema [15]

Makroplastika je velika plastična tvar koja je vidljiva golim okom. Ista obuhvaća vidljive plastične predmete poput plastičnih vrećica, boca za vodu i mreža. Makroplastika obično nije lako probavljiva za morske organizme zbog svoje veličine, pa je manje vjerojatno da će ući u

prehrambeni lanac na isti način kao mikroplastika. Ipak, razgradnja makroplastike oslobađa mikroplastiku - proces razgradnje makroplastike uključuje fizičko i kemijsko trošenje, što rezultira fragmentacijom i oslobađanjem mikroplastike. Osim toga, ovi predmeti mogu dugotrajno ostati u okolišu, sporije se razgrađuju i mogu predstavljati opasnost za morske organizme. Prisutnost makrootpada u morskom okolišu stvara različite ekološke, ekonomske i društvene izazove. Može uzrokovati fizičke ozljede i zapletanje morskih životinja, što dovodi do ozljeda, gušenja i smrti. Sve ove razloge čini važnim rješavanje problema makrootpada i poduzimanje mjera za smanjenje njegovog nastanka i nakupljanja u morskom okolišu. Važnost rezultata programa praćenja koji se provode radi procjene otpada (posebno makroplastike) u različitim regionalnim morima i u različitim komponentama morskog okoliša (plaža, morsko dno, površina mora itd.) može se povećati ako se koristi standardizirani popis predmeta otpada kao osnova za izradu protokola procjene.

2.3. IZVORI ONEČIŠĆENJA MORSKIM OTPADOM

Ulazak morskog otpada i onečišćenja plastikom u morsko okruženje i njihovo kretanje unutar njega su detaljnije proučeni u posljednjim godinama nego ikad prije. Postignut je značajan napredak u razumijevanju načina na koje se morski otpad i plastika šire i kreću unutar morskog okoliša, kao i njihova distribucija. Morski otpad može se u osnovi podijeliti na izvore koji potječu s kopna i izvore koji potječu iz samog mora. To znači da se otpad može generirati na kopnu i prenositi u more putem rijeka, obalnih aktivnosti i drugih kopnenih izvora. Takav otpad koji potječe s kopnenih izvora čini 80% ukupnog onečišćenja morskim plastikom. Procjenjuje se da svakodnevno globalno u oceane završava 8 milijuna tona plastičnog otpada, pri čemu samo 1% plastičnog otpada pluta na površini mora [26]. Metali i staklo/keramika također značajno doprinose onečišćenju i općenito čine najveći postotak otpada nakon plastike, dok ostale vrste otpada zajedno doprinose manjim postotcima. S druge strane, izvori otpada s mora uključuju otpad koji se formira izravno u morskom okolišu, kao što su otpad iz pomorskih aktivnosti i otpad koji se baca s plovila. Ova podjela pomaže u razumijevanju različitih izvora morskog otpada i pristupima koji se mogu poduzeti u njegovom upravljanju.

Prema Van Truong i Ping [24] većina morskog otpada i onečišćenja plastikom potječe iz izvora na kopnu. Ovi izvori uključuju poljoprivredu (npr. cijevi za navodnjavanje, zaštitne mreže, pokrivače staklenika, spremnike, ograde, pelete za dostavu kemikalija i gnojiva),

građevinarstvo (npr. cijevi, boje, podne obloge, krovni materijali, izolacijski materijali i brtve), prijevoz (npr. abrazija guma) te različite proizvode za osobnu njegu, farmaceutsku i zdravstvenu njegu, uključujući osobnu zaštitnu opremu korištenu tijekom pandemije COVID-19. [25].

Načelno glavni izvori onečišćenja s kopna navode se gradovi, posebno veći urbani centri, kanalizacija i otpadne vode iz industrije, kućanstva i komercijalnih objekata. Prometna vozila također predstavljaju značajan izvor onečišćenja mora s kopna jer emitiraju štetne plinove i čestice iz izgaranja goriva. Ti zagađivači mogu se ispuštati, a zatim se talože na tlu i površinskim vodama. Kroz proces erozije i ispiranja kišom, ova onečišćenja mogu se prenijeti do mora [2].

S obzirom na predviđeni porast proizvodnje plastike i njezinu buduću upotrebu, očekuje se da će otpad od plastike i protok plastike iz kopnenih izvora prema morskom okruženju nastaviti rasti. Otpad i plastika generirana na kopnu može dospjeti do oceana putem kućne odvodnje, sustava otpadnih voda, uličnih odvodnih kanala, loše upravljanih odlagališta otpada, otjecanja s poljoprivrednih tla ili transportom zrakom. Rijeke igraju važnu ulogu u prijenosu otpada do oceana. One djeluju kao prirodni kanali koji sakupljaju otpad s kopna i prenose ga nizvodno prema obalnim područjima i naposljetku u more. Važno je istaknuti da se prijenos morskog otpada rijekama ne ograničava samo na velike rijeke. Čak i manji vodotoci i potoci mogu prenositi otpad u obalna područja. Male urbane rijeke često su identificirane kao jedan od glavnih izvora onečišćenja. Također se procjenjuje da 1000 rijeka čini 80% godišnjih otpuštanja plastičnog otpada u oceane u istraživanju provedenog od Lourens J. J. et al. [27]. Stoga je praćenje i upravljanje otpadom na razini rijeka ključno za smanjenje unosa otpada u morsko okruženje i očuvanje morskih ekosustava.



Slika 12. Rijeke kao glavni prijenosnici otpada i plastičnog onečišćenja u mora [2]

Udio plastike koja dolazi iz morskih aktivnosti (npr. ribarstvo i pomorski promet, rekreacija) nije poznat, ali se procjenjuje da čini oko 20% ukupne plastike koja završava u oceanu [28]. Morski otpad iz aktivnosti koje se odvijaju na moru nastaje iz više izvora. Ti izvori u prvom redu uključuju ribolovne i akvakulturne aktivnosti, pomorski transport i plovidbu, istraživanje i proizvodnju energije na moru, rekreativno brodarstvo i turizam, odlaganje otpada na moru i slično.

Otpad iz teretnih prostora, poput plastičnih folija i kutija, predstavlja samo neke od mnogobrojnih otpadnih predmeta koji završavaju u morskom okruženju zbog trgovačkih brodova i kruzera. Ti predmeti često nehotice završavaju u moru uslijed nepravilnog rukovanja ili nepovoljnih vremenskih uvjeta.

Također se smatra da je pomorska industrija primarni izvor mikroplastike jer redovito čišćenje trupova brodova pomoću plastičnih abraziva rezultira visokim razinama mikroplastike koja se direktno ispušta u ocean [16].

Velike količine plastičnog otpada stvaraju se u akvakulturi iz nekoliko razloga. Prvo, materijali koji se koriste, poput plastičnih mreža, cijevi i spremnika, podložni su oštećenjima i habanju tijekom korištenja. To rezultira fragmentacijom materijala i otpuštanjem mikroplastike u okoliš. Drugo, plastični materijali se često koriste kao ambalaža za hranu i opremu u

akvakulturi, što može dovesti do završetka tih materijala kao otpada koji zagađuje okoliš. Treće, plastični materijali se koriste za izgradnju plutajućih platformi, ograda i drugih infrastrukturnih elemenata u akvakulturi, te se nakon oštećenja ili nepotrebnosti pretvaraju u otpad koji završava u moru. Kombinacija ovih faktora rezultira povećanim prisustvom plastičnog otpada u morskom okolišu.



Slika 13. Akumulacija otpada i masnoće oko kaveza [55]

Mikroplastika i makroplastika koja ulazi u mora i ocean dolazi iz različitih izvora na kopnu i u moru. Tablica 6. pruža sažetak glavnih sektora identificiranih izvora, vrsta plastičnih proizvoda ili otpada, tipičnih ulaznih točaka kao i razinu saznanja o istim. Saznavanje o morskom otpadu uključuje temeljito proučavanje izvora, načina ulaska u morske ekosustave i karakteristika samog otpada.

Tablica 6. Identificirani sektori izvora onečišćenja plastikom s opisom

Kategorija	Sektor izvora	Opis	Ulazne točke	Saznanje
<i>Proizvođači</i>	Proizvođači plastike, obrtnici i recikleri	Fragmenti	Rijeke, obalno područje, atmosfera	Visoko
<i>Potrošači u sektoru</i>	Poljoprivreda	Oprema za staklenike, cijevi, posude, gnojivo	Rijeke, obalno područje, atmosfera	Nisko
	Ribarstvo	Ribarska oprema, ambalaža	Rijeke, obalno područje, atmosfera	Srednje
	Akvakultura	Bove, konopi, mreže, PVC cijevi	Rijeke, obalno područje, more	Srednje
	Građevinska industrija	Ekspandirani polistiren, ambalaža	Rijeke, obalno područje, atmosfera	Nisko
	Kopneni promet	Gume	Rijeke, obalno područje, atmosfera	Srednje
	Pomorska/Off-shore industrija	Boje, cijevi, plastika za čišćenje, teret	Rijeke, more	Srednje
	Turizam	Potrošačka roba, ambalaža, tekstil	Rijeke, obalno područje, more	Visoko
	Tekstilna industrija	Vlakna	Rijeke, obalno područje, atmosfera	Nisko
	Sport	Sintetička trava	Rijeke, obalno područje, atmosfera	Nisko
	<i>Individualni potrošači</i>	Jednokratna ambalaža hrane i pića	Posude, plastične vrećice, boce, čepovi, čaše, tanjuri, slamke, žlice, itd.	Rijeke, obalno područje
Kozmetika i proizvodi za njegu		Mikročestice, ambalaža, četkice za zube, itd.	Rijeke, obalno područje, more	Srednje
Tekstil i odjeća		Vlakna	Rijeke, obalno područje, atmosfera, more	Srednje
<i>Upravljanje otpadom</i>	Kruti otpad	Nesustavno i loše upravljano odlaganje otpada	Rijeke, obalno područje, atmosfera	Srednje
	Voda i otpadne vode	Mikročestice, fragmenti, vlakna	Rijeke, obalno područje	Srednje

Izvor: izradio student prema [16]

Znanstvenici i organizacije provode istraživanja i sustavno praćenje kako bi procijenili obujam, raznolikost i utjecaj morskog otpada. Ova saznanja igraju ključnu ulogu u razvijanju strategija za sprječavanje, smanjenje i naposljetku uklanjanju otpada kako bi se umanjili negativni učinci na morske ekosustave i živi svijet koji ih naseljava. Nadalje, pravni okviri igraju značajnu ulogu u nadzoru morskog otpada, pružajući strukturiranu regulativu i smjernice za upravljanje ovim problemom.

2.4. STANDARDIZACIJA MORSKOG OTPADA

Korištenje standardnog popisa predmeta otpada olakšava usporedivost rezultata između različitih studija i omogućava stvaranje zajedničke baze podataka. Ovo je važno jer omogućava praćenje trendova i usporedbu rezultata na regionalnoj i globalnoj razini. Također olakšava identifikaciju ključnih izvora otpada i usmjeravanje prioriteta za mjere smanjenja otpada. Standardizirani popis predmeta otpada trebao bi obuhvaćati različite vrste otpada, kao što su plastika, staklo, metal, drvo i biološki otpad. Svaka kategorija otpada trebala bi biti dalje podijeljena na specifične predmete, poput plastičnih boca, konzervi, ribarskih mreža i drugih uobičajenih predmeta koji se mogu naći u moru. Osim toga, popis bi trebao biti fleksibilan i prilagodljiv kako bi se mogao ažurirati i proširivati prema potrebi.

Koristeći standardizirani popis predmeta otpada, istraživači, znanstvenici i upravitelji resursa mogu uspostaviti konzistentne protokole za prikupljanje podataka i procjenu stanja otpada u morskom okolišu. To omogućava usporedbu rezultata između različitih studija i regija, te pruža temelj za razumijevanje opsega i vrsta otpada prisutnog u moru. S obzirom na kompleksnost morskog otpada i potrebu za koordiniranim pristupom u praćenju, usvajanje standardiziranog popisa predmeta otpada kao osnova za protokole procjene od vitalnog je značaja za napredak u praćenju, upravljanju i smanjenju morskog otpada. Ovo bi trebalo biti podržano suradnjom među zemljama, istraživačima i relevantnim dionicima kako bi se osigurala dosljednost i kvaliteta podataka te napredak u postizanju održivijeg morskog okoliša.

Master popis (eng. *Master List*) za morski otpad je sveobuhvatni popis različitih vrsta morskog otpada koji su identificirani i kategorizirani u svrhu praćenja onečišćenja mora u europskim vodama. Služi kao standardni referentni alat koji olakšava prikupljanje, klasifikaciju i analizu podataka o morskom otpadu. Master popis obuhvaća širok raspon predmeta morskog otpada, poput plastičnih ostataka, ribolovne opreme, ambalažnog materijala i drugih vrsta otpada koji se često nalaze u morskom okolišu. Svaki predmet na popisu ima jedinstveni kod i opis, omogućavajući dosljedno izvještavanje i usporedbu podataka iz različitih programa praćenja i regija. Objavljen je 2013. godine od strane Tehničke grupe za morski otpad (Technical Group on Marine Litter) Okvirne direktive o strategiji za morski okoliš (Marine Strategy Framework Directive) Europske unije.

Tablica 7. Primjer (izvadak) iz Master popisa kategorija predmeta otpada [15]

Master List of Categories of Litter Items										
TSG_ML General-Code	OSPAR-Code	UNEP-Code	General Name	Level 1 - Materials	Core	Beach	Seafloor	Floating	Biota	Micro
G1	1	PL05	4/6-pack yokes, six-pack rings	Artificial polymer materials	x	x				
G2		PL07	Bags	Artificial polymer materials	x		x	x		
G3	2	PL07	Shopping Bags incl. pieces	Artificial polymer materials		x				
G4	3	PL07	Small plastic bags, e.g. freezer bags incl. pieces	Artificial polymer materials		x				
G5	112		Plastic bag collective role; what remains from rip-off plastic bags	Artificial polymer materials		x				

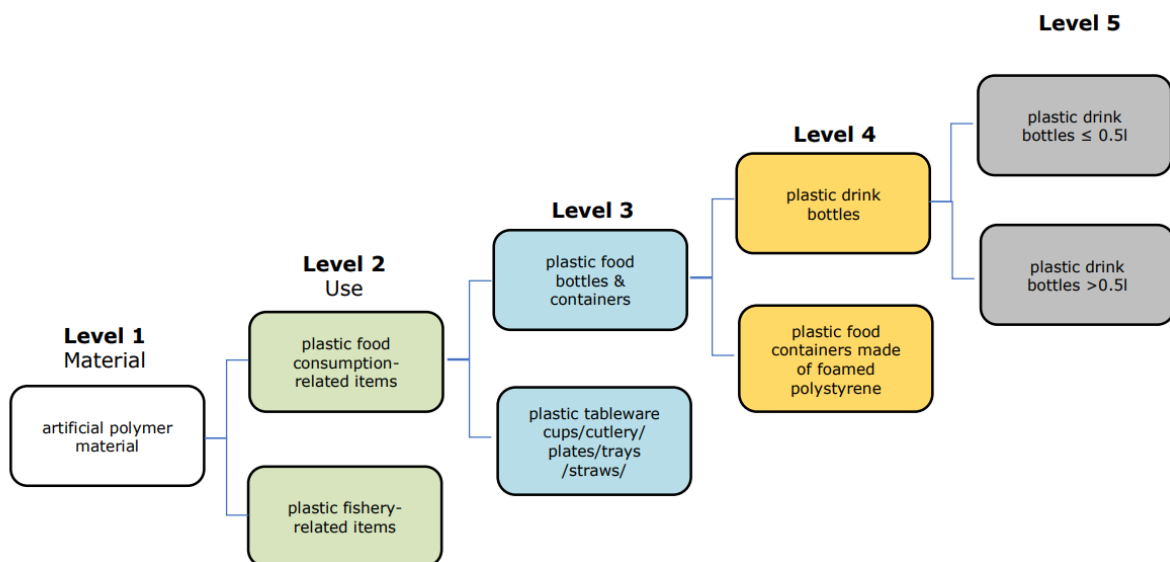
Master popis je kombinirao vrste otpada s različitih popisa praćenja morskog otpada (OSPAR - Konvencija za zaštitu morskog okoliša sjeveroistočnog Atlantika, ICES - Međunarodni savjet za istraživanje mora, UNEP - Program Ujedinjenih naroda za okoliš, itd.) u jedan. Master List je razvijen na temelju kategorija predmeta korištenih u nizu drugih programa i projekata za: otpad na plaži, plutajući otpad, otpad na morskom dnu i za mikrootpade [15].

Master lista se sastoji od više kategorija i podkategorija. U nekim verzijama Master liste može biti podijeljena na 8 glavnih kategorija s različitim podkategorijama unutar svake kategorije. Konačna Master lista sastoji se od preko 200 stavki [15].

Na temelju iskustva stečenog korištenjem Master popisa izrađen je drugi, odnosno aktualni Zajednički popis (eng. *Joint List*) koji pruža ažuriranu, precizniju i podešenu listu predmeta otpada koji se nalaze u obalnom i morskom okolišu. Sukladno tome, *MSFD TGML* je u suradnji s državama članicama EU-a razvila Zajednički glavni popis kategorija morskog otpada [12]. Popis je usklađen s Odlukom Komisije (EU) 2017/848 (EU 2017), koja utvrđuje kriterije i metodološke standarde za postizanje dobrog ekološkog stanja morskih voda te specifikacije i standardizirane metode za praćenje i procjenu. Ovaj popis pruža sveobuhvatan pregled vrsta otpada koje se javljaju u obalnom i morskom okolišu. Taj sveobuhvatni popis može se koristiti za omogućavanje usporednog praćenja morskog otpada u europskim morima i šire, kao i u različitim dijelovima morskog okoliša. Zajednički popis u velikoj mjeri se temelji na svom prethodniku, Master popisu. Isti je namijenjen praćenju makrootpada [14].

Zajednički popis sastoji se od 9 glavnih kategorija: umjetni polimerni materijali - plastika (eng. Artificial polymer materials), kemikalije (eng. Chemicals), tkanina i tekstil (eng. Cloth/textil), staklo i keramika (eng. Glass/ceramics), metali (eng. Metals), organski otpad hrane (eng. Organic food waste), papir i karton (eng. Paper/cardboard), prerađeno/obrađeno drvo (eng. Processed/worked wood) i guma (eng. Rubber). Trenutno se na zajedničkom popisu nalazi 257 različita tipa podkategorija i otpada.

Zajednički popis oslanja se na hijerarhijskom sustavu, što znači da se otpadni predmeti opisani različitim razinama detalja mogu bilježiti i analizirati. Najniža razina detalja je vrsta materijala od kojeg je napravljen otpadni predmet, dok najviša razina detalja može uključivati veličinske razrede pojedinačnih otpadnih predmeta, poput plastičnih boca s volumenom manjim ili većim od 0,5 l, prikazano u nastavku.



Slika 14. Primjer različitih razina hijerarhijskog sustava iz Joint liste za klasifikaciju plastičnih boca [14]



Materijalne klase se usklađuju s kategorijama definiranim prethodno spomenutom Odlukom Komisije, osim za kategoriju "nedefinirano" jer se svi predmeti trebaju pripisati određenoj kategoriji otpada unutar materijalnih klasa. Svaka kategorija otpada ima jedinstveni tip-kod, sastavljen od niza slova i brojeva, koji označava razinu detalja. Ovaj pristup omogućuje precizno bilježenje i praćenje različitih vrsta makrootpada u morskom okolišu. Primjenom hijerarhijskog sustava, može se zabilježiti i analizirati širok raspon informacija o otpadu, uključujući vrstu materijala, veličinu predmeta i druge relevantne karakteristike. Ova lista ima važnu ulogu u standardiziranju postupka klasifikacije otpada kako bi se osigurala dosljednost i

usporedivost rezultata između različitih istraživačkih projekata i područja. To omogućuje stvaranje cjelovite slike o stanju i distribuciji makrootpada te identifikaciju glavnih izvora i vrsta otpada koji zagađuju morsko okruženje.

Tablica 8. Primjer kategorije materijala s pripadajućim slovnim oznakama i opisom iz Joint liste [14]

Type Code	Material Category	Description
ch_	chemicals	Persistent chemicals, which occur as lumps, puddles and balls, e.g. tar balls of different sizes. In field surveys, without chemical analysis, they can only be categorised according to their appearance.
ct_	clothes/textile	Objects and fragments made of fabric, including those made partially or completely of artificial polymer fibres.
fw_	food waste (organic)	Food waste of anthropogenic origin, such as treated and cooked food, fruit and vegetables, but not naturally occurring fruits.
gc_	glass/ceramics	Objects and their fragments, made of glass or ceramic material.
pl_	artificial polymers/plastic	Artificial polymer material, often referred to as plastic, including all types of anthropogenic polymer material, excluding objects attributed to the cloth/textile or the rubber fraction.
pp_	paper/cardboard	Cellulose based man-made objects, paper, cardboard and similar items and their fragments.
ru_	rubber	Objects and fragments made of rubber, including those that are rubber-like or are typically considered to be made of rubber, e.g. rubber boots, tyres.
wo_	processed/worked wood	Worked and/or treated wood, i.e. sawn, planed, painted, impregnated, coated wood, or wood with nails, screws, etc.

Kako morski otpad može imati različite oblike, vrste, stupnjeve degradacije i fragmentacije, nije uvijek jednostavno pripisati predmete određenoj kategoriji. Kako bi se olakšalo pripisivanje, *MSFD TGML* je razvio "Online fotokatalog zajedničkog popisa kategorija otpada".

JC No.	J_Code	Type_Code	SUP/Fishing	Name	Definition	Image
1	J1	pl_fc_sxp_	SUP	Plastic 4/6-pack yokes & six-pack rings	Four or six-pack rings or yokes are a set of connected plastic rings that are used in multi-packs of drinks, particularly of drinks cans, to hold the cans together.	
3	J3	pl_nn_bag_cabg_	SUP	Plastic shopping/carrier/grocery bags	Shopping bags are medium-sized bags, typically around 10-20 litres in volume (though much larger versions exist, especially for non-grocery shopping), that are used by shoppers to carry home their purchases. Shopping bags can be made with a variety of plastics.	

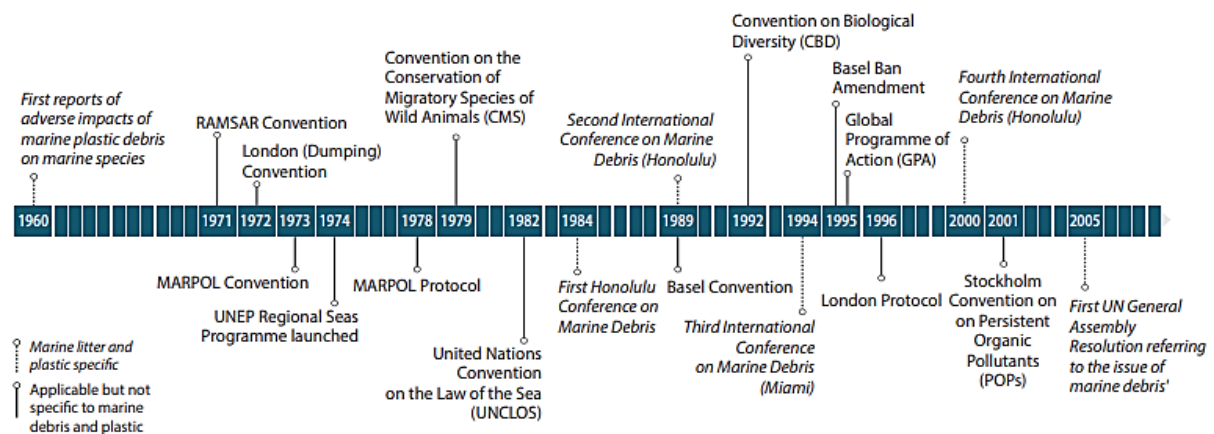
Slika 15. Primjer iz online fotokataloga Zajedničkog popisa kategorija otpada [14]

Katalog, prikazan na slici 15. sadrži više slika za svaku kategoriju otpada na Zajedničkom popisu. Slike prikazuju raznolike predmete ili fragmente koji se mogu pripisati određenoj kategoriji otpada. Ovaj katalog je dinamičan projekt i planira se proširiti kako bi obuhvatio što više predmeta u budućnosti.

Ovakav sustav klasifikacije za praćenje morskog otpada ima za cilj osigurati dosljednost, kompatibilnost, standarde nadzora i usporedivost prikupljenih podataka o praćenju otpada u svim morskim okolišnim komponentama. Osim toga, ovaj pristup i lista mogu se koristiti i na globalnoj razini kako bi se postigla veća harmonizacija praćenja makrootpada [14].

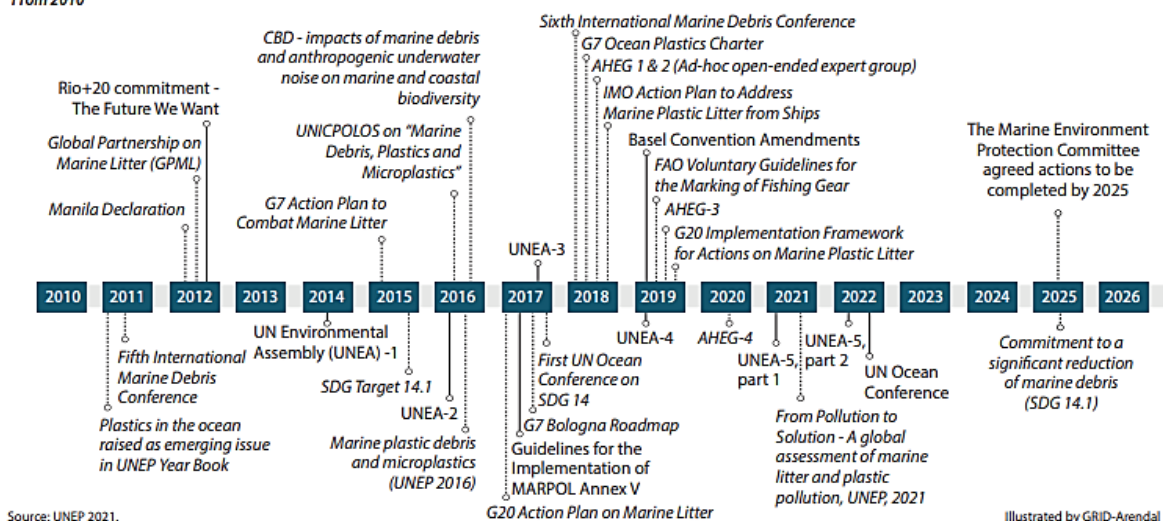
3. PRAVNI OKVIRI ZA NADZOR MORSKOG OTPADA

Pravni okviri za nadzor morskog otpada su zakonodavni instrumenti i međunarodni sporazumi koji reguliraju upravljanje i nadzor nad morskim otpadom. Njihova svrha je promicanje zaštite morskog okoliša i sprječavanje daljnjeg zagađenja. Razni sporazumi i protokoli definiraju opseg pravno obvezujućeg međunarodnog okvira upravljanja kojim se državama omogućava jačanje mehanizama za zaštitu morskog okoliša. Politički odgovori na onečišćenje plastikom i morskim otpadom rastu i obuhvaćaju širok raspon mjera, od globalnih instrumenata do regionalnih akcijskih planova poput Regionalnog plana upravljanja morskim otpadom u Mediteranu, te zabrana određenih proizvoda (npr. jednokratne plastične vrećice) na lokalnoj ili nacionalnoj razini. Slika 16. pruža koristan pregled ključnih međunarodnih instrumenata i njihovu evoluciju. U nastavku su sažeto opisani neki od najvažnijih.



Timeline for selected international marine litter and plastic pollution initiatives, laws and policies

From 2010



Source: UNEP 2021.

G20 Action Plan on Marine Litter

Illustrated by GRID-Arendal

Slika 16. Vremenska crta za morski otpad i globalne inicijative, zakone i politike od 1960. godine [2]

Konvencija Ujedinjenih naroda o pravu mora (eng. *United Nations Convention on the Law of the Sea*) najopsežniji je međunarodni instrument koji se odnosi na zagađenje morskim otpadom. To je pravni okvir koji regulira sve aktivnosti na moru, kao i aktivnosti koje mogu izazvati zagađenje mora, te uspostavlja opće principe i pravila za globalno upravljanje morima. Ova Konvencija jedini je obvezujući okvir koji zahtijeva od zemalja da usvoje propise radi sprječavanja, smanjenja i kontrole zagađenja iz izvora na moru i kopnu koji mogu dospijevati u morsko okruženje. Dio XII UNCLOS-a sadrži odredbe za zaštitu morskog okoliša i odnosi se na onečišćenje iz svih izvora, poput onečišćenja s kopna, uključujući smeće, odlaganje otpada, onečišćenje iz brodova i onečišćenje iz napuštenih, izgubljenih ili na drugi način odbačenih ribolovnih pomagala. Nalaže državama potpisnicama da usvoje potrebne zakone i propise te usklade politike na odgovarajućoj regionalnoj razini. Republika Hrvatska je pristala biti vezana Sporazumom 5. svibnja 1995. kada je podnijela obavijest o pristupanju Konvenciji Ujedinjenih naroda o pravu mora glavnom tajniku Ujedinjenih naroda.

Prilog V Međunarodne konvencije za sprečavanje zagađenja mora s brodova (eng. *The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships*) zabranjuje ispuštanje smeća u more s brodova i fiksnih ili plutajućih platformi, osim u slučajevima koji su izričito dozvoljeni u Prilogu. Prilog je obvezujući za 156 stranaka i glavna je međunarodna konvencija koja štiti morsko okruženje od onečišćenja iz morskih aktivnosti. Niz usvojenih izmjena ojačao je provedbu Priloga za sve vrste smeća, uključujući plastiku.

Londonska konvencija o sprječavanju onečišćenja mora i njen Londonski protokol: ova Konvencija i njen pripadajući Protokol reguliraju sprečavanje onečišćenja mora odlaganjem otpada i drugih tvari. Prema članku 2. Protokola, "Ugovorne stranke pojedinačno i kolektivno štite i očuvaju morsko okoliš od svih izvora onečišćenja te poduzimaju djelotvorne mjere, sukladno svojim znanstvenim, tehničkim i ekonomskim mogućnostima, kako bi spriječile, smanjile i, ako je izvedivo, eliminirale onečišćenje koje uzrokuje odlaganje ili spaljivanje otpada ili drugih tvari na moru" [29].

Baselska konvencija je međunarodni sporazum koji se odnosi na kontrolu prekograničnog prijevoza i odlaganja opasnog otpada. Cilj konvencije je zaštita ljudskog zdravlja i okoliša od negativnih posljedica koje može uzrokovati opasni otpad. Konvencija stavlja naglasak na kontrolu i nadzor prekograničnog prijevoza opasnog otpada kako bi se osiguralo da se odlaganje obavlja na siguran i odgovoran način. Stranke Baselske konvencije obvezuju se na

uspostavljanje adekvatnih zakonodavnih i administrativnih mjera kako bi osigurale da se opasni otpad pravilno identificira, pakira, prevozi i zbrinjava.

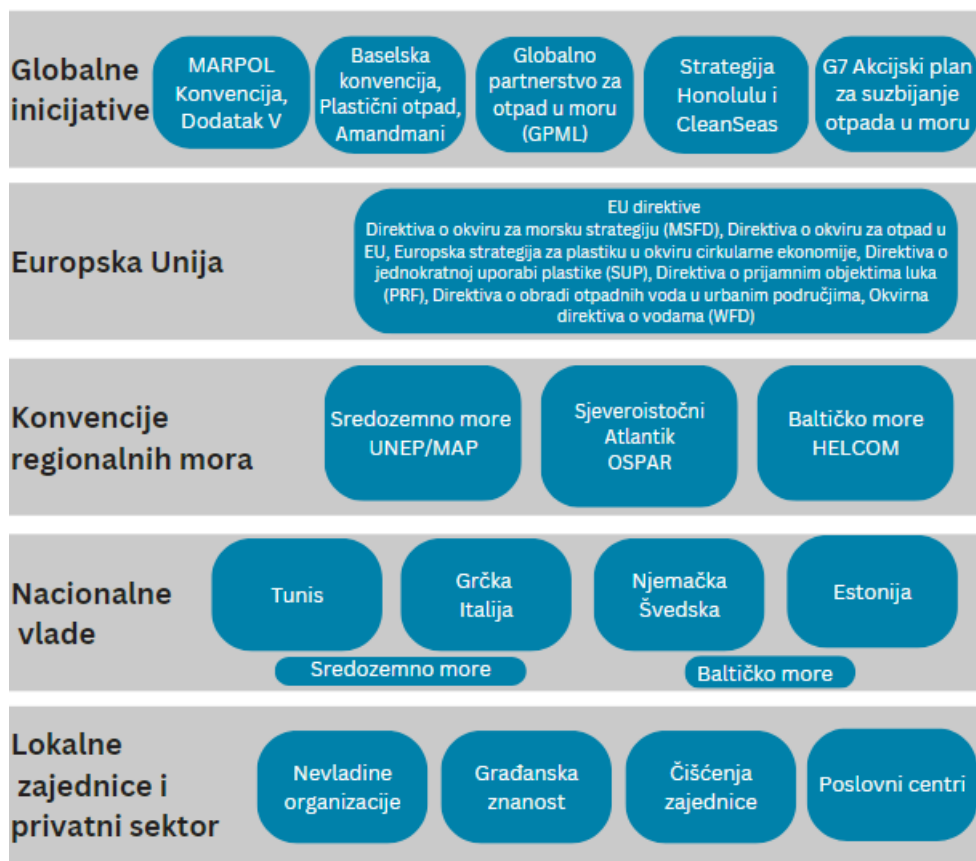
Stockholmska konvencija se odnosi na upravljanje i smanjenje prisutnosti organskih onečišćujućih tvari, poznatih kao POP³-ovi (persistentni organski onečišćujući spojevi). U kontekstu morskog otpada, Stockholmska konvencija ima za cilj smanjiti ispuštanje i prisutnost POP-ova u moru, uključujući plastične materijale koji sadrže POP-ove.

Implementacija pravnih okvira za morski otpad obično se provodi putem hijerarhije koja uključuje sljedeće razine:

- međunarodna razina (međunarodni pravni okviri pružaju opća pravila i smjernice za sprječavanje, smanjenje i kontrolu morskog otpada na globalnoj razini),
- nacionalna razina (svaka država ima odgovornost da prenese i provede međunarodne pravne okvire u svoje nacionalno zakonodavstvo),
- regionalna razina (u nekim regijama, postoje regionalni sporazumi ili organizacije koje nadopunjuju međunarodne i nacionalne pravne okvire, npr. Europska unija s direktivama i propisima koji se odnose na upravljanje morskim otpadom), i
- lokalna razina (na lokalnoj razini, različite organizacije, uključujući lokalne vlasti, lučke uprave i druge dionike, igraju važnu ulogu u provedbi pravnih okvira za morski otpad).

Prikaz različitih razina upravljanja prikazan je vizualno na slici 17. Analizu temeljenu na deskriptivnim istraživanjima proveli su autori koji posjeduju znanje o zemljama koje su bila predmet istraživanja.

³ Persistent organic pollutant



Slika 17. Razine upravljanja morskim otpadom u šest odabranih zemalja Mediterana i Baltičkog mora

Izvor: izradio student prema [30]

U Republici Hrvatskoj pitanje morskog otpada je regulirano kroz sveobuhvatni Zakon o gospodarenju otpadom (prethodni Zakon o održivom gospodarenju otpadom na snazi je bio do 31.07.2021.). Ovim Zakonom propisuju se mjere, posebice uvjeti za rad odlagališta i zahtjevi za otpad koji je dopušteno odlagati kako bi se spriječili ili što više smanjili štetni učinci na okoliš, posebice onečišćenje površinskih voda, podzemnih voda, tla i zraka [31]. Republika Hrvatska je inkorporirala odredbe Okvirne direktive o morskoj strategiji i o kriterijima i metodološkim standardima za ocjenu dobrog stanja morskog okoliša u nacionalno zakonodavstvo putem Uredbe o uspostavi okvira za djelovanje RH u zaštiti morskog okoliša te Uredbe o izradi i provedbi dokumenata Strategije upravljanja morskim okolišem i obalnim područjem [32] [33]. Zakon o zaštiti okoliša također uključuje određene stavke koje se odnose na morski otpad, kao dio šireg okvira za zaštitu okoliša u Republici Hrvatskoj.

Primarni pravni dokumenti relevantni za upravljanje morskim otpadom u europskim zemljama mogu varirati od zemlje do zemlje. Međutim, postoje nekoliko ključnih direktiva i propisa na razini Europske unije. Neki od najvažnijih pravnih dokumenata, a koji se odnose i na Republiku Hrvatsku u vezi s upravljanjem morskim otpadom su:

- okvirna direktiva o morskoj strategiji (2008/56/EZ),
- okvirna direktiva o vodama (2000/60/EZ),
- okvirna direktiva o otpadu (2008/98/EZ), i
- direktiva o plastici za jednokratnu upotrebu (2019/904/EU).

Na temelju spomenutih zakonskih akata i odredbi, Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja izradilo je Plan gospodarenja morskim otpadom [1]. Isti se temelji se na relevantnim nacionalnim i europskim zakonima, direktivama te međunarodnim obvezama i praksama. Mjere koje su predviđene u Planu gospodarenja morskim otpadom obuhvaćaju odgovarajući opseg aktivnosti, koji su usklađeni s Direktivom (EU) 2019/904. Poseban naglasak stavljen je na uspostavu i provedbu sustava proširene odgovornosti proizvođača za ribolovni alat i jednokratne plastične proizvode, s ciljem osiguravanja odgovornosti proizvođača. Osim toga, plan obuhvaća i definiranje minimalne godišnje stope skupljanja otpadnog ribolovnog alata za recikliranje, kao i praćenje i izvješćivanje Europske komisije o ribolovnom alatu koji sadrži plastiku koji se stavlja na tržište te otpadnom ribolovnom alatu koji se prikuplja i reciklira [1].

Ministarstvo zaštite okoliša i energetike je aktivno sudjelovalo u izradi stručnih podloga za Plan gospodarenja morskim otpadom. U tu svrhu, pripremljeni su sljedeći dokumenti: analiza propisa koji se odnose na morski otpad, analiza dostupnih podataka o morskom otpadu, identifikacija glavnih puteva unošenja i prijenosa morskog otpada, pregled dostupnih i testiranih metoda za sakupljanje morskog otpada, prijedlog mreže lokacija za prikupljanje i prihvatanje morskog otpada u ribarskim lukama i iskrcajnim mjestima, razvoj modela za smanjenje i sprječavanje nastanka otpada u moru te modela za ponovnu uporabu i obradu otpada. Također, posebna pažnja posvećena je podizanju svijesti o važnosti sprječavanja i smanjenja unosa otpada u morski okoliš te primjeni principa hijerarhije gospodarenja otpadom i ekonomskih načela.

Iako je problem morskog otpada prisutan u hrvatskom dijelu Jadrana već duže vrijeme, informacije o njemu su i dalje nedovoljne. Postojeća znanstvena istraživanja pružaju ograničene podatke o količini, rasprostranjenosti i sastavu otpada, što otežava donošenje sustavnih

zaključaka o trendovima u Jadranu. Međutim, provedene su određene monitoring akcije na prethodno definiranim lokacijama u Republici Hrvatskoj kako bi se analizirao otpad na obali, u vodenom stupcu i na morskom dnu. Također su istraženi sastav, količina i prostorna raspodjela mikroplastike u površinskom sloju vode. Rezultati monitoringa su pokazali da plastika dominira u svim morskim komponentama, čineći preko 95% ukupnog otpada [1]. Važno je napomenuti da su ovi rezultati dobiveni putem uzoraka male veličine, što ne znači da su podaci manje relevantni ili pouzdani.

Strateški plan gospodarenja morskim otpadom za Republiku Hrvatsku obuhvaća četiri glavna cilja. Prvi cilj je uspostava održivog i učinkovitog sustava gospodarenja morskim otpadom. Ovo uključuje razvoj infrastrukture, donošenje odgovarajućih propisa i suradnju svih relevantnih sudionika. Drugi cilj je poboljšanje informacijskog sustava za gospodarenje otpadom, s fokusom na prikupljanje, analizu i dostupnost podataka o morskom otpadu. Cilj je osigurati kvalitetne informacije kako bi se bolje razumjeli problemi i pratila provedba mjera. Treći cilj je kontinuirano provođenje aktivnosti obrazovanja i informiranja kako bi se podigla svijest javnosti o problemima morskog otpada i potaknulo odgovorno postupanje s otpadom. Konačno, četvrti cilj je jačanje međunarodne suradnje u rješavanju problema morskog otpada, kroz razmjenu znanja, iskustava i najboljih praksi s drugim zemljama, organizacijama i institucijama.

Plan gospodarenja morskim otpadom za Republiku Hrvatsku obuhvaća ukupno 12 mjera s ciljem ostvarivanja četiri postavljenih strateških ciljeva. Svaka mjera je popraćena sljedećim elementima: detaljnim opisom, nosiocima mjere, mogućim izvorima financiranja i rokom provedbe. Mjere koje uključuju prikupljanje otpada u moru putem ronilačkih akcija, prikupljanje izgubljenih ili odbačenih ribolovnih alata te sprječavanje nastanka morskog otpada imaju kontinuirani rok provedbe. Mjere poput organizacije informativno-edukativnih kampanja, provođenja znanstvenih istraživanja, kontinuirane komunikacije s međunarodnim organizacijama i suradnje s nadležnim tijelima susjednih i drugih država u kontekstu morskog otpada zahtijevaju kontinuirani angažman i suradnju bez ograničenog roka. Cilj je postići širi društveni utjecaj, obrazovanje javnosti u rješavanju problema morskog otpada te promovirati održivi razvoj morskog okoliša.

Zbog strme i stjenovite obale hrvatskog dijela Jadrana, znatan dio otpada ne biva izbačen na obalu već dugo pluta po površini vode dok ne potone na morsko dno. Ovaj problem rezultira akumulacijom otpada u određenim područjima niske energije strujanja mora, koja su poznata

kao žarišne točke i mjesta nakupljanja otpada. U tim područjima, otpad se akumulira i stvara koncentracije većih količina otpada. Posebno su osjetljive prirodne uvale usmjerene prema jugoistoku, jugu i jugozapadu. Stoga, kako bi se suočilo s tim izazovima, provedba mjera kao što su ronilačke akcije, prikupljanje izgubljenih ili odbačenih ribolovnih alata te jačanje znanstvenih istraživanja o novim tehnologijama za sprječavanje i/ili uklanjanje morskog otpada (kao što je rastući trend korištenja podvodno upravljanih vozila u te svrhe) ima iznimno važno mjesto u praćenju morskog otpada, posebno na morskom dnu. Ove mjere pružaju konkretne aktivnosti i pristupe koji omogućuju prikupljanje relevantnih podataka, razumijevanje problema i razvoj inovativnih rješenja.

Pravni okvir koji se odnosi na nadzor otpada na površini, u vodenom stupcu i na morskom dnu još uvijek nije jasno definiran, kako u Republici Hrvatskoj, tako i u svjetskom kontekstu. Trenutno postoje pravni propisi koji se odnose na upravljanje općenitim otpadom, uključujući i određene aspekte otpada u morskom okolišu. Međutim, nedostaje specifičan pravni okvir koji bi detaljnije regulirao nadzor otpada na morskom području. Ova praznina u pravnom okviru može predstavljati izazov u učinkovitom nadzoru i upravljanju otpadom u morskom okolišu.

U okviru Europske unije postoje određeni dokumenti koji potiču monitoring otpada na površini, u vodenom stupcu i na morskom dnu. Navedeni dokumenti igraju važnu ulogu u praćenju morskog otpada. "Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas" razvijen je od strane Europske agencije za okoliš s ciljem pružanja smjernica za prikupljanje podataka o količini, vrstama i distribuciji morskog otpada u europskim morima [15]. "NOAA Marine Debris Monitoring and Assessment: Recommendations for Monitoring Debris Trends in the Marine Environment" je dokument Nacionalnog upravnog ureda za oceane i atmosferu u Sjedinjenim Američkim Državama koji sadrži smjernice za praćenje trendova otpada u morskom okolišu, uključujući metode uzorkovanja, analizu podataka i izvještavanje [58]. "International Bottom Trawl Survey in the Mediterranean, Instructional Manual" je priručnik koji pruža smjernice za istraživanje morskog dna povlačenjem mreža, uključujući procjenu prisutnosti i količine otpada na morskom dnu [59]. Ovi dokumenti su vrijedni resursi za prikupljanje, analizu i izvještavanje o morskom otpadu na različitim mjestima i u različitim regijama.

4. PREGLED POSTOJEĆIH METODA ZA DETEKCIJU ONEČIŠĆENJA - NA MORSKOM DNU

Metode za detekciju onečišćenja na morskom dnu važan su aspekt u upravljanju morskim okolišem. Razumijevanje različitih metoda za detekciju onečišćenja na morskom dnu omogućava identifikaciju i praćenje potencijalnih izvora onečišćenja te donošenje odgovarajućih mjera za njihovo suzbijanje. Postoje različiti pristupi i tehnike koje se koriste za detekciju onečišćenja na morskom dnu. To uključuje upotrebu senzora, instrumentacije, metoda uzorkovanja, vizualnog osmatranja i sl.

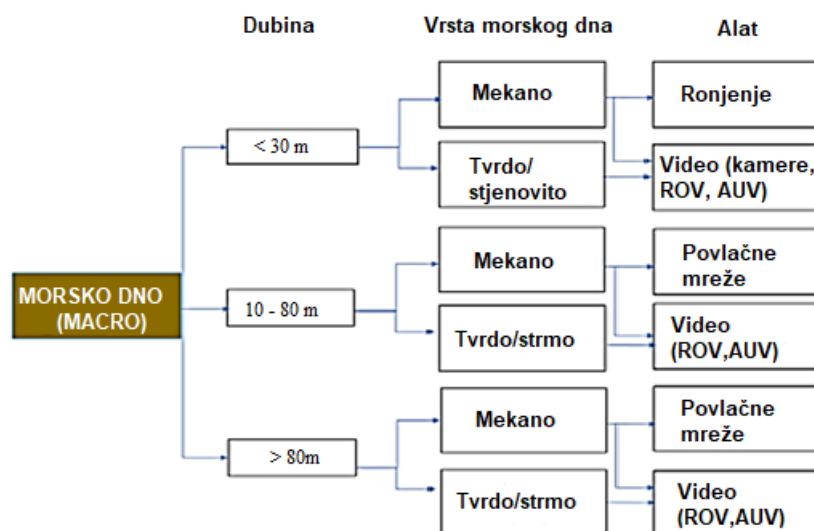
Brojni su projekti poput AMARE-a [34] usmjereni na razvoj smjernica i metoda praćenja morskog otpada u zaštićenim područjima diljem svijeta (MPAs⁴). Ista se temelji na iskustvu kontinuiranog praćenja i procjene aktivnosti u sklopu različitih znanstvenih projekata u Sredozemnom moru (CleanSea, Marelitt, Perseus, Marlisco, Ac4forlitter, INDICIT, MEDseaLitter, Plastic Buster MPA, PANACEA, Life projekti itd.). Strategija koja je predložena, uz definiranu uzorkovnu shemu, odabir okolišnih područja za praćenje i upotrebu protokola, također se usklađuje s preporukama iz izvješća UN GESAMP o praćenju morskog otpada [35]. U smjernicama Europske komisije o praćenju morskog otpada u europskim morima [15], posebno se ističe i detaljno opisuje problematika otpada na morskom dnu.

Metode kao što su ronjenje, koje uključuje spuštanje ronioca u vodu kako bi izravno istražio morsko dno, ROV⁵ (daljinski upravljano podvodno vozilo) koje omogućuje detaljno snimanje i istraživanje podvodnog okoliša bez potrebe za fizičkom prisutnošću ronioca, AUV⁶ (autonomno podvodno vozilo) koje koristi programirane algoritme za autonomno istraživanje morskog dna i prikupljanje podataka te povlačne kamere koje se koriste za snimanje videozapisa ili fotografija tijekom povlačenja preko morskog dna, predstavljaju učinkovite metode za otkrivanje, istraživanje i dokumentiranje onečišćenja na morskom dnu. Prilagođeno uzorkovanje i korištenje spomenutih metoda detekcije omogućuje temeljito istraživanje prostorne raspodjele i sastava otpada na morskom dnu.

⁴ Marine Protected Areas

⁵ Remotely operated vehicle

⁶ Autonomous underwater vehicle



Slika 18. Dijagram za praćenje makrootpada na morskom dnu

Izvor: izradio student prema [35]

Dijagram prikazan na slici 18. pruža pregled najboljeg pristupa za nadzor i prikupljanje otpada na morskom dnu s obzirom na dubinu i vrstu morskog dna. Prilagođeno uzorkovanje i korištenje spomenutih metoda detekcije omogućuje temeljito istraživanje prostorne raspodjele i sastava otpada na morskom dnu.

4.1. RONJENJE

Najčešći način procjene rasprostranjenosti smeća na morskom dnu u plitkim vodama (0–25 m) je provedba podvodnih vizualnih istraživanja uz korištenje ronjenja s opremom SCUBA⁷. Ovom metodom ronionci direktno pregledavaju morsko dno i bilježe prisutnost i raspored smeća. Prilikom procjene se uzimaju u obzir samo komadi otpada veći od približno 2,5 cm, u rasponu od 0 do 25 metara dubine (do 40 metara s iskusnim ronioncima) [15]. Slijedeći uspostavljene protokole, ronionci mogu sustavno dokumentirati i bilježiti vrste otpada, njihovu veličinu i lokacije na morskom dnu. Mogu koristiti transektne linije kako bi osigurali sveobuhvatno pokrivanje područja istraživanja. Tijekom ronjenja, ronionci imaju mogućnost snimanja fotografija ili videozapisa kako bi dokumentirali i nadopunili vizualne podatke o promatranom morskom otpadu. Korištenjem ronjenja kao metode za procjenu morskog otpada, istraživači i

⁷ Self contained underwater breathing apparatus

ekološke organizacije mogu prikupiti vrijedne podatke o obujmu i obilježjima otpada u obalnim i plitkim vodenim okruženjima.



Slika 19. Prikupljanje morskog otpada metodom ronjenja [37]

Osim nadzora i dokumentiranja, ronjenje ima važnu ulogu u provođenju čišćenja morskog otpada. Nakon što se obavi nadzor i dokumentacija stanja otpada, organiziraju se posebne ekološke akcije ronjenja s ciljem uklanjanja otpada s morskog dna. Ove akcije okupljaju ronioce i volontere koji zajednički rone na određenim lokacijama te fizički uklanjaju otpad i izvlače ga na površinu.

4.2. ROV

U proteklim godinama, primjena alata za promatranje (kao što su daljinski upravljana vozila, ROV) u dubokomorskom okruženju postala je sve raširenija. ROV omogućuje pristup strmim padinama i kamenitim dnom te istraživanje dubokog mora koje je teško dostupno drugim tradicionalnim metodama kao što je ronjenje. ROV-ovi su opremljeni kamerama, svjetlima, sonarima i manipulativnim alatima koji omogućuju snimanje vizualnih podataka i uzorkovanje otpada s dubokomorskih lokacija (npr. mehanička ruka koja se koristi za hvatanje manjih predmeta). ROV je podvodna robotska jedinica koja je povezana sa operaterom na brodu ili

kopnu putem kabela. Ti kablovi prenose naredbe i signale kontrole između operatera i ROV-a, omogućavajući daljinsku navigaciju vozila. Njihova fleksibilnost i sposobnost prilagodbe različitim terenima omogućuju istraživanje i analizu područja koja su inače teško dostupna drugim istraživačkim metodama.



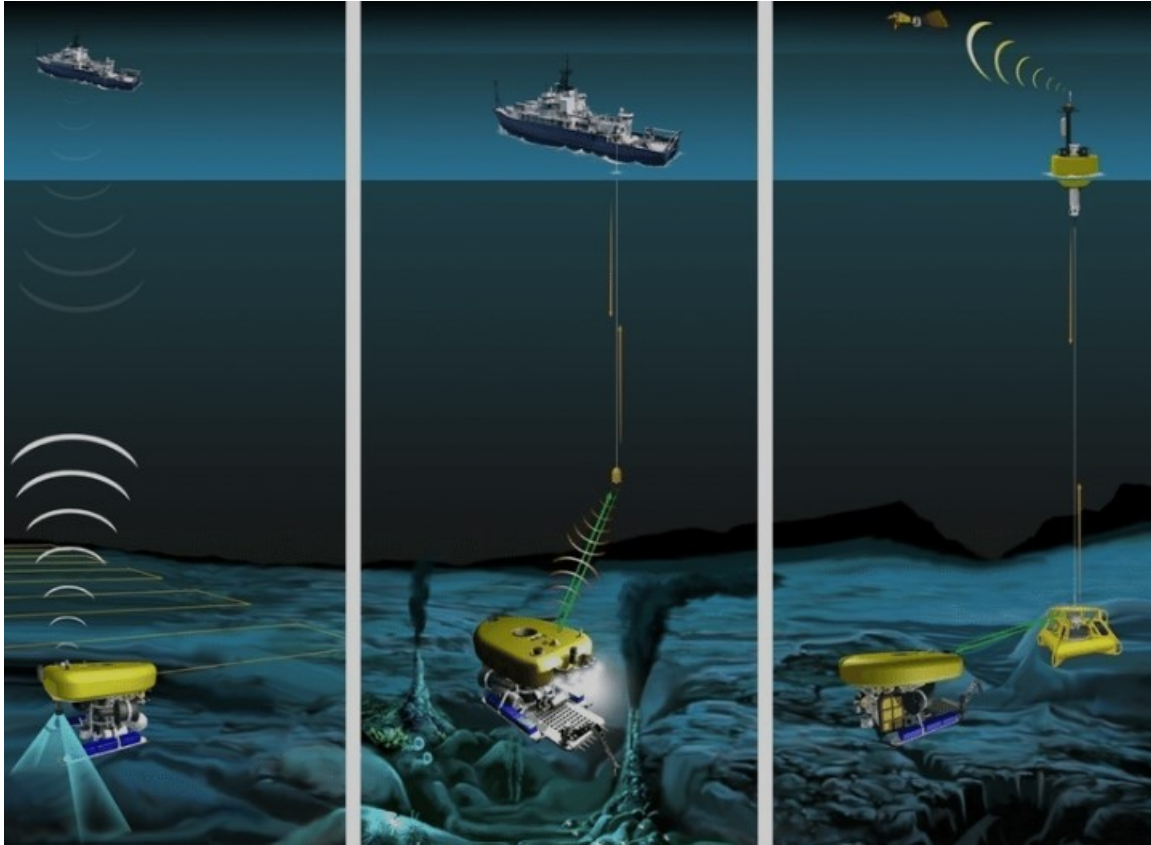
Slika 20. Primjena ROV-ova kao metoda detekcije morskog otpada [38]

U svijetu ROV-ova postoje značajne razlike u pogledu vrste i veličine. Glavna podjela ROV-ova obuhvaća: Mikro ROV, ROV manjih dimenzija, ROV-ovi srednje veličine i Radni ROV [56]. Svaka od tih kategorija ima svoje karakteristike i područja primjene. Mikro ROV je mala, kompaktna ronilica. Ova ronilica se koristi za istraživanje morskog dna, pregledavanje cjevovoda, brodova i drugih podvodnih objekata i infrastrukture. S obzirom na svoje manje dimenzije (s dužinom od oko 0,5 metara i težinom od 10 kilograma) Mikro ROV je opremljen videokamerom i podvodnim svjetlom. Njegova mala veličina često se ističe kao prednost, što omogućuje veću fleksibilnost i manevriranje u uskim ili teško dostupnim prostorima pod vodom. ROV manjih dimenzija predstavlja kategoriju ronilica koje imaju masu do 100 kilograma. Koriste se za izvođenje podvodnih zadataka u umjereno dubokim vodama, obično do dubine od približno 100 metara. Nadalje, ROV-ovi srednje veličine imaju masu između 30 i 120 kilograma. Opremljeni su preciznim navigacijskim sustavima, jakim svjetlima i visokorazlučivim kamerama kako bi omogućili precizno i jasno snimanje, fotografiranje i

mapiranje podvodnog okruženja. Kategorija Radnih ROV-ova (eng. *working class*) obuhvaća ronilice većih dimenzija, koje imaju masu koja može doseći nekoliko tona, ovisno o njihovoj namjeni. Ove ronilice su sposobne za rad na velikim dubinama, s operativnom dubinom većom od 6000 metara, što je znatno više od dubina na kojima se koristi motrilački ROV. Značajno je napomenuti da se većina monitoringa, uključujući i u kontekstu morskog otpada, provodi pomoću malih klasa ronilica za motrenje (eng. *observation class*).

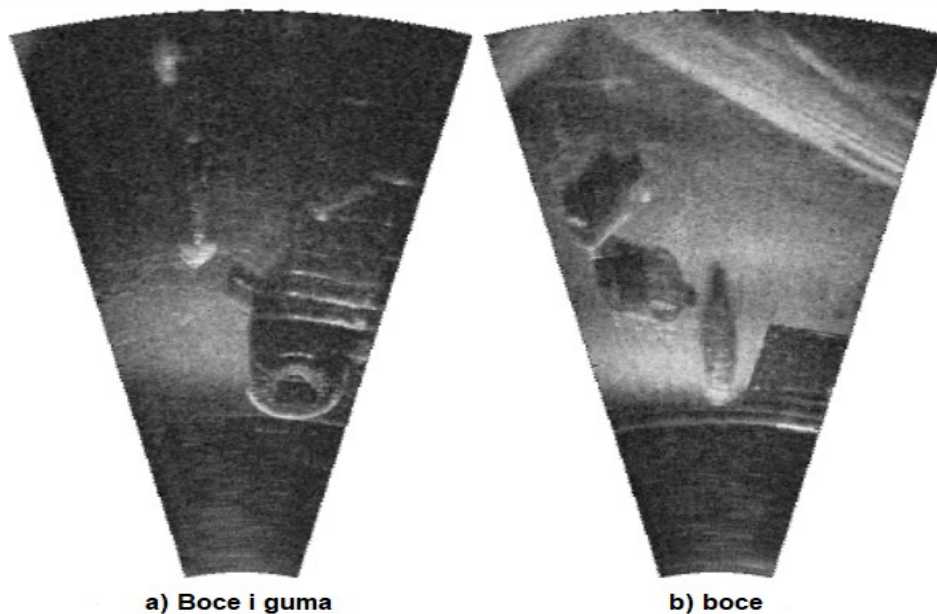
4.3. AUV

Za razliku od daljinski upravljanih vozila (ROV-ova), koja su povezana kablom sa servisnim plovilom, autonomna podvodna vozila (AUV-ovi) nemaju fizičku vezu sa svojim operatorom. AUV je skraćenica za autonomno podvodno vozilo, koje se često naziva i nepilotirano podvodno vozilo [36]. Isto se koristi za različite podvodne istraživačke misije, kao što su otkrivanje i kartiranje potopljenih olupina, stijena i prepreka koje mogu predstavljati opasnost za komercijalna i rekreativna plovila. Jedna od ključnih karakteristika AUV-a je njegova sposobnost izvršavanja misija istraživanja bez intervencije operatora. Nakon završetka misije, AUV se vraća na prethodno programirano mjesto gdje se podaci mogu preuzeti i dalje obrađivati. Ovo omogućava učinkovito prikupljanje podataka o podvodnom okruženju bez potrebe za neposrednim ljudskim nadzorom. AUV-ovi su opremljeni raznim sensorima i instrumentima koji omogućuju detaljno snimanje podvodne topografije, strukture i svojstava vode. Na primjer, sonarski sustavi se koriste za mapiranje i mjerenje dubine, identifikaciju objekata i otkrivanje podvodnih reljefa. Također se koriste spektrometri, fluorometri, termometri i drugi instrumenti kako bi se analizirali kemijski sastav, koncentracija hranjivih tvari, razine kisika, pH vrijednosti i druge parametre vode. Na slici 21. prikazan je tipičan koncept rada AUV-a. S lijeve strane, AUV koristi akustičnu komunikaciju za izmjenu informacija na relaciji AUV-brod. U sredini i s desne strane, AUV koristi optički komunikacijski put koji je osiguran ili putem releja montiranog na brodu (sredina) ili povezan s podvodnom infrastrukturom (desno).



Slika 21. Koncept rada AUV-a [39]

U kontekstu korištenja AUV-a za nadzor otpada, na Međunarodnoj konferenciji o robotici i automatizaciji za humanitarne svrhe 2016. godine, iznesen je znanstveni članak u kojem se predlaže korištenje autonomnih podvodnih vozila za otkrivanje morskog otpada putem slika (obrisa) naprednog sonara koji gleda prema naprijed (eng. *Forward-Looking Sonar - FLS*) [57].

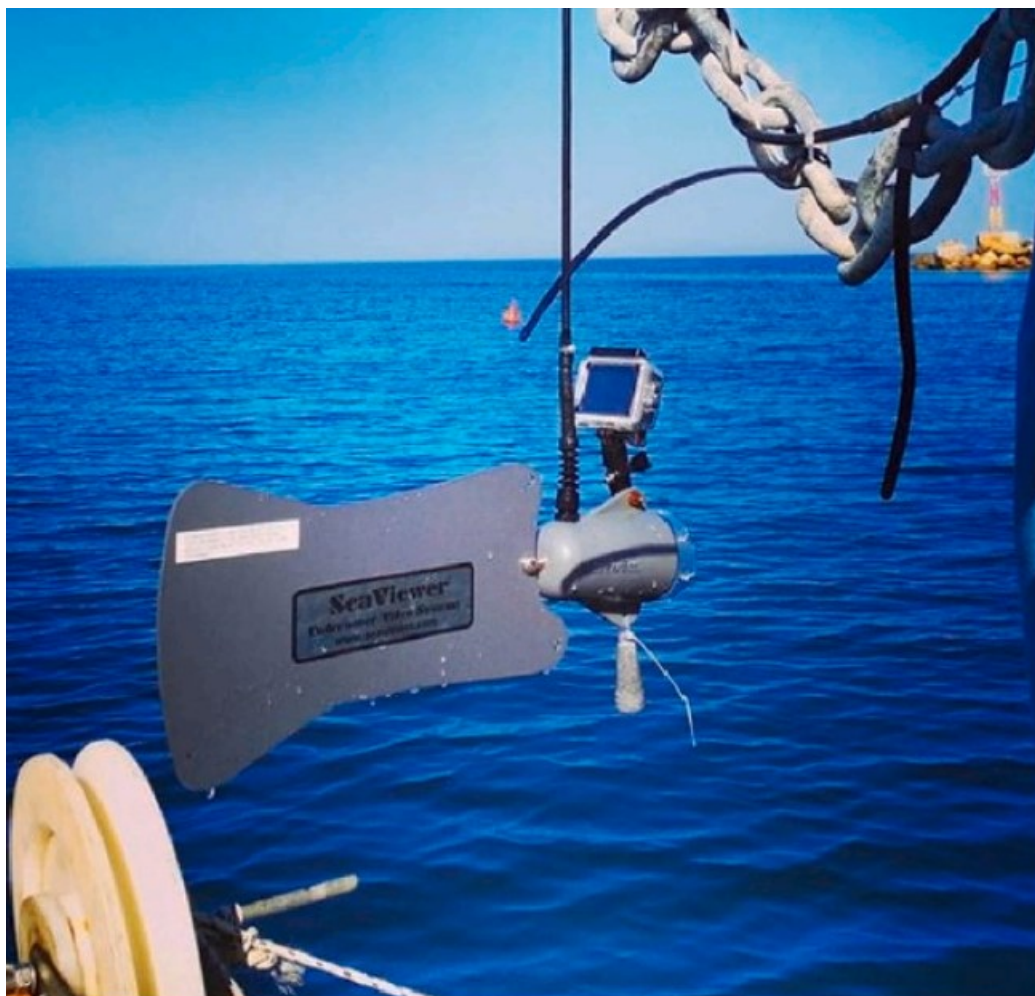


Slika 22. Otpad zabilježen naprednim sonarom koji gleda prema naprijed (FLS) [57]

Postignuta je točnost od 80,8% pri detekciji otpada [57], što predstavlja dobar rezultat, posebno kada se uzme u obzir da se detekcija otpada može provoditi u stvarnom vremenu pomoću AUV-a, pokrivajući velike dijelove morskog dna s malim naporom.

4.4. POVLAČNE KAMERE

Načela nadzora korištenjem povlačnih kamera vrlo su slična protokolu ronjenja, s glavnim razlikom da se podaci ili analiziraju odmah tijekom snimanja ili kasnije na kopnu. Ova real-time analiza omogućuje brzu povratnu informaciju i omogućuje potrebne akcije ili odluke na temelju trenutnih nalaza. Kada se koristi povlačna kamera za nadzor morskog dna, postupak je sličan ronjenju u smislu snimanja vizualnih informacija. Kamera se povlači ili vuče iza plovila dok snima podvodni svijet. Sustavi povlačnih kamera opremljeni su specijalnim osvjetljenjem koje osvjetljava podvodnu okolinu i poboljšava vidljivost. Mogu također sadržavati senzore koji mjeri okolišne parametre poput temperature, slanosti ili razine otopljenog kisika. Ovi dodatni podaci mogu pomoći istraživačima u povezivanju distribucije otpada s različitim ekološkim čimbenicima.



Slika 23. Primjer inačice povlačne kamere [40]

Načelno, povlačne kamera za detekciju otpada nemaju mogućnost okreta, tiltanja, a rijetko imaju dodatno osvjetljenje. To su većinom pasivni uređaji gdje se visina iznad dna obično određuje brzinom plovila kojim se uređaj vuče. Ovi uređaji se koriste za kontinuirano snimanje morskog dna kako bi se detektirao otpad. Uz pomoć povlačnih kamera za detekciju otpada, plovilo se kreće ravno i neprekidno, omogućavajući prikupljanje podataka o stanju morskog dna i identifikaciju prisutnosti otpada. Skuplji modeli uređaja mogu pružiti dodatne mogućnosti kao što su okretanje ili tiltanje kako bi se bolje istražilo podvodno okruženje.

4.5. POVLAČNE MREŽE

Povlačne mreže mogu prikupiti sav veliki otpad smješten na dnu mora i otprilike jedan metar iznad njega. Praćenje otpada putem povlačenja mreže vjerojatno je jedna od potencijalno skupljih i zahtjevnijih metoda. Ova metoda je relativno precizna za velike predmete otpada na morskom dnu. Prilikom korištenja povlačne mreže moraju se uzeti u obzir potencijalne ekološke utjecaje, kao što su ulovljeni neželjeni organizmi i fizička oštećenja bentoskih okoliša.



Slika 24. Ilustrirani princip rada povlačne mreže

Izvor: preuredio student prema [41]

Važno je napomenuti da aktivnosti povlačenja mreže uglavnom su ograničene na ravne i glatke dijelove morskog dna, koja najčešće nisu tipična područja akumuliranja otpada, za razliku od strmih padina ili kamenitih površina.

4.7. SWOT ANALIZA METODA

Svaki od prikazanih pristupa i metoda ima svoje prednosti i ograničenja. Za razliku od otpada na plažama koji je lako dostupan i plutajućeg otpada koji se može identificirati i pratiti jednostavnim i jeftinim metodama, kvantifikacija otpada na morskom dnu nosi niz tehničkih izazova koji se povećavaju s povećanjem morske dubine i udaljenosti istraživanog područja. Korištenje određene metode za praćenje morskog otpada odredit će se na temelju njihovih specifičnih prednosti, ograničenja i primjenjivosti. Izvješće iz 2013. godine (tablica 9.)

Tehničke grupe za morski otpad prikazuje usporedbu metoda za nadzor otpada na morskom dnu, temeljenu na dubini upotrebe, zahtjevima opreme, potrebnim vještinama, karakteristikama morskog dna, primjenjivosti i ograničenjima, kao i mogućnostima za smanjenje troškova.

Tablica 9. Sažetak metoda za nadzor otpada na morskom dnu

SAŽETAK METODA MONITORINGA										
Kod	Morska komp.	Metoda/ protokol	Razina sprema	Tehnička oprema	Potrebna stručnost	Trošak	Veličina detalja	Geografska primjenjivost	Limitacije	Mogućnost smanjenja troškova
10.1.2	Morsko dno (20-800m)	Povlačne mreže (video opcionalno)	Srednja/visoka	Niska/srednja	Niska/srednja	N/S	SREDNJA ≥ 2.5 cm	SREDNJA (nije moguće u zaštićenim područjima)	Ograničeno na ravno/mečko dno	Može se u potpunosti kombinirati s postojećim programima vuče mreže po dnu
10.1.2	Morsko dno (Duboko)	ROV/Video	Srednja	Visoka	Visoka	V	SREDNJA ≥ 2.5 cm	SREDNJA	Potrebna veća financijska ulaganja	Integrirati s komercijalnim ribolovom Integrirati s postojećim programima
10.1.2	Morsko dno (Plitko)	Ronjenje (video opcionalno)	Srednja (Niska za video)	Srednja (Niska za video)	Srednja	S	SREDNJA ≥ 2.5 cm	VISOKA	Ovisnost o dostupnosti područja za ronjenje	Potencijal za uključivanje volontera ronilaca i kampanja podizanja svijesti (npr. projekt AWARE)

Izvor: preuredio student prema [15]

Tablica 10. prikazuje iznos procijenjenih troškova, temeljenih na iskustvu u europskom kontekstu [15]. Troškovi su klasificirani kao niski (< 10.000 USD), srednji (< 50.000 USD), visoki (< 100.000 USD) i vrlo visoki (> 100.000 USD), s oznakama N (niski), S (srednji), V (visoki) i VV (vrlo visoki), što omogućuje usporedbu i analizu troškova u istraživanju morskog otpada. Važno je napomenuti da se troškovi osoblja mogu značajno razlikovati između zemalja, što treba uzeti u obzir pri interpretaciji rezultata.

Tablica 10. Usporedba troškova za navedene metode

<i>Komponenta</i>	Morsko dno		
	Ronjenje < 20m	Povlačne mreže < 800m	ROV
<i>Protokol</i>			
<i>Uzorkovanje</i>	S	S	VV
<i>Obrada</i>	N	N	S
<i>Analiza</i>	S	S	S
<i>Ekspertiza</i>	S/V	S	S
<i>Oprema</i>	S	V	V
<i>Ukupni trošak</i>	S	S	V

Izvor: izradio student prema [35]

U nastavku se prikazuje SWOT analiza za svaku od prethodno navedenih metoda detekcije onečišćenja na morskom dnu. SWOT analiza je alat koji se koristi za procjenu snaga (Strengths), slabosti (Weaknesses), prilika (Opportunities) i prijetnji (Threats) u okviru organizacije, projekta ili situacije. Ova analiza pomaže identificirati unutarnje faktore (snage i slabosti) i vanjske faktore (prilike i prijetnje) kako bi se razumjela trenutna situacija i donijele informirane odluke. SWOT analiza omogućuje organizacijama da prepoznaju svoje prednosti i nedostatke te identificiraju potencijalne prilike i prijetnje s kojima se suočavaju. Ova analiza se koristi kao temelj za razvoj strategija i planiranje akcija u cilju postizanja uspjeha.

Tablica 11. SWOT analiza - ronjenje

SNAGE	PRILIKE
<ul style="list-style-type: none"> - Visoka razlučivost i preciznost vizualnih promatranja prilikom ronjenja omogućuju detaljno snimanje morskog otpada na morskom dnu - Ronjenje omogućuje direktan pristup podvodnim područjima koja su nedostupna drugim metodama praćenja, poput teško dostupnih špilja ili koraljnih grebena - Ronjenje omogućuje identifikaciju i procjenu morskog otpada u blizini obala i na plićim područjima 	<ul style="list-style-type: none"> - Napredak tehnologije podvodnih kamera omogućuje snimanje i dokumentiranje morskog otpada tijekom ronjenja - Suradnja s istraživačima i organizacijama za očuvanje okoliša može pružiti mogućnost za zajedničke istraživačke projekte - Edukacija javnosti o važnosti praćenja morskog otpada putem ronjenja može povećati svijest i potaknuti sudjelovanje u očuvanju morskog okoliša
SLABOSTI	PRIJETNJE
<ul style="list-style-type: none"> - Ograničena dubina ronjenja i ograničeno vrijeme provedeno pod vodom ograničavaju opseg praćenja morskog otpada - Visoki troškovi obuke ronioca i opreme za ronjenje mogu predstavljati financijsko opterećenje - Utjecaj vremenskih uvjeta, sezonskih varijacija i vidljivosti može otežati dosljedno praćenje morskog otpada 	<ul style="list-style-type: none"> - Potencijalne opasnosti i rizici za ronioce prilikom ronjenja u težim uvjetima ili područjima s većom koncentracijom otpada - Ograničenje resursa i financija za provođenje kontinuiranog praćenja morskog otpada putem ronjenja - Nedostatak standardiziranih protokola i smjernica za praćenje morskog otpada putem ronjenja može otežati usporedbu i analizu rezultata

Izvor: izradio student prema [15] [35]

Ronjenje predstavlja vrijedan alat za nadzor morskog otpada koji omogućuje detaljnu inspekciju, uzorkovanje i procjenu utjecaja na okoliš. Međutim, kako bi se postigla optimalna učinkovitost i pouzdanost, potrebno je uložiti dodatne napore u obuku ronioca, primjenu naprednih tehnologija i uspostavu suradnje između znanstvene zajednice, industrije i regulatornih tijela.

Tablica 12. SWOT analiza - ROV

SNAGE	PRILIKE
<ul style="list-style-type: none"> - Visoka pokretljivost omogućuje pristup teško dostupnim područjima - Dubinski dosezi ROV-a omogućuju istraživanje i snimanje morskog otpada na većim dubinama - Mogućnost upravljanja ROV-om s površine omogućuje udobnost i sigurnost operateru 	<ul style="list-style-type: none"> - ROV pruža mogućnost detaljnog snimanja, dokumentiranja i klasificiranja morskog otpada - Napredak tehnologije ROV-a omogućuje integraciju senzora i alata za poboljšano prikupljanje podataka - Suradnja s istraživačima i organizacijama može pružiti prilike za zajedničko istraživanje i dijeljenje resursa
SLABOSTI	PRIJETNJE
<ul style="list-style-type: none"> - Visoki troškovi nabavke, održavanja i operativnih troškova ROV-a mogu biti finansijski zahtjevni - Korištenje ROV-a zahtijeva posebne tehničke vještine i obuku operatera - Ograničena autonomija i vijek trajanja baterija mogu ograničiti vrijeme provedeno u vodi 	<ul style="list-style-type: none"> - Nepovoljni vremenski uvjeti i nepredvidljive morske struje mogu otežati rad ROV-a i smanjiti učinkovitost praćenja morskog otpada - Rizik od oštećenja ROV-a ili gubitka opreme može predstavljati finansijski teret i prekid rada - Konkurencija s drugim metodama praćenja morskog otpada može ograničiti upotrebu ROV-a u određenim područjima

Izvor: izradio student prema [15] [35]

Upotreba ROV-a se ističe kao izuzetno korisna metoda u kontekstu detekcije morskog otpada. Ova tehnologija omogućuje precizno vizualno snimanje i istraživanje podvodnih područja, što omogućuje identifikaciju i karakterizaciju otpadnih materijala te praćenje njihove rasprostranjenosti. Uz daljnji razvoj ROV tehnologije i stručnu obuku operatera, može se ostvariti značajan napredak u nadzoru morskog otpada.

Tablica 13. SWOT analiza - AUV

SNAGE	PRILIKE
<ul style="list-style-type: none"> - Automatizirana operacija omogućava dosljednost u prikupljanju podataka o morskom otpadu - Velika pokrivenost područja i mogućnost obavljanja misija u teško dostupnim područjima - Visoka preciznost prikupljenih podataka i sposobnost snimanja različitih parametara 	<ul style="list-style-type: none"> - Poboljšana tehnologija AUV-a omogućava veću učinkovitost i preciznost u praćenju morskog otpada - Mogućnost integracije različitih senzora i tehnika za još detaljniju analizu podataka - Suradnja s drugim istraživačkim institucijama i organizacijama radi razmjene znanja i iskustava
SLABOSTI	PRIJETNJE
<ul style="list-style-type: none"> - Visoki troškovi nabave i održavanja AUV-a - Potrebno je visoko stručno osoblje za upravljanje i analizu prikupljenih podataka - Ograničen kapacitet za prikupljanje velikih količina podataka, što može ograničiti detaljnost analize morskog otpada 	<ul style="list-style-type: none"> - Potrebna je dobra logistika i infrastruktura za pokretanje i upravljanje AUV-om - Nepredvidljivi vremenski uvjeti i morski uvjeti mogu otežati ili onemogućiti rad AUV-a - Konkurencija s drugim metodama praćenja morskog otpada koje mogu biti jeftinije ili dostupnije

Izvor: izradio student prema [15] [35] [36]

Primjena autonomnih podvodnih vozila za detekciju morskog otpada pruža brojne prednosti u smislu preciznosti, učinkovitosti i smanjenja rizika za ronioce. Njihova sposobnost za obavljanje detaljnih vizualnih inspekcija, prikupljanje uzoraka i mapiranje podvodnih područja omogućuje dublje razumijevanje problematike otpada u moru. Integracija AUV metode s naprednim sensorima i analitičkim alatima omogućuje temeljito istraživanje morskog otpada.

Tablica 14. SWOT analiza – povlačne kamere

SNAGE	PRILIKE
<ul style="list-style-type: none"> - Povlačne kamere omogućavaju vizualno snimanje morskog otpada na dnu s visokom rezolucijom - Pružaju detaljne informacije o lokaciji, raspodjeli i vrstama otpada na morskom dnu - U pravilu puno jeftinije od ostalih metoda te nije potrebna posebna obuka 	<ul style="list-style-type: none"> - Mogućnost vizualne dokumentacije stanja morskog otpada u stvarnom vremenu - Identifikacija <i>hot-spot</i> područja s visokom koncentracijom otpada i usmjeravanje daljnjih istraživanja i mjera upravljanja - Napredak tehnologije omogućava primjenu sve sofisticiranijih povlačnih kamera s boljom rezolucijom i senzorskim mogućnostima
SLABOSTI	PRIJETNJE
<ul style="list-style-type: none"> - Ovisnost o vidljivosti vode i svjetlosnim uvjetima može utjecati na kvalitetu snimaka - Otpad koji je zakopan ili djelomično prekriven sedimentom može biti teže uočljiv i identificiran - Nemogućnost preciznijeg pregleda (u pravilu ograničeno ili nemoguće zakretanje i tiltanje) 	<ul style="list-style-type: none"> - Ograničenja u pokrivenosti i efikasnosti povlačnih kamera u odnosu na druge metode praćenja morskog otpada - Potencijalne regulativne barijere ili nedostatak podrške za upotrebu povlačnih kamera za detekciji morskog otpada - Ovisnost o povoljnim uvjetima vidljivosti pogotovo u morskom okruženju

Izvor: izradio student prema [15] [35]

Povlačne kamere omogućuju neinvazivno istraživanje morskog dna i njegovu povezanost s otpadom. Sposobnost snimanja visokokvalitetnih vizualnih podataka korištenjem povlačnih kamera omogućuje detaljno proučavanje rasprostranjenosti i vrsta otpada u moru. Njihova primjena u nadzoru morskog otpada doprinosi sveobuhvatnom razumijevanju problema i pruža temelje za razvoj ciljanih i učinkovitih mjera zaštite i obnove morskog okoliša.

Tablica 15. SWOT analiza – povlačne mreže

SNAGE	PRILIKE
<ul style="list-style-type: none"> - Povlačne mreže omogućavaju efikasno i brzo prikupljanje većih količina morskog otpada - Prikupljeni otpad može se detaljno pregledati, mjeriti i analizirati isključivo na površini - Mogu se koristiti na različitim dubinama 	<ul style="list-style-type: none"> - Mogućnost usporedbe rezultata iz različitih područja i uspostava trendova u količini i vrstama morskog otpada - Poboljšanje tehnologije i metoda povlačnih mreža može povećati njihovu učinkovitost i smanjiti negativan utjecaj na okoliš - Suradnja s drugim istraživačkim timovima i organizacijama za razmjenu znanja i iskustava u vezi s praćenjem morskog otpada
SLABOSTI	PRIJETNJE
<ul style="list-style-type: none"> - Povlačne mreže mogu prikupljati samo otpad koji se nalazi na dnu ili blizu površine morskog dna - Neke vrste morskog otpada, poput zakopanog otpada ili vrlo malih predmeta, mogu biti nedovoljno uzorkovane - Aktivnosti povlačenja mreže uglavnom su ograničene na ravne i glatke dijelove morskog dna 	<ul style="list-style-type: none"> - Ograničenja u učinkovitosti i preciznosti povlačnih mreža u odnosu na druge metode praćenja morskog otpada - Potreba za dovoljnim financijskim sredstvima za nabavu, održavanje i operaciju povlačnih mreža i većih plovila - Zasigurno negativni učinci na morski ekosustav i nuspojave koje mogu prouzročiti povlačne mreže na morska staništa

Izvor: izradio student prema [15] [35]

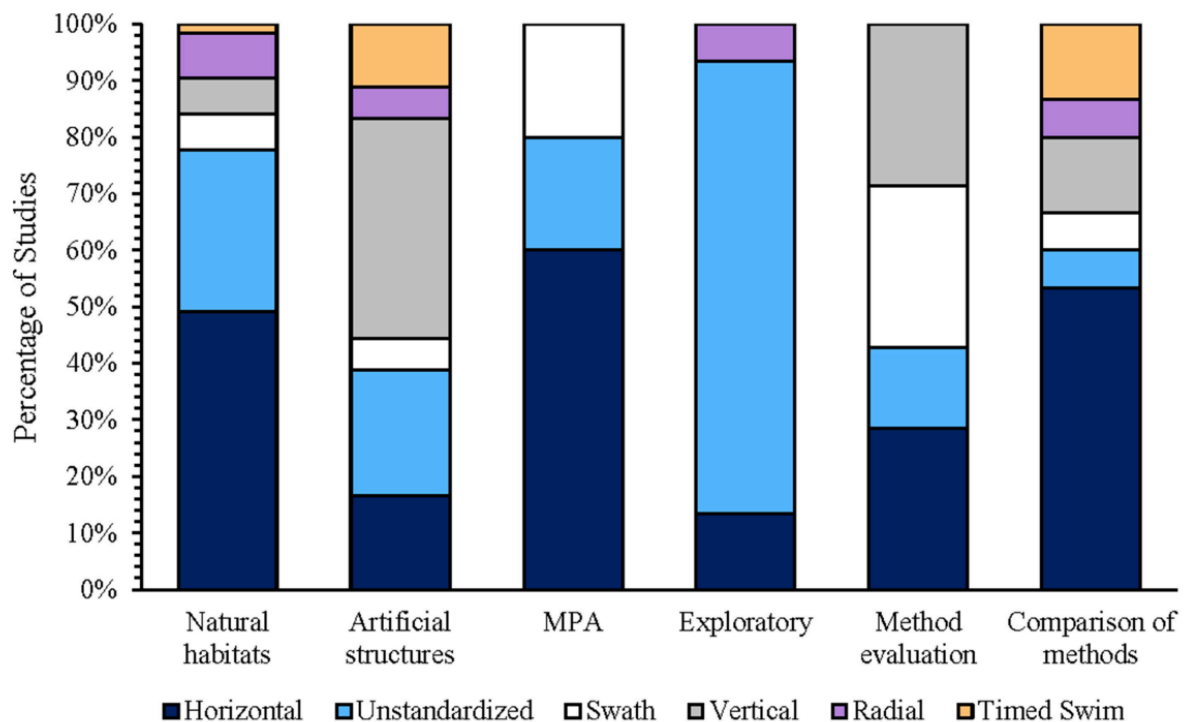
Povlačne mreže omogućuju istraživačima učinkovito prikupljanje većih uzoraka otpada s morskog dna. Međutim, njihova primjena je ograničena zbog svojih destruktivnih učinaka.

Kod bilo koje metode detekcije otpada, važno je kvantificirati područje ili duljinu transekta morskog dna koji se promatra. Važno je temeljito planiranje kako bi se osigurala učinkovita i uspješna implementacija. Planiranje obuhvaća određivanje načina pretraživanja, dokumentiranja i postupaka koji će se primijeniti tijekom procesa detekcije otpada.

4.8. METODE SNIMANJA PODMORJA ROV-OM

Transekti predstavljaju unaprijed određene putanje ili linije koje se koriste kao osnova za podvodna istraživanja i promatranja. Transekti su obično dizajnirani kako bi pokrili određena područja interesa ili studijske lokacije na sustavan način. Prateći transekte, ROV (kao i ostale metode) osigurava sveobuhvatno pokrivanje i olakšava prikupljanje preciznih podataka duž unaprijed određene putanje. Transekti se mogu koristiti za procjenu različitih aspekata podvodnog okoliša, kao što su raspodjela morskog života (npr. biolozi provode istraživanja nad poseidonijom ili plemenitom periskom [42]), kartiranje staništa ili praćenje morskog otpada.

Prema Darryn et al. [43] najčešća istraživanja ROV-om uglavnom koriste horizontalne paralelne transekte, slično kao i koja se provode tijekom SCUBA ronjenja. Nadalje, postoje i nestandardizirani transekti kao i alternativne strategije pretraživanja i planiranja transekata (npr. četverolisni, radijalni, poligonalni i sl.).

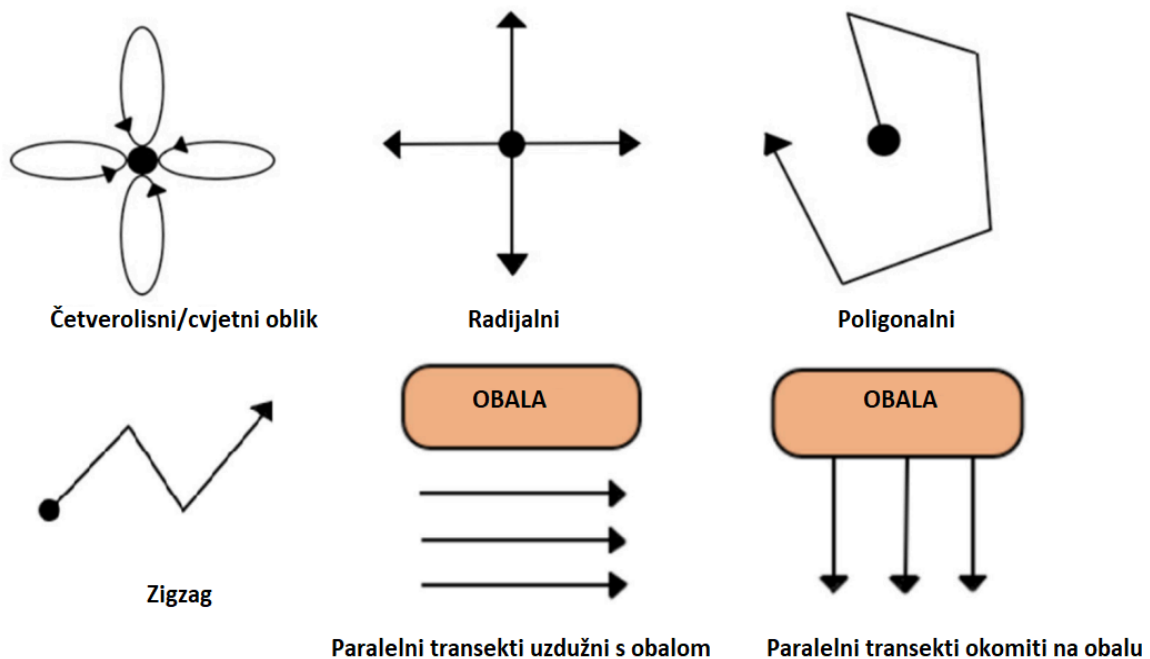


Slika 25. Postotak studija koji koriste pojedine dizajne transekata [43]

Slika 25. prikazuje istraživanja/snimanja provedena ROV-om (u svrhu nadzora ribljih zajednica) u prirodnim staništima (62 studije), istraživanjima na umjetnim strukturama (19 studija), istraživanjima u morskim zaštićenim područjima (5 studija), istraživačkim studijama

(5 studija), istraživanjima koja procjenjuju učinkovitost uzoraka na temelju ROV-a (7 studija) i istraživanjima koja uspoređuju ROV-ove s drugim metodama istraživanja (15 studija). U svim navedenim područjima istraživanja prikazani su postotci korištenja različitih transekata, redom: horizontalni paralelni, nestandardizirani, mrežasti, vertikalni i radijalni transekci te metoda u kojoj ronionci plivaju određenom brzinom ili na određenu udaljenost tijekom određenog vremenskog razdoblja (eng. *timed swim*) koja je najmanje zastupljena.

Kako mnoge podmorske prirodne strukture (poput grebena, stijena i sl.) imaju složene značajke i područja s visokim reljefom, važno je razmotriti alternativne strategije korištenja ROV-a koje omogućuju vertikalno kretanje, dok istovremeno smanjuju mogućnost zaplitanja kabela. U nastavku su prikazani neki od dizajna transekata koji se mogu koristiti.

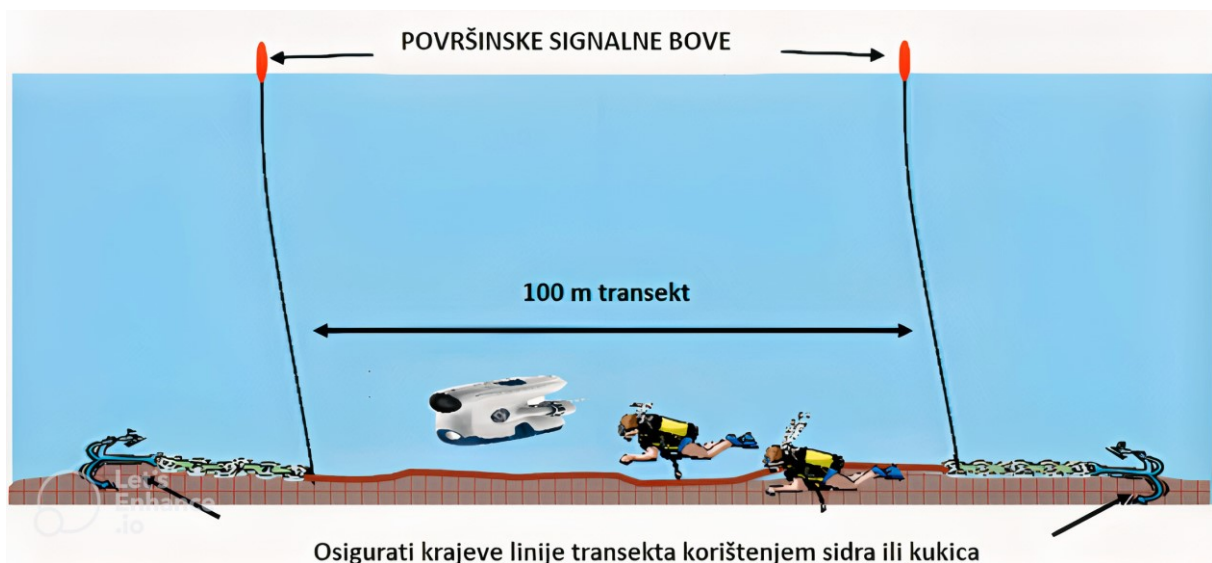


Slika 26. Različiti dizajni transekata korištenjem ROV-a

Izvor: izradio student prema [43]

Metoda paralelnih transekata (koja je preuzeta iz ronilačke prakse) ističe se kao jedna od najčešće korištenih metoda pri korištenju ROV-a za nadzor morskog otpada. Ova metoda uključuje postavljanje transekata koji se protežu paralelno s određenim razmakom, omogućujući sustavno i učinkovito istraživanje ciljanih područja. Načelno, područje istraživanja je definirano širinom i duljinom transekata. Istraživanja se provode kroz dva paralelna transekta za svaku uzorkovnu lokaciju. Koordinate početka i kraja transekta trebaju

se zabilježiti pomoću GPS-a (eng. *Global Positioning System*) i po potrebi označiti signalnim bovama. Linije transekata se mogu označiti najlonskom vrpcom koja je označena svakih 5 metara otpornom bojom, a postavljena je uz pomoć ronilačkog koluta (mehanizam za namotavanje i otpuštanje konopa) tijekom ronjenja s ronilačkom opremom SCUBA [44]. Ovakav detaljan pristup često se primjenjuje u situacijama koje zahtijevaju visoku razinu detalja, kao što su istraživanje arheoloških nalazišta ili kada je potrebna precizna detekcija otpada. Nadalje, udaljenosti se mogu odrediti postavljanjem 100 metarske mjerne trake ili alternativno postavljanjem 100 metarskog komada otežanog užeta duž dna, prikazano na sljedećoj slici.



Slika 27. Ilustrirani prikaz označavanja transekata

Izvor: preuredio student prema [44]

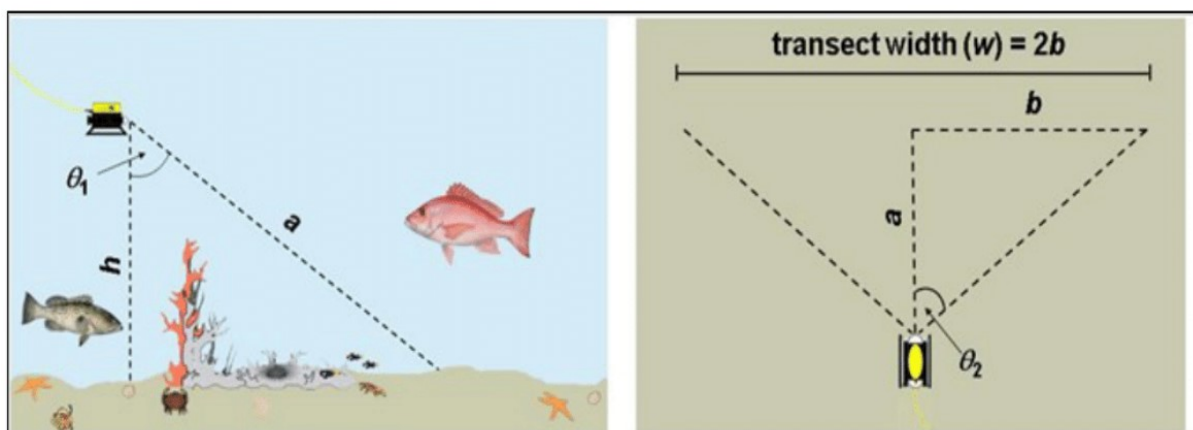
Duljina paralelnih transekata može varirati od 50 m do 200 m, a širina od 4 m do 8 m, ovisno o dubini, nagibu, stanju vidljivosti i gustoći otpada. Tehnička skupina Okvirne direktive o morskoj strategiji (*MSFD*) predlaže različiti raspon veličina transekata ovisno o okolišnim uvjetima mora i koncentraciji otpada [44].

Tablica 16. Preporučeni raspon veličina transekata ovisno o okolišnim uvjetima mora i koncentraciji otpada [44]

Litter density, items/m ²	Conditions	Transect size (length x width)
0.1 - 1	Low turbidity- high habitat complexity	20 x 4 m
0.1 - 1	High turbidity	20 x 4 m
0.01 -0.1	For every case	100 x 8 m
<0.01	For every case	200 x 8 m

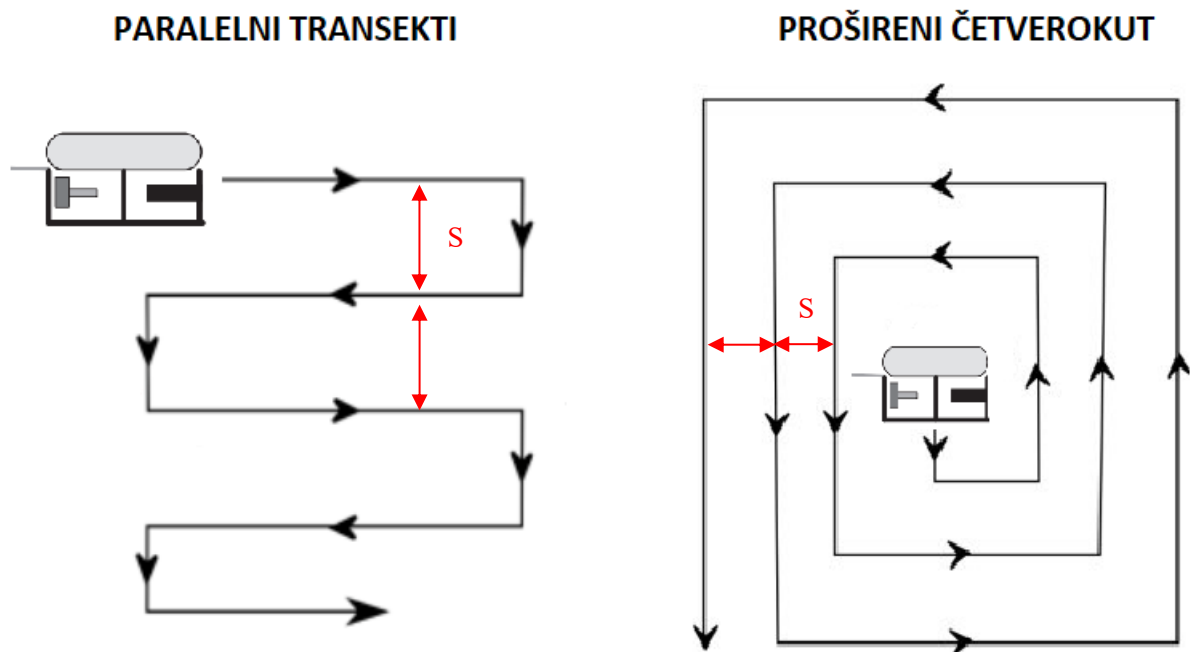
Korelacija između vidnog polja kamere ROV-a i širine transekta igra važnu ulogu u određivanju optimalne širine transekta za istraživačke svrhe. Vidno polje kamere ROV-a odnosi se na kut vidljivosti koji kamera objektiva može snimiti. Ovaj kut određuje širinu područja koje se može promatrati na određenoj udaljenosti od ROV-a. Što je vidno polje šire, to je veća širina promatranog područja. Kako bi se odredila širina transekta, važno je uzeti u obzir željenu pokrivenost područja istraživanja i vidno polje kamere ROV-a koja se koristi. Općenito, preporučuje se postaviti širinu transekta nešto manju od vidnog polja kako bi se osigurala adekvatna pokrivenost područja i preklapanje između susjednih transekata. Osim toga, treba uzeti u obzir i faktor trenutne vidljivosti u moru. Vidljivost može varirati ovisno o uvjetima, poput prisutnosti mulja ili suspendiranih čestica. U situacijama s lošom vidljivošću, može biti potrebno smanjiti širinu transekta kako bi se povećala mogućnost otkrivanja otpada. U svom istraživanju Ioakeimidis et al. [45] su procijenili morski otpad na morskom dnu Saronskog zaljeva u Grčkoj koristeći ROV. Ukupna obuhvaćena površina koja je snimana izračunata je množenjem dužine pojedinih transekata s prosječnim vidnim poljem kamere ROV-a (u njihovom slučaju, vrijednost vidnog polja kamere ROV-a iznosi 3 metra, što je određeno korištenjem njihovog modela ROV-a).

Trigonometrija se koristi za procjenu širine video transekta na temelju visine kojom se daljinski upravljano vozilo (ROV) nalazi iznad morskog dna, kuta nagiba kamere (θ_1) i kuta vidljivosti kamere (θ_2). Ukoliko su nam poznate vrijednosti dubine na kojoj se nalazi ROV, kuta nagiba kamere i kuta vidljivosti, može se izračunati širina transekta koristeći trigonometriju. Umnožkom dužine transekta i širine dobivamo površinu transekta. Površina transekta je mjera prostora koji obuhvaća istraživano područje na morskom dnu. U kontekstu morskog otpada, gustoća otpada može se prikazati kao: pronađeni predmeti/m².



Slika 28. Korištenje trigonometrije za procjenu širine transekta [46]

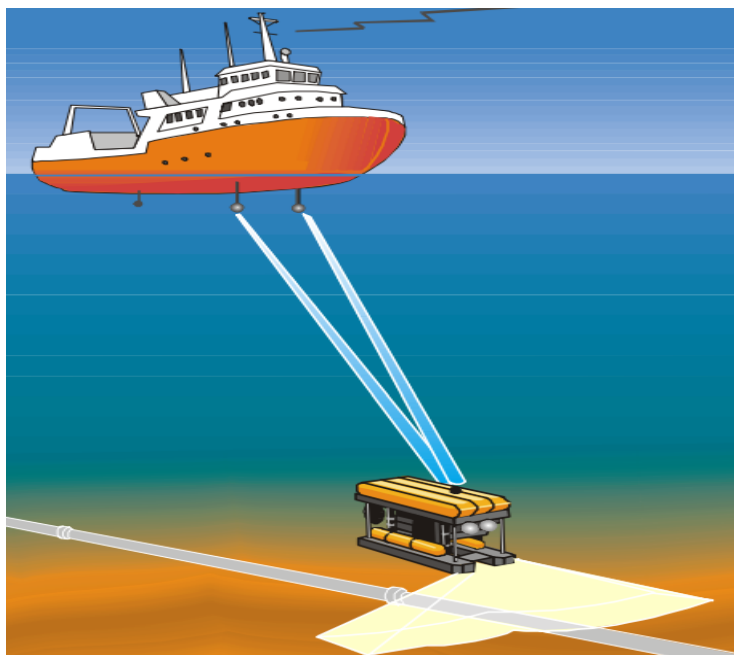
Jedan od rijetko ili gotovo nikada spominjanih pristupa u stručnoj literaturi je primjena proširenog četverokuta prilikom snimanja morskog dna pomoću ROV-a. U ovom pristupu ROV slijedi sistematični uzorak paralelnih transekata ili putanja te pokriva željeno istraživačko područje na metodičan i učinkovit način. ROV se kreće ravno, održavajući konstantnu udaljenost od morskog dna ili određene dubine. Kada se koristi prošireni četverokut, često se javljaju promjene smjera kretanja. Ovo može zahtijevati brze i precizne prilagodbe upravljanja ROV-om kako bi se održala točnost snimanja. U uvjetima kao što su jaki strujni tokovi ili nepredvidive vremenske promjene, ove promjene smjera mogu biti posebno izazovne i zahtijevaju vještine operatera ROV-a. Da bi se smanjili nedostaci, važno je pravilno kalibrirati ROV i osigurati pouzdane senzore za orijentaciju. Također je korisno imati obučene operatere koji su sposobni brzo reagirati na promjene smjera i prilagoditi upravljanje ROV-om. Ovaj pristup omogućuje sveobuhvatno pokrivanje područja od interesa pogotovo razmjerno manjih područja, te olakšava prikupljanje dosljednih podataka za analizu.



Slika 29. Obrazac primjene paralelnih transekata i metode proširenog četverokuta

Izvor: izradio student

U radu koji su proveli Vigo i suradnici [47] koristili su ROV za snimanje i prikaz prostorne raspodjele norveškog jastoga u istraživanom području. Pozicioniranje ROV-a (kao i pozicija transekata) mjereno je pomoću sustava visoke preciznosti za akustično pozicioniranje (High Precision Acoustic Positioning; 350 P Simrad) s prostornom točnošću od 0,3% i pogreškom raspona detekcije manjom od 20 cm. Ovo je bilo povezano s diferencijalnim globalnim pozicionirnim sustavima (eng. *Differential Global Positioning Systems*) koji nadopunjuju i poboljšavaju dostupne podatke o položaju dobivene iz globalnih navigacijskih satelitskih sustava (eng. *Global navigation satellite system*).



Slika 30. Izmjena akustičnih signala na relaciji pretvornik (eng. transducer) - ROV [48]

Površina koju je vidno polje kamere ROV-a pokrilo izračunato je na temelju trenutne brzine ROV-a svake sekunde, pomnoženo sa širinom koju je mjerio laserski pokazivač. Dva laserska pokazivača korištena su i kako bi pružili referentnu skalu za određivanje veličine životinja unutar vidnog polja kamere.

Planiranje transekata u kontekstu nadzora morskog otpada ključno je za uspješno obavljanje istraživanja. Pri tome treba uzeti u obzir nekoliko faktora. Prvo, važno je razumjeti prevladavajuće okolnosti poput strujanja vode, sezonskih promjena i prisutnosti drugih morskih organizama ili otpada. To omogućuje usmjeravanje transekata prema područjima s većom vjerojatnošću nakupljanja otpada ili mjestima koja zahtijevaju posebnu pozornost. Također je bitno procijeniti razinu vidljivosti u moru kako bi se odabrala odgovarajuća metoda pretraživanja. Ako je vidljivost dobra, vizualno pretraživanje može biti učinkovito, dok se u slučaju smanjene vidljivosti mogu primijeniti sonari ili druge tehnologije za detekciju otpada pod vodom. Nadalje, važno je odabrati odgovarajuće transektno pretraživanje, ovisno o cilju istraživanja, dostupnoj opremi i raspoloživim resursima. Jasno definiran cilj pretraživanja također je ključan, bilo da se radi o identifikaciji i kartiranju područja zagađenja, praćenju promjena u količini otpada ili identifikaciji specifičnih vrsta otpada. Pravilno planirani transekti omogućuju učinkovito prikupljanje podataka o morskom otpadu i ostvarivanje ciljeva istraživanja.

5. ISTRAŽIVANJE ONEČIŠĆENJA MORSKOG DNA

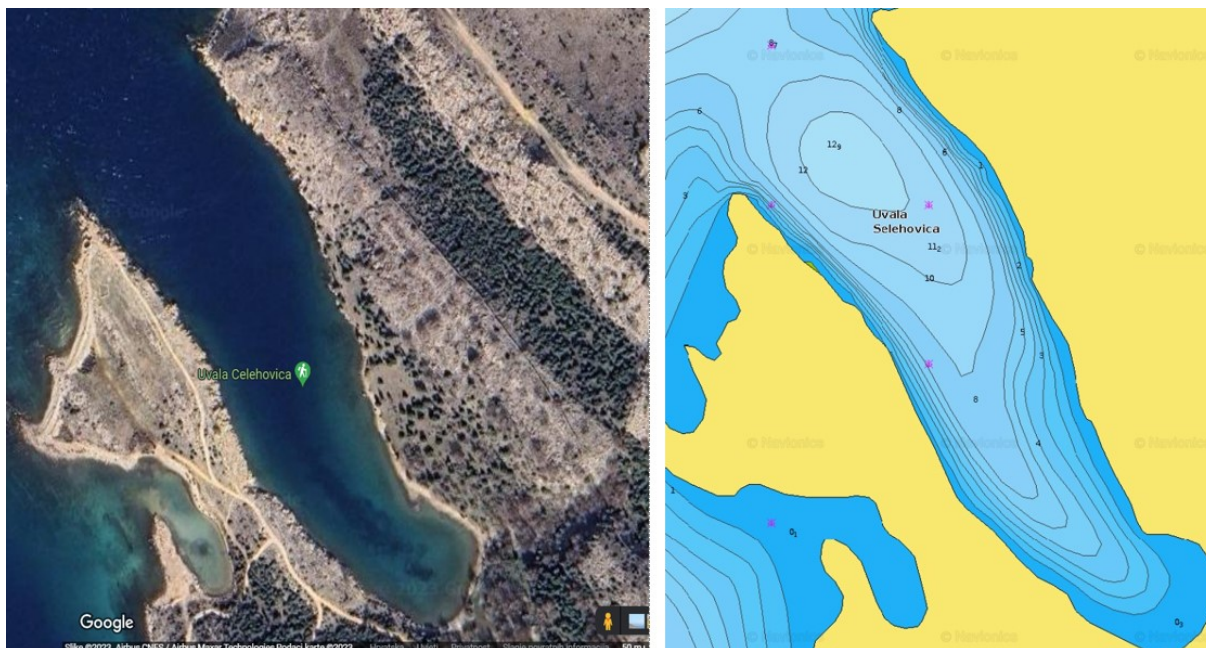
5.1. LOKACIJA ISTRAŽIVANJA

Uvala Selehovica na otoku Krku je izabrana kao lokacija za snimanje količine i sastava morskog otpada primjenom ROV-a. Snimanje je izvršeno 16. lipnja 2023. godine. Razlog odabira ove popularne prirodne uvale je njezina isključiva upotreba kao sidrište koje tijekom ljetne sezone često posjećuju plovila nautičkog turizma, uz ograničen pristup s obale koji nije moguć putem ceste. Uvala je svojom prirodnom konfiguracijom zaklonjena od valova i vjetera, zbog čega je vrlo popularna među nautičarima, posebno među domaćim stanovništvom koje je rado koriste kao sidrište za opuštanje i uživanje u raznim morskim aktivnostima.



Slika 31. Položaj uvale Selehovica na otoku Krku [61]

U samoj uvali nisu prisutni nikakvi sadržaji niti usluge, što znači da je prisutnost otpada isključivo rezultat neodgovornog ponašanja osoba s nautičkih plovila koja nepropisno zbrinjavaju smeće. Pretpostavlja se da i određena količina otpada dolazi sa kopna putem morskih struja, valova i vjetera.



Slika 32. Konfiguracija uvale Selehovica [49] [50]

Dužina uvale iznosi približno 340 metara. Najširi dio se nalazi na samom ulazu i prostire se na 100 metara. Prosječna širina uvale iznosi otprilike 50 metara. Prema pratećim izobatama, najveća dubina kreće se između 12 i 16 metara.



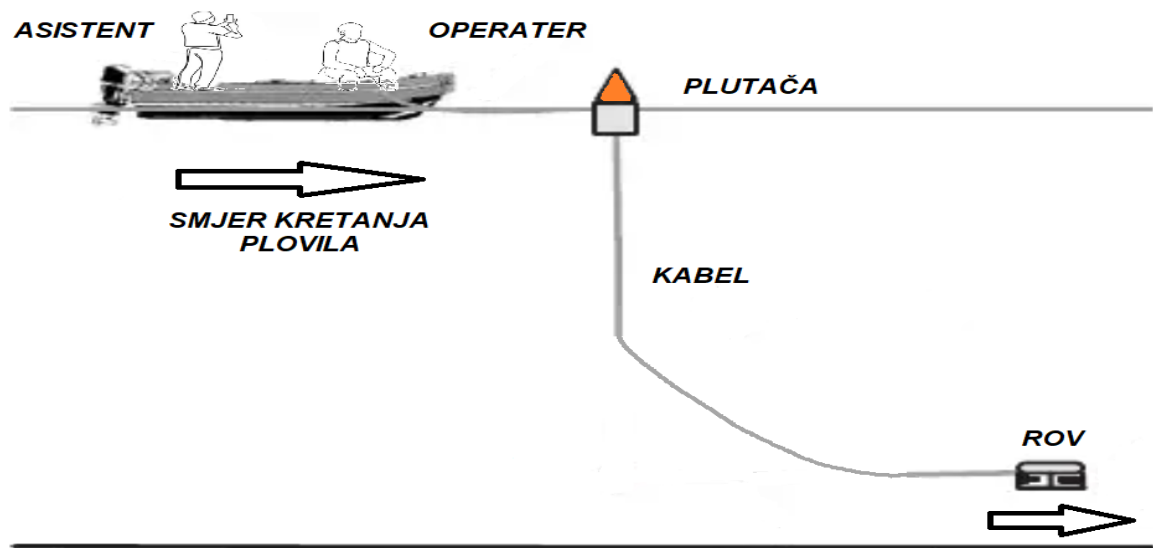
Slika 33. Uvala Selehovica tijekom ljetne sezone [51]

Površina uvale iznosi približno 20,000 m², odnosno 0,02 km². Morsko dno je pretežito pjeskovito s dijelovima koji su kameniti. Zbog povoljne dubine i vrste morskog dna idealna je za sidrenje manjih plovila i plovila za razonodu.

5.2. METODA ISTRAŽIVANJA

Metoda istraživanja i pregleda onečišćenja morskog dna na studijskoj lokaciji obuhvaćala je primjenu ROV-a inspekcijske klase (eng. *Inspection Class ROVs*) kako bi se detaljno snimila količina i vrsta prisutnog otpada. Prije samog dolaska na lokaciju, transketi po kojima će se sustavno snimiti studijska lokacija koristeći ROV unaprijed su definirani. Zbog prirodne konfiguracije uvale odabran je pristup paralelnim, fizički neoznačenim transektima, a kretanje je planirano korištenjem plovila s kojeg se upravljao ROV.

Pristup snimanju studijske lokacije obuhvaćao je posadu sastavljenu od operatera ROV-a (student) i asistenta (mentor). U režimu rada uživo s broda, operater je upravljao ROV-om koji je bio povezan pripadajućim kabelom, putem kojeg su se vizualni podatci prenosili na nadzornu jedinicu, odnosno na zaslon mobilnog uređaja operatera. Kontinuirana komunikacija između operatera i asistenta bila je od izuzetne važnosti, s obzirom na to da je asistent upravljao brodom dok se istovremeno kretao i ROV. Signalna plutača je bila od iznimne važnosti. Kabel ROV-a je bio povezan sa plutačom postavljenom na udaljenosti od 20 metara. Ovaj način omogućio je ROV-u da zaroni do najvećih očekivanih dubina, istovremeno omogućavajući vizualno praćenje položaja ROV-a s površine tijekom snimanja. Ona je služila kao oznaka i referenca za precizno lociranje ROV-a, što je olakšalo koordinaciju između operatera i asistenta.



Slika 34. Pojednostavljen prikaz korištene metode

Izvor: izradio student

Prilikom snimanja korištena su 2 modela ROV-a: Blueye Pioneer i FIFISH V6 Expert, u vlasništvu Pomorskog fakulteta u Rijeci, oba sa svojom odgovarajućom popratnom opremom (namotaj/bubanj za kabel na kojem se nalazi jedinica za povezivanje s mobilnim uređajem te VR⁸ naočale).



Slika 35. Blueye Pioneer i FIFISH V6 Expert

Izvor: fotografirao student

⁸ Virtual reality

Radi sustavnog i preciznog snimanja podmorja te analize količine i sastava morskog otpada, uvala je podijeljena na tri sektora kako je prikazano na slici 36. Zahvaljujući povoljnim vremenskim uvjetima i obilju sunčeve svjetlosti, vidljivost na morskom dnu bila je izvrsna, omogućavajući precizno i detaljno snimanje.



Slika 36. Prikaz paralelnih transekata i sektora

Izvor: izradio student pomoću programa Adobe Illustrator [52]

U sektoru I početni kurs prilikom snimanja iznosio je 130° (kurs prema jugoistoku), slijedio je okret za prelazak u novi transket pod pravim kutem (lijevo ili desno) u kurs od 40° . Širina između transekata iznosila je 8 metara (kao u sektoru II i III) što je odabrano na temelju preporuke stručne literature kao gornja granica. Osim toga, odabir te širine bio je potaknut izvrsnom vidljivošću na studijskoj lokaciji, kao i upotrebom širokokutne kamere. Ova kombinacija faktora omogućila je precizno snimanje i dokumentiranje područja između transekata, nakon čega se snimanje nastavilo u protukursu od 310° (kurs ka sjeverozapadu). Navedene promjene kurseva sustavno su ponavljane kako bi obuhvatile cijeli sektor. Najbliži dijelovi u sektoru gdje je dubina mora manja od 1 metar nisu bili uzeti u obzir zbog izravne opasnosti od oštećenja ROV-a. Snimanje sektora je trajalo 45 minuta.

Sektor II po svojim dimenzijama je nešto širi što je rezultiralo većim brojem transekata. Ista metodologija snimanja se koristila kao i kod prethodnog sektora, za vrijednost početnog kursa 155° , kurs za prelazak na novi transket od 65° te protukurs od 335° . Za snimanje sektora potrebno je bilo 1 sat i 15 minuta.

Snimanje posljednjeg sektora je trajalo najduže, otprilike 2 sata. Razlog tome je kombinacija naglog pada dubine u samoj uvali i veće površine sektora, što je rezultiralo produljenjem vremena snimanja. Sustavno je nastavljeno snimanje za vrijednosti: početni kurs 135° , kurs za prelazak na novi transket od 45° u kojem je nastavljena vožnja 8 metara, zatim okret u odgovarajući protukurs koji je iznosio 315° .

Podjela uvala na tri sektora omogućila je sistematično istraživanje. Blagi oblik slova "S" koji karakterizira uvalu bio je ključni faktor u odabiru ove podjele. Logičnom podjelom na tri sektora, smanjile su se promjene smjera kretanja i minimizirale su se moguće pogreške tijekom kretanja. Ova metodologija omogućila je cjelovito pokrivanje područja uvala te detaljnu analizu svakog sektora. Kao dodatna mjera, markantne stijene na obali su bile praćene kako bi se precizno razgraničili sektori. Time je osigurano precizno određivanje granica svakog sektora te da istraživanje bude provedeno u skladu s planom. U tablici u nastavku su prikazane geografske koordinate granica svakog sektora.

Tablica 17. Geografske koordinate sektora

GEOGRAFSKE KOORDINATE	SEKTOR I	SEKTOR II	SEKTOR III
Početna točka	$45^\circ 14' 28''$ N $14^\circ 33' 12''$ E	$45^\circ 14' 32''$ N $14^\circ 33' 10''$ E	$45^\circ 14' 34''$ N $14^\circ 33' 07''$ E
Krajnja točka	$45^\circ 14' 27''$ N $14^\circ 33' 17''$ E	$45^\circ 14' 32''$ N $14^\circ 33' 13''$ E	$45^\circ 14' 33''$ N $14^\circ 33' 13''$ E

Izvor: izradio student

Kako bi se precizno pratile i mjerile dužine transekata, kao i širine između transekata, koristio se GPS uređaj. Također korišten je i Side scan sonar - Humminbird SOLIX 12 za praćenje topologije morskog dna u uvali.

Za snimanje sektora I i II korišten je model Blueeye pioneer, dok je za posljedni sektor korišten model FIFISH V6 Expert ROV. U nastavku je prikazana tablica s karakteristikama svakog urona ROV-a i pripadajućim vrijednostima.

Tablica 18. Karakteristike svakog urona ROV-a

Uroni	Trajanje (h)	Dubina (m)	Dimenzije transekata ROV-a, duljina x širina (m)	Model ROV-a	Ukupna snimljena površina (m²)
Uron 1	0.45	2-6	80 x 8	Blueeye pioneer	2560
Uron 2	1.15	6-10	100 x 8	Blueeye pioneer	6400
Uron 3	2	8-16	100 x 8	FIFISH V6 EXPERT	9000

Izvor: izradio student

Upravljanje ROV-om za svrhu nadzora morskog otpada predstavlja određene izazove koji se moraju prevladati. Neizbježna je određena razina umora operatera prilikom snimanja. Važno je osigurati odgovarajuće vrijeme odmora između zarona kako bi se očuvala koncentracija i radna sposobnost. Također, potrebno je posjedovati odgovarajuće znanje i vještine za upravljanje ROV-om te imati dobru orijentaciju pod morem. ROV u rukama iskusnog operatera predstavlja vrijedan alat koji omogućuje precizno snimanje i prikupljanje podataka o morskome otpadu.



Slika 37. Operater (student) tijekom snimanja podmorja ROV-om u uvali Selehovica

Izvor: privatna arhiva studenta

Nakon snimanja, provedena je detaljna analiza cijelog video materijala kako bi se identificirali relevantni podaci o količini i sastavu morskog otpada.

5.3. ANALIZA REZULTATA NA TEMELJU VIZUALNOG OSMATRANJA SNIMKI

Tijekom vizualnog osmatranja u obzir su se uzimali samo predmeti veći od približno 2,5 cm, odnosno kategorije makrootpad. Ukupno je identificirano 304 predmeta morskog otpada. Predmet klasificiran kao neidentificiran nije uključen u proračun. 37 predmeta zabilježeno je u prvom sektoru i 106 u drugom. U trećem sektoru je zabilježen najveći broj predmeta morskog otpada, ukupno 161. Prosječna gustoća zabilježenih predmeta promatrajući cijelu uvalu iznosi 0,02 predmeta po kvadratnom metru (sektor I: 0,01 predmeta/m², sektor II: 0,02 predmeta/m², sektor III: 0,02 predmeta/m²).

Klasifikacija predmeta morskog otpada izvršena je prema Zajedničkom popisu Tehničke skupine za morski otpad (TGML) [14]. Sastav različitih predmeta morskog otpada prikazan je u tablici 19.

Tablica 19. Glavne kategorije, broj i postotak za 304 zabilježena predmeta morskog otpada





KATEGORIJA PREDMETA	SEKTOR I		SEKTOR II		SEKTOR III		PROSJEK %	UKUPNO
	BROJ PREDMETA	%	BROJ PREDMETA	%	BROJ PREDMETA	%		
PLASTIKA	13	35	57	54	90	55	48	160
STAKLO/KERAMIKA	16	43	28	26	45	28	33	89
METAL	8	22	14	13	23	14	16	45
GUMA	0	0	5	5	3	2	2	8
TKANINA/TEKSTIL	0	0	2	2	0	0	1	2
NEIDENTIFICIRANO	0	0	0	0	1	1	0	0
UKUPNO	37		106		161			304





Izvor: izradio student






Plastika je bila najzastupljenija vrsta morskog otpada, premašujući 50 % u sektoru II i III. Najzastupljeniji plastični predmeti uključivali su plastične boce, čepove, plastično posuđe i različite fragmente plastike koji su započeli proces razgradnje. Staklo/keramika je bile druga najzastupljenija vrsta otpada. Najčešće su primijećene staklene boce i različite vrste staklenih posuda. Najčešći metalni predmeti uključivali su limenke za piće i konzerve hrane. Guma, odjeća/tekstil i neidentificirani predmeti imali su nisku zastupljenost u ukupnoj analizi.




Razumijevanje različitih oblika, vrsta, stupnjeva degradacije i fragmentacije morskog otpada može predstavljati izazov prilikom njihovog klasificiranja u odgovarajuće kategorije. U svrhu olakšavanja ovog procesa, Tehnička skupine za morski otpad razvila je online fotokatalog Zajedničkog popisa kategorija otpada. U nastavku je prikazana tablica s primjerima podkategorija prema J-CODE (Joint list) popisu, s elementima koji omogućuju jednostavno prepoznavanje i klasifikaciju različitih kategorija otpada pronađenih na studijskoj lokaciji. Ovi elementi pružaju jasne informacije o svakoj kategoriji, uključujući identifikacijski broj, oznaku, ime i definiciju. Ova organizacija i sustavna klasifikacija pomažu u razumijevanju i analizi različitih vrsta otpada pronađenih u istraživanju.

Tablica 20. Podkategorije otpada na studijskoj lokaciji prema Joint listi

BROJ	OZNAKA	OZNAKA VRSTE	IME	DEFINICIJA	SLIKA
7	J7	pl_fc_b&c_dbot_sm ll_	Plastična boce za piće zapremine 0,5 litara ili manje	Plastične boce i spremnici zapremine 0,5 litara ili manje, koji se koriste za držanje vode, soka ili drugih pića za konzumaciju.	
8	J8	pl_fc_b&c_dbot_lag e_	Plastične boce za piće veće od 0,5 litara	Plastične boce i spremnici s zapreminom većom od 0,5 litara, koji se koriste za držanje vode, soka ili drugih pića za konzumaciju.	
16	J16	pl_nn_b&c_jery_	Plastične kanticice	Veliki plastični spremnici s ravnim bočnim stranicama i ručkom koji se koriste za skladištenje ili transport tekućina, obično benzina ili vode.	
18	J18	pl_nn_box_	Plastične kutije, sanduci, košare	Plastični spremnici koji se obično koriste za prijevoz ili pohranu različitih vrsta predmeta i proizvoda, osim onih povezanih s ribarstvom i akvakulturom.	

21	J21	pl_fc_b&c_lids_drn k_	Plastični čepovi/poklopci za pića	Plastični čepovi i poklopci s boca i posuda koji se koriste za držanje vode, soka ili drugih pića za kon- zumaciju.	
61	J61	pl_fi_ofi_	Ribolovna oprema	Drugi predmeti smeća vezani uz ribarstvo koji nisu izričito obuhvaćeni predmetima smeća vezanim uz ribarstvo navedenima na ovoj listi, kao što su meki i tvrđi plastični mamci.	
68	J68	pl_nn_fib_	Predmeti od stakloplastike	Predmeti iz- rađeni od stakloplastike, uobičajene vrste ojačanog plas- tičnog materijala koji koristi staklena vlakna.	
79	J79	pl_nn_frg_nofp_sm al_	Fragmenti ne- pjenastih plas- tičnih materijala duljine od 2,5 cm do 50 cm	Fragmenti plas- tike koji su veći od 2,5 cm i manji od 50 cm u najdužoj di- menziji, a potječu od nei- dentificiranih plastičnih pred- meta od neplu- tajućeg polistirena.	

136	J136	pl_cl_ftw_shoe_	Obuća izrađena od plastike - osim japanki	Predmeti obuće izrađeni od plastike - osim japanki.	
141	J141	ct_nn_cpt_	Tepisi od tkanine i namještaj presvučen tkani- nom	Debela tkanina koje se koristi za prekrivanje poda ili druge tkanine koje se koriste za namještaj, obloge, zavjese i slično.	
175	J175	me_fc_b&c_cans_b evg_	Metalne limenke za piće	Metalne posude koje se koriste za skladištenje i prodaju, primjerice piva ili bezalkoholnih pića.	
176	J176	me_fc_b&c_cans_fc an_	Metalne konzerve za hranu	Metalne konzerve koje se koriste za skladištenje i prodaju hrane poput graha, juhe, ribe, kukuruza itd.	
200	J200	gc_nn_b&c_bott_	Staklene boce	Staklene ili keramičke posude s uskim vratom, koje se koriste za čuvanje pića ili drugih tekućina.	

201	J201	gc_nn_b&c_jars_	Staklene tegle	Široke cilindrične posude s otvorom od stakla ili keramike, posebno namijenjene za pohranu hrane.	
229	J229	pl_fc_tab_cupt_plat_	Plastični pladnjevi	Jednokratni tanjuri i pladnjevi napravljeni od umjetnog polimernog materijala.	
251	J251	ru_vk_tyr_tyre_	Automobilske gume	Gume od svih vrsta vozila.	

Izvor: izradio student prema [14]

Tablica 21. prikazuje kvantitativne podatke o količini pronađenog otpada, koji je razvrstan prema 19 podkategorija Zajedničke liste.

Tablica 21. Ukupan broj pronađenog makrootpada

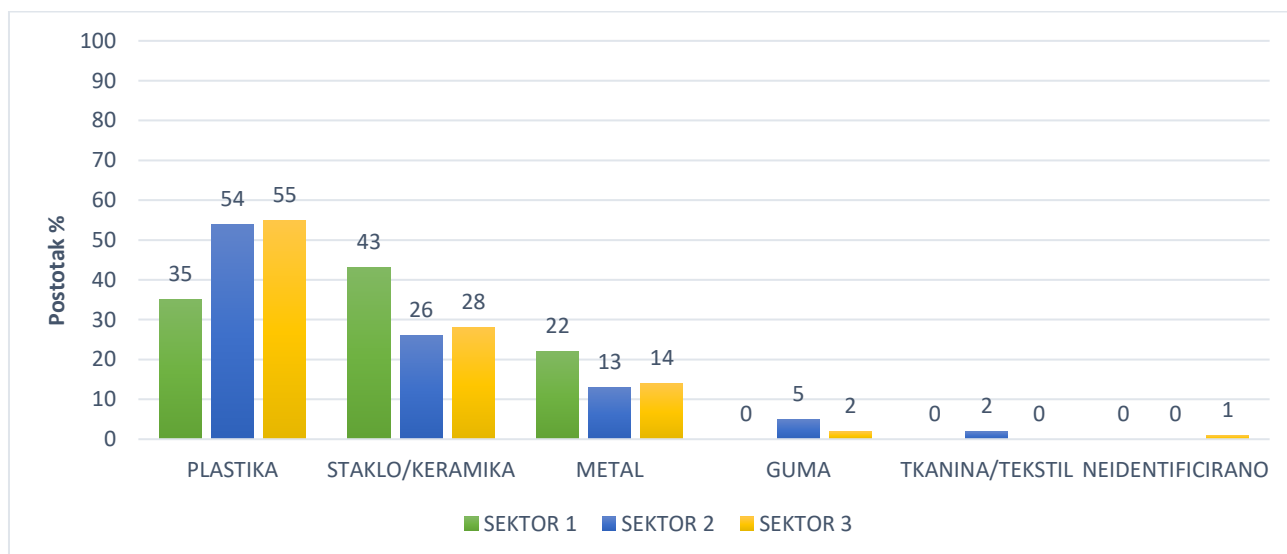
Uvala Selehovica				
PODKATEGORIJE	Sektor 1	Sektor 2	Sektor 3	Ukupno
Plastična boce za piće zapremine 0,5 litara ili manje	8	30	43	82
Plastične boce za piće veće od 0,5 litara	3	11	20	34
Plastične kantice	0	1	5	6
Plastične kutije, sanduci, košare	0	1	0	1
Plastični čepovi/poklopci za pića	1	5	8	14

Predmeti od stakloplastike	0	1	0	1
Fragmenti ne - pjenastih plastičnih materijala duljine od 2,5 cm do 50 cm	0	1	7	8
Drugi plastični predmeti povezani s ribarstvom koji nisu obuhvaćeni drugim kategorijama	0	1	2	3
Obuća izrađena od plastike - osim japanki	0	2	0	2
Drugi prepoznatljivi predmeti od ne-pjenastih plastika	1	2	2	5
Plastični pladnjevi	0	1	3	4
Metalne limenke za piće	7	9	18	34
Drugi metalni komadi duljine od 2,5 cm do 50 cm.	1	1	0	2
Metalne konzerve za hranu	0	4	5	9
Staklene boce	11	24	38	73
Staklene tegle	5	4	7	16
Tepisi od tkanine i namještaj presvučen tkanim	0	2	0	2
Drugi komadi gume	0	2	2	4
Automobilske gume	0	3	1	4
UKUPNO	37	106	161	304

Izvor: izradio student

Vizualnim osmatranjem, procijenjena je ukupna zapremina pronađenih predmeta, koristeći standardne dostupne vrijednosti pojedinih predmeta u kubičnim metrima. Procijenjena ukupna količina pronađenih predmeta iznosi približno 1 m³. Važno je napomenuti da stvarni volumen može varirati zbog različitih oblika, proizvođača i slično. Ovo se prvenstveno odnosi na makrootpad koji je pronađen, kao što su plastične boce, staklene boce, limenke, konzerve i slično. Ovakva aproksimacija pomaže u procjeni količine i upravljanju otpadom, unatoč mogućim varijacijama u stvarnim volumenima predmeta.

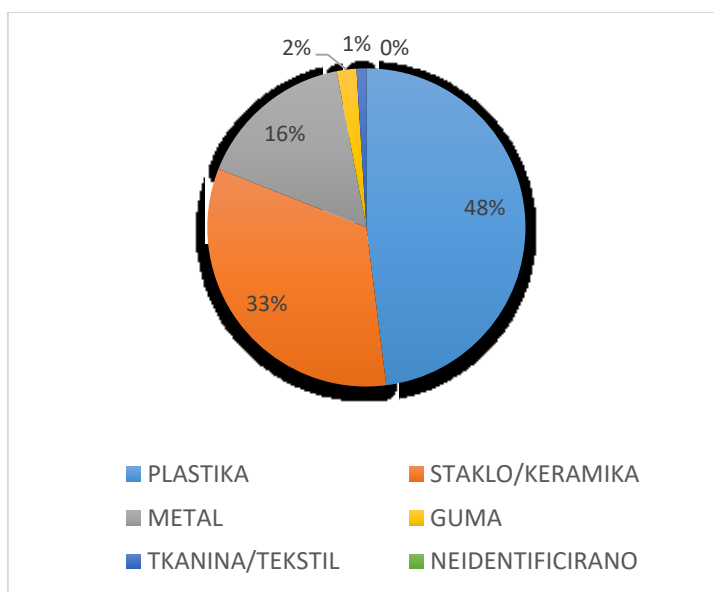
Grafikon 1. Postotak vrste materijala za svaki sektor



Izvor: izradio student

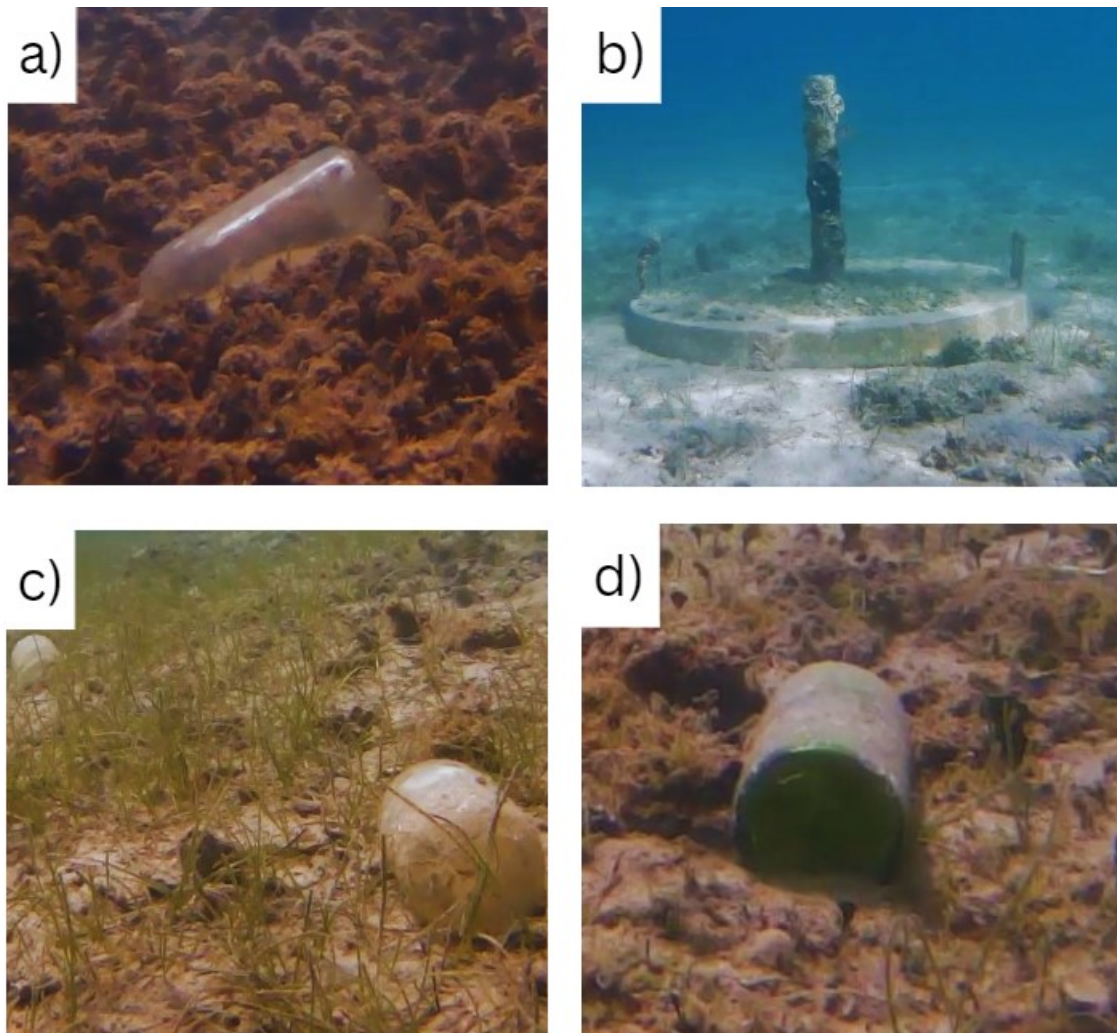
Na grafu 1. prikazana je usporedba postotka prema vrsti pronađenog morskog otpada. Još jedan parametar koji je istraživao bio je varijacija raspodjele veličine među različitim predmetima morskog otpada. Kako su predmeti morskog otpada promatrani putem videozapisa, klasifikacija veličine izvršena je približno. Većina (80,0%) predmeta morskog otpada klasificirana je kao predmeti srednje veličine ($> 5 \times 5$ cm) makrootpada. Primijećene su i određene količine manjih predmeta ($< 5 \times 5$ cm), vjerojatno zbog fragmentacije.

Grafikon 2. Ukupan udio po glavnim kategorijama otpada za sve sektore



Izvor: izradio student

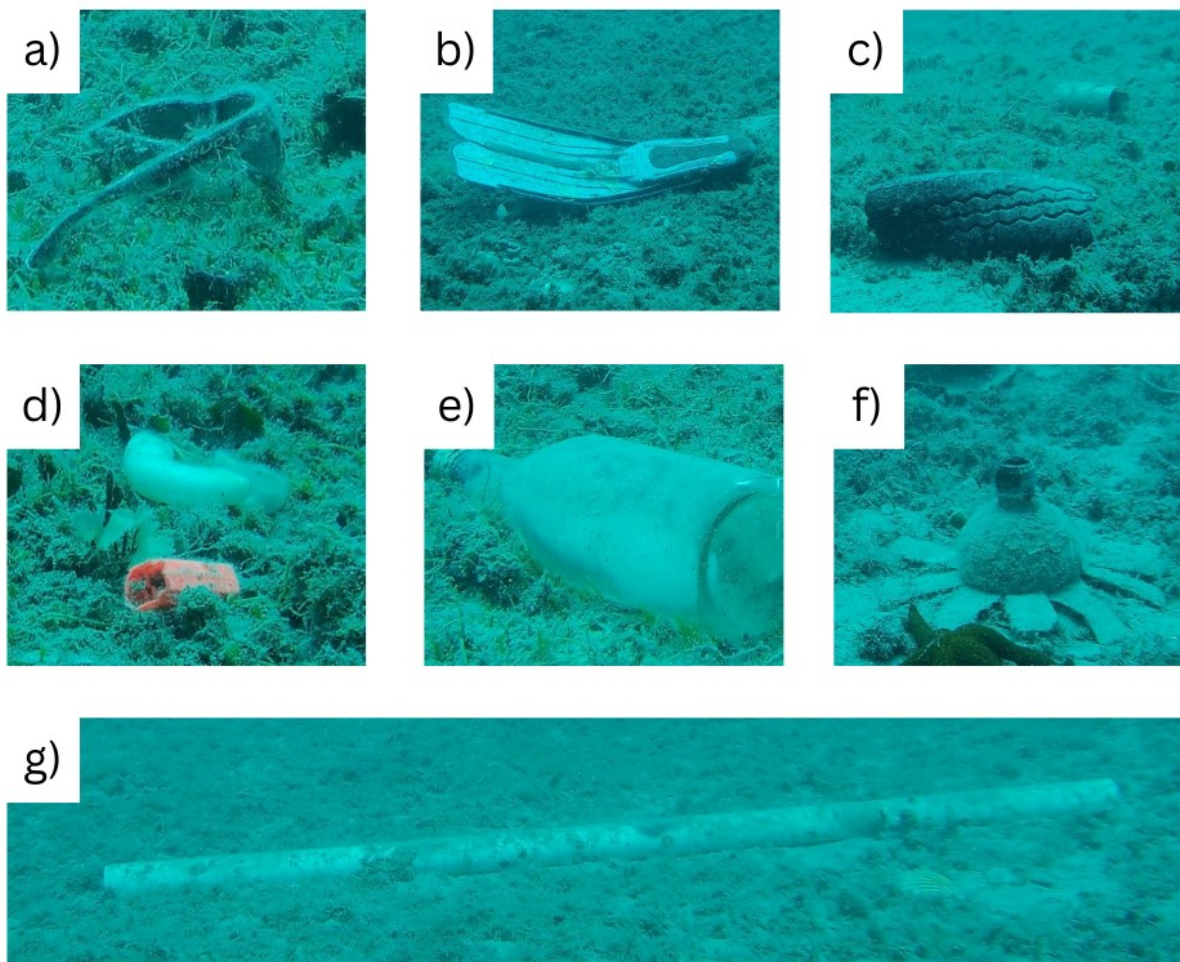
U sektoru I zabilježena je najmanja količina otpada. Razlog tomu je manja dubina samog sektora, što rezultira manjim brojem plovila koja tu sidre. Također, moguće je da pojedinci koji za vrijeme kupanja i/ili hodanja u plićaku tog područja uklanjaju smeće i pravilno ga zbrinjavaju, što doprinosi smanjenju količine otpada. Na slici 38. prikazane su pojedine vrste otpada, redom: a) plastična boca, b) metalna šipka s betonskim postoljem, c) dvije staklenke, d) staklena boca.



Slika 38. Reprezentativni predmeti morskog otpada u sektoru I

Izvor: snimio student ROV-om

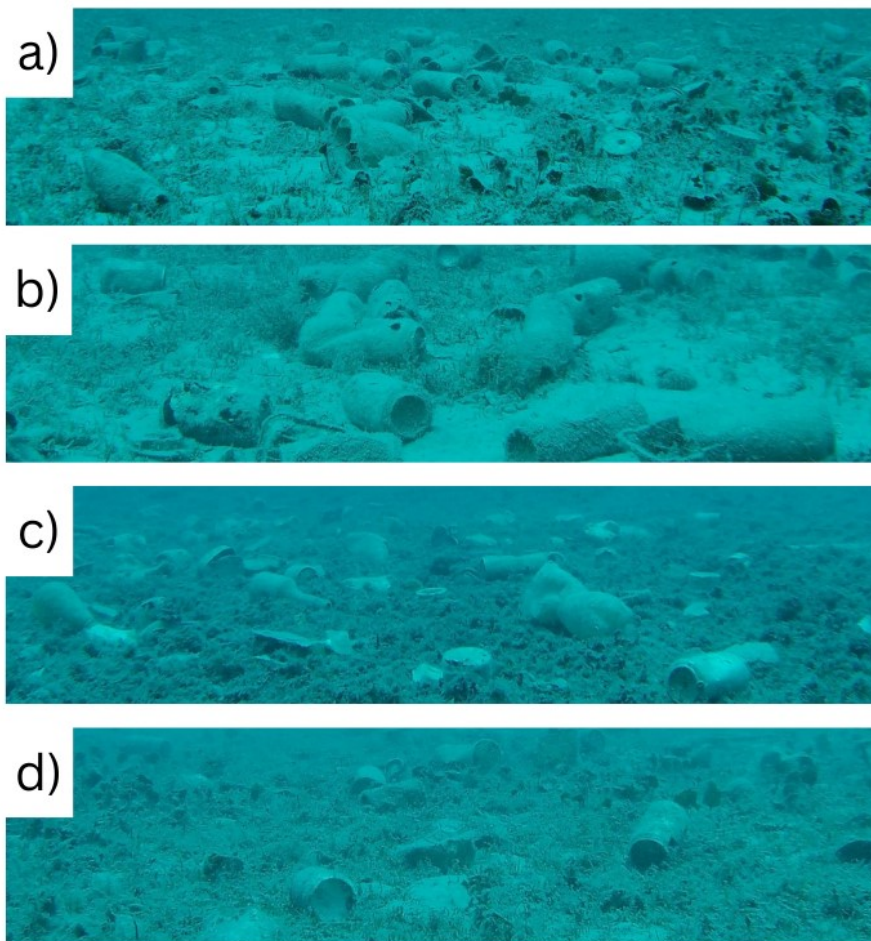
Povećanjem dubine u sektoru II porasla je i količina otpada. Na granici sa sektorom III, na dubini od 11 metara, zabilježena je najveća količina otpada. Na slici 39. su prikazane različite vrste otpada redom kako slijedi: a) sunčane naočale, b) peraja, c) automobilska guma i limenka, d) disalica za ronjenje, e) staklena boca, f) metalni predmet deformiranog oblika, g) metalna šipka.



Slika 39. Reprezentativni predmeti morskog otpada u sektoru II

Izvor: snimio student ROV-om

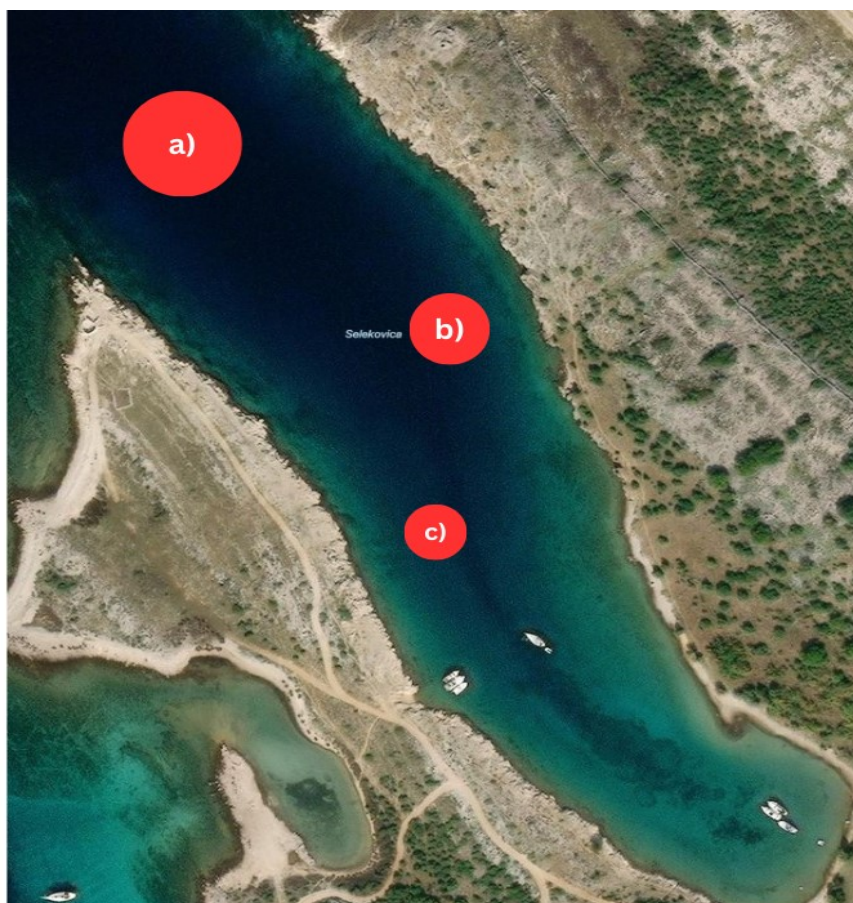
Daleko najveća količina plastičnog otpada pronađena je u sektoru III. Najveće akumulacijsko područje smeća nalazilo se na ulazu u uvalu, na dubini od 16 metara. Postoji očekivanje da se akumulacija smeća nalazi i izvan uvale, u nastavku sektora 3, što zahtijeva daljnje istraživanje. Uz to, primijećeno je da je veliki broj plastičnih predmeta započeo proces razgradnje, što indicira na to da se otpad nalazi tamo već duže vrijeme i da se kontinuirano akumulira. Slika 40. prikazuje redom od a) do d) navedeno akumulirajuće područje, gdje dominiraju predmeti poput plastičnih boca raznih veličina, plastičnih pribora za jelo, plastičnih čaša, limenki, metalnih konzerva i slično.



Slika 40. Reprezentativni predmeti morskog otpada u sektoru III

Izvor: snimio student ROV-om

U nastavku je prikazana slika koja jasno ilustrira područja s visokom koncentracijom otpada u uvali Selehovica.



Slika 41. Područja s visokom koncentracijom otpada – žarišne točke

Izvor: izradio student

Ova područja predstavljaju zabrinjavajući fenomen u kojem se otpad zadržava i nakuplja na određenim mjestima, što može imati ozbiljne posljedice na morski ekosustav. Identifikacija ovih područja pruža važne informacije za daljnje istraživanje i upravljanje morskim otpadom. Na slici 41. područje označeno kao a) ima specifične karakteristike koje ga čine pogodnim za akumulaciju smeća. Nagli pad dubine i oblik "prirodnog zdenca" stvaraju prostor koji je sklon zadržavanju i nakupljanju otpada. Područja b) i c) su najčešća područja za sidrenje nautičkih plovila, s obzirom na zaštitu koju pružaju od sjeveroistočnog vjetrova. Upravo zbog te zaštite, većina plovila odlučuje ostati usidreno i tijekom noći. Zbog produženog zadržavanja plovila na tim mjestima, postoji veća vjerojatnost da će otpad dospjeti u more i biti zadržan u blizini. Stoga je važno da se svijest o pravilnom zbrinjavanju otpada širi među nautičarima kako bi se smanjile negativne ekološke i vizualne posljedice te kako bi se očuvala kvaliteta morskog okoliša.

Snimanje morskog dna kako bi se utvrdila žarišta onečišćenja samo je jedan dio posla. Nakon identifikacije tih žarišta, ključno je organizirati čišćenje, odnosno popularno ronilačku eko akciju, kako bi se otpad uklonio. Međutim, takvo čišćenje može predstavljati mali logistički izazov. Za razliku od luka i lučica, pristup kopnu na studijskoj lokaciji nije jednostavan, ili čak nemoguć, vozilima. Sve operacije treba provesti s mora, koristeći plovila kao glavno sredstvo prijevoza. Ovo zahtijeva pažljivo planiranje, koordinaciju i logističku organizaciju kako bi se osiguralo učinkovito uklanjanje otpada iz morskog okoliša.

Kako bi se spriječilo ponavljanje bacanja smeća u more, mogu se poduzeti sljedeće mjere:

- edukacija nautičara: organiziranje edukativnih programa, radionica i seminara usmjerenih prema nautičarima može im pružiti dublje razumijevanje problema onečišćenja mora i važnost pravilnog postupanja s otpadom. Ove edukativne inicijative mogu obuhvaćati informiranje o štetnim učincima smeća na morski ekosustav, upoznavanje s pravilima odlaganja otpada i tehnike smanjenja otpada na brodu,
- postavljanje upozoravajućih tabli: postavljanje jasnih i informativnih tabli na ulazima u popularne uvale može posjetitelje podsjetiti na važnost očuvanja morskog okoliša i pravilnog postupanja s otpadom. Ove table mogu sadržavati ilustracije i poruke koje naglašavaju negativne posljedice onečišćenja mora te apeliraju na posjetitelje da očuvaju čistoću obalnih područja,
- distribucija letaka: aktivnosti distribucije letaka na marinama, vezovima i drugim točkama nautičkog interesa mogu pomoći u informiranju nautičara o problemima onečišćenja mora. Letci mogu sadržavati informacije o štetnosti plastičnog otpada, pravilnom odlaganju otpada na plovilima i važnosti recikliranja. Dodatno, letci mogu sadržavati apelirajuće slike ili priče koje potiču promišljanje i djelovanje,
- promocija održivog ponašanja: organizacija događanja i aktivnosti usmjerenih na poticanje održivog ponašanja, poput natjecanja u čišćenju plaža, može potaknuti zajednicu da se aktivno uključi u očuvanje morskog okoliša. Ovi događaji mogu educirati i inspirirati sudionike da razmisle o svom utjecaju na okoliš te da poduzmu konkretne korake poput smanjenja korištenja plastike i aktivnog sudjelovanja u lokalnim inicijativama čišćenja,
- promoviranje alternativa jednokratnoj plastici: poticanje upotrebe biorazgradivih i ekološki prihvatljivih materijala umjesto jednokratne plastike može smanjiti količinu

otpada koji završava u moru. Informiranje posjetitelja o dostupnim alternativama i poticanje njihove upotrebe može imati dugoročne koristi za čistoću uvala,

- jedna od novijih i inovativnijih metoda za sprječavanje onečišćenja morskog okoliša je upotreba Seabin-a. Seabin je poseban plutajući kontejner koji se koristi za prikupljanje otpada iz mora. Ova inovativna tehnologija omogućava kontinuirano filtriranje vode i uklanjanje otpada, čime se smanjuje količina onečišćenja i štiti morski ekosustav. Postavljanje Seabin-a u uvale predstavlja efikasnu mjeru za očuvanje čistoće morskog okoliša i prevenciju daljnjeg onečišćenja,
- uspostavljanje reciklažnih sustava: postavljanje reciklažnih spremnika na pristupačnim mjestima u blizini prirodnih uvala može potaknuti posjetitelje da odgovorno zbrinjavaju svoj otpad,
- suradnja s lokalnim zajednicama: uspostavljanje suradnje s lokalnim zajednicama, vlasnicima plovila i nautičkim organizacijama važno je za promicanje odgovornog ponašanja prema morskom okolišu. Kroz partnerstva, mogu se organizirati kampanje čišćenja plaža, edukativne inicijative i podizanje svijesti o važnosti očuvanja morskog okoliša,
- medijska kampanja: kampanje putem medija, kao što su reportaže, članci i intervjui, mogu pomoći u podizanju svijesti javnosti o problemu onečišćenja mora. Medijska izvješća mogu potaknuti ljude da razmisle o svojim postupcima i poduzmu odgovorne korake u zaštiti mora.

Dodatna mjera koja se može preporučiti za očuvanje prirodnih uvala od onečišćenja je postavljanje sigurnosnih kamera i provođenje sustava nadzora. Postavljanje kamera može pomoći u detekciji neovlaštenih aktivnosti, bacanja smeća ili neodgovornog ponašanja posjetitelja. Dodatno, moguće je razmotriti uvođenje kazni za one koji krše pravila očuvanja prirode u uvali. Naplaćivanje kazni može biti snažan motivator za posjetitelje da se pridržavaju pravila i očuvaju čistoću okoliša. Ovo može uključivati novčane kazne ili druge oblike sankcija, ovisno o propisima i zakonima koji se primjenjuju na određenom području.

Kombinacija ovih mjera pridonosi podizanju svijesti o problemu onečišćenja mora, potiče promjenu prema održivom ponašanju te osigurava dugoročnu zaštitu morskog okoliša za buduće generacije. Redovita podrška i suradnja svih dionika, uključujući lokalne zajednice, vlasnike plovila i nautičke organizacije, ključni su za uspješnu provedbu ovih mjera i održavanje čistoće morskog okoliša u budućnosti.

Osim uvale Selehovica, Republika Hrvatska obiluje mnogim sličnim prirodnim uvalama koje pružaju sigurno sidrište nautičarima. S obzirom na porast broja turista koji se bave nautikom, očekuje se da će problem morskog otpada postati sve veći. Stoga je neophodno nastaviti s provođenjem sličnih akcija snimanja morskog dna pomoću ROV-a u budućnosti, i to ne samo tijekom turističke sezone, već i prije i nakon nje, kako bi se temeljito analizirali prikupljeni podatci.

6. ZAKLJUČAK

Na temelju provedenog istraživanja, može se zaključiti da korištenje daljinski upravljivih ronilica predstavlja učinkovitu metodu za praćenje morskog otpada. Radna hipoteza ovog rada, koja se odnosi na učinkovitost korištenja daljinski upravljivih ronilica, potvrđena je rezultatima istraživanja. Rezultati istraživanja jasno ukazuju na to da ROV-ovi omogućuju detaljno snimanje podvodnog prostora s visokom razlučivošću, što olakšava identifikaciju, praćenje i detekciju otpadnih materijala.

Rastuća količina otpada u morskom okolišu predstavlja značajan globalni izazov, a isti trend se primjećuje i u Republici Hrvatskoj. Sve veći broj istraživanja i studija ukazuju na zabrinjavajući porast onečišćenja mora otpadom, posebno plastikom. Različiti faktori doprinose ovom trendu, uključujući povećanu proizvodnju i potrošnju plastike, nedostatak odgovarajuće infrastrukture za recikliranje i gospodarenje otpadom, te nedovoljnu svijest o važnosti očuvanja morskog okoliša. Turizam i nautička industrija također igraju značajnu ulogu u povećanju količine otpada u morskom okolišu.

Svjesnost o negativnim posljedicama sve više raste, ali potrebno je poduzeti daljnje korake kako bi se smanjila količina otpada u morskom okolišu. To uključuje educiranje turista, nautičkih posjetitelja i dionika u turističkoj industriji o važnosti održivog turizma, smanjenju upotrebe plastike i pravilnom zbrinjavanju otpada. Također, važno je promicati inicijative poput čišćenja plaža, recikliranja i upotrebe biorazgradivih materijala kako bi se smanjio utjecaj turizma i nautičke industrije.

Integracija daljinski upravljivih podvodnih vozila u Republici Hrvatskoj može biti perspektivno rješenje za suzbijanje problema rasta morskog otpada. Uz pravilnu podršku vladnih institucija, lokalnih zajednica i turističkih zajednica, kao i ulaganje adekvatnih resursa u ovu tehnologiju, moguće je ostvariti značajan napredak u smanjenju onečišćenja morskog okoliša i očuvanju prirodnih obalnih područja i otoka u Hrvatskoj.

Ovaj diplomski rad ima izravan doprinos u ostvarivanju ciljeva Plana gospodarenja morskim otpadom u Republici Hrvatskoj, pružajući konkretne smjernice i preporuke za primjenu ROV-ova u suzbijanju rasta morskog otpada. Njegova implementacija može doprinijeti očuvanju morskog okoliša i promicanju održivog upravljanja obalnim područjima, što čini ovaj rad važnim u kontekstu provedbe ciljeva i mjera navedenih u Planu gospodarenja morskim otpadom.

LITERATURA

- [1] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja Republike Hrvatske (2020), *Plan gospodarenja morskim otpadom*, Narodne novine 97/17, Zagreb.
- [2] United Nations Environment Programme (2021), *From Pollution to Solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution*, Nairobi.
- [3] Eunomia (2016), *Plastics in the Marine Environment*, online:
<https://www.eunomia.co.uk/reports-tools/plastics-in-the-marine-environment/> (16.05.2023.)
- [4] UNEP - UN Environment Programme, *Marine litter*, online:
<https://www.unep.org/explore-topics/oceans-seas/what-we-do/working-regional-seas/marine-litter> (16.05.2023.)
- [5] Schneider, F., Parsons, S., Clift, S., Stolte, A. & McManus, M. 2018, 'Collected marine litter - A growing waste challenge', *Marine Pollution Bulletin*, vol. 128, p. 162-174.
- [6] Potts, T., Hastings, E. 2011, 'Marine Litter Issues, Impacts and Actions', *Marine Scotland Directorate*, Scotland.
- [7] Moore, C.J., S.L. Moore., M.K. Leecaster, and S.B. Weisberg. 2001, 'A Comparison of Plastic and Plankton in the North Pacific Central Gyre', *Marine Pollution Bulletin*, vol. 42., no. 12, p. 1297-1300.
- [8] Costa, L. et al. 2022, 'Marine Litter Impact on Sandy Beach Fauna: A Review to Obtain an Indication of Where Research Should Contribute More', *Microplastics*, vol. 1., no. 3, p. 554-571.
- [9] ADEX – Ocean vision, one ocean, one love, *Facts About Ghost Nets*, online:
<https://www.adex.asia/news/ghost-nets/> (16.05.2023.)
- [10] Gračanin, I. 2018, '*Morski otpad u Jadranu*', Završni rad, Filozofski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka.

- [11] Haarr, M.L., Falk-Andersson, J., Fabres, J. 2022, 'Global marine litter research 2015–2020: Geographical and methodological trends', *Science of The Total Environment*, vol. 820, p. 2-16.
- [12] Walker, T.R., McGuinty, E., Hickman, D. 2021, 'Marine debris database development using international best practices: A case study in Vietnam', *Marine Pollution Bulletin*, vol. 173, part A.
- [13] Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M. and Andrady, A., Narayan, R., Law, K. L. (2015), 'Plastic waste inputs from land into the ocean', *Science*, vol. 347., no. 6223, p. 768-771.
- [14] Fleet, D., Vlachogianni, Th. and Hanke, G., 2021, 'A Joint List of Litter Categories for Marine Macrolitter Monitoring', EUR 30348 EN, *Publications Office of the European Union*, Luxembourg.
- [15] European Commission (2013), 'Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas', *Publications Office of the European Union*, Luxembourg.
- [16] GESAMP - Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (2015.), 'Sources, Fate and Effects of Microplastics in the Marine Environment: A Global Assessment', *INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION*, no. 93, 220 p.
- [17] Mrežni portal Informacijskog sustava MORE (2016), *Okvirna direktiva o morskoj strategiji (ODMS)*, online: https://vrtlac.izor.hr/ords/portal/clanak?p_id=825 (17.05.2023.)
- [18] Andrady, A. L. 2017, 'The plastic in microplastics: A review', *Marine Pollution Bulletin*, vol. 119., no. 1, p. 12-22.
- [19] Lusher, A.L., Hollman, P.C.H., Mendoza-Hill, J.J. 2017, 'Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety', *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, no. 615, Rome, Italy.

- [20] United Nations Environment Programme (2021), ‘*Drowning in Plastics – Marine Litter and Plastic Waste Vital Graphics*’, Basel.
- [21] Murphy, B., Flippin, J., Woodland, R. and Hobaugh, P., 2021, ‘Microplastic Monitoring & Science Strategy for the Chesapeake Bay’, *Tetra Tech, Inc.*, United States.
- [22] Gigault, J., ter Halle, A., Baudrimont, M., Pascal, P.-Y., Gauffre, F., Phi, T-L. et al. 2018, ‘Current opinion: What is a nanoplastic?’, *Environmental Pollution*, vol. 235, p. 1030-1034.
- [23] Yuyao, X., Faith, C., Matthew, J. 2022, ‘A Review of Microplastic Pollution Characteristics in Global Urban Freshwater Catchments’, *ResearchGate*, p. 24-48.
- [24] Van Truong, N. and Ping, C.B. 2019, ‘Plastic marine debris: Sources, impacts and management’, *International Journal of Environmental Studies*, vol. 76., no. 6, p. 953-973.
- [25] Adyel, T.M. 2020, ‘Accumulation of plastic waste during COVID-19.’, *Science*, vol. 369., no. 6509, p. 1314-1315.
- [26] Maglič, L., Maglič, L., Grbčić, A. and Gulić, M. 2022, ‘Composition of Floating Marine Litter in Port Areas of the Island of Mallorca’, *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 10., no. 8, p. 1-14.
- [27] Lourens J. J. Meijer et al. 2021, ‘More than 1000 rivers account for 80% of global riverine plastic emissions into the ocean’, *SciencesAdvances*, vol. 7., no. 18, 13 p.
- [28] Li, W.C., Tse, H.F., & Fok, L. 2016, ‘Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects’, *Science of the Total Environment*, vol. 556-567., p. 333-349.
- [29] United Nations Environment Management Group (EMG) (2021), ‘An overview of UN Activities and Initiatives related to Marine Litter and Microplastics’, *United Nations*, vol. 5.

[30] Frantzi, S., Brouwer, R., Watkins, E. et al. 2021, 'Adoption and diffusion of marine litter clean-up technologies across European seas: Legal, institutional and financial drivers and barriers', *Marine Pollution Bulletin*, vol. 170.

[31] *Zakon o gospodarenju otpadom*, 2021, Narodne novine, Zagreb, 84.

[32] *Uredba o uspostavi okvira za djelovanje RH u zaštiti morskog okoliša* (NN 136/11).

[33] *Uredba o izradi i provedbi dokumenata Strategije upravljanja morskim okolišem i obalnim područjem* (NN 112/14, 39/17 i 112/18).

[34] Galgani, F., Deidun, A., Liubartseva, S., Gauci, A., Doronzo, B., Brandini, C., Gerigny, O. (2019), 'Monitoring and assessment guidelines for marine litter in Mediterranean MPAs', Technical report of the Interreg/MED/AMARE project. *IFREMER/AMARE* editor, 57 p.

[35] GESAMP (2019), 'Guidelines on the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the ocean', *United Nations Environment Programme (UNEP)*, no. 99, 130 p.

[36] NOAA. (2023), *What is the difference between an AUV and a ROV*, National Ocean Service website, online: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/auv-rov.html> (02.06.2023.)

[37] Euronews.green, *The dangers of marine litter - and the innovative methods to combat it*, online: <https://www.euronews.com/green/2020/10/21/the-dangers-of-marine-litter-and-the-innovative-methods-to-combat-it> (02.06.2023.)

[38] L3Harris (2023), *AGEOTEC ROV series, a full range of Remotely Operated Vehicles*, L3Harris Technologies, Inc., online: <https://www.l3harris.com/ageotec> (02.06.2023.)

[39] Farr, N., Bowen, A., Ware, J., Pontbriand, C. et al. 2010, 'An integrated, underwater optical/acoustic communications system', *OCEANS10 IEEE*, Sydney.

[40] Politikos, D., Fakiris, E., Davvetas, A. et al. 2021, 'Automatic detection of seafloor marine litter using towed camera images and deep learning', *Marine Pollution Bulletin* 164.

- [41] Selvam, K., Martin Xavier, K.A., Shivakrishna, A. et al. 2021, 'Abundance, composition and sources of marine debris trawled-up in the fishing grounds along the north-east Arabian coast', *Science of The Total Environment*, vol. 751.
- [42] Katsanevakis, S., & Thessalou-Legaki, M. 2009, 'Spatial distribution, abundance and habitat use of the protected fan mussel *Pinna nobilis* in Souda Bay, Crete', *Aquatic Biology*, vol. 8. 45-54.
- [43] Darryn, S., Jacquomo, M., Neville, B. 2019, 'A Systematic Review of Remotely Operated Vehicle Surveys for Visually Assessing Fish Assemblages', *Frontiers in Marine Science*, vol. 6., p. 45-54.
- [44] Miliute-Plepiene, J., Frâne, A., Haikonen, K. and Youhanan, L. 2018, 'Overview of available methods to monitor marine plastic litter: Incl. method for riverine litter monitoring developed within BLASTIC', *IVL Swedish Environmental Research Institute*, 47p.
- [45] Ioakeimidis, C., Papatheodorou, G., Fermeli, G., Streftaris, N., Papathanassiou, E. 2015, 'Use of ROV for assessing marine litter on the seafloor of Saronikos Gulf (Greece): a way to fill data gaps and deliver environmental education', *Springerplus*, vol. 4., no. 1.
- [46] Patterson, W., Tarnecki, J., Addis, D., Barbieri, L. 2014, 'Reef Fish Community Structure at Natural versus Artificial Reefs in the Northern Gulf of Mexico', *Proceedings of the 66th Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, vol. 66.
- [47] Vigo, M., Navarro, J., Aguzzi, J. et al. 2023, 'ROV-based monitoring of passive ecological recovery in a deep-sea no-take fishery reserve', *Science of The Total Environment*, vol. 883.
- [48] Kongsberg (2006), High Precision Acoustic Positioning - Instruction Manual, *Kongsberg Maritime AS*, Norway.
- [49] Google Maps (2005), Google LLC. Mountain View, CA., online:
<https://www.google.com/maps/place/Uvala+Selehovica/@45.24068,14.554638,1156m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x476361eb4d6c4d5d:0x9aae5cefe6034df9!8m2!3d45.2406796!4d14.5546381!16s%2Fg%2F11fly1t8rd?hl=hr&entry=ttu> (19.06.2023.)

- [50] Navionics Chart View (2023), Navionics SRL, Viareggio, Italy., online: <https://webapp.navionics.com/#boating@15&key=uicsGaoywA> (19.06.2023.)
- [51] Krk Tourist Info, Krk Island Tourism, online: <https://www.info-krk.com/omisalj/plaze/197/selehovica> (19.06.2023.)
- [52] Adobe Systems (2012), Adobe Illustrator, San Jose, USA., online: <https://www.adobe.com/products/illustrator.html> (19.06.2023.)
- [53] Hotz, R. (2015), 'Which Countries Create the Most Ocean Trash?', *Wall Street Journal*, online: <https://www.wsj.com/articles/which-countries-create-the-most-ocean-trash-1423767676> (24.06.2023.)
- [54] Eriksen, M., Lebreton, LCM., Carson, HS., Thiel, M., Moore, CJ. et al. 2014, 'Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea', *PLoS ONE*, vol. 9.
- [55] Stock Photo and Image Portfolio by leo w kowal, *Shutterstock*, online: <https://www.shutterstock.com/image-photo/aquaculture-moving-sea-lice-barge-1484223662> (28.06.2023.)
- [56] Afrić, V. (2021), 'Podvodni pregled trupa broda korištenjem ROV-a', Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet.
- [57] Valdenegro, M. (2016), 'Submerged marine debris detection with autonomous underwater vehicles', *ResearchGate*, p. 1-7.
- [58] Lippiatt, S., Opfer, S., and Arthur, C. 2013, 'Marine Debris Monitoring and Assessment', *NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-46*.
- [59] MEDITS working group (2017), 'International bottom trawl survey in the Mediterranean', Instruction manual, vol. 9., 106p.

[60] National Geographic (2015 - 2023), 'A ghost net with the skeletons of fish still tangled in its webbing', *National Geographic Partners, LLC.*, online:

<https://www.nationalgeographic.com/environment/article/partner-content-prada-renylon-wellington-new-zealand> (05.07.2023.)

[61] Romario (2023), 'OTOK KRK – Karta otoka Krka I.', *romariomaps*, online:

<https://romario.hr/karte-otoka/otok-krk-karta-i/> (05.07.2023.)

POPIS SLIKA

Slika 1. Plastični otpad: a) na obali, b) na površini mora, c) u vodenom stupcu, d) na morskom dnu	5
Slika 2. Shematski prikaz protoka morskog otpada	6
Slika 3. Odbačena ribolovna mreža koja i dalje nanosi smrtonosne posljedice [60]	7
Slika 4. Odbačene ribolovne mreže [2]	8
Slika 5. Negativni utjecaji morskog otpada na morske organizme	9
Slika 6. Najveći onečišćivači svjetskih oceana, izraženo u milijunima metričkih tona ...	10
Slika 7. Karte studija koje su uključene u pregled prema zemlji i geografskim područjima mo-ra (tj. unosima) za a) morsko dno, b) pelagički otpad, c) otpad na obali [11]	12
Slika 8. Znanstvena i ne znanstvena prikupljanja podataka o morskom otpadu tijekom godina [5].....	13
Slika 9. Broj objavljenih publikacija o morskom otpadu diljem svijeta [13]	14
Slika 10. Najzastupljenija kategorija plastomera [20].....	15
Slika 11. Primjeri razlika u kategorizaciji plastičnih otpadnih materijala prema veličini [21]	17
Slika 12. Rijeke kao glavni prijenosnici otpada i plastičnog onečišćenja u mora [2]	22
Slika 13. Akumulacija otpada i masnoće oko kaveza [55]	23
Slika 14. Primjer različitih razina hijerarhijskog sustava iz Joint liste za klasifikaciju plastičnih boca [14].....	27
Slika 15. Primjer iz online fotokataloga Zajedničkog popisa kategorija otpada [14].....	29
Slika 16. Vremenska crta za morski otpad i globalne inicijative, zakone i politike od 1960. godine [2]	30
Slika 17. Razine upravljanja morskim otpadom u šest odabranih zemalja Mediterana i Baltičkog mora.....	33
Slika 18. Dijagram za praćenje makrootpada na morskom dnu	38
Slika 19. Prikupljanje morskog otpada metodom ronjenja [37]	39
Slika 20. Primjena ROV-ova kao metoda detekcije morskog otpada [38]	40
Slika 21. Koncept rada AUV-a [39]	42
Slika 22. Otpad zabilježen naprednim sonarom koji gleda prema naprijed (FLS) [57] .	43
Slika 23. Primjer inačice povlačne kamere [40]	44
Slika 24. Ilustrirani princip rada povlačne mreže	45
Slika 25. Postotak studija koji koriste pojedine dizajne transekata [43]	53
Slika 26. Različiti dizajni transekata korištenjem ROV-a	54
Slika 27. Ilustrirani prikaz označavanja transekata.....	55
Slika 28. Korištenje trigonometrije za procjenu širine transekta [46]	57

Slika 29. Obrazac primjene paralelnih transekata i metode proširenog četverokuta	58
Slika 30. Izmjena akustičnih signala na relaciji pretvornik (eng. transducer) - ROV [48]	59
Slika 31. Položaj uvale Selehovica na otoku Krku [61]	60
Slika 32. Konfiguracija uvale Selehovica [49] [50]	61
Slika 33. Uvala Selehovica tijekom ljetne sezone [51]	61
Slika 34. Pojednostavljen prikaz korištene metode	63
Slika 35. Blueye Pioneer i FIFISH V6 Expert	63
Slika 36. Prikaz paralelnih transekata i sektora	64
Slika 37. Operater (student) tijekom snimanja podmorja ROV-om u uvali Selehovica .	67
Slika 38. Reprezentativni predmeti morskog otpada u sektoru I	75
Slika 39. Reprezentativni predmeti morskog otpada u sektoru II	76
Slika 40. Reprezentativni predmeti morskog otpada u sektoru III	77
Slika 41. Područja s visokom koncentracijom otpada – žarišne točke	78

POPIS TABLICA

Tablica 1. Kategorije veličine plastičnog otpada	16
Tablica 2. Sažetak definicija veličina plastičnog morskog otpada i uobičajenih izvora [19]	16
Tablica 3. Kategorije koje se koriste pri klasifikaciji mikroplastika prema obliku	18
Tablica 4. Specifična gustoća mikroplastika [19]	18
Tablica 5. Kategorije koje se koriste - za opisivanje izgleda mikroplastike	19
Tablica 6. Identificirani sektori izvora onečišćenja plastikom s opisom	24
Tablica 7. Primjer (izvadak) iz Master popisa kategorija predmeta otpada [15]	26
Tablica 8. Primjer kategorije materijala s pripadajućim slovnim oznakama i opisom iz Joint liste [14]	28
Tablica 9. Sažetak metoda za nadzor otpada na morskom dnu	46
Tablica 10. Usporedba troškova za navedene metode	47
Tablica 11. SWOT analiza - ronjenje	48
Tablica 12. SWOT analiza - ROV	49
Tablica 13. SWOT analiza - AUV	50
Tablica 14. SWOT analiza – povlačne kamere	51
Tablica 15. SWOT analiza – povlačne mreže	52
Tablica 16. Preporučeni raspon veličina transekata ovisno o okolišnim uvjetima mora i koncentraciji otpada [44]	56
Tablica 17. Geografske koordinate sektora	65

Tablica 18. Karakteristike svakog urona ROV-a.....	66
Tablica 19. Glavne kategorije, broj i postotak za 304 zabilježena predmeta morskog otpada	68
Tablica 20. Podkategorije otpada na studijskoj lokaciji prema Joint listi	69
Tablica 21. Ukupan broj pronađenog makrootpada	72

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Postotak vrste materijala za svaki sektor.....	74
Grafikon 2. Ukupan udio po glavnim kategorijama otpada za sve sektore.....	74