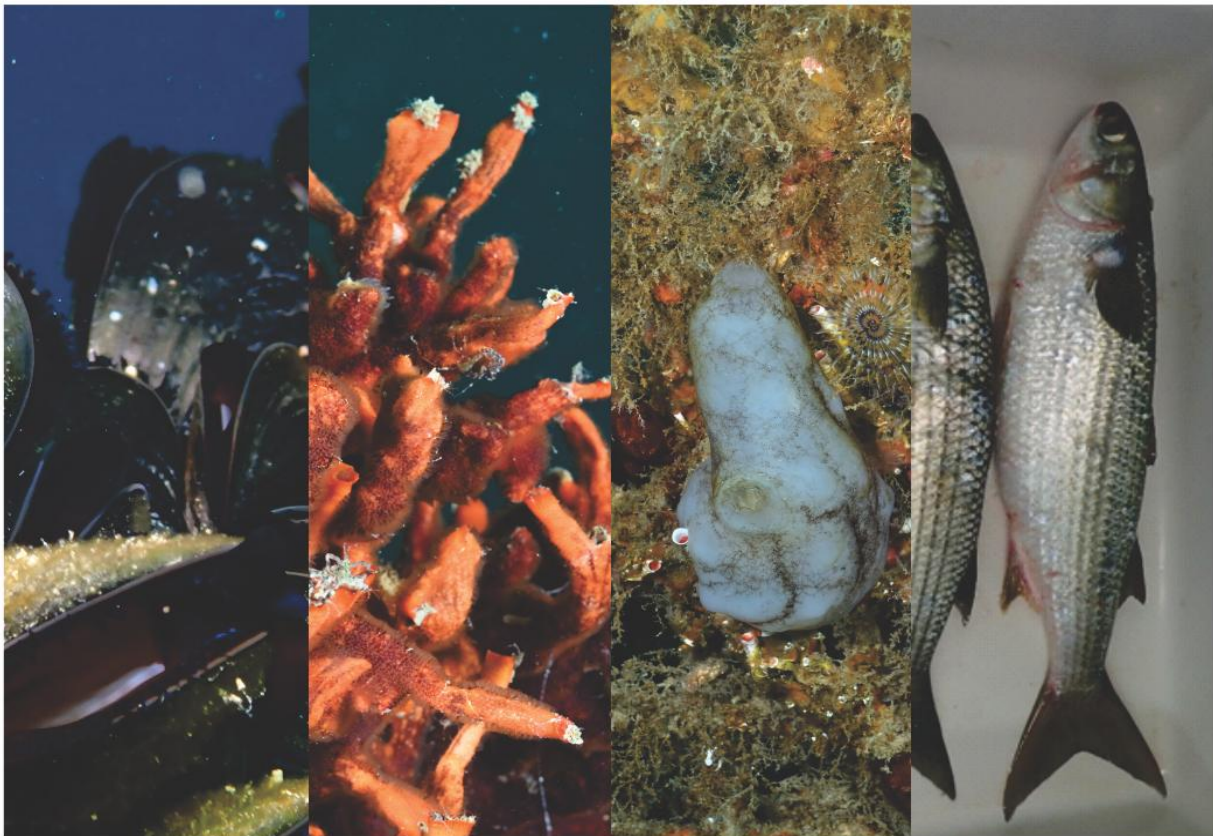


Opredelitev in utemeljitev najprimernejših morskih vrst za monitoring odpadkov in mikroodpadkov v bioti (MSFD D10C3 in D10C4)

končno poročilo





NACIONALNI INŠTITUT ZA **BIOLOGIJO**
NATIONAL INSTITUTE OF **BIOLOGY**

MORSKA BIOLOŠKA POSTAJA PIRAN
MARINE BIOLOGY STATION PIRAN

**Opredelitev in utemeljitev najprimernejših morskih vrst
za monitoring odpadkov in mikroodpadkov v bioti
(MSFD D10C3 in D10C4)**

Zaključno poročilo

April 2026

AVTORJI:

Orlando-Bonaca, M., A. Fortič, L. Lipej, A. Lokovšek, B. Mavrič, V. Pitacco, A. Ramšak, D. Trkov in M. Kovač Viršek (2026): Opredelitev in utemeljitev najprimernejših morskih vrst za monitoring odpadkov in mikroodpadkov v bioti (MSFD D10C3 in D10C4). Zaključno poročilo, april 2026. Poročila 246. Morska biološka postaja Piran, Nacionalni inštitut za biologijo, 28 str.

Naslov projektne naloge: POGODBA ZA STROKOVNO PODPORO IN SODELOVANJE PRI ZAGOTOVITVI OSEBKOV RIB IN SREDOZEMSKIH KLAPAVIC TER PRIPRAVO ELABORATA

Naročnik: INŠTITUT ZA VODE REPUBLIKE SLOVENIJE
Einspielerjeva ulica 6, 1000 Ljubljana

Izvajalec: NACIONALNI INŠTITUT ZA BIOLOGIJO,
Morska biološka postaja Piran
Fornače 41, 6330 Piran

Nosilec projekta: doc. dr. Borut Mavrič

Sodelavci na projektu: doc. dr. Martina Orlando-Bonaca, dr. Ana Fortič, prof. dr. Lovrenc Lipej, dr. Ana Lokovšek, dr. Valentina Pitacco, doc. dr. Andreja Ramšak, dr. Domen Trkov, dr. Manca Kovač Viršek

Oblikovanje naslovnice: doc. dr. Borut Mavrič

Kraj in datum: Piran, april 2026

KAZALO

| | | |
|----|--|----|
| 1. | Uvod | 1 |
| 2. | Merila za izbor bioindikatorskih vrst..... | 1 |
| 3. | Predlagane metode zbiranja podatkov..... | 3 |
| 4. | Predlagane vrste organizmov za monitoring v morskih vodah v pristojnosti R Slovenije | 3 |
| | Bentoški nevretenčarji..... | 4 |
| | Ribe..... | 8 |
| | Morske ptice | 10 |
| | Morske želve..... | 11 |
| | Morski sesalci..... | 12 |
| 5. | Dodatni parametri za celovit vpogled v vplive (mikro)odpadkov | 13 |
| 6. | Predlog izvedbe monitoringa D10C3 in D10C4 | 15 |
| | Redno ciljno vzorčenje indikatorskih vrst (D10C3) | 15 |
| | Testno vzorčenje potencialnih indikatorskih vrst (D10C3) | 15 |
| | Beleženje pojavov zapletanja in poškodb (D10C4)..... | 16 |
| | Povezava z drugimi monitoringi | 16 |
| | Prostorska zasnova monitoringa..... | 20 |
| | Časovnica in frekvenca..... | 20 |
| | Poročanje in uporaba podatkov | 21 |
| | Upravljanje tveganj pri izvajanju monitoringa | 22 |
| 7. | Sklepi..... | 23 |
| 8. | Viri..... | 24 |

1. Uvod

Okvirna direktiva o morski strategiji (ODMS, 2008/56/ES) zahteva od držav članic doseganje dobrega okoljskega stanja (DOS) morja po enajstih deskriptorjih. Deskriptor 10 se osredotoča na morski odpadke in določa, da *"Lastnosti in količine morskih odpadkov ne škodujejo obalnemu in morskemu okolju"*. Za doseg tega cilja so v okviru Deskriptorja 10 opredeljena tudi podrobnejša merila za odpadke v bioti. **Sekundarno merilo D10C3** opredeljuje, da je *"količina odpadkov in mikroodpadkov, ki jih zaužijejo morske živali, pod vrednostmi, ki imajo negativen vpliv nanje (količina odpadkov – mikroodpadkov (g); št. kosov/osebek posamezne vrste glede na težo (g) ali dolžino (cm) posameznih vzorcev)"*. **Sekundarno merilo D10C4** pa določa, da *"število osebkov vsake vrste, na katero imajo odpadki škodljiv vpliv, je pod mejnimi vrednostmi (št. prizadetih osebkov za posamezno vrsto)"*.

Evropska komisija od držav članic zahteva, da za merilo D10C3 na ravni morskih regij določijo seznam vrst, pri katerih se bo ocenjevala količina zaužitih (mikro)odpadkov. Te vrste naj bodo določene s skupnim regionalnim pristopom in naj predstavljajo ustrezne bioindikatorje za onesnaženje z odpadki. V praksi to pomeni, da je treba opredeliti najprimernejše morske organizme oziroma skupine organizmov, pri katerih bo mogoče v okviru monitoringa redno spremljati vsebnost odpadkov v prebavilih oziroma drugih vzorcih (D10C3) ter beležiti škodljive učinke odpadkov (D10C4).

Cilj tega elaborata je opredeliti in utemeljiti izbor ciljnih vrst za potrebe monitoringa odpadkov in mikroodpadkov v morskih vodah v pristojnosti R Slovenije. Dokument povzema merila za izbor ustreznih bioindikatorskih vrst, predlaga skupine organizmov in posamezne vrste, ki jih je smiselno vključiti v redni nacionalni monitoring, ter podaja usmeritve za izvedbo vzorčenja, priporočeno metodologijo in frekvenco vzorčenja ter morebitne dodatne parametre, ki bi jih veljalo spremljati vzporedno za celovit vpogled v vplive odpadkov na morske organizme. Poseben poudarek je namenjen uporabnosti predlaganega pristopa za dolgoročno spremljanje stanja ter za podporo odločanju v okviru izvajanja ODMS.

Izhodišče za pripravo tega elaborata predstavlja tudi trenutno predlagana nacionalna metodologija za spremljanje deskriptorja 10 (Uredba o izvajanju Sklepa (EU), 2022), v kateri sta za merilo D10C3 kot ključna parametra opredeljena število delcev na osebek in masa odpadkov na osebek glede na velikost posameznih vzorcev, za merilo D10C4 pa število prizadetih osebkov posamezne vrste, pri čemer se razlikuje med smrtnimi in nesmrtnimi učinki. Takšna opredelitev omogoča neposredno povezavo med izborom bioindikatorskih vrst in prihodnjim poročanjem v okviru MSFD.

2. Merila za izbor bioindikatorskih vrst

Izbor ustreznih bioindikatorskih vrst za monitoring odpadkov v bioti mora temeljiti na znanstveno utemeljenih merilih in hkrati upoštevati operativne omejitve izvajanja monitoringa (UN-SDSN Med, 2017). Izbrane vrste morajo omogočati standardizirano vzorčenje, laboratorijsko obdelavo in izračun primerljivih kazalnikov, obenem pa morajo biti ekološko relevantne za različne dele morskega okolja (Fossi in sod., 2018).

Predhodno metodološko poročilo poudarja, da morajo biti izbrane vrste primerne tudi z operativnega vidika monitoringa. To pomeni, da morajo omogočati standardizirano vzorčenje, laboratorijsko obdelavo in izračun primerljivih metrik (npr. povprečno število mikroodpadkov na

osebek in frekvenca pojavljanja – FO %). Pri izboru vrst je zato poleg ekološke relevantnosti nujno upoštevati tudi dosegljivost osebkov, možnost ponovljivega sezonskega vzorčenja ter povezljivost s stalnimi lokacijami obstoječih nacionalnih monitoringov.

Pri oblikovanju nacionalnega seznama vrst za D10C3 in D10C4 je smiselno upoštevati zlasti naslednja merila (UN-SDSN Med, 2017; Fossi in sod., 2018, Orlando-Bonaca in sod, 2022):

- 1. Osnovne biološke in ekološke značilnosti vrste.** Izbrane vrste morajo biti jasno taksonomsko opredeljene in njihova biologija ter ekologija dobro raziskani. Razpoložljivo znanje mora vsebovati ključne informacije o življenjskem okolju, prehranjevalnih navadah in življenjskem ciklu. Znanje o ekologiji vrste nam omogoča povezati izsledke monitoringa z možnimi viri odpadkov in ekološkimi značilnostmi okolja;
- 2. Prostorska reprezentativnost** oziroma sposobnost vrste, da odraža stanje na določenem območju oziroma v določenem habitatu. Habitat in območje gibanja vrste omogočata spremljanje na različnih prostorskih ravneh. Nekatere vrste so sesilne (npr. školjke in plaščarji) in lahko zagotavljajo natančne informacije za omejena območja ter za specifična mesta, kjer se kopičijo morski odpadki. Druge vrste se lahko premikajo na velikih horizontalnih razdaljah (pelagični plenilci) ali vertikalno migrirajo (mikronekton) v vodnem stolpcu.
- 3. Trofična raven.** Filtratorji, detritivori, bentoški plenilci in pelagične vrste odražajo različne poti izpostavljenosti odpadkom. Filtratorji so izpostavljeni zaužitju predvsem mikroadpadkov (Fossi in sod., 2012, 2014, 2016). Večji odpadki so bili ugotovljeni v želodcih oportunističnih plenilcev (npr. modroplavuti tun, beli tun) (Romeo in sod., 2015; Battaglia in sod., 2016). Vrste, ki se prehranjujejo na morskem dnu (npr. progasti bradači, kozice, mnogoščetinci), so prav tako lahko izpostavljene tveganju zaužitja odpadkov. Vrste na višjih ravneh (npr. veliki plenilci) so podvržene tudi bioakumulaciji kemikalij.
- 4. Prostorska razširjenost in številčnost.** Geografska razširjenost je ključni dejavnik pri izbiri potencialne bioindikatorske vrste, saj temelji na predpostavki, da organizmi z obsežno geografsko razširjenostjo omogočajo: vzpostavitev obsežnih monitoring programov, olajšano primerjavo med različnimi območji na več prostorskih ravneh ter izvajanje metaanaliz (Caro, 2010; Lindenmayer in Likens, 2011). Vrste, ki so prisotne v večini Sredozemskega morja in tudi v morskih vodah v pristojnosti R Slovenije, omogočajo usklajen in primerljiv monitoring med državami. Široka razširjenost omogoča vzpostavitev obsežnih mrež vzorčnih mest in spremljanje trendov na ravni celotnega bazena. Poleg razširjenosti je pomembna tudi abundanca – idealne bioindikatorske vrste so številčne in lahko dostopne.
- 5. Gospodarski pomen in varstveni status.** Spremljanje stanja mora vključevati tudi vrste z gospodarskim pomenom, ki so dostopne prek ribiških trgov, kar omogoča tudi oceno morebitnega prenosa plastike in z njo povezanih onesnaževal iz morske hrane na človeka. Med izbranimi indikatorskimi vrstami je zaželeno vključiti tudi zavarovane, ogrožene ali ranljive vrste.
- 6. Dokumentirani primeri zaužitja odpadkov.** Vključiti je treba vrste, pri katerih so raziskave že potrdile pogoste interakcije z odpadki (zaužitje, zapletanje) in nudijo dragocene podatke o deležu osebkov, ki imajo v prebavilih plastiko, in o primerih pogostega zapletanja v plastične mreže.

Posamezna vrsta praviloma ne bo v celoti izpolnjevala vseh navedenih meril. Zato je pri pripravi monitoringa primernejši pristop, ki temelji na naboru več komplementarnih skupin organizmov. Takšen pristop omogoča pokritje različnih habitatov, poti izpostavljenosti in ravni v prehranskem spletu.

Pri izbiri vrst je treba upoštevati tudi morebitne vire pristranosti. Pri nekaterih pticah, zlasti pri rumenonogem galebu (*Larus michahellis*), lahko na prehranjevanje pomembno vpliva urbanizirano okolje in dostopnost kopenskih odlagališč, kar lahko privede do precenjevanja vnosa odpadkov (Duhem in sod., 2008; Ramos in sod., 2009). Podobno lahko pri ribah, ulovljenih z vlečnimi mrežami, pride do naključnega zaužitja delcev med samim ulovom. Ta pojav je znan kot »prehranjevanje v mreži« (angl. *net feeding*) (Davison in Asch, 2011). Metode vzorčenja morajo biti zato zasnovane tako, da se takšne pristranosti v največji možni meri zmanjšajo.

3. Predlagane metode zbiranja podatkov

Merili D10C3 in D10C4 sta vsebinsko tesno povezani, vendar zahtevata deloma različni pristop zbiranja podatkov. Za D10C3 je ključno standardizirano vzorčenje izbranih indikatorskih vrst in laboratorijska analiza vsebnosti odpadkov oziroma mikroodpadkov. Za D10C4 je poleg ciljnega spremljanja pomembno tudi sistematično evidentiranje incidentalnih oziroma oportunističnih **primerov**, kot so nasledli osebki, zapletanja in druge poškodbe, povezane z odpadki.

Iz dosedanjih metodoloških izhodišč (Kovač Viršek in sod., 2021) izhaja, da je v sedanji fazi najlažje operativno vzpostaviti rutinsko spremljanje v školjkah in izbranih vrstah rib, medtem ko bo pri želvah, morskih pticah in morskih sesalcih zbiranje podatkov večinoma temeljilo na incidentalnih/naključnih primerih. Pri teh skupinah je zato prednostna naloga vzpostavitev enotnega protokola za evidentiranje najdb, zbiranje osnovnih terenskih podatkov ter usmerjanje vzorcev v nadaljnjo obdelavo, kadar je to izvedljivo.

Za ribe in školjke je smiselno rezultate izražati kot število delcev na osebek oziroma na vzorec ter kot frekvenco pojavljanja (FO %), po možnosti tudi z dodatno opredelitvijo velikosti, barve, morfologije in materialne sestave delcev (MSFD Technical Group on Marine Litter, 2013). Takšen pristop omogoča primerljivost podatkov med leti, med lokacijami in tudi na regionalni ravni.

4. Predlagane vrste organizmov za monitoring v morskih vodah v pristojnosti R Slovenije

Na podlagi razpoložljivih podatkov in navedenih meril za morske vode v pristojnosti R Slovenije predlagamo nabor komplementarnih bioindikatorskih skupin, ki skupaj omogočajo spremljanje različnih habitatov ter različnih poti izpostavljenosti odpadkom in mikroodpadkom:

- **Bentoški nevretenčarji (školjke, iglokožci, mahovnjaki in plaščarji)** – kot predstavniki **različnih prehranskih skupin** in življenjskih navad, in so kazalniki mikroodpadkov v obalnem okolju in v povezavi s sedimentom;
- **Ribe – bentoške, demersalne in pelagične vrste**; pokrivajo širok razpon habitatov in prehranskih navad, kot indikatorji izpostavljenosti v sedimentu, pri dnu in v vodnem stolpcu;
- **Morske ptice** – predvsem za evidentiranje škodljivih učinkov odpadkov in kot dopolnilni vir podatkov o zaužitju;

- **Morske želve** – glavata kareta kot ključni indikator zaužitja **makroodpadkov** in zapletanja v različne odpadke, kjer se podatke zbira **incidentalno**;
- **Morski sesalci** – velika pliskavka kot dopolnilni indikator skrajnih vplivov odpadkov na višjih trofičnih ravneh (zaužitje **makroodpadkov** in zapletanje).

V nadaljevanju so posamezne skupine podrobneje utemeljene.

Bentoški nevretenčarji

Bentoški nevretenčarji so zelo široka in heterogena skupina organizmov, ki se razlikujejo po prehranjevalnih strategijah, habitatih in prostorski razporeditvi glede na oddaljenost od obale. Med njimi smo izbrali relevantne predstavnike, ki pripadajo sledečim širšim taksonomskim skupinam: školjke, iglokožce, mahovnjaki in plaščarji. Ker so med njim tako tisti, ki poseljujejo mehke sedimente, kot tudi tisti ki naseljujejo trdna dna, to omogoča celovitejši vpogled v obremenjenost različnih tipov bentoških habitatov. Zaradi svojega načina življenja so mnogi neposredno izpostavljeni mikroodpadkom, ki se kopičijo v sedimentu ali so suspendirani v vodnem stolpcu. Pri nekaterih skupinah plastika ne predstavlja le materiala, ki vstopa v telo preko prehrane, temveč se lahko tudi neposredno vgrajuje v skelet in druge tvorbe (npr. Hierl in sod., 2021; Lo Bue in sod., 2023), kar dodatno poudarja njihov pomen kot indikatorjev dolgoročne prisotnosti mikroplastike v okolju. V nadaljevanju predstavljamo izbrane modelne organizme za spremljanje.

Predlagane vrste bentoških nevretenčarjev izpolnjujejo večino navedenih meril za izbor bioindikatorskih vrst, saj gre za taksonomsko dobro opredeljene vrste (merilo 1) z različnimi prehranjevalnimi strategijami (merilo 3), široko razširjenostjo v Sredozemskem morju (merilo 4) in prisotnostjo v slovenskem morju, pri katerih je zaradi sesilnega ali omejeno mobilnega načina življenja (merilo 2) omogočeno prostorsko reprezentativno spremljanje lokalne obremenjenosti z mikroodpadki, pri nekaterih vrstah (npr. *Mytilus galloprovincialis*, *Mimachlamys varia*, *Holothuria tubulosa*, *Styela plicata*, *Schizoporella errata*) pa so bile interakcije z mikroplastiko (merilo 6) tudi že eksperimentalno potrjene.

Užitna klapavica (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819)

Med morskimi školjkami je užitna klapavica (*Mytilus galloprovincialis*) pomembna vrsta obalnega ekosistema in ena najbolj uveljavljenih indikatorskih vrst za spremljanje onesnaženja v obalnem morju. Kot sesilni filtrator prečrpava velike količine vode in pri tem zaužije tudi mikroplastiko, zaradi česar je posebej primerna za spremljanje mikroodpadkov v obalnem pasu. Hkrati predstavlja pomemben vir hrane za številne vrste rib, rakov in ptic ter je tudi del prehrane ljudi. Užitna klapavica je razširjena ob evropskih obalah Sredozemskega morja, kar omogoča primerjavo rezultatov iz različnih geografskih območij. Raziskave kažejo, da se v mehkih tkivih klapavic pojavljajo koncentracije od približno 0,2 do 0,4 delcev mikroplastike na gram mehkega tkiva (Mathalon in Hill, 2014; Van Cauwenberghe in sod., 2015). Čeprav kratkotrajna izpostavljenost mikroplastiki morda nima izrazitih bioloških učinkov (Browne in sod., 2008), je bilo dokazano, da zaužitje mikroplastike v klapavicah povzroča bodisi povečano kakor tudi manjšo filtracijsko aktivnost (Wegner in sod., 2012). MP se pritrdi na migetalke v škržnem epiteliju in na larvah ter ovira njihovo gibanje, histološke spremembe v epiteliju škrž in prebavne žleze, ki so

posledica vnetnih odgovorov na MP (von Moos in sod., 2012), ter zaradi tega spremembe na nivoju izražanja genov (Détrée in Gallardo-Escárate, 2017).

V morskih vodah v pristojnosti R Slovenije je vrsta gospodarsko pomembna in dobro dostopna, saj je prisotna na naravnih in na umetnih substratih in prevladuje v školjčičih. Vzorčenje je razmeroma enostavno, laboratorijska obdelava pa metodološko obvladljiva in stroškovno primerna za dolgoročen monitoring.

Za nacionalni monitoring je smiselno, da užitna klapavica predstavlja osrednjo indikatorsko vrsto za spremljanje mikroodpadkov v školjkah. Priporočljivo je standardizirano vzorčenje na več stalnih lokacijah ob obali, pri čemer morajo biti osebki primerljive velikosti. Vzorčenje naj se praviloma izvede enkrat letno izven obdobja drstenja; če razpoložljivi viri to omogočajo, bi bilo z vidika zaznavanja sezonske spremenljivosti smiselno vzorčenje dvakrat letno. Prisotnost mikroplastike se pregleduje v mehkih tkivih po razgradnji z KOH, in v intervalvarni tekočini, mikroplastiko ujame na filter in nato v posameznem delčku z metodo FTIR identificiramo plastični polimer. Rezultati se odražajo kot povprečno število delcev na osebek ali na enoto mase ter kot frekvenca pojavljanja po posameznih lokacijah.

***Mimachlamys varia* (Linnaeus, 1758)**

Mimachlamys varia je školjka iz družine Pectinidae, ki je razširjena v obalnih vodah severovzhodnega Atlantika in Sredozemskega morja, kjer poseljuje predvsem plitva obalna območja od spodnje plimne cone do približno 100 m globine (Breitwieser in sod., 2018). Vrsta se pojavlja v različnih habitatih, vključujoč kamnito dno in mehkejša sedimente infralitoralnega in zgornjega cirkalitoralnega pasu, pogosto v povezavi s kompleksnimi epibentoškimi združbami. V juvenilnih stadijih se lahko pritrjuje na podlago z bisusnimi nitmi, medtem ko so odrasli osebki večinoma prosto ležeči, z omejeno sposobnostjo aktivnega premikanja (MarLIN, 2023). Ta vrsta je v slovenskem morju pogosta in zelo razširjena. Prehranjevalna strategija vrste temelji na filtraciji morske vode preko škržnega epitelijskega, kot vir hrane so fitoplankton in organski suspendirani delci. Ta način prehranjevanja, skupaj z relativno sesilnim življenjskim slogom, omogoča učinkovito izpostavljenost in potencialno akumulacijo različnih okoljskih kontaminantov. Eksperimentalne in molekularne študije so pokazale, da *M. varia* izraža merljive fiziološke in biokemijske odzive na onesnaženje, npr. spremembe v izražanju genov in indikatorji oksidativnega stresa, zaradi česar je vrsta primerna za biomonitoring v obalnih in pristaniških okoljih (Viricel in sod., 2018).

V kontekstu spremljanja mikroplastike je uporaba vrste *M. varia* znanstveno utemeljena zaradi filtratorskega načina prehranjevanja. Številne raziskave na sorodnih vrstah so pokazale, da učinkovito vnašajo in zadržujejo mikroplastiko iz vodnega stolpca, kar jih uvršča med standardne bioindikatorje tega tipa onesnaženja (Van Cauwenberghe in Janssen, 2014; Li in sod., 2016). Čeprav specifičnih študij o mikroplastiki pri vrsti *M. varia* nismo našli, pa obstajajo študije na sorodnih vrstah, *Argopecten irradians* in *Placopecten magellanicus*, ki pa pri nas niso prisotne, je pa pri njih bila dokazana akumulacija mikroplastike ter s tem povezani fiziološki odzivi (Song in sod., 2020; Faraut in sod., 2025).

Med **iglokožci** smo izbrali dve vrsti, *Holothuria tubulosa* in *Ocnus planci*, kot indikatorski vrsti za spremljanje mikroplastike. Obe vrsti sta razširjeni v slovenskem obalnem morju in tudi po Sredozemskem morju, kar omogoča standardizacijo metodologije in primerjave med območji.

Hkrati imata pomembno vlogo pri recikliranju organske snovi na morskem dnu, zato pomembno vplivata na morsko dno in kroženje hranil.

***Holothuria tubulosa* Gmelin, 1791**

Holothuria tubulosa je pogosta v obalnih infralitoralnih območjih. Vrsti se nekoliko razlikujeta tudi po načinu prehranjevanja: *H. tubulosa* je detritivor, ki zauživa delce sedimenta, zato lahko kopiči mikroplastiko, ki se nabira na morskem dnu. Njihova velika dovzetnost za onesnaženje s plastiko, lahko vpliva na trofični prenos in povezovanje med bentoškimi in pelagičnimi sistemi. Zaužitje in kasnejše izločanje mikroplastike pri teh vrstah povečuje njeno biološko dostopnost ter spodbuja njen prenos v vodni stolpec (Bulleri in sod., 2021). Vrste iz rodu *Holothuria* so znane po uživanju mikroplastičnih delcev in so pogosto predlagane kot sentinelne/občutljive vrste za ocenjevanje onesnaženosti s plastiko (npr. Renzi in sod., 2020; Mancuso in sod., 2026).

***Ocnus planci* (Brandt, 1835)**

Ocnus planci najdemo v globljih cirkalitoralnih vodah, kjer večinoma naseljuje mehke sedimente na območjih z zmernim gibanjem vode. *O. planci* je detritivor, ki pa se pretežno prehranjuje s filtriranjem užitnih delcev iz vodnega stolpca. Med hranjenjem dvigne sprednji del telesa, tako da ostane le majhen del zadnjega dela v stiku s podlago (McKenzie, 1991), in tako zbira delce, suspendirane iz sedimenta, kot tudi tiste, ki lebdiijo v spodnjem sloju vodnega stolpca. Čeprav specifičnih študij o mikroplastiki pri vrsti *O. planci* nismo našli, pa obstajajo študije na sorodnih vrstah kot vrste iz rodu *Holothuria*.

Izmed **plaščarjev** oz. **kozolnjakov** smo izbrali tri vrste, ki bi jih lahko uporabili kot indikatorske oz. modelne vrste; *Styela plicata*, *Pyura dura* in *Phallusia mammilata*.

***Styela plicata* (Lesueur, 1823)**

Styela plicata je vrsta solitarnega kozolnjaka, ki zraste do približno 8 cm in je tako v slovenskem morju kot tudi v celotnem Sredozemskem morju široko razširjen. V Sloveniji ta vrsta naseljuje predvsem umetne substrate (npr. privezne vrvi, pristaniške strukture), v antropogeno spremenjenih in naravnih habitatih vzdolž celotne obalne črte. Ta razširjenost omogoča uporabo ene same vrste za primerjalni monitoring mikroplastike v antropogeno obremenjenih in naravnih okoljih.

Styela plicata ima eno najvišjih izmerjenih hitrosti precejanja (CR) med kozolnjaki glede na suho maso, kar je povezano s kompleksno zgradbo škržnega aparata (Fiala-Médioni, 1978). Morfološke značilnosti, kot so enostavni tentakli in izrazite škržne gube, omogočajo učinkovito zadrževanje delcev, pri čemer je bilo ugotovljeno, da te lastnosti pomembno vplivajo na zajemanje mikroplastičnih delcev (Sorrentino in sod., 2023).

Raziskave dodatno kažejo, da je vsebnost mikroplastike pri osebkih večja v pristaniških območjih ter v zimskem obdobju, kar odraža povezanost onesnaženja z ladijskim prometom in turističnimi dejavnostmi (Sorrentino in sod., 2023). Zaradi visoke filtracijske aktivnosti, široke razširjenosti ter občutljivosti na lokalne vire onesnaženja predstavlja *Styela plicata* primerne in zanesljivega kandidata za indikatorsko vrsto mikroplastike.

***Pyura dura* (Heller, 1878)**

Pyura dura je predstavnik plaščarjev (Ascidiacea) iz družine Pyuridae, razširjen v obalnih morskih okoljih Sredozemlja in vzhodnega Atlantika, kjer naseljuje predvsem trde substrate v plitvih do zmerno globokih vodah (Shenkar in Swalla, 2011). Vrsta je tipično sesilna, trajno pritrjena na podlago (npr. skale, umetne strukture), pogosto v območjih z močnejšim vodnim pretokom, kar omogoča učinkovito filtracijo vode. V slovenskem morju je pogosto in razširjena vrsta na trdni podlagi.

P. dura je filtrator oz. suspenziograf, ki skozi sifona aktivno črpa vodo in iz nje odstranjuje fitoplankton, bakterije ter organske delce (Riisgård in Larsen, 2010). Ta način prehranjevanja vodi v neposreden stik z delci v vodnem stolpcu, vključno z antropogenimi onesnažili. Plaščarji so znani po visoki učinkovitosti filtracije in sposobnosti akumulacije različnih snovi iz okolja, vključno s kovinami in organskimi onesnažili (Lambert, 2005).

Zaradi teh lastnosti se plaščarji pogosto uporabljajo kot bioindikatorji okoljskega stanja, zlasti v obalnih in pristaniških ekosistemih, kjer so izpostavljeni antropogenim vplivom (Shenkar in Swalla, 2011). Njihova sesilnost in relativno dolga življenjska doba omogočata integracijo okoljskih signalov skozi čas, kar je pomembno za biomonitoring. Eksperimentalne študije na drugih vrstah plaščarjev (npr. *Ciona intestinalis*) so pokazale, da lahko učinkovito vnašajo mikroplastiko iz vodnega stolpca ter jo začasno zadržujejo v prebavnem sistemu (Messinetti in sod., 2019). Študij o prisotnosti ali bioakumulaciji mikroplastike pri vrsti *Pyura dura* nismo našli.

***Phallusia mammillata* (Cuvier, 1815)**

Phallusia mammillata je solitarni plaščar (Ascidiacea) iz družine Ascidiidae, razširjen v Sredozemskem morju in vzhodnem Atlantiku. Naseljuje predvsem trde substrate v obalnih morskih okoljih, vendar je njen habitatni razpon širši, kot se pogosto navaja. Vrsta se pojavlja na skalnatih podlagah, umetnih strukturah (npr. v pristaniščih) ter tudi na mehkejših sedimentih, kot so pesek in mulj, kjer se pritrjuje na ostanke lupin (Riedl, 1983; Shenkar in Swalla, 2011). Pogosto je prisotna v zavetnih, toplih obalnih območjih z zmanjšanim hidrodinamičnim stresom, kjer je vodno gibanje šibkejše. Hkrati je razširjena v različnih globinskih pasovih, od nekaj metrov globine do približno 200–250 m, kar kaže na visoko ekološko plastičnost vrste (Riedl, 1983; Brunetti in Mastrototaro, 2017). V Sredozemlju se pogosto pojavlja tudi v povezavi z biocenozami morskih trav (npr. *Posidonia oceanica*) ter na mobilnih sedimentih infra- in cirkalitorala, kjer je pomemben del epibentoških združb (Riedl, 1983; Brunetti in Mastrototaro, 2017). Prisotnost vrste v pristaniških in antropogeno spremenjenih habitatih dodatno potrjuje toleranco na spremenjene okoljske razmere, kar je pomembno za njeno uporabo v biomonitoringu.

Kot drugi plaščarji je *P. mammillata* suspenzijski filtrator, ki aktivno črpa vodo ter iz nje odstranjuje fitoplankton, bakterije in organske delce (Riisgård in Larsen, 2010). Filtracija poteka preko sluzaste mreže v žrelu, kar omogoča učinkovito zadrževanje tudi zelo majhnih delcev. Zaradi tega je vrsta neposredno izpostavljena suspendiranim snovem v vodnem stolpcu, vključno z antropogenimi delci, med njimi plastiko. Plaščarji, vključno z rodом *Phallusia*, so znani po sposobnosti akumulacije različnih kontaminantov, kot so težke kovine in organska onesnažila, ter po izraženih fizioloških odzivih na stresne dejavnike (Lambert, 2005). Študij o prisotnosti ali bioakumulaciji mikroplastike pri vrsti *P. mammillata* nismo našli.

***Schizoporella errata* (Waters, 1878)**

Izmed **mahovnjakov** smo kot indikatorsko vrsto za spremljanje mikroplastike izbrali vrsto ***Schizoporella errata***. Vrsta je široko razširjena v slovenskem priobalnem morju, kjer naseljuje predvsem trdne substrate v antropogeno spremenjenih habitatih (npr. pristanišča, umetne strukture), prisotna pa je tudi v naravnih okoljih. Poleg tega je pogosta v celotnem Sredozemskem morju. Ker gre za kriptogeno vrsto, njena uporaba ne predstavlja tveganja za avtohtone združbe.

Vrsto odlikujejo hitra rast, visoka morfološka plastičnost in sposobnost tvorbe obsežnih kalcificiranih kolonij (Sokolover in sod., 2018), ki lahko delujejo kot učinkoviti zbiralniki delcev iz okolja. Kot suspenziofag se primarno prehranjuje z mikroalgami, vendar lahko zaužije tudi mikroplastične delce (Fortič in sod., 2025). Poleg vnosa preko prehrane je pomembna tudi njena sposobnost vključevanja delcev v skelet, kar je bilo pri pritrjenih nevretenčarjih že potrjeno in kaže na potencialno vlogo teh organizmov kot ponorov mikroplastike v priobalnem pasu (Lo Bue in sod., 2023).

Zaradi kombinacije široke razširjenosti, tolerance na različne okoljske razmere, hitre rasti ter interakcije z mikroplastiko preko prehranjevanja in biomineralizacije predstavlja *Schizoporella errata* primerne in zanesljivega kandidata za indikatorsko vrsto.

Ribe

Ribe predstavljajo eno ključnih skupin za spremljanje morskih odpadkov v bioti, saj zasedajo različne habitate in trofične ravni, več izbranih vrst pa je tudi gospodarsko pomembnih. Za nacionalni monitoring je smiselno izhajati iz funkcionalno različnih vrst, ki skupaj pokrivajo demersalno, bentoško in pelagično okolje (MSFD Technical Group on Marine Litter, 2023) ter omogočajo primerljivost z regionalnimi pristopi.

Na podlagi raziskav v Sredozemlju izpostavljamo naslednje podskupine rib, ki so hkrati pomemben del ribolova v severnem Jadranu. Vse predlagane vrste rib so gospodarsko pomembne ribolovne vrste, za katere se sistematično vodijo podatki o ulovu v podatkovni zbirki BIOS – Zavod za ribištvo Slovenije (<https://zzrs.si/bios/>). To podpira relativno enostavno in stroškovno učinkovito pridobivanje vzorcev v okviru sodelovanja z ribiškim sektorjem, čeprav bo v nekaterih primerih (npr. za primerno prostorsko razporejenost vzorčenj) potrebno tudi ciljno vzorčenje. Hkrati monitoring gospodarsko pomembnih vrst omogoča tudi oceno potencialnega prenosa mikroplastike in z njo povezanih kontaminantov v prehrano ljudi, kar dodatno povečuje relevantnost monitoringa z vidika javnega zdravja in upravljanja morskih virov.

Predlagane vrste rib izpolnjujejo več ključnih meril za izbor bioindikatorskih vrst, saj gre za ekološko in biološko dobro raziskane vrste (merilo 1) z različnimi prehranjevalnimi strategijami in trofičnimi vlogami (merilo 3), ki pokrivajo bentoško, demersalno in pelagično okolje ter tako omogočajo spremljanje različnih poti izpostavljenosti mikroodpadkom. Večina izbranih vrst je široko razširjena v Sredozemlju (merilo 4) in redno prisotna tudi v slovenskem morju, nekatere med njimi pa imajo zaradi omejene mobilnosti (npr. *Gobius niger*, *Atherina boyeri*) dodatno vrednost za ocenjevanje lokalnih razmer (merilo 2). Hkrati gre za gospodarsko pomembne vrste, ki so dostopne preko komercialnega ribolova (merilo 5), kar podpira operativno izvedljiv monitoring ter primerljivost rezultatov z drugimi državami Sredozemlja. Pri vseh predlaganih vrstah so bile interakcije z mikroplastiko že dokumentirane v številnih raziskavah, kar dodatno potrjuje njihovo primernost za monitoring D10C3 in D10C4 (merilo 6).

Bentoške vrste rib

Bentoške, na dnu ležeče vrste rib so posebej primerne za spremljanje odpadkov, ki se kopičijo na morskem dnu oziroma v sedimentu. Morsko dno je eden ključnih ponorov plastičnih odpadkov, zato te vrste dobro odražajo izpostavljenost v bentoškem okolju. Raziskave v Sredozemlju pogosto navajajo prisotnost mikroplastike v morskem listu (*Solea solea* (Linnaeus, 1758)) (Pellini in sod., 2018; Avio in sod., 2020), katerega smo izbrali za preučevano vrsto. Dopolnilno smo za spremljanje mikroplastike vključili tudi črnega glavača (*Gobius niger* Lacepède, 1800). Čeprav v raziskavah še ni široko uporabljen (Abrunhosa, 2021), ima zaradi svoje ekologije (omejene mobilnosti, bentoškega načina življenja ter prehranjevanja na morskem dnu) in široke razširjenosti v Sredozemskem morju velik potencial kot indikator prisotnosti mikroplastike.

Demersalne vrste rib

Demersalne vrste rib aktivno plavajo nad morskim dnom in se na njem prehranjujejo (npr. bradač), nekatere vrste pa občasno zahajajo tudi v vodni stolpec ter se lahko hranijo tik pod vodno gladino (npr. glavati cipelj; Dulčić in Kovačić, 2020), kjer je pogosto prisotna večja količina plastičnih delcev (Mutuku in sod., 2024). Zaradi tega predstavljajo pomemben povezovalni člen med bentosom in pelagialom ter omogočajo vpogled v prenos mikroplastike med različnimi okolji in skozi prehranski splet. Iz te skupine smo izbrali glavatega cipelja (*Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758)) in bradača (*Mullus barbatus* Linnaeus, 1758), za katera obstaja tudi številna literatura o prisotnosti in spremljanju mikroplastike (glavati cipelj: Avio in sod., 2020; Kilič in Yücel, 2022; bradač: Giani in sod., 2019; Avio in sod., 2020).

Pelagične vrste rib

Pelagične vrste rib (živijo v vodnem stolpcu neodvisno od morskega dna) dopolnjujejo monitoring z vidika izpostavljenosti mikroplastiki v vodnem stolpcu. Zaradi prehranjevanja s planktonom lahko te vrste mikroplastiko zaužijejo neposredno iz vodnega stolpca ali posredno s plenom, zato predstavljajo pomemben kazalnik vnosa mikroodpadkov v prehransko mrežo (Güven in sod., 2017; Vlachogianni in sod., 2017). V morskih vodah v pristojnosti R Slovenije je za ta namen posebej pomembna sardela (*Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792)), za pokritje obalnega pelagičnega območja pa tudi mali gavun (*Atherina boyeri* Risso, 1810), ki je zaradi majhne mobilnosti osebkov posebej primeren za monitoring na majhnih območjih, kot je slovensko morje. Poleg tega omogoča tudi spremljanje v izlivnih območjih rek in lagunah, kjer se redno pojavlja (Dulčić in Kovačić, 2020; Mistri in sod., 2026).

Kot standardizirano jedro programa spremljanja mikroplastike v ribah so bile predlagane tri vrste: sardela (*S. pilchardus*, pelagična vrsta), glavati cipelj (*M. cephalus*, demersalna vrsta) in morski list (*S. solea*, bentoška vrsta). Te vrste pokrivajo različne življenjske prostore in načine prehranjevanja, hkrati pa zanje obstaja obsežna literatura (Compa in sod., 2018; Pellini in sod., 2018; Avio in sod., 2020; Kilič in Yücel, 2022), ki omogoča primerljivost rezultatov z drugimi državami članicami ODMS. Demersalno vrsto oslič (*Merluccius merluccius* (Linnaeus, 1758)), predlagano za monitoring v Kovač Viršek in sod. (2019), smo nadomestili z glavatim cipljem (*M. cephalus*), saj je zaradi manjše mobilnosti in omejenih migracij primernejši za spremljanje lokalnega stanja okolja. Od leta 2025 se v Sloveniji ne izvaja več načrtnega lova pelagičnih vrst z

zapornimi plavaricami, vendar je ulov te vrste še vedno zabeležen s pridnenimi vlečnimi mrežami in zadosten za monitoring.

Za severni Jadran, natančneje za območje morskih vod v pristojnosti R Slovenije, je to osnovno jedro mogoče po potrebi dopolniti z lokalno pomembnimi vrstami, ki zaradi manjše mobilnosti omogočajo bolj lokalni vpogled v stanje okolja. Predlagane dopolnilne vrste so mali gavun (*A. boyeri*, pelagična vrsta), bradač (*M. barbatus*, demersalna vrsta) in črni glavač (*G. niger*, bentoška vrsta). Tudi za te vrste obstaja literatura, ki omogoča primerljivost rezultatov (Giani in sod., 2019; Avio in sod., 2020; Abrunhosa, 2021; Mistri in sod., 2026).

Metodološko poročilo (Kovač Viršek in sod., 2019) priporoča analizo 50 osebkov posamezne izbrane vrste rib, v primeru omejene razpoložljivosti pa je lahko število osebkov tudi manjše. Osebkovi morajo biti čim bolj primerljivi glede velikosti, teže in razvojnega stadija. Monitoring se izvaja enkrat do dvakrat letno, v obdobju lovne sezone posamezne vrste. Pri tem je treba preveriti, da se vrsta v času izlova prehranjuje, saj se predvsem v najhladnejših mesecih nekatere vrste drstijo oziroma se zaradi nižjih temperatur in pomanjkanja hrane ne prehranjujejo, kar lahko vpliva na rezultate. Za predlagane vrste priporočamo vzorčenje v toplejših mesecih (od maja do oktobra), saj se v tem obdobju vse vrste aktivno prehranjujejo.

Ob ulovu ali odkupu rib neposredno od ribičev je treba zabeležiti datum in uro vzorčenja, tip ribolovnega orodja ter lokacijo ulova (GPS-koordinate), saj ti podatki pomembno vplivajo na interpretacijo rezultatov (Kovač Viršek in sod., 2019). Rezultati se poročajo kot povprečno število mikroodpadkov na osebek ter kot frekvenca pojavljanja, po možnosti pa tudi z dodatno opredelitvijo delcev glede na velikost, barvo, morfološki tip in materialno sestavo (MSFD Technical Group on Marine Litter, 2013).

Vzorci rib je mogoče pridobiti v sodelovanju s komercialnim ribolovom ali v okviru ciljnega znanstvenega vzorčenja. Laboratorijska obdelava mora biti primerljiva med različnimi ekološkimi skupinami vrst, kar omogoča skupno interpretacijo rezultatov in primerjavo med skupinami.

Dopolnilne vrste (*Gobius niger* in *Atherina boyeri*) so bile izbrane predvsem zaradi svoje omejene mobilnosti, visoke lokalne prisotnosti in relativno majhnega območja gibanja. Takšne vrste bolj neposredno odražajo lokalne razmere v slovenskem morju in omogočajo zaznavanje prostorskih razlik v obremenjenosti z mikroplastiko. Preostale vrste, ki so pogosto predmet raziskav povezanih z mikroplastiko (npr. sardela), pa omogočajo primerljivost na širši regionalni ravni.

Morske ptice

Morske ptice so mednarodno prepoznane kot pomembni bioindikatorji onesnaženosti z makroodpadki (Fossi in sod., 2018). Njihova uporabnost je povezana predvsem z dokumentiranimi primeri zaužitja odpadkov (Codina-García in sod., 2013) in zapletanja v odpadke. V sredozemskem prostoru je bilo zaužitje odpadkov potrjeno pri več vrstah, vendar se primernost posamezne vrste razlikuje glede na prehranjevalno ekologijo in stopnjo vezanosti na morsko oziroma kopensko okolje.

Pri izboru indikatorskih vrst je treba posebno pozornost nameniti morebitnim vedenjskim pristranostim. Rumenonogi galeb (*Larus michahellis* J.F. Naumann, 1840) se pogosto prehranjuje na kopenskih odlagališčih (Ramos in sod., 2009) in v urbanem okolju, zato lahko odraža širšo obremenjenost z odpadki, ne pa nujno izključno stanja v morskem okolju. Zaradi tega je njena interpretacija kot bioindikatorja omejena.

Za morske vode v pristojnosti R Slovenije so z vidika spremljanja vplivov odpadkov relevantne zlasti skupine galebov, čiger in vranjekov oziroma kormoranov (Orlando-Bonaca in sod., 2023). Navadna čigra (*Sterna hirundo* Linnaeus, 1758) in mala čigra (*Sternula albifrons* (Pallas, 1764)) se prehranjujeta bolj ali manj izključno z ribami in zato plastiko/mikroplastiko zaužijeta posredno (Franco in sod., 2019). V njihovi prehrani prevladujejo manjše pelagične ribe, zato lahko z preiskavo prehranjevalnih ostankov teh vrst dobimo informacijo o mikroplastiki v vodnem stolpcu. Sredozemski vranjek (*Gulosus aristotelis desmarestii* (Payraudeau, 1826)) je značilna ribojeda vrsta, ki pa se hrani bolj ali manj izključno z ribami, ki prebivajo na morskem dnu, zato lahko na ta način pridobimo informacije, povezane s kontaminacijo z mikroplastiko na dnu (Franco in sod., 2019). Predvsem galebi in vranjeki se lahko zapletajo v ostanke mrež ali vrvic ali drugačnih odpadkov. Vendar pa je v sedANJI fazi za morske ptice najprimernejši predvsem pristop, usmerjen v evidentiranje pojavov po merilu **D10C4**, to je zapletanja, poškodbe in pogini, povezani z odpadki. Za merilo **D10C3** je smiselno zagotoviti pregled želodčne vsebine pri vsakem najdenem poginulem osebku, kadar je to izvedljivo, ter preučiti možnost spremljanja nekaterih neinvazivnih vzorcev, kot so iztrebki ali izbljvki izbranih vrst.

Za upravljavsko poročanje je priporočljivo vzpostaviti enoten obrazec za evidentiranje incidentalnih primerov, ki vključuje identifikacijo vrste, datum, lokacijo, tip odpadka in naravo vpliva.

Predlagane vrste morskih ptic izpolnjujejo več pomembnih meril za izbor bioindikatorskih vrst, saj gre za dobro raziskane vrste (merilo 1) z znano prehranjevalno ekologijo in jasno opredeljeno trofično vlogo v morskem ekosistemu (merili 2 in 3). Zaradi različnih prehranjevalnih strategij (pelagične ribojede vrste, bentoške ribojede vrste ter oportunistični prehranjevalci) omogočajo vpogled v različne poti vnosa mikroplastike v prehranski splet. Predlagane vrste so redno prisotne v slovenskem morju in širšem Sredozemlju (merilo 4), pri čemer nekatere vrste, zlasti čigre in vranjeki, zaradi tesnejše vezanosti na morsko okolje bolje odražajo stanje v morskem ekosistemu. Poleg tega so pri predlaganih morskih pticah že dokumentirani primeri zaužitja odpadkov in zapletanja v odpadke (merilo 6) oziroma ribolovna orodja, zaradi česar predstavljajo pomembne indikatorje škodljivih vplivov odpadkov po merilu D10C4.

Morske želve

Glavata kareta (*Caretta caretta* (Linnaeus, 1758)) je ena najpomembnejših indikatorskih vrst za spremljanje prisotnosti in učinkov makroodpadkov v Sredozemskem morju (Fossi in sod., 2018). Vrsta je široko razširjena, uporablja različne dele morskoga prostora in pogosto zaužije plavajoče odpadke, zlasti kadar jih zamenja za naravni plen ali jih zaužije skupaj z organizmi, ki obraščajo odpadke.

Vrsta je bila leta 2016 izbrana tudi kot kandidatni kazalnik v okviru OSPAR (Claro, 2016) ter opredeljena kot kandidatna vrsta za razvoj kazalnika 24 v okviru UN Environment/MAP IMAP. Poleg tega je uporaba te indikatorske vrste kot EI 18 za zaužitje odpadkov priporočena na ravni Sredozemlja v okviru akcijskega načrta MedPol za morske odpadke (Fossi in sod., 2018).

Za morske vode v pristojnosti R Slovenije je pri glavati kareti smiselno prednostno vzpostaviti sistematično evidentiranje pojavov po merilu **D10C4**, zlasti primerov zapletanja, poškodb in poginov. Za merilo **D10C3** pa je priporočljivo, da se pri vsakem poginulem osebku, najdenem ob obali, po možnosti izvede pregled prebavil na prisotnost odpadkov. Tovrsten pristop je glede na pričakovano število primerov operativno najbolj realističen in hkrati visoko informativen.

Kot dopolnilna raziskovalna komponenta je mogoče v sodelovanju z veterinarskimi in rehabilitacijskimi ustanovami razmisliti tudi o spremljanju nekaterih biomarkerjev oziroma zdravstvenih kazalnikov, vendar takšne analize presegajo osnovne zahteve meril D10C3 in D10C4 ter jih je smiselno obravnavati kot nadgradnjo monitoringa. Raziskave so npr. razvile teste genotoksičnosti na krvi želv, ki lahko pokažejo vpliv onesnaževal (npr. Kometni test za poškodbe DNK; Caliani in sod., 2014).

Tudi za glavato kareto je priporočljivo vzpostaviti enoten obrazec za evidentiranje incidentalnih primerov, ki vključuje datum, lokacijo, tip odpadka in naravo vpliva.

Predlagana vrsta, glavata kareta, izpolnjuje več ključnih meril za izbor bioindikatorskih vrst, saj gre za ekološko dobro raziskano (merili 1 in 2) in mednarodno uveljavljeno indikatorsko vrsto za spremljanje vplivov morskih odpadkov v Sredozemlju (merilo 4). Vrsta je široko razširjena in redno prisotna tudi v slovenskem morju, uporablja različne dele morskoga prostora ter zaseda višjo trofično raven (merilo 3), zaradi česar omogoča spremljanje vnosa odpadkov skozi prehranski splet. Zaradi prehranjevanja s pelagičnimi in bentoškimi organizmi pogosto zaužije tudi plavajoče ali suspendirane odpadke, pri čemer so interakcije z makroodpadki in mikroodpadki dobro dokumentirane v številnih raziskavah (merilo 6). Poleg zaužitja odpadkov so pri vrsti pogosti tudi primeri zapletanja v ribolovna orodja in druge odpadke, zato predstavlja pomemben indikator škodljivih vplivov odpadkov po merilu D10C4. Hkrati ima vrsta visok varstveni pomen, saj je zavarovana in vključena v številne mednarodne konvencije ter regionalne programe monitoringa v okviru MSFD in UNEP/MAP.

Morski sesalci

Med morskimi sesalci je za morske vode v pristojnosti R Slovenije z vidika monitoringa najrelevantnejša velika pliskavka (*Tursiops truncatus* (Montagu, 1821)), ki je edina redno prisotna vrsta v morskih vodah RS (Genov in sod., 2019). Čeprav je število razpoložljivih primerov praviloma majhno, vrsta predstavlja pomemben dopolnilni kazalnik skrajnih vplivov odpadkov na višjih trofičnih ravneh (Fossi in sod., 2017).

Za nacionalni monitoring je tudi pri tej vrsti najprimernejši pristop, usmerjen v sistematično evidentiranje pojavov po merilu D10C4, predvsem zapletanja, poškodb in poginov. Velike pliskavke se pogosto zapletejo v različne ribiške mreže in zapuščena ribolovna orodja (t.i. "ghost nets"). Kadar je na voljo poginuli osebek, je priporočljivo v okviru obdukcije sistematično pregledati tudi prebavni trakt in evidentirati morebitno prisotnost odpadkov (za merilo D10C3). Takšen pristop je skladen z mednarodnimi smernicami za posmrtno preiskavo morskih sesalcev (Ijsseldijk in sod., 2019).

Zaradi majhnega števila primerov je bistveno, da so terenski in laboratorijski postopki metodološko enotni (Preglednica 1) ter združljivi z evidencami za druge skupine morskih vretenčarjev. Tudi za veliko pliskavko je zato priporočljivo uvesti standardiziran obrazec za evidentiranje incidentalnih primerov.

Predlagana vrsta, velika pliskavka, izpolnjuje več pomembnih meril za izbor bioindikatorskih vrst, saj gre za dobro raziskano vrsto v Sredozemskem morju, z znano biologijo, ekologijo in trofično vlogo v morskem ekosistemu (merila 1, 2, 3 in 4). Vrsta je redno prisotna v slovenskem morju ter predstavlja vrhnjega plenilca, zaradi česar omogoča vpogled v potencialni prenos mikroodpadkov in z njimi povezanih onesnaževal po prehranskem spletu. Zaradi relativno visoke stopnje rezidentnosti dela populacije v severnem Jadranu je primerna tudi za spremljanje lokalnih vplivov

odpadkov. Pri velikih pliskavkah so bili v različnih območjih Sredozemlja že dokumentirani primeri zaužitja odpadkov ter zapletanja v ribolovna orodja in druge odpadke (merilo 6), zato predstavlja pomemben indikator škodljivih vplivov odpadkov po merilu D10C4. Hkrati ima vrsta visok varstveni pomen, saj je zavarovana in vključena v številne mednarodne in regionalne varstvene okvire.

Predlagani nabor vrst ne predstavlja dokončnega seznama, temveč operativno in znanstveno utemeljeno izhodišče za vzpostavitev nacionalnega monitoringa D10C3 in D10C4. Kombinacija bentoških in pelaških organizmov omogoča bolj celovit vpogled v prostorsko razporeditev, poti vnosa in potencialne vplive mikroodpadkov v slovenskem morju.

Preglednica 1: Priporočeni minimalni nabor podatkov ob vsakem vzorčenju oziroma incidentalnem primeru.

| Skupina podatkov | Obvezni elementi | Za katere skupine | Namen |
|--------------------------|---|--|---|
| Terenski podatki | datum, ura, lokacija/GPS, vzorčevalec, vir vzorca | vse skupine | sledljivost in prostorska interpretacija |
| Biometrični podatki | dolžina, masa, razvojni stadij, po možnosti spol | ribe, incidentalni ulovi višjih vretenčarjev | primerljivost osebkov |
| Podatki o ulovu/najdbi | tip orodja, okoliščine najdbe, stanje osebka | ribe, incidentalni ulovi višjih vretenčarjev | vpliv metode in interpretacija izpostavljenosti |
| Laboratorijski rezultati | št. delcev, masa odpadkov, FO %, tip delcev | vse skupine | ključni kazalniki D10C3 |
| Lastnosti delcev | material, velikost, barva, morfološki tip | vse skupine | primerjava virov in standardizacija |
| Škodljivi vplivi | zapletanje, poškodbe, pogin, anatomske spremembe | vse skupine | ključni kazalniki D10C4 |

5. Dodatni parametri za celovit vpogled v vplive (mikro)odpadkov

Poleg osnovnih kazalnikov za D10C3 in D10C4 je za ustrezno interpretacijo rezultatov priporočljivo zbirati tudi dodatne podatke, ki omogočajo boljši vpogled v izvor odpadkov, obseg izpostavljenosti in morebitne biološke učinke (UN-SDSN Med, 2017). Na podlagi pregleda trenutnih smernic in raziskav priporočamo upoštevanje naslednjih elementov:

- **Identifikacija in lastnosti zaužitih odpadkov:** priporočljivo je razvrščanje delcev po velikosti, obliki, barvi in materialni sestavi ter po možnosti tudi identifikacija polimerov z uporabo spektroskopskih metod. Uporaba enotne klasifikacije (npr. evropski seznam kategorij odpadkov) bo omogočila primerljivost med državami.

- **Biometrični podatki in kondicija organizmov:** ob vzorčenju je smiselno zabeležiti dolžino, maso, razvojni stadij in druge podatke, ki omogočajo presojo primerljivosti osebkov ter morebitne povezave med izpostavljenostjo in telesno kondicijo. Raziskave kažejo, da so včasih ribe, ki so pojedle veliko plastike, v slabši telesni kondiciji zaradi zmanjšane vnosa prave hrane ali poškodb prebavil. Takšne ugotovitve pomagajo dokazovati **subletalne vplive** odpadkov na osebkove. Podobno se pri npr. želvah beleži **dejavnik hranjenosti** (op. pri obdukciji se oceni, ali je želva shirana), kar lahko nakazuje, da ji je plastika v želodcu povzročila stradanje. Med **indeksi vitalnosti** so pri ribah uporabni predvsem faktor kondicije (Fultonov K), hepatosomatski indeks (HSI) in gonadosomatski indeks (GSI).
- **Analiza druge želodčne vsebine:** Poleg analize mikroodpadkov je pri ribah priporočljivo evidentirati tudi drugo želodčno vsebino, saj podatki o prehrani omogočajo boljše interpretacijo poti vnosa mikroplastike.
- **Analiza drugih tkiv:** Pri ribah je poleg prebavil priporočljiva tudi analiza škrg, saj predstavljajo pomembno mesto neposrednega stika z mikrodelci iz vodnega stolpca. Ločena analiza prebavil in škrg lahko omogoči razlikovanje med zaužitjem mikroplastike in neposredno izpostavljenostjo suspendiranim delcem iz okolja. Pri filtratorjih in drugih nevretenčarjih je po potrebi smiselna tudi ločena analiza posameznih tkiv oziroma funkcionalnih delov telesa (npr. prebavila, plašč, mehko tkivo), saj se lahko mikroplastika med njimi različno kopiči.
- **Biomarkerji in histopatološke analize:** kadar to omogočata zasnova raziskave in razpoložljiva infrastruktura, lahko dodatne analize prispevajo k razumevanju subletalnih vplivov, vendar ne predstavljajo osnovne zahteve monitoringa po MSFD. Pri organizmih, ki jih vzorčimo žive (ali pri svežih poginulih), lahko odvzamemo vzorce krvi, tkiv ali izločkov za analize:
 - **Genotoksičnost:** npr. Kometni test na krvnih celicah pri želvah, ribah ali drugih skupinah in mikronukleusni test; ti testi povedo, če so organizmi izpostavljeni snovem, ki povzročajo poškodbe v DNA ali delitvenega vretena. Nekateri dodatki, ki so v plastiki, imajo lahko takšno delovanje, a je to izjemno težko ugotavljati v takem monitoringu, kot je opisan, ker ne veš katera snov iz okolja je povzročila prelome DNA.
 - **Oksidativni stres in imunski odziv:** merjenje komponent antioksidativnega obrambnega sistema (npr. katalaza, glutation-S-transferaza) v tkivih jeter v ribah in školjkah in v drugih skupinah lahko kaže na povišan odziv antioksidativnega obrambnega sistema na kontaminante. Povišani nivoji so bili opaženi pri ribah in školjkah z mikroplastiko.
 - **Histopatologija:** mikroskopski pregled tkiv (jetra, črevo) lahko razkrije vnetja, granulome ali druge spremembe, ki se povezujejo z zaužitjem odpadkov (npr. ostri delci plastike lahko poškodujejo črevesno steno, kar vidimo kot razjede).
 - **Reprodukcijski parametri:** pri daljših programih se lahko spremlja, ali populacije z visoko izpostavljenostjo plastiki kažejo spremembe v razmnoževanju (npr. manjše število iker pri ribah ali tanjše jajčne lupine pri pticah zaradi kemičnih motilcev iz plastike).
- **Kemična onesnaževala v tkivih:** spremljanje izbranih kontaminantov lahko dopolni interpretacijo, zlasti kadar želimo presojati morebitno vlogo plastike kot prenašalca onesnaževal. Na primer: pri želvah in pliskavkah se lahko vzame vzorec maščobe (blubber

= tolšča) za analizo PCB, DDT, bromiranih zaviralcev gorenja itd.; pri ribah se lahko vzame vzorec jeter ali mišice za analizo vsebnosti težkih kovin in organskih polutantov. Tovrstne analize onesnaževal bolj sodijo pod Deskriptor 8 (kontaminanti), vendar povezava z D10 (odpadki) opravičuje, da ga vključimo v interpretacijo.

- **Podatki o okolju (ozadje onesnaženja):** sočasno spremljanje (mikro)plastike v vodi in sedimentu pomembno prispeva k razumevanju povezave med obremenjenostjo okolja in podatki iz biote. Dolgoročno so lahko okoljski podatki koristni za kalibracijo modelov in za **ocene vnosa plastike** v prehransko verigo.
- **Standardizacija metod in kontrola kakovosti:** vsi vključeni laboratoriji morajo uporabljati usklajene protokole, s čimer se zagotavljata verodostojnost in primerljivost podatkov med leti in med državami.

6. Predlog izvedbe monitoringa D10C3 in D10C4

Za morske vode v pristojnosti R Slovenije je smiselno vzpostaviti monitoring, ki združuje redno ciljno vzorčenje izbranih indikatorskih vrst za D10C3 ter sistematično beleženje incidentalnih primerov za D10C4. Takšen pristop je glede na prostorsko omejenost morskih vod v pristojnosti R Slovenije, razpoložljivost vzorcev in trenutno stopnjo metodološkega razvoja najbolj izvedljiv in strokovno utemeljen (Preglednica 2).

Redno ciljno vzorčenje indikatorskih vrst (D10C3)

- **Školjke: užitna klapavica** naj predstavlja osnovno indikatorsko vrsto. Predlagamo vzorčenje na referenčnem mestu (npr. Strunjanski zaliv) in še na eni stalni lokaciji. Vzorčenje naj se izvaja po možnosti dvakrat letno, če razpoložljivi viri to omogočajo. Analiza: digestija mehkih tkiv in filtriranje za mikroplastiko, določitev števila delcev na g in tipov polimerov. Pri analizi se kvantificira **število mikrodelcev na gram tkiva** in identificira njihova sestava. **Priporočilo:** Klapavice bi veljalo vzorčiti na več stalnih mestih v morskih vodah v pristojnosti R Slovenije.

Testno vzorčenje potencialnih indikatorskih vrst (D10C3)

- **Bentoške, demersalne in pelagične ribe:** vzorce je smiselno pridobivati v sodelovanju s komercialnim ribolovom oziroma v okviru ciljnega znanstvenega vzorčenja, pri čemer naj bodo laboratorijski postopki enaki oz. primerljivi med različnimi skupinami rib.
- **Glavata kareta, morske ptice in velika pliskavka:** pri teh skupinah redno ciljno vzorčenje praviloma ni izvedljivo oziroma ni primerno; podatki za D10C3 se zato zbirajo predvsem na podlagi pregledov poginulih osebkov. Pri morskih ribojedih pticah (vranjek, čigre), pri katerih so možne preiskave prehranjevalnih značilnosti na podlagi analize izbljuvkov iz njihovih počivališč, je smiselno načrtovati ciljno vzorčenje materiala za analizo njihovih prehranjevalnih navad.
- **Mahovnjake (*Schizoporella errata*)** naj se testno vzorči na več lokacijah (pristanišča, krajinski park ipd.) vzdolž slovenske obale. Vzorčenje naj se izvede dvakrat letno. Analiza: digestija mehkih tkiv, ločevanje s slanico in filtriranje za mikroplastiko, določitev števila

delcev na g mase (ali volumen - ml) in tipov polimerov. Pri analizi se kvantificira **število mikrodeltcev na gram tkiva ali volumen tkiva** in se identificira njihova sestava.

- **Ostale školjke** (*Mymachlamis varia*) in **iglokožce** (*Holothuria tubulosa* in *Ocnus planci*) naj se testno vzorči na več lokacijah vzdolž slovenske obale, in sicer na območjih z različno stopnjo antropogenega pritiska. Vzorcenje je treba opraviti enkrat ali dvakrat letno. Analiza: razrez, odstranitev prebavnega trakta, razgradnja biološkega materiala v kalijevem hidroksidu (KOH), ločevanje po gostoti z natrijevim kloridom (NaCl), zbiranje plavajočih mikrodeltcev. Delci se preštejejo in razvrstijo po velikosti, morfologiji in barvi.
- **Kozolnjake** (*Styela plicata*, *Pyura dura* in *Phallusia mammilata*) naj se testno vzorči na več lokacijah (različna oddaljenost od obale, različni habitati, različno antropogeno obremenjena območja) v slovenskem morju. Vzorcenje naj se izvede enkrat do dvakrat letno. Analiza: ločena digestija prebavil in plašča, ločevanje s slanico in filtriranje za mikroplastiko, določitev števila delcev in tipov polimerov. Pri analizi se kvantificira število mikrodeltcev na osebek, gram tkiva in/ali volumen tkiva, ter se identificira njihova sestava.

Beleženje pojavov zapletanja in poškodb (D10C4)

Za merilo D10C4 je priporočljivo vzpostaviti sistem evidentiranja, v katerega so vključeni upravljavci zavarovanih območij, ribiči, pristojne inšpekcijske službe, raziskovalne ustanove, društva, potapljači in druga relevantna javnost. Evidentirati je treba predvsem:

- primere zapletanja živih živali v odpadke oziroma ribolovna orodja;
- najdbe poginulih osebkov z znaki zapletanja ali drugih poškodb, povezanih z odpadki;
- dodatne terenske ugotovitve, ki lahko pojasnijo okoliščine dogodka, vključno z lokacijo, vrsto odpadka in izidom primera.

Za vse skupine vretenčarjev je smiselno uporabiti enoten osnovni evidenčni obrazec, ki zagotavlja primerljivost podatkov in njihovo nadaljnjo uporabo v nacionalnem ter evropskem poročanju.

Povezava z drugimi monitoringi

Monitoring D10C3 in D10C4 je vsebinsko in operativno tesno povezan tudi z drugimi deskriptorji Okvirne direktive o morski strategiji (ODMS), predvsem z deskriptorji D1 (biotska raznovrstnost), D3 (komercialno izkoriščane ribe in lupinarji) in D4 (prehranski spleti), D8 (kontaminanti), posredno pa tudi z D9 (kontaminanti v morski hrani).

Povezava z deskriptorjem D1 je posebej pomembna pri zavarovanih, ogroženih ali ekološko pomembnih vrstah, kot so glavata kareta (*Caretta caretta*), sredozemski vranjek (*Gulosus aristotelis desmarestii*), navadna čigra (*Sterna hirundo*), mala čigra (*Sternula albifrons*) in velika pliskavka (*Tursiops truncatus*), saj lahko zaužitje odpadkov, zapletanje in drugi škodljivi vplivi prispevajo k poslabšanju stanja populacij ter vplivajo na ohranjanje biotske raznovrstnosti.

Z deskriptorjem D3 je monitoring povezan preko gospodarsko pomembnih vrst rib in školjk, kot so npr. sardela (*Sardina pilchardus*), glavati cipelj (*Mugil cephalus*), morski list (*Solea solea*) in užitna klapavica (*Mytilus galloprovincialis*), pri katerih spremljanje mikroplastike omogoča tudi oceno potencialnega prenosa mikroodpadkov in z njimi povezanih onesnaževal v prehrano ljudi ter prispeva k oceni stanja komercialno izkoriščanih populacij.

Pomembna je tudi povezava z deskriptorjem D4, saj predlagane vrste pokrivajo različne trofične ravni in prehranske strategije (filtratorji, detritivori, bentoške, demersalne in pelagične vrste ter višji plenilci), kar omogoča boljše razumevanje prenosa mikroplastike skozi prehranski splet ter potencialnih učinkov na strukturo in delovanje morskega ekosistema.

Neposredna je povezava z deskriptorjem D8, ker vsebuje mikroplastika in plastika dodatke ali se nanjo vežejo kontaminanti iz okolja, ki so lahko izjemno strupeni, poleg tega MP izzove vnetne procese v celicah in sproži antioksidativni obrambni odziv.

Dopolnilno obstaja povezava tudi z deskriptorjem D9, ker monitoring gospodarsko pomembnih vrst omogoča boljše razumevanje potencialne izpostavljenosti človeka mikroplastiki in z njo povezanim kontaminantom preko uživanja morske hrane.

Pomembna je tudi povezava z monitoringom odpadkov na obali **(D10C1)** in na morskem dnu **(D10C2)**.

Povezovanje podatkov med različnimi deskriptorji omogoča bolj celovito interpretacijo stanja morskega okolja ter podpira pripravo usklajenih in ciljno usmerjenih upravljavskih ukrepov v okviru izvajanja ODMS.

Preglednica 2: Predlagane bioindikatorske vrste oziroma skupine in predlagana operativna shema izvajanja monitoringa po D10C3 in D10C4 v morskih vodah v pristojnosti R Slovenije.

| Vrsta oziroma skupina | Merilo ODMS | Habitat | Izpostavljenost | Priporočena frekvenca vzorčenja | Predlagana metoda | Parameter | Opomba za izvedbo |
|---|------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|---|--|---|--|
| <i>Mytilus galloprovincialis</i> (užitna klapavica) | D10C3 | bentos | Zaužitje mikroplastike | 1x do 2x letno, izven sezone drstenja | Analiza celotnega mehkega tkiva; digestija s KOH; filtracija; stereomikroskopija; FTIR/mikroFTIR | št. delcev/osebek ali na g tkiva; FO %; tip delcev | osebki nabrani na referenčnem mestu in še na eni lokaciji (50 osebkov na lokacijo) |
| Bentoške ribe (<i>Solea solea</i> , <i>Gobius niger</i>) | D10C3 | bentos | Zaužitje mikro in makroplastike | 1x do 2x letno v lovni sezoni (maj-oktober) - kupljeni direktno od ribičev ali pridobljeni v okviru ciljnega znanstvenega vzorčenja | Analiza prebavil svežih osebkov iz ulova; seciranje; digestija s KOH; laboratorijska identifikacija delcev | št. delcev/osebek; FO %; tip delcev | 50 osebkov posamezne vrste primerljive velikosti; zabeležiti datum, uro, orodje in GPS ulova |
| Demersalne ribe (<i>Mullus barbatus</i> , <i>Mugil cephalus</i>) | D10C3 | demersalno območje | Zaužitje mikro in makroplastike | 1x do 2x letno v lovni sezoni (maj-oktober) - kupljeni direktno od ribičev ali pridobljeni v okviru ciljnega znanstvenega vzorčenja | Analiza prebavil svežih osebkov iz ulova; seciranje; digestija s KOH; laboratorijska identifikacija delcev | št. delcev/osebek; FO %; tip delcev | 50 osebkov posamezne vrste primerljive velikosti; zabeležiti datum, uro, orodje in GPS ulova |
| Pelagične ribe (<i>Sardina pilchardus</i> , <i>Atherina boyeri</i>) | D10C3 | vodni stolpec | Zaužitje mikro in makroplastike | 1x do 2x letno v lovni sezoni (maj-oktober) - kupljeni direktno od ribičev ali pridobljeni v okviru ciljnega znanstvenega vzorčenja | Analiza prebavil svežih osebkov iz ulova; seciranje; digestija s KOH; laboratorijska identifikacija delcev | št. delcev/osebek; FO %; tip delcev | 50 osebkov posamezne vrste primerljive velikosti; zabeležiti datum, uro, orodje in GPS ulova |
| <i>Caretta caretta</i> (glavata kareta) | Prednostno D10C4; dopolnilno D10C3 | bentopelagični | Zapletanje in zaužitje makroodpadkov | naključne najdbe | Obdukcije nasedlih osebkov; dokumentiranje zapletanja | št. prizadetih osebkov; prisotnost odpadkov v prebavilih; tip odpadka | Ključni indikator za makroodpadke in škodljive učinke zapletanja v odpadke |

| Vrsta oziroma skupina | Merilo ODMS | Habitat | Izpostavljenost | Priporočena frekvenca vzorčenja | Predlagana metoda | Parameter | Opomba za izvedbo |
|--|------------------------------------|-----------------|---|---------------------------------|---|---|--|
| Morske ptice (npr. <i>Gulosus aristotelis desmarestii</i> ; <i>Larus michahellis</i> , <i>Sterna hirundo</i>) | Prednostno D10C4; dopolnilno D10C3 | obalna mokrišča | Zapletanje in zaužitje makroodpadkov | naključne najdbe | Pregledi prebavil poginulih osebkov; analize izbljuvkov pri vranjeku in čigrah; dokumentiranje zapletanja | št. prizadetih osebkov; prisotnost odpadkov v prebavilih; tip odpadka; št. delcev v peletih/izbljuvkah; FO%; tip delcev | monitoring naj izvajajo usposobljeni ornitologi/veterinarji; pregled peletov vranjeka lahko opravimo tudi mi |
| <i>Tursiops truncatus</i> (velika pliskavka) | Prednostno D10C4; dopolnilno D10C3 | vodni stolpec | Zapletanje in zaužitje makroodpadkov | naključne najdbe | Obdukcije nasedlih osebkov; dokumentiranje zapletanja | št. prizadetih osebkov; prisotnost odpadkov v prebavilih; tip odpadka | Ključni indikator za makroodpadke in škodljive učinke zapletanja v odpadke |
| Ostale školjke (<i>Mimachlamys varia</i>) | Dopolnilno za D10C3 | bentos | Zaužitje mikroplastike | pilotno 1-2x letno | Analiza celotnega mehkega tkiva; digestija s KOH; filtracija; stereomikroskopija; FTIR/mikroFTIR | št. delcev/osebek ali na g tkiva; FO %; tip delcev | testna metodologija; vzorčenje na različnih območjih/različnih habitatih, na vsakem območju vsaj 20 osebkov |
| Iglokožci | Dopolnilno za D10C3 | bentos | Zaužitje mikroplastike | pilotno 1-2x letno | testno naj se sledi prilagojeni metodi Mancuso in sod., 2026 | št. delcev/osebek ali na g tkiva; FO %; tip delcev | testna metodologija; vzorčenje na različnih območjih/različnih habitatih, na vsakem območju vsaj 10 osebkov |
| Kozolnjaki | Dopolnilno za D10C3 | bentos | Zaužitje mikroplastike | pilotno 1-2x letno | Analiza prebavila in posebej analiza tunike; digestija s KOH; filtracija; stereomikroskopija; FTIR/mikroFTIR | št. delcev/osebek/tip tkiva ali na g tkiva; FO %; tip delcev | testna metodologija; vzorčenje na različnih območjih/različnih habitatih, na vsakem območju vsaj 10 osebkov |
| Mahovnjaki (<i>Schizoporella errata</i>) | Dopolnilno za D10C3 | bentos | Zaužitje mikroplastike, vključevanje v skelet | pilotno 2x letno | testno naj se sledi prilagojeni metodi Lo Bue in sod., 2023 (digestija, ločevanje, filtriranje, mikroskopija, FTIR) | št. delcev/ g tkiva; FO %; tip delcev | testna metodologija |

Prostorska zasnova monitoringa

Čeprav so morske vode v pristojnosti R Slovenije prostorsko omejene, jih z vidika virov odpadkov in mikroodpadkov ni mogoče obravnavati kot homogeno območje. Na obremenjenost morskega okolja vplivajo predvsem bližina urbanih središč, pristaniške in marikulture dejavnosti, rečni vnosi, turistične in rekreacijske obremenitve ter širši regionalni vplivi severnega Jadrana. Prostorska zasnova monitoringa mora zato temeljiti na stratificiranem pristopu, ki omogoča razlikovanje med lokalnimi viri obremenitve in širšim ozadjem.

Za monitoring D10C3 je smiselno vzpostaviti mrežo stalnih vzorčnih mest, ki vključuje vsaj: (i) obalna območja pod izrazitejšim antropogenim vplivom, (ii) območja v bližini izlivov in drugih kopenskih vnosov, (iii) območja marikulture oziroma umetnih substratov, kjer so indikatorske vrste dobro dostopne, ter (iv) vsaj eno primerjalno lokacijo v teritorialnem morju, ki bolje odraža širše regionalne razmere. Takšna razporeditev je posebej pomembna pri sesilnih filtratorjih (školjke, mahovnjaki, kozolnjaki), ki dobro odražajo lokalne razmere na posamezni lokaciji.

Pri ribah mora prostorska zasnova upoštevati dejansko območje ulova ter ekološke razlike med pridnenim in pelagičnim okoljem. Ključno je, da so ob vsakem vzorčenju zabeleženi natančni podatki o lokaciji ulova, tipu ribolovnega orodja in osnovnih okoliščinah vzorčenja, saj je le tako mogoče rezultate smiselno prostorsko interpretirati. Kadar se vzorci pridobivajo prek komercialnega ribolova, je priporočljivo sodelovanje z omejenim številom vnaprej dogovorjenih izvajalcev, da se zmanjša variabilnost zaradi različnih praks ribolova.

Za merilo D10C4 je prostorska zasnova nujno širša in bolj oportunistična. Sistem evidentiranja mora pokrivati celotno slovensko obalo in po možnosti tudi območja redne prisotnosti zavarovanih vrst na morju. Posebno pozornost je treba nameniti območjem, kjer je večja verjetnost zapletanja ali stika z odpadki, kot so pristanišča, območja intenzivnega ribolova, marikultura območja, ustja rek in odseki obale, kjer se pogosteje kopičijo naplavine. Za takšne primere je pomembno vključiti mrežo sodelujočih opazovalcev, kot so upravljavci zavarovanih območij, ribiči, ornitologi, raziskovalci, pristojne službe in po možnosti tudi usposobljena zainteresirana javnost.

Časovnica in frekvenca

Časovna zasnova monitoringa mora biti prilagojena biologiji izbranih vrst, operativnim možnostim vzorčenja ter cilju zagotavljanja primerljivih podatkov med leti. Ker se različne skupine organizmov razlikujejo po načinu izpostavljenosti, življenjskem ciklu in dostopnosti, enotna frekvenca za vse skupine ni smiselna. Primernejši je kombiniran pristop, ki združuje redno periodično vzorčenje pri operativno dostopnih bioindikatorjih ter kontinuirano zbiranje oportunističnih podatkov pri skupinah, kjer ciljno vzorčenje ni izvedljivo.

Pri užitni klapavici je priporočljivo najmanj enkrat letno vzorčenje na stalnih lokacijah, praviloma izven glavnega obdobja drstenja, ko so osebkovi bolj primerljivi glede fiziološkega stanja. Če razpoložljivi kadrovski in finančni viri to omogočajo, je z vidika zaznavanja sezonske dinamike obremenjenosti ustreznejše dvakrat letno vzorčenje, na primer v toplejšem in hladnejšem delu leta. Takšen pristop omogoča boljši vpogled v morebitna sezonska nihanja koncentracij mikroodpadkov v obalnem okolju.

Pri drugih predlaganih nevretenčarjih predlagamo izvedbo pilotnih vzorčenj na več lokacijah in v različnih obdobjih leta, s ciljem natančnejše opredelitve optimalne pogostosti ter prostorske

razporeditve vzorčenja. Pri kriptogenih in tujerodnih vrstah, kot sta *Schizoporella errata* in *Styela plicata*, je mogoče monitoring izvajati pogosteje kot pri avtohtonih, ranljivih vrstah.

Pri ribah je za osnovni nacionalni monitoring smiselno enkrat do dvakrat letno vzorčiti, v toplejšem delu leta (maj – oktober), usklajeno z obdobjem največje razpoložljivosti posamezne vrste oziroma z lovno sezono. Pri tem je pomembno, da se vzorčenje med leti izvaja v čim bolj primerljivem obdobju, saj lahko sezonske spremembe v prehrani, razpoložljivosti plena in prostorski razporeditvi rib vplivajo na rezultate. Če se monitoring v prihodnje metodološko razširi, bi bilo mogoče razmisliti tudi o pogostejšem vzorčenju pri posameznih skupinah, vendar je za začetno nacionalno shemo enkrat do dvakrat letno vzorčenje najbolj realistično.

Pri morskih želvah, morskih pticah in morskih sesalcih časovnica ne temelji na rednem ciljnem vzorčenju, temveč na neprekinjenem evidentiranju vseh razpoložljivih primerov skozi leto. To vključuje najdbe poginulih osebkov, primere zapletanja, poškodbe in druge dogodke, povezane z odpadki. Podatke je treba beležiti sproti, njihovo strokovno obdelavo pa praviloma združevati v letna poročila. Zaradi majhnega števila primerov je pri teh skupinah še posebej pomembno dolgoročno zbiranje podatkov, saj šele večletne časovne vrste omogočajo bolj smiselno interpretacijo stanja in trendov.

Z vidika izvajanja programa je priporočljivo vzpostaviti večletni monitoring kot trajno aktivnost. Prva faza naj bo usmerjena v standardizacijo metod, preverjanje izvedljivosti in vzpostavitev sodelovalne mreže, nato pa naj se program nadaljuje kot redni nacionalni monitoring. Obdobje prvih treh do petih let je smiselno obravnavati tudi kot fazo metodološke konsolidacije, v kateri se po potrebi prilagodijo izbor lokacij, operativni protokoli ali nabor dopolnilnih parametrov, vendar brez izgube osnovne primerljivosti med leti.

Poročanje in uporaba podatkov

Podatki, zbrani v okviru monitoringa D10C3 in D10C4, morajo biti standardizirani na način, ki omogoča sledljivost, primerljivost in neposredno uporabo za nacionalno ter evropsko poročanje v okviru izvajanja ODMS.

Za merilo D10C3 naj poročanje temelji predvsem na kazalnikih, kot so povprečno število delcev na osebek oziroma na enoto mase, frekvenca pojavljanja (FO %), po možnosti pa tudi masa odpadkov na osebek ter osnovne značilnosti delcev, kot so velikostni razred, barva, morfološki tip in materialna sestava. Takšen nabor omogoča ne le oceno obremenjenosti posamezne vrste, temveč tudi primerjavo med lokacijami, med leti in na širši regionalni ravni. Pri interpretaciji rezultatov je treba jasno ločiti med podatki, pridobljenimi z rednim ciljnim vzorčenjem, in podatki, pridobljenimi iz oportunističnih virov.

Za merilo D10C4 je treba poročati predvsem o številu prizadetih osebkov po posameznih vrstah oziroma skupinah, pri čemer je smiselno ločevati med različnimi tipi vplivov, kot so zapletanje, poškodbe, subletalni učinki in pogini. Kadar je mogoče, naj se evidentira tudi tip odpadka oziroma ribolovnega orodja, povezanega z dogodkom, ter okoliščine primera. Čeprav bo pri nekaterih skupinah število primerov majhno, so tudi posamezne dobro dokumentirane najdbe pomembne za oceno stanja in za oblikovanje upravljaljskih ukrepov.

Za dolgoročno uporabnost podatkov je priporočljivo vzpostaviti enotno nacionalno podatkovno bazo oziroma jasno določeno shemo shranjevanja in upravljanja podatkov, ki bo omogočala kasnejše analize časovnih trendov, pripravo strokovnih podlag za ukrepe ter

vključevanje v regionalne primerjave. Pomembno je tudi, da so metodološke spremembe med leti jasno dokumentirane, saj je le tako mogoče pravilno interpretirati spremembe v rezultatih.

Upravljanje tveganj pri izvajanju monitoringa

Za dolgoročno izvajanje monitoringa D10C3 in D10C4 je treba že v fazi načrtovanja upoštevati ključna strokovna in operativna tveganja ter predvideti ukrepe za njihovo obvladovanje. Zaradi razmeroma zahtevnega usklajevanja terenskega dela, laboratorijskih analiz in sodelovanja različnih institucij je monitoring občutljiv na organizacijske, metodološke in finančne prekinitve, ki lahko zmanjšajo kakovost podatkov ali pretrgajo časovne vrste.

Eno pomembnejših tveganj predstavlja nizka ali neenakomerna razpoložljivost vzorcev. To je posebej izrazito pri ribah, kadar razpoložljivost posameznih vrst ni vsako leto enaka, ter pri želvah, morskih pticah in morskih sesalcih, kjer so podatki vezani na naključne dogodke. Tveganje je mogoče zmanjšati z vnaprej določenim naborom prednostnih in nadomestnih vrst, z mrežo sodelujočih izvajalcev na terenu ter z jasnimi protokoli za ravnanje ob incidentalnih primerih. Pri ribah je koristno dolgoročno sodelovanje z izbranimi ribiči ali organizacijami, ki lahko zagotovijo bolj stabilen dostop do vzorcev.

Drugo pomembno tveganje je metodološka neenotnost. Razlike pri odvzemu vzorcev, obdelavi prebavil, digestiji tkiv, identifikaciji delcev ali pri evidenci škodljivih vplivov lahko bistveno zmanjšajo primerljivost podatkov. Zato je treba zagotoviti standardne operativne postopke, redno usposabljanje izvajalcev in laboratorijsko kontrolo kakovosti. Kadar v monitoring sodeluje več izvajalcev, je priporočljivo občasno preverjanje medsebojne primerljivosti rezultatov oziroma medlaboratorijske primerjave.

Posebno pozornost je treba nameniti tudi tveganju pristranosti rezultatov. Pri ribah lahko na rezultate vpliva naključno zaužitje delcev med ulovom, pri pticah pa lahko nekatere vrste odražajo tudi vplive kopenskih virov odpadkov. Tovrstnih pristranosti ni mogoče v celoti izključiti, jih pa je mogoče omejiti z ustrezno izbiro vrst, doslednim beleženjem okoliščin vzorčenja in previdno interpretacijo podatkov. Pomembno je, da se v poročilih jasno navedejo omejitve posameznih podatkovnih nizov.

Med ključnimi tveganji je tudi prekinitve financiranja oziroma pomanjkanje kadrovskega virov. Ker monitoring doseže največjo vrednost šele skozi daljše časovno obdobje, so kratkoročne prekinitve posebej problematične. Za zmanjšanje tega tveganja je smiselno monitoring čim bolj povezati z obstoječimi nacionalnimi programi spremljanja stanja morja, z uveljavljenimi terenskimi mrežami in z rutinskimi dejavnostmi institucij, ki že delujejo na področju morskega okolja. Integracija z drugimi monitoringi zmanjšuje stroške in povečuje verjetnost dolgoročne stabilnosti programa.

7. Sklepi

Odpadki in mikroodpadki v bioti predstavljajo pomemben pritisk na morski ekosistem, spremljanje njihovih učinkov pa je nujen del izvajanja deskriptorja 10 v okviru Okvirne direktive o morskem strategiji. Za učinkovito izvajanje meril D10C3 in D10C4 je ključno, da je izbor bioindikatorskih vrst strokovno utemeljen, operativno izvedljiv in prilagojen značilnostim v morskem vodah v pristojnosti R Slovenije.

Na podlagi pregleda razpoložljivih podatkov in ob upoštevanju lokalnih razmer se kot najprimernejši pristop za morske vode v pristojnosti R Slovenije kaže kombinacija več komplementarnih skupin organizmov. Užitna klapavica predstavlja najprimernejšo osnovno vrsto za rutinsko spremljanje mikroodpadkov v obalnem okolju. Za dopolnitev monitoringa, tudi zaradi težav pri zagotavljanju zadostnega števila osebkov ob njenem upadanju, predlagamo vključitev drugih pritrjenih nevretenčarjev (npr. drugih vrst školjk, iglokožcev, plaščarjev oziroma kozolnjakov in mahovnjakov), ki naj zaenkrat služijo kot testne vrste. Izbrane bentoške, demerzalne in pelagične vrste rib omogočajo spremljanje izpostavljenosti na dnu, pri dnu in v vodnem stolpcu ter hkrati zagotavljajo pomembno povezavo z vidikom prehranske verige. Morske želve, morske ptice in morski sesalci pa so zlasti pomembni za evidentiranje škodljivih učinkov odpadkov ter za dopolnilne podatke o zaužitju pri poginulih osebkih.

Za nacionalni monitoring je zato priporočljivo vzpostaviti dvotirni sistem: redno ciljno vzorčenje pri operativno dostopnih skupinah, kot je trenutno užitna klapavica, ter sistematično evidentiranje incidentalnih primerov pri želvah, morskih pticah in morskih sesalcih. Takšna zasnova omogoča strokovno ustrezno, stroškovno razumno in dolgoročno vzdržno izvajanje monitoringa.

Predlagani pristop lahko zagotovi podlago za zanesljivejšo oceno stanja morskem okolja, za pripravo poročil v okviru ODMS in za usmerjanje ukrepov zmanjševanja vnosa odpadkov v morske vode v pristojnosti R Slovenije. Hkrati ustvarja osnovo za nadaljnjo metodološko nadgradnjo programa, ko bodo na voljo dodatne izkušnje, podatki in usklajene regionalne oziroma evropske smernice.

V prihodnje bo treba posebno pozornost nameniti tudi razvoju in preverjanju metod za predlagane bioindikatorske vrste oziroma skupine, zlasti za tiste organizme, ki so v tem elaboratu opredeljeni kot testni ali dopolnilni indikatorji. To delo bo moralo vključevati standardizacijo postopkov vzorčenja, laboratorijske obdelave, identifikacije delcev in interpretacije rezultatov, da bo mogoče zagotoviti dovolj visoko stopnjo primerljivosti med lokacijami, leti in izvajalci monitoringa. Prav tako bo v okviru razvoja metodologij za te organizme potrebno izbrati primerne lokacije vzorčenja. Ta študija mora tako upoštevati prostorsko razporeditev glavnih virov obremenitve, značilnosti habitatov, razpoložljivost izbranih indikatorskih vrst, možnosti ponovljivega vzorčenja ter potrebo po razlikovanju med lokalnimi vplivi in širšim regionalnim ozadjem. Le na takšni podlagi bo mogoče vzpostaviti prostorsko reprezentativen in dolgoročno primerljiv sistem spremljanja odpadkov in mikroodpadkov v bioti.

8. Viri

Abrunhosa, F.E. (2021). Microplastic ingestion and diet composition of three fish species (*Diplodus vulgaris*, *Gobius niger* and *Atherina presbyter*) from the Ria Formosa. University of Algarve.

Avio, C.G., Pittura, L., d'Errico, G., Abel, S., Amorello, S., Marino, G., in sod. (2020). Distribution and characterization of microplastic particles and textile microfibers in Adriatic food webs: general insights for biomonitoring strategies. *Environ. Pollut.*, 258, 113766.

Battaglia, P., Pedà, C., Musolino, S., Esposito, V., Andaloro, F., Romeo, T. (2016). Diet and first documented data on plastic ingestion of *Trachinotus ovatus* L. 1758 (Pisces: Carangidae) from the strait of Messina (central Mediterranean Sea). *Ital. J. Zool.*, 83, 121–129.

Bellas, J., Martinez-Armental, J., Martinez-Camara, A., Besada, V., Martinez-Gomez, C. (2016). Ingestion of microplastics by demersal fish from the Spanish Atlantic and Mediterranean coasts. *Mar. Pollut. Bull.*, 109, 55–60.

Breitwieser, M., Becquet, V., Thomas-Guyon, H., Pillet, V., Sauriau, P.G., Graber, M., Viricel, A. (2018). Population structure and genetic diversity in the variegated scallop, *Mimachlamys varia* (Linnaeus, 1758), a novel bioindicator of chemical pollution on the French coastline. *Journal of Molluscan Studies*, 84(4), 417–425.

Browne, M.A., Dissanayake, A., Galloway, T.S., Lowe, D.M., Thompson, R.C. (2008). Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environ. Sci. Technol.*, 42, 5026–5031.

Brunetti, R., Mastrototaro, F. (2017). *Fauna d'Italia*. Ediz. Vol. 2: Ascidiacea of the European Waters; Edagricole-New Business Media II: Milan, Italy, 51, ISBN 8850655290.

Bulleri, F., Ravaglioli, C., Anselmi, S., Renzi, M. (2021). The sea cucumber *Holothuria tubulosa* does not reduce the size of microplastics but enhances their resuspension in the water column. *Sci. Total. Environ.*, 146650. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146650>.

Caliani, I., Campani, T., Giannetti, M., Marsili, L., Casini, S., Fossi, M.C. (2014). First application of comet assay in blood cells of Mediterranean loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*). *Marine Environmental Research*, 96, 68–72.

Caro, T. (2010). *Conservation by Proxy: Indicator, Umbrella, Keystone, Flagship, and Other Surrogate Species*. Island Press, Washington, DC.

Claro, F. (2016). *Developpement d'une strategie en vue du renforcement d'un reseau de surveillance mesurant les dechets ingeres par les tortues marines (Rapport MNHN IFREMER. Bastia, France)*.

Codina-Garcia, M., Militao, T., Moreno, J., Gonzalez-Solis, J. (2013). Plastic debris in Mediterranean seabirds. *Mar. Pollut. Bull.*, 77 (1-2), 220–226.

Compa, M., Ventero, A., Iglesias, M., Deudero, S. (2018). Ingestion of microplastics and natural fibres in *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) and *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758) along the Spanish Mediterranean coast. *Mar. Pollut. Bull.*, 128, 89–96.

Cresson, P., Ruitton, S., Harmelin-Vivien, M. (2016). Feeding strategies of co-occurring suspension feeders in an oligotrophic environment. *Food Webs*, 6, 19–28.

Davison, P., Asch, R. (2011). Plastic ingestion by mesopelagic fishes in the North Pacific Subtropical Gyre. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 432, 173–180.

Détrée, C., Gallardo-Escárate, C. (2017). Polyethylene microbeads induce transcriptional responses with tissue-dependent patterns in the mussel *Mytilus galloprovincialis*. *J. Molluscan Stud.*, 83(2), 220–225.

Duhem, C., Roche, P., Vidal, E., Tatoni, T. (2008). Effects of anthropogenic food resources on yellow-legged gull colony size on Mediterranean islands. *Popul. Ecol.*, 50, 91–100.

Dulčić, J., Kovačić, M. (2020). Ihtiofauna Jadranskog mora. Golden marketing – Tehnička knjiga, Zagreb & Institut za oceanografiju i ribarstvo, Split, Hrvatska.

Faraut, M., Djibril Soubaneh, Y., Tremblay, R., Pelletier, E., Rouleau, C., Langlois, V. (2025). Tracking radiolabelled polystyrene microplastics in young Atlantic scallop (*Placopecten magellanicus*): bioaccumulation, depuration and bioenergetic impacts assessment. *Chemosphere*, 385, 144559.

Fiala-Médioni, A. (1978). Filter-feeding ethology of benthic invertebrates (ascidians). IV. Pumping rate, filtration rate, filtration efficiency. *Marine Biology*, 48(3), 243–249.

Fortič, A., Mavrič, B., Slavinec, P., Lipej, L. (2025). The Overlooked Suspension Feeders: The Filtering Activity of the Bryozoans *Schizoporella errata* and *Bugula neritina* in the Northern Adriatic. *J. Mar. Sci. Eng.*, 13, 1052.

Fossi, M.C., Panti, C., Guerranti, C., Coppola, D., Giannetti, M., Marsili, L., in sod. (2012). Are baleen whales exposed to the threat of microplastics? A case study of the Mediterranean fin whale (*Balaenoptera physalus*). *Mar. Pollut. Bull.*, 64(11), 2374–2379.

Fossi, M.C., Coppola, D., Baini, M., Giannetti, M., Guerranti, C., Marsili, L., in sod. (2014). Large filter feeding marine organisms as indicators of microplastic in the pelagic environment: the case studies of the Mediterranean basking shark (*Cetorhinus maximus*) and fin whale (*Balaenoptera physalus*). *Mar. Environ. Res.*, 100, 17–24.

Fossi, M.C., Marsili, L., Baini, M., Giannetti, M., Coppola, D., Guerranti, C., in sod. (2016). Fin whales and microplastics: the Mediterranean Sea and the Sea of Cortez scenarios. *Environ. Pollut.*, 209, 68–78.

Fossi, M.C., Romeo, T., Baini, M., Panti, C., Marsili, L., Campan, T. in sod. (2017). Plastic debris occurrence, convergence areas and fin whales feeding ground in the Mediterranean marine protected area Pelagos Sanctuary: a modeling approach. *Front. Mar. Sci.*, 4, 167.

Fossi, M.C., Pedà, C., Compa, M., Tsangaris, C., Alomar, C., Claro, F. in sod. (2018). Bioindicators for monitoring marine litter ingestion and its impacts on Mediterranean biodiversity. *Environ. Pollut.*, 237, 1023–1040.

Franco, J., Fort, J., Garcia-Baron, I., Loubat, P., Louzao, M., del Puerto, O., Zorita, I. (2019). Incidence of plastic ingestion in seabirds from the Bay of Biscay (southwestern Europe). *Mar. Pollut. Bull.*, 146, 387–392.

Genov, T., Jepson, P.D., Barber, J.L., Hace, A., Gaspari, S., Centrih, T., Lesjak, J., Kotnjek, P. (2019). Linking organochlorine contaminants with demographic parameters in free-ranging common bottlenose dolphins from the northern Adriatic Sea. *Science of the Total Environment*, 657, 200–212.

Giani, D., Baini, M., Galli, M., Casini, S., Fossi, M.C. (2019). Microplastics occurrence in edible fish species (*Mullus barbatus* and *Merluccius merluccius*) collected in three different geographical sub-areas of the Mediterranean Sea. *Mar. Pollut. Bull.*, 140, 129–137.

Güven, O., Gokdag, K., Jovanović, B., Kıdeys, A.E. (2017). Microplastic litter composition of the Turkish territorial waters of the Mediterranean Sea, and its occurrence in the gastrointestinal tract of fish. *Environ. Pollut.*, 223, 286–294.

Hierl, F., Wu, H.C., Westphal, H. (2021). Scleractinian corals incorporate microplastic particles: identification from a laboratory study. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 37882–37893.

IJsseldijk, L. L., Brownlow, A. C., Mazzariol, S. (ur.) (2019). European best practice on cetacean post-mortem investigation and tissue sampling. ACCOBAMS/ASCOBANS. DOI: 10.31219/osf.io/zh4ra.

Kılıç, E., Yücel, N. (2022). Microplastic occurrence in the gastrointestinal tract and gill of bioindicator fish species in the northeastern Mediterranean. *Mar. Pollut. Bull.*, 177, 113556.

Kovač Viršek, M., Robič, U., Cerar, N., Jarni, K., Caserman, H., Koren Bačovnik, Š., Suhadolnik, P., Trdan, Š. (2019). Poročilo o delu Inštituta za vode Republike Slovenije za leto 2019 : III Razvoj metodologij za področje morskega okolja : III/7 Analiza vnosa makroodpadkov iz vodotokov v morsko okolje in vnosa mikroodpadkov iz vodotokov in odpadnih voda ter določitev stopnje soodvisnosti (pomembna obremenitev) med virom obremenitve in stanjem morskega okolja - nadgradnja metodologije za določitev pomembnih obremenitev na morsko okolje. Ljubljana: Inštitut za vode Republike Slovenije, 84 str.

Kovač Viršek, M., Robič, U., Cerar, N., Hostnik, I., Suhadolnik, P., Jarni, K. (2021). Poročilo o delu Inštituta za vode Republike Slovenije za leto 2021. V. razvoj metodologij za področje morskega okolja: V. 5 Razvoj metodologij za spremljanje vpliva odpadkov (makro- in mikroodpadki) na ekosistem ter spremljanje stanja morskega okolja - končno poročilo o rezultatih pilotnega monitoringa makro- in mikroodpadkov (površinska plast vodnega stolpca, morsko dno, obala in organizmi) skupaj z metodologijo za spremljanje mikroodpadkov v bentoških nevretenčarjih in zooplanktonu in oceno tveganja za človeka ter metodologijo za spremljanje vpliva makroodpadkov na morske sesalce in morske želve ter obmorske ptice. Ljubljana: Inštitut za vode Republike Slovenije, 176 str.

Lambert, G. (2005). Ecology and natural history of ascidians. *Canadian Journal of Zoology*, 83, 34–50.

Li, J., Qu, X., Su, L., Zhang, W., Yang, D., Kolandhasamy, P., Li, D., Shi, H. (2016). Microplastics in mussels along the coastal waters of China. *Environ Pollut.*, 214, 177–184.

Lindenmayer, D.B., Likens, G.E. (2011). Direct measurement vs surrogate indicator species for evaluating environmental change and biodiversity loss. *Ecosystems*, 14, 47–59.

Lo Bue, G., Marchini, A., Musa, M., Croce, A., Gatti, G., Riccardi, M. P., Lisco, S., Mancin, N. (2023). First attempt to quantify microplastics in Mediterranean *Sabellaria spinulosa* (Annelida, Polychaeta) bioconstructions. *Marine Pollution Bulletin*, 196, 115659.

Mancuso, M., Bruno, C.A., Guardamagna, I., Mghili, B., Fabrizi, F., Conti Nibali, V., Gunasekaran, K., Branca, C., Luna, G.M., D'Angelo, G., in sod. (2026). Anthropogenic particles accumulation in sea cucumbers: insights from a transitional environment. *Marine Pollution Bulletin*. 226:119341. doi: 10.1016/j.marpolbul.2026.119341. Epub 2026 Feb 4. PMID: 41643430.

Mathalon, A., Hill, P. (2014). Microplastic fibers in the intertidal ecosystem surrounding Halifax Harbor, Nova Scotia. *Mar. Pollut. Bull.*, 81(1), 69–79.

MarLIN (2023). *Mimachlamys varia* species review. <https://www.marlin.ac.uk/species/detail/2086>.

McKenzie, J.D. (1991). The taxonomy and natural history of north European dendrochirote holothurians (Echinodermata). *Journal of Natural History*, 25(1), 123–171. DOI: 10.1080/00222939100770091.

Messinetti, S., Mercurio, S., Scari, G., Pennati, A., Pennati, R. (2019). Ingested microscopic plastics translocate from the gut cavity of juveniles of the ascidian *Ciona intestinalis*. *The European Zoological Journal*, 86(1), 189–195.

Mistri, M., Casoni, E., Sfriso, A.A. in sod. (2026). Foraging habit determines the amount of microplastics ingested in five fish species from a northern Adriatic lagoon. *Water Air Soil Pollut.*, 237, 374.

MSFD Technical Subgroup on Marine Litter (2013). *Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas*. JRC Scientific and policy reports. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 128 str.

MSFD Technical Group on Marine Litter (2023). *Guidance on the Monitoring of Marine Litter in European Seas - An update to improve the harmonised monitoring of marine litter under the Marine Strategy Framework Directive*. EUR 31539 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023, ISBN 978-92-68-04093-5, doi:10.2760/59137, JRC133594, 193 str.

Mutuku, J., Yanotti, M., Toccock, M., Hatton MacDonald, D. (2024). The abundance of microplastics in the world's oceans: A systematic review. *Oceans*, 5(3), 398–428.

Orlando-Bonaca, M., Avio, C.G., Bonanno, G. (2022). Marine organisms as bioindicators of plastic pollution. V: Bonanno, G. in Orlando-Bonaca, M., (ur.): *Plastic pollution and marine conservation: approaches to protect biodiversity and marine life*. 1st ed. London: Academic Press: Elsevier, 187–250.

Orlando-Bonaca, M., Flander-Putrlje, V., Fortič, A., Francé, J., Lipej, L., Mavrič, B., Mozetič, P., Petelin, B., Trkov, D., Vascotto, I. (2023): Poročilo o posodobljenih bioloških lastnosti morskega okolja, kot so vrste, habitati in ekosistemi, vključno s prehranjevalnimi spleti (produktivnost, struktura pelagične in bentoške skupnosti, povezave med habitati in vrstami morskih ptic, sesalcev, plazilcev, rib in glavonožcev) in sicer skladno z določbami Morske direktive, Sklepa 848/2017 in smernicami Evropske komisije. Zaključno poročilo, september 2023. Poročila 217. Morska biološka postaja Piran, Nacionalni inštitut za biologijo, 629 str.

Pellini, G., Gomiero, A., Fortibuoni, T., Ferrà, C., Grati, F., Tasseti, N., in sod. (2018). Characterization of microplastic litter in the gastrointestinal tract of *Solea solea* from the Adriatic Sea. *Environ. Pollut.*, 234, 943–952.

Renzi, M., Blašković, A., Broccoli, A., Bernardi, G., Grazioli, E., Russo, G. (2020). Chemical composition of microplastic in sediments and protected detritivores from different marine habitats (Salina Island). *Marine Pollution Bulletin*, 152, 110918. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110918>.

Riedl, R. (1983). *Fauna und Flora des Mittelmeeres. Ein systematischer Meeresfuhrer fur Biologen und Naturfreunde*. Verlag Paul Parey (Hamburg und Berlin), 836 str.

Romeo, T., Pietro, B., Pedà, C., Consoli, P., Andaloro, F., Fossi, M.C. (2015). First evidence of presence of plastic debris in stomach of large pelagic fish in the Mediterranean Sea. *Mar. Pollut. Bull.*, 95(1), 358–361.

Ramos, R., Ramirez, F., Sanpera, C., Jover, L., Ruiz, X. (2009). Diet of Yellow-legged Gull (*Larus michahellis*) chicks along the Spanish Western Mediterranean coast: the relevance of refuse dumps. *J. Ornithol.*, 150, 265–272.

Riisgård, H.U., Larsen, P.S. (2010). Particle capture mechanisms in suspension-feeding invertebrates. *Marine Ecology Progress Series*, 418, 255–293.

Shenkar, N., Swalla, B.J. (2011). Global diversity of Ascidiacea. *PLoS ONE*, 6, e20657.

Sokolover, N., Ostrovsky, A.N., Ilan, M. (2018). *Schizoporella errata* (Bryozoa, Cheilostomata) in the Mediterranean Sea: Abundance, growth rate, and reproductive strategy. *Mar. Biol. Res.*, 14, 868–882.

Song, J.A., Choi, C.Y., Park, H.S. (2020). Exposure of bay scallop *Argopecten irradians* to micro-polystyrene: Bioaccumulation and toxicity. *Comp. Biochem. Physiol. C. Toxicol. Pharmacol.*, 236, 108801.

Sorrentino, R., Azevedo da Silva, P. C., dos Santos Ramos, B., Skinner, L. F. (2025). Detection of Microplastic Contamination in Shallow Marine Habitats Using Solitary Ascidians: Influence of Morphology and Habitat in a Tropical Bay, SW Atlantic. *Water Air Soil Pollut*, 236, 1022.

UN-SDSN Med (2017): Bioindicator selection in the monitoring of marine litter in the Mediterranean Sea, 81 str.

Uredba o izvajanju Sklepa (EU) o merilih in metodoloških standardih na področju dobrega okoljskega stanja morskih voda ter specifikacijah in standardiziranih metodah za spremljanje ter presojo in razveljavitvi Sklepa 2010/477/EU. Uradni list RS, št. 156/22.

Van Cauwenberghe, L., Janssen, C.R. (2014). Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environmental Pollution*, 193, 65–70.

Van Cauwenberghe, L., Claessens, M., Vandegehuchte, M.B., Janssen, C.R. (2015). Microplastics are taken up by mussels (*Mytilus edulis*) and lugworms (*Arenicola marina*) living in natural habitats. *Environ. Pollut.*, 199, 10–17.

Viricel, A., Buren Becquet, V., Dubillot, E., Pante, E. (2018). De novo assembly and functional annotation of the transcriptome of *Mimachlamys varia*, a bioindicator marine bivalve. *Marine Genomics*, 41, 42–45.

Vlachogianni, T., Anastasopoulou, A., Fortibuoni, T., Ronchi, F., Zeri, C. (2017). Marine Litter Assessment in the Adriatic and Ionian Seas. IPA-adriatic DeFishGear Project, MIO-ECSDE, HCMR and ISPRA.

von Moos, N., Burkhardt-Holm, P., Khöler, A. (2012). Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel *Mytilus edulis* L. after an experimental exposure. *Environ. Sci. Technol.*, 46, 11327–11335.

Wegner, A., Besseling, E., Foekema, E., Kamermans, P., Koelmans, A. (2012). Effects of nanopolystyrene on the feeding behavior of the blue mussel (*Mytilus edulis* L). *Environ. Toxicol. Chem.*, 31, 2490–2497.