

Analiza probavila na prisutnost mikroplastike u arbunu (*Pagellus erythrinus*) s područja Sjevernog Jadrana

Jelenović, Rea

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:290431>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-20**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Fakultet prirodnih znanosti
Sveučilišni prijediplomski studij Znanost o moru

REA JELENOVIĆ

**Analiza probavila na prisutnost mikroplastike u
arbunu (*Pagellus erythrinus*) s područja Sjevernog
Jadrana**

Završni rad

Pula, rujan 2024.

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Fakultet prirodnih znanosti
Sveučilišni prijediplomski studij Znanost o moru

REA JELENOVIĆ

Analiza probavila na prisutnost mikroplastike u arbunu (*Pagellus erythrinus*) s područja Sjevernog Jadrana

Završni rad

JMBAG: 03030943006

Studijski smjer: Prijediplomski studij Znanost o moru

Znanstveno područje: Prirodne znanosti

Predmet: Mikrobiologija

Mentor: izv. prof .dr.sc. Emina Pustijanac

Komentor: dr.sc. Neven Iveša

Pula, rujan 2024.



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisana Rea Jelenović, kandidat za prvostupnika Znanosti o moru ovime izjavljujem da je ovaj Završni rad rezultat isključivo mojega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio Završnog rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Student: Rea Jelenović

U Puli, 2024. godine.



IZJAVA O KORIŠTENJU AUTORSKOG DJELA

Ja, Rea Jelenović dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj Završni rad pod nazivom „Analiza probavila na prisutnost mikroplastike u arbunu (*Pagellus erythrinus*) s područja Sjevernog Jadrana” koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljanje na raspolaganje javnosti), sve u skladu sa Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama. Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, 2024. godine.

Potpis



ZAHVALA

Zahvalu upućujem mentorici i profesorici izv. prof .dr. sc. Emini Pustijanac na prihvaćanju mentorstva, podršci u radu i prenesenom znanju.

Također, zahvaljujem se komentoru dr. sc. Nevenu Iveši na stručnom vodstvu, konstruktivnim savjetima i pomoći tijekom izrade ovog rada.

Hvala i svim profesorima sa Sveučilišnog prijediplomskog studija Znanost o moru na prenesenom znanju i poticaju za nastavkom obrazovanja i stjecanjem novih vrijednih iskustava u domeni prirodnih znanosti.

Svim prijateljima i kolegama koji su bili dio mojih studentskih dana, hvala na potpori, razumijevanju i ohrabrenju.

Naposljetku, hvala svim članovima obitelji na ukazanom povjerenju i pruženoj mogućnosti da svoju ljubav prema moru okrunim vrijednim znanjem.

Sadržaj

1. UVOD.....	1
1.1. Mikroplastika	2
1.1.1. Svojstva mikroplastike.....	3
1.1.2. Izvori mikroplastike	4
1.2. Štetni učinci mikroplastike u ekosustavima	5
1.2.1. Mikroplastika u Jadranu	6
1.3. Opće značajke arbuna	8
1.3.1. Morfologija arbuna	9
1.3.2. Biološke značajke arbuna	10
1.3.3. Probavni sustav i ishrana	11
1.4. Cilj rada.....	12
2. MATERIJALI I METODE	12
2.1. Područje istraživanja	12
2.2. Prikupljanje uzoraka	13
2.3. Obrada uzoraka	14
3. REZULTATI.....	16
3.1. Broj i udio čestica mikroplastike u arbunu po mjesecima i godinama istraživanja	16
3.2. Brojnost i udio mikroplastike u uzorcima temeljem kriterija boje filameta.....	18
3.3. Obilježja zadane metode obrade uzoraka	19
4. RASPRAVA.....	20
5. ZAKLJUČAK.....	24
6. POPIS LITERATURE	26
7. SAŽETAK	29
8. ABSTRACT	30

1. UVOD

O problemu plastike i mikroplastike u okolišu govori se dugi niz godina. Kao posljedica velike upotrebe plastičnih proizvoda, ali prije svega kao posljedica neodgovornog i nepropisnog odlaganja otpada te ljudskog nemara, najvećim dijelom plastika završava u oceanima, morima, rijekama, jezerima, tlu, utječući na taj način na okoliš u cjelini (Rujnić-Sokele, 2015). Dodatni, otežavajući čimbenik predstavljaju i različiti aditivi koji se dodaju u svrhu modifikacije kemijskih, fizikalnih ili mehaničkih svojstava i jednostavnije obrade plastike. Aditivi se mogu definirati kao složena skupina određenih kemijskih spojeva i minerala koji su ključni pri nastanku jedinstvenih obilježja plastike. Razlikuje se više od 300 spojeva koji se koriste u navedene svrhe, no važno je istaknuti da su mnogi štetni za okoliš (Rodriguez, 2015). Posebno se ističu aditivi koji se ubrajaju u endokrine disruptore, a njih je Svjetska zdravstvena organizacija odredila kao tvari koje ometaju rad endokrinog sustava štetno djelujući na zdravlje organizma, negativno utječući na reproduktivni sustav i potomstvo uslijed promjene u DNA te na imunološki i živčani sustav (Matsui, 2008). Pod utjecajem atmosferskih prilika i uvjeta okoliša (temperatura, UV zračenje, vjetar, valovi), plastika u prirodi se raspada, usitnjava odnosno poprima oblik mikroplastike i u tom obliku vrlo često bude zamijenjena za hranu tako da ju npr. organizmi poput riba unose u trofički sustav. Čestice mikroplastike unesene u tijela živih organizama mogu prouzrokovati različite oblike ozljeda probavnog sustava organizama te naposljetku dovesti i do smrti jedinke. U konačnici, čestice mikroplastike, postaju sastavni element hranidbenog lanca, element koji na posljetku putem hrane i ljudi mogu nesvjesno unijeti u svoj organizam (Rujnić-Sokele, 2015). Godinama unazad ljudi znaju koliko je okoliš pretrpan i onečišćen plastikom, ali tek posljednjih godina do izražaja dolazi spoznaja o toksičnosti plastike i još uvijek nedovoljno istraženom štetnom utjecaju aditiva koji su sastavni dio plastike (npr. bisfenol A – BPA, poliklorirani bifenili – PCB). Općenito aditivi iz plastike uzrokuju u ekosustavu drastične promjene i to od promjene u ponašanju jedinke, osjetno smanjenog hranjenja, smjenjene reproduktivnosti, nastanka brojnih tumorskih stanica i zabilježene povećane smrtnosti (Matsui, 2008). Svjesnost o prijetnjama plastike odnosno mikroplastike za život svih organizama, a naročito organizama u morima,

danas je prepoznata kao problem na globalnoj razini. Temeljem navedenog, u ovom radu poseban je naglasak stavljen na analizu probavila na prisutnost mikroplastike u arbunu, u jedinkama s područja Sjevernog Jadrana.

1.1. Mikroplastika

Riječ plastika potječe od grčke riječi *plastikos* što izvorno znači oblikovanje odnosno modeliranje. Sinonim je za grupu umjetnih, polimernih materijala, materijala koji je zbog svojstva žilavosti, mogućnosti deformacije bez loma, niske gustoće te niske cijene proizvodnje, prikladan za izradu širokog spektra proizvoda. Polimeri su građeni od dugačkih lanaca jednostavnih molekula tzv. monomera, a pojavni oblici u prirodi su npr. celuloza, kaučuk, jantar ili keratin. Sintetički, umjetni polimeri proizvode se od fosilnih goriva, najčešće nafte, ugljena i prirodnog plina u petrokemijskoj industriji (Ali Shah i sur., 2008). Procesom polimerizacije te dodatkom određenog stabilizatora, punila, pigmenata, usporivača gorenja i antioksidansa prerađuju se u materijale. Svojstva polimera ovise o strukturi polimernih lanaca i njihovom kemijskom sastavu, a razlikuju se fizička svojstva (gustoća, temperatura taljenja, viskoznost), kemijska (degradacija, topljivost, gorivost), mehanička (tvrdoća, istezanje, čvrstoća), optička svojstva (transparentnost) i svojstvo električne vodljivosti. Općenito, karakterizira ih pravilnija struktura te duži lanci od prirodnih polimera uslijed čega su fleksibilniji, lakši, jači no teže razgradljivi u prirodi. Polietilen (PE), polistiren (PS), polipropilen (PP), polivinil klorid (PVC), polietilen tereftalat (PET), polietilen velike gustoće (HDPE) i polietilen male gustoće (LDPE) su najpoznatiji plastični materijali (Slika 1). Raspadanjem većih komada plastike kao posljedica uvjeta okoliša u kojem se nalaze odnosno utjecaja sunca, valova, vjetra, međusobnog trenja i sl. nastaju manje čestice različitog oblika i veličine (Crawford i Quinn, 2017). Obzirom na veličinu razlikuje se plastika femto veličine (0,02–0,2 μm), piko veličine (0,2–2,0 μm), nano veličine (2–20 μm), mikro veličine (20–200 μm), mezo veličine (200–2000 μm), makro veličine (0,2–20 cm) i plastika mega veličine (20–200 cm) (Bermúdez i Swarzenski, 2021).



Slika 1. Vrste plastike.

(Izvor: <http://koprivnica.hr/wp-content/uploads/2019/02/Vrste-plastike-i-kako-se-reciklira.pdf>)

1.1.1. Svojstva mikroplastike

Općenito se mikroplastika definira kao mali dijelovi plastičnog materijala, obično manji od 5 mm (Slika 2). Ima specifična fizikalna i kemijska svojstva pri čemu se kemijska svojstva odnose na unutarnji sastav mikroplastičnih čestica što se utvrđuje pomoću analitičkih uređaja (Fourier-transform infrared spektrofotometra, Raman spektrofotometra tj. pomoću skenirajućeg uređaja, zatim uređaja za tekućinsku kromatografiju, za plinsku kromatografiju te masenu spektrometriju), a fizikalna svojstva se odnose na utvrđivanje veličine, oblika i boje čestica (Sun i sur., 2019). Promjena svojstava mikroplastike ili tzv. degradacija polimera javlja se uslijed izloženosti vanjskim utjecajima (Crawford i Quinn, 2017). Ovisno o uzročnicima razlikuje se nekoliko oblika degradacije i to: biodegradacija (degradacija uz pomoć mikroorganizama), termo-oksidativna degradacija (provodi se pri umjerenim temperaturama), fotodegradacija (degradacija uz pomoć UV zraka), termodegradacija (degradacija koja se provodi pod visokim temperaturama) i hidroliza (provodi se u reakciji s vodom) (Andrady i sur., 2011). Iako male veličine, mikroplastika na sebe privlači mnoge onečišćujuće tvari (organske i patogene tvari, teške metale) jer ima veliku aktivnu površinu, a upravo navedene onečišćujuće tvari povećavaju njenu štetnost (Barletta i sur., 2019). O nizu čimbenika ovisi i apsorpcija štetnih i onečišćujućih tvari (količina štetnih tvari u okružju, starost mikroplastike, vrsta i molekularna struktura mikroplastike, volumen) (Silva i sur., 2018). Za vrijeme

izloženosti vodenoj sredini na mikroplastici se nakupljaju mikroorganizmi stvarajući biofilm zbog toga što je mikroplastika po svojem sastavu manje gusće od vode i nije biološki razgradiva. Upravo biofilm je važan čimbenik u raspodjeli mikroplastike u vodama budući da biofilm povećava gustoću mikroplastike uslijed čega ona tone na tlo, taloži se na sediment predstavljajući na taj način opasnost za okoliš i to za organizme u moru, na kopnu a pri tome i za ljude (Crawford i Quinn, 2017).



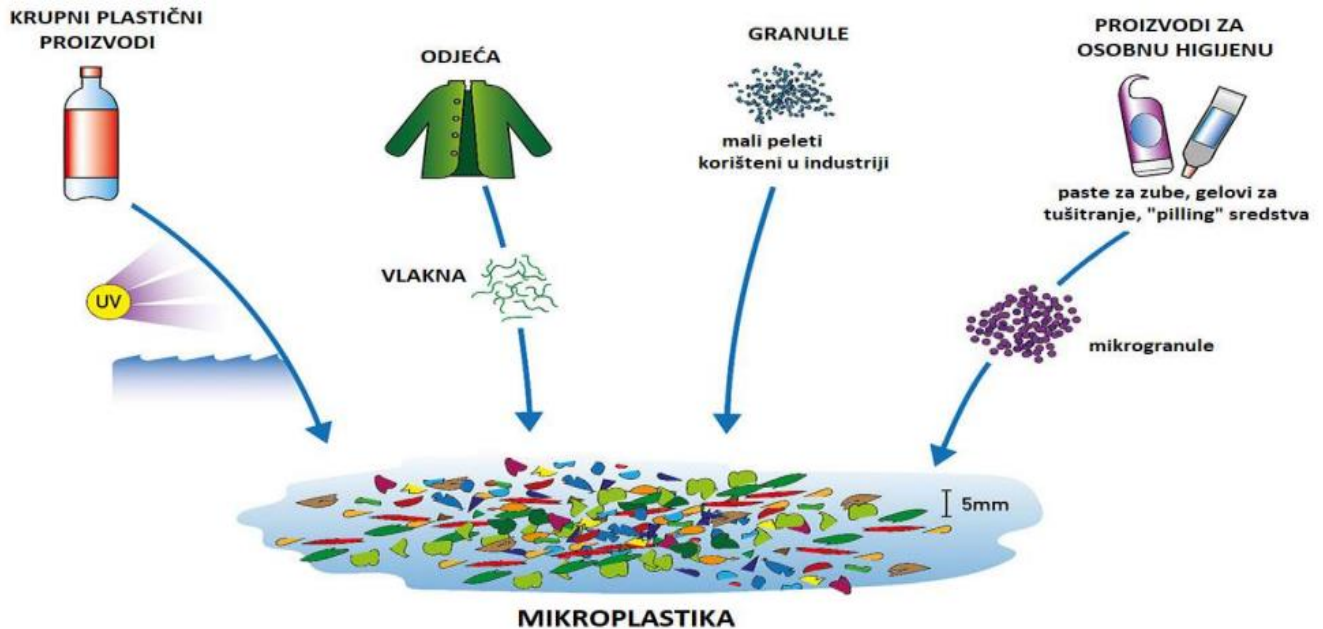
Slika 2. Mikroplastika

(Izvor: <https://www.bioinstitut.hr/blog/biologija/oneciscenje-mikroplastikom-117/>.)

1.1.2. Izvori mikroplastike

Razlikuju se dva izvora mikroplastičnih čestica, primarni i sekundarni izvori. Primarni izvori odnose se na ciljano proizvedene čestice mikroplastike u svrhu dobivanja mikroplastike za industrijsku uporabu (prašci i vlakna), mikroplastike kao sastojka kozmetičkih proizvoda, sastojka proizvoda za osobnu higijenu, deterdženata, odjeće i sl. Navedeni primarni oblici mikroplastičnih čestica najčešće dopijevaju u okoliš u promjeru od 5 mm ili manje i to direktnim putem kao dio proizvodnog procesa ili pri ispuštanju otpadnih voda iz komunalnih i industrijskih postrojenja (Slika 3). Pod sekundarnim izvorima mikroplastičnih čestica podrazumijeva se indirektni put

nastanka odnosno nastanak degradacijom makroplastike u mikroplastiku uzrokujući, na taj način, onečišćenja sedimenta, obale, oceana, mora (Crawford i Quinn, 2017).



Slika 3. Primarni izvori mikroplastike.

(Izvor: <https://nastava.asoo.hr/wp-content/uploads/2020/03/Za-one-koji-%C5%BEele-znati-vi%C5%A1e-Mikroplastika-problemi-i-rje%C5%A1enja.pdf>)

1.2. Štetni učinci mikroplastike u ekosustavima

Ekosustav se definira kao prirodna zajednica živih organizama i nežive prirode koji međusobno djeluju na jednome staništu, a izmjena tvari među njima je kružna. Čine ga životne zajednice biljaka (fitocenoza) i životinja (zoocenoza) te neživi okoliš (Hrvatska enciklopedija, 2013). Neovisno o kojem se ekosustavu radi, za svaki je najvažnije načelo održavanja broja jedinki na optimalnoj razini (samoregulacija) jer promjena jednog dijela posljedično vodi do promjene cjeline. Upravo u cilju očuvanja ekosustava i utvrđivanja utjecaja odnosno štetnosti ispitivanih tvari na određeni

ekosustav provode se različita ekotoksikološka istraživanja ekosustava. Između ostalog, navedenim istraživanjima je dokazano da plastika kao i njezini nusprodukti imaju negativan učinak na sav živi svijet i ugrožavaju sve ekosustave. Zabrinjavajuća je činjenica, da je povijesno gledano, proizvodnja plastike na svjetskoj razini zabilježila izuzetno značajan porast i to od 1,5 milijuna tona 50-tih godina 20. stoljeća na čak 322 milijuna tona unazad deset godina. Nužno je, pri tome, istaknuti njeno svojstvo teške razgradljivosti odnosno nerazgradljivosti budući da je dokazano da je čak 450 godina potrebno da bi se u prirodi razgradila jedna plastična boca. Plastika odnosno mikroplastika kao njen pojavni oblik prijetnja je i morskim sustavima kao vrsti vodenog ekosustava čije je osnovno obilježje slana voda (stjenovite obale, obalna područja, obalne lagune sa slanom vodom, plitke obalne vode, estuariji, koraljni grebeni, slane močvare, mora i oceani). Oko rubova kontinenata nalaze se veliki morski ekosustavi koji su zaštićeni različitim mjerama zaštite upravo zbog svoje ugroženosti. Godine 2017. znanstvenici i stručnjaci za morski okoliš (The Joint Group of Experts on the Scientific Aspects on the Marine Environmental Protection, GESAMP) potvrdili su prisustvo i raširenost nanoplastike (čestice nanoplastike manje od 0,001 mm) i mikroplastike u vodenim cjelinama. Procjenjuje se da oko osam milijuna tona, i to samo plastike, završi u svjetskim morima. Akumulirajući se iz okoline, mikroplastika ulazi u žive organizme izazivajući pri tome različite oblike oštećenja poput narušavanja rada endokrinog sustava uslijed čega dolazi do lučenja pogrešnih hormona uvjetovano promjenom genetske upute ili npr. negativno djelovanje na reproduktivni sustav u vidu neplodnosti, raznih deformacija ploda, neodređenosti spola, oštećenja DNA, imunološka, neurološka i histološka oštećenja ili oksidativni stres (Myers i sur., 2008). Naročito zabrinjava utjecaj mikroplastike na morske ekosustave budući da čestice mikroplastike predstavljaju ozbiljnu prijetnju bioraznolikosti sustava (Rujnić-Sokele, 2015) .

1.2.1. Mikroplastika u Jadranu

Jadransko more dio je Sredozemnog mora te kao takvo potrebno ga je sagledati kao poluzatvoreni vodeni element s raznolikim unosom svježje vode. Rašireno je mišljenje da izljevanje goriva i ulja, industrija ribolova te promet brodova i tankera uzrokuje

onečišćenje mora, ali statistički podaci ukazuju da je ljudskim djelovanjem sa kopna uzrokovano 80 % onečišćenja, to jest da je onečišćenje mora posljedica utjecaja kanalizacijskih voda, kućnog otpada i industrije (Regionalni centar čistog okoliša, 2014). Općenito, prijetnja ekosustavu Sredozemnog mora su visoko urbanizirana obalna područja okružena brojnim izvorima onečišćenja (sustav pročišćavanja otpadnih voda raznih turističkih objekata, sustavi industrijskih ispusta, otjecanja s poljoprivrednih površina, intenzivan promet brodova, posljedice razvijene turističke djelatnosti, ribarstvo) koja uzrokuju značajne probleme. U cilju očuvanja Sredozemnog mora i njegovog ekosustava, kontinuirano se provode različita istraživanja kojima je, između ostalog, utvrđeno da se najvećim djelom (više od 80 %) morski otpad u Sredozemnom moru odnosi na plastični otpad (Wieczorek i sur., 2018). Jadransko more je jedini morski ekosustav Republike Hrvatske. Ono je kako prirodno tako i gospodarsko, iznimno turističko, bogatstvo zemlje. Rezultati istraživanja iz 2019. godine pozicionirali su Jadran, po zagađenju mikroplastikom, na vrh Europe (tportal.hr). Jadransko more je prema rezultatima istraživanja projekta DeFishGear dokazalo da je treće najzagađenije more Europe i to iza sjeveroistočnog djela Sredozemnog mora i iza Keltskog mora. Značajan izvor onečišćenja je onečišćenje nastalo u Republici Hrvatskoj kao rezultat gospodarskih aktivnosti (turističkih, poljoprivrednih), nepravilnog zbrinjavanja otpada, ali i nereguliranih industrijskih procesa koji se odvijaju u neposrednoj blizini rijeka i mora (Tutman i sur., 2017). Velik dio zagađenja dolazi morskim putem i to iz susjednih, ali i udaljenih zemalja poput Albanije, Italije, Bosne i Hercegovine, Grčke i Crne Gore (tportal.hr). Novu razinu problema predstavlja mikroplastika u moru koju morski organizmi zamjenjuju za hranu. Na taj način progutana mikroplastika zadržava se u probavnom sustavu organizama izazivajući moguća oštećenja probavnog trakta (ovisno o veličini, materijalu i obliku plastike). Nadalje, kod organizama se stvara subjektivni osjećaj sitosti što dovodi do prekida konzumacije nutritivno vrijedne hrane i posljedično do uginuća organizma. Prijetnja organizmima su i postojane organske onečišćujuće tvari (eng. *persistant organic pollutants* POPs), poput pesticida (npr. eng. *dichloro-diphenyl-trichloroethane* DDT), koje se zbog svojih svojstava lako lijepe na plastiku i tim putem ulaze u probavni sustav izazivajući trovanje cijelog organizma (Budimir, 2014). Na taj način, mikroplastika postaje egzistencijalni problem, problem ne samo za opstanak morske

flore i faune već daleko šire. Čestice mikroplastike ulaze u probavni sustav morskih životinja od kojih većinu konzumiraju ljudi i ostala bića koja žive na kopnu. Time se utječe na sveukupni hranidbeni lanac područja oko Jadrana (Regionalni centar čistog okoliša, 2014).

1.3. Opće značajke arbuna

Dio ekosustava Sredozemnog mora je Jadransko more. Današnji ekosustav Jadranskog mora posljedica je klimatskih, geoloških, geografskih i bioloških čimbenika koji su tisućama godina utjecali na njegovo stvaranje. Važna značajka je razvedenost obale Jadranskog mora (ukupna dužina od četiri tisuće i pedeset kilometara, ukupno tisuću dvjesto četrdeset i šest otoka, otočića i hridi) i biološka raznolikost (Šafarek, 2022). Različitim istraživanjima je procijenjeno da u Jadranskom moru obitava između 6000 i 7000 biljnih i životinjskih vrsta što zasigurno nije konačan broj budući da su mnoge skupine još nedovoljno istražene, prije svega beskralježnjaci i mikroskopski organizmi (Šafarek, 2022). Jedna od vrsta riba koja obitava u Jadranskom moru, a važna je i u komercijalnom smislu je arbun (*Pagellus erythrinus*, Linnaeus, 1758) koji pripada porodici ljuskavki (Sparidae) (Tablica 1). Ime navedene vrste porijeklo ima u grčkoj riječi *erythros* što znači crveno upućujući na crvenu boju koja prevladava na tijelu ribe (Mojetta i Ghisotti, 2005). Porodica Sparidae ima 150 vrsta podjeljenih u 37 rodova. Od navedenog broja u Jadranu živi 18 vrsta ljuskavki, a od 6 vrsta roda *Pagellus* u Jadranskom moru žive 3 vrste. Uz visoko i bočno spljošteno tijelo pripadnike navedene porodice karakteriziraju i velike čvrsto pričvršćene ljuske, jedna leđna peraja i duge šiljaste prsne peraje, te mala usta udaljena od očiju (FishBase).

Tablica 1. Klasifikacija arbuna (*P. erythrinus*)

Carstvo	Životinje	Animalia
Podcarstvo		Bilateria
Koljeno	Svitkovci	Chordata
Podkoljeno	Kralježnjaci	Vertebrata
Međukoljeno	čeljustouste	Gnathostomata
Nadrazred	Koštunjače	Osteichthyes
Razred	Zrakoperke	Actinopterygii
Podrazred		Neopterygii
Međurazred	Prave koštunjače	Teleostei
Nadred	Tvrdooperke	Acanthopterygii
Red	Grgečke	Perciformes
Podred		Percoidei
Porodica	Ljuskavke	Sparidae
Rod		<i>Pagellus</i>
Vrsta	Arbun	<i>Pagellus erythrinus</i>

1.3.1. Morfologija arbuna

Ružičastocrvena boja tijela sa srebrnim odsjajem razlog je što se u hrvatskom jeziku arbun naziva i rumencem. Zanimljivo je da neki primjerci dorzalno imaju žarko crvene crte te plavkaste točkice koje su kod nekih primjeraka jače izražene (Slika 4). Uz visoko i lateralno spljošteno tijelo na koje su pričvršćene velike ljuske, karakterizira ih i jedna leđna peraja s tvrdim i mekim šipčicama, nadalje kratka analna peraja i duge i šiljaste prsne peraje te mala usta udaljena od očiju (FishBase). Obilježje im je i blago zaobljen profil glave te špicasta njuška. Prosječna dužina tijela im je 10 do 30 cm, a pojedini primjerci mogu narasti i do 60 cm dužine i 3 kg težine (FAO).



Slika 4. *Pagellus erythrinus*

(Izvor: <https://www.fishi-pedia.com/wp-content/uploads/2020/06/Pagellus-erythrinus.jpg>)

1.3.2. Biološke značajke arbuna

Iako je većina riba razdvojena spola, kod nekih vrsta riba javlja se hermafroditizam, tj. prisutne su jedinke s muškim i ženskim stanicama (Treer i sur., 1995). Arbun je protoginični hermafrodit odnosno do otprilike treće godine života jedinke su ženke. Nakon treće godine života jedinke ženke postaju mužjaci. Vrijeme mrijesta je tijekom proljeća i ljeta, jedanput godišnje. U Jadranskom moru obitava na dubinama od samo nekoliko pa do 150 metara (Jukić i Arneri, 1984), u Sredozemnom moru na dubinama do 200 metara dok u Atlantskom oceanu na dubinama i do 300 metara (Bauchot i Hureau, 1990). U skupinama u plićim predjelima žive najčešće mladi primjerci dok pojedinačno ili u manjim skupinama u dubljim predjelima žive veći primjerci. Obitava na kamenitim, muljevitim, šljunčanim i pješčanim dnima pa se za arbuna kaže da je bentoska ili pridnena vrsta (Županović, 1961).

1.3.3. Probavni sustav i ishrana

Probavni sustav arbuna obuhvaća probavni trakt i probavne žlijezde. Probavni trakt se sastoji od šupljine usta i ždrijela, jednjaka, želudca, crijeva i analnog otvora. Probavne žlijezde se odnose na jetru i gušteraču. Općenito je u riba jezik slabo razvijen, a u šupljini usta i ždrijela imaju serozne i mukozne žlijezda, a ne žlijezde slinovnice. Probavni sustav započinje usnom šupljinom na koju se nastavlja ždrijelo, a iza ždrijela slijedi jednjak koji vodi u želudac. Iza želudca slijedi crijevo, a oblik želudca i dužina crijeva ovise o načinu prehrane. Na kraju probavnog sustava je analni otvor. Funkcija jetre kao probavne žlijezde je detoksikacija štetnih tvari, lučenje žući proces sinteze bjelanjčevina u krvi i druge, dok je endokrini dio gušterače zadužen za lučenje hormona, a egzokrini dio gušterače za lučenje probavnih enzima (Treer i sur.,1995). Prema tipu ishrane arbun spada u skupinu karnivora te se uglavnom hrani danju. Ishrana mu je raznolika pri čemu prevladavaju jedinke iz skupine dekapodnih rakova, mnogočetinaša, glavonožaca, školjkaša te manjih riba. Istraživanjima Šantića i suradnika (2011) utvrđena je sezonska varijacija sastava ishrane na način da tijekom ljetnih i jesenskih mjeseci u ishrani arbuna najveću zastupljenost imaju dekapodni rakovi, dok za vrijeme zimskih mjeseci u ishrani prevladavaju školjkaši i ribe. Također navedenim istraživanjem utvrđena je povezanost između intenziteta ishrane i reproduksijskog ciklusa. Prema navedenom intenzitet ishrane pada tijekom zime i od svibnja do lipnja. Nakon mrijesta, u srpnju, količina hrane u želudcima je najveća. Korelaciju između temperature mora i intenziteta ishrane obradili su Jukić i Županović (1965), te su utvrdili da se intenzitet ishrane smanjuje zimi i najniži je u veljači dok u proljeće porast temperature vodi rastu intenziteta ishrane, ali stagnira od travnja do lipnja također zbog utjecaja reproduksijskog ciklusa.

1.4. Cilj rada

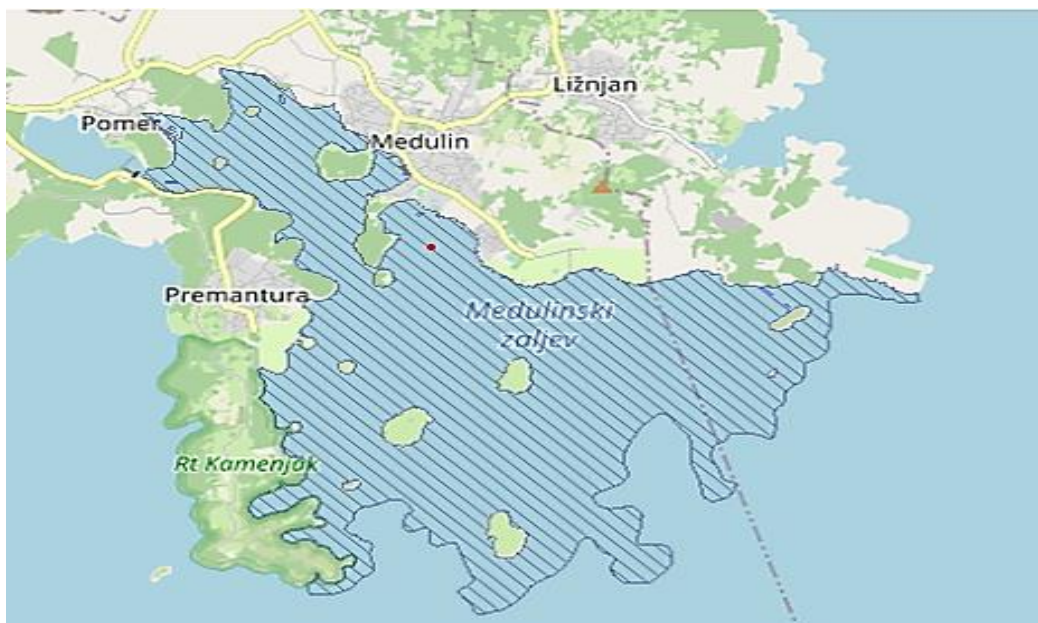
Cilj ovog rada bio je:

1. Ispitati prisutnost mikroplastike u probavilu arbuna s područja Medulinskog zaljeva.
2. Utvrditi broj, vrstu i boju čestica mikroplastike pronađenih u probavilu.
3. Usporedba rezultata istraživanja s podacima u literaturi.

2. MATERIJALI I METODE

2.1. Područje istraživanja

Uzorci korišteni za ovo istraživanje te pisanje rada prikupljeni su tijekom 2020./2021. godine na području Medulinskog zaljeva smještenog na južnom dijelu Istarskog poluotoka (Slika 5). Prostirući se između rta Kamenjak i rta Marlera, površinom od 22 km², Medulinski zaljev kao izrazito plitko područje kompleksno je stanište. Zaljev je nepravilnog oblika, razvedene obale, uzak i zatvoren u sjeverozapadnom djelu, a prostran i otvoren u južnom djelu. Dok je obala najvećim dijelom stjenovita, ali ipak blaga i pristupačna, priobalni je pojas prekriven vegetacijom. U neposrednoj blizini obale dubina mora je od 0,5 do 2,5 metara, a u vanjskom djelu zaljeva dubina je do 20 metara. Obilježje zaljeva su očuvana ugrožena i rijetka morska staništa i to velike plitke uvale i zaljevi, pješćana dna trajno prekrivena morem, naselja posidonije, grebeni i obalne lagune. Temeljem navedenog, Medulinski zaljev ima posebnu važnost u ekosustavu cijelog područja te je uvršten u ekološku mrežu Europske unije Natura 2000 kao područje važno za očuvanje ugroženih stanišnih tipova (European Environment Agency, 2019).



Slika 5. Prikaz Medulinskog zaljeva s prikazanim područjem pod zaštitom Natura 2000.

(Izvor: <https://eunis.eea.europa.eu/sites/HR3000173#tab-designations>)

2.2. Prikupljanje uzoraka

Uzorci arbuna prikupljeni su tijekom listopada, studenog i prosinca 2020., te tijekom veljače i kolovoza 2021. godine. Uzorkovanje je provedeno na jedinkama koje su prikupljene kao slučajan ulov (eng. *bycatch*). Svaka prikupljena jedinka arbuna je izvagana i izmjerena prilagođenim ihtiometrom. Navedenim jedinkama, u vrijeme uzorkovanja, izdvojen je probavni sustav za potrebe provođenja ovog istraživanja u laboratoriju Fakulteta prirodnih znanosti u Puli. Po izdvajanju, uzorci probavnog sustava pohranjeni su u staklene spremnike na način da je svakom uzorku dodjeljena oznaka koja sadrži informaciju o vrsti ribe te vremenu i području ulova. Navedeni uzorci čuvani su u rashladnom uređaju pri temperaturi od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Predmetnim istraživanjem obuhvaćen je 31 uzorak.

2.3. Obrada uzoraka

Obrada uzoraka provedena je u prostoru laboratorija Fakulteta prirodnih znanosti u Puli. Za potrebe obrade uzoraka, granule kalijeva hidroksida (KOH) otopljene su u destiliranoj vodi i dobivena je 5 % otopina KOH. Izolirani sadržaji probavila isprani su pod blagim mlazom vode, pojedinačno odloženi u staklene čaše te preliveni otopinom KOH. U svaku čašu uronjen je magnetni štapić, a u cilju sprječavanja moguće kontaminacije uzoraka, čaše su poklopljene polovicom Petrijeve zdjelice i označene ranije opisanim oznakama (Slika 6). Tako pripremljeni uzorci polagani su na magnetsku mješalicu, laboratorijski uređaj koji rotirajućim magnetskim poljem djeluje na magnetni štapić uzrokujući mješanje sadržaja (Slika 7). Nadalje, uz funkciju mješanja brzinom od 300 do 500 rpm-a istovremeno se sadržaj čaše zagrijavao na temperaturu od 50 do 70 °C. Navedenim se ubrzava proces digestije probavila i organskog sadržaja unutar njega. Po završetku postupka digestije uzorci su pripremljeni za vakuum filtraciju, tehniku odvajanja krutih čestica od tekućine (Slika 8). Krute i nedigestirane čestice uzorka sakupljene su na papirnatom filter papiru koji je odmah prenesen pod laboratorijsku lupu u cilju provođenja daljnjeg istraživanja. Izvršena je i priprema kontrolnog filter papira na način da je za svaki predmetni uzorak pripremljen i kontrolni uzorak koji se sastoji od vodom navlaženog papirnato filter papira smještenog unutar zatvorene Petrijeve zdjelice. U trenutku postavljanja uzorka pod lupu, otvara se i kontrolni uzorak kako bi se mogla utvrditi moguća kontaminacija iz zraka za vrijeme promatranja svakog uzorka pojedinačno. Tijekom promatranja koje je zbog moguće kontaminacije iz zraka trebalo provesti u što kraćem vremenskom roku, odvajani su i pohranjivani pronađeni filamenti mikroplastike u manje šifrirane staklene posudice što je zabilježeno i u pisanom obliku, obliku tablice. Na isti je način, po pregledu uzorka izvršen i pregled kontrolnog uzorka. Sve čestice pronađene na kontrolnom filter papiru, također su odvojene i pohranjene u zasebne staklene posudice pri čemu su označene oznakom BC (eng. *blank control*) uz oznaku primarnog uzorka. Količina pronađenih čestica kontrolnog uzorka zabilježena je također i u pisanom obliku u cilju daljnje obrade i usporedbe svih podataka.



Slika 6. Staklene čase s uzorcima pripremljenim za digestiju



Slika 7. Digestija uzoraka pomoću magnetske mješalice

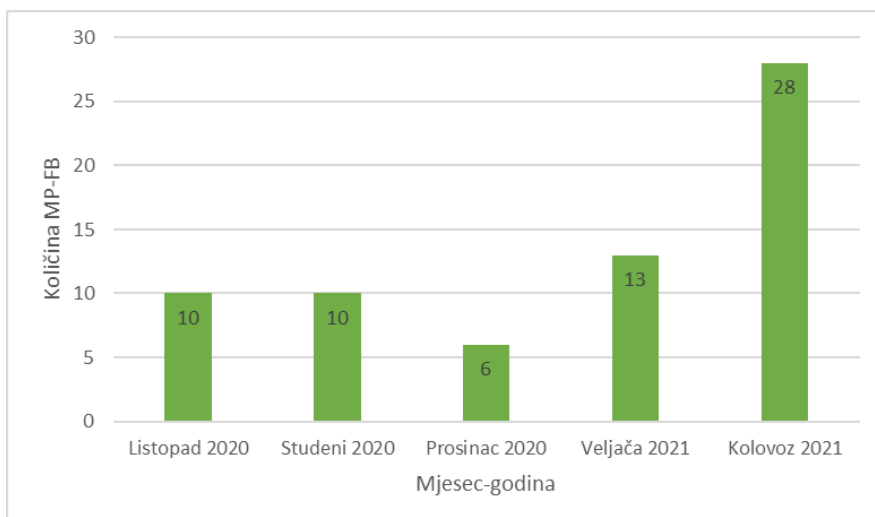


Slika 8. Pribor za vakuum filtraciju

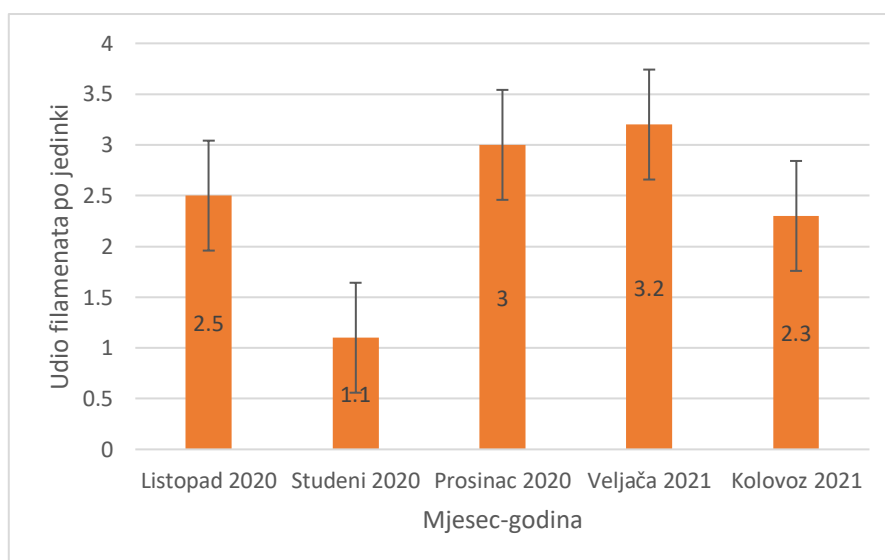
3. REZULTATI

3.1. Broj i udio čestica mikroplastike u arbunu po mjesecima i godinama istraživanja

Ulov arbuna koji čine predmetni uzorak ovog istraživanja izvršen je tijekom mjeseca listopada, studenog i prosinca 2020. godine te tijekom veljače i kolovoza 2021. godine u okviru ribolovnih aktivnosti malog obalnog ribolova uz primjenu jednostrukih mreža stajaćica veličine mrežnog tega od 80 mm. Uzorak je obuhvatio ukupno 31 jedinku od čega su četiri jedinke uzorkovane u listopadu, devet u studenom i dvije u prosincu 2020. godine, a četiri jedinke su uzorkovane u veljači i 12 u kolovozu 2021. godine. U ukupnom broju ulovljenih jedinki laboratorijskom obradom utvrđeno je ukupno 67 čestica mikroplastike odnosno filamenata. U četiri uzorka probavila arbuna iz listopada 2020. pronađeno je 10 filamenata mikroplastike, u devet uzoraka iz studenog 2020. također 10 filamenata, dok je u dva uzorka iz prosinca 2020. godine pronađeno šest filamenata. U četiri uzorka iz veljače 2021. godine uočeno je 13 filamenata, a čak 28 filamenata u 12 uzoraka iz kolovoza 2021. godine (Slika 9). Daljnjom obradom podataka utvrđen je udio filamenata mikroplastike po uzorku i mjesecu ulova odnosno broj od 2,5 filamenata po jedinki iz listopada 2020. godine, 1,1 filament po jedinki iz studenog i tri filamenata po jedinki iz prosinca iste godine. Nadalje, po jedinki iz veljače 2021. godine pronađena su 3,2 filamenata, a po jedinki iz kolovoza iste godine 2,3 filamenata (Slika 10).



Slika 9. Pronađena količina filamenata u arbunima po mjesecima ulova.



Slika 10. Udio filamenata mikroplastike po jedinki arbuna po mjesecima ulova s označenom standardnom devijacijom.

3.2. Brojnost i udio mikroplastike u uzorcima temeljem kriterija boje filamenata

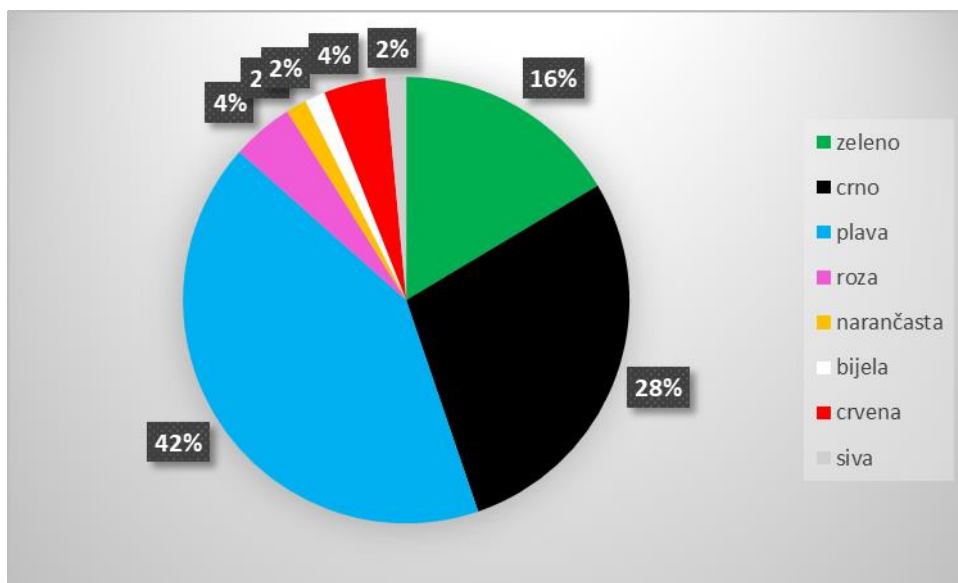
Laboratorijskom obradom uzoraka pronađeno je ukupno 67 filamenata mikroplastike koji su temeljem kriterija boje filamenata razvrstani u 8 grupa. Izdvojeno je 28 filamenata plave boje, 19 filamenata crne boje, 11 zelene boje, po 3 su filamenata roze i crvene boje, a po jedan filament je narančaste, bijele i sive boje (Slika 11 i Slika 12). Obradom podataka utvrđeno je da u ukupnom broju filamenata najveći udio imaju filamenti plave boje s udjelom od 42 %, zatim slijede filamenti crne boje čiji je udio 28 %, zeleni filamenti s udjelom od 16 %. Nadalje filamenti roze i crvene boje imaju podjednak udio u ukupnom broju filamenata sa udjelom od 4 % dok najmanji udio imaju filamenti narančaste, bijele i sive boje zastupljeni sa udjelom svaki od 2 % (Slika 13).



Slika 11. Plavi filament pronađen u uzorku.



Slika 12. Crni filament pronađen u uzorku.

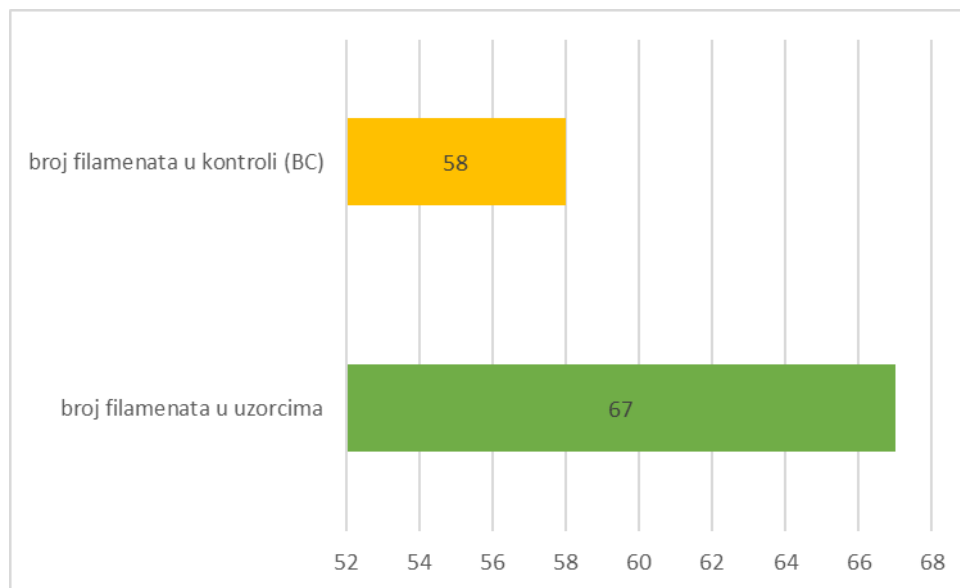


Slika 13. Udjeli boja filamenata mikroplastike u uzorcima.

3.3. Obilježja zadane metode obrade uzoraka

Istraživački rad ima nezamjenjivu ulogu u suvremenim znanstvenim procesima, a koja će se metoda rada odnosno obrade uzoraka koristiti ovisi o resursima koji su istraživaču na raspolaganju što posljedično dovodi u vezu i kvalitetu rezultata istraživačkog rada. U provođenju ovog istraživačkog rada korišteni su uzorci, prostor i oprema raspoloživi pri Fakultetu prirodnih znanosti u Puli. Navedeno djelomično zadovoljava zahtjeve predmetnog istraživanja. Kao dobre strane koje svakako utječu na prihvatljivost ovakve metode rada mogu se navesti relativno niski troškovi rada kao i brzina izvođenja istraživačkog postupka. Ono što se može istaknuti kao mana je velika mogućnost kontaminacije uzorka budući da radni prostor u potpunosti ne zadovoljava uvjete sterilnosti rada što uvelike može utjecati na dobivene rezultate istraživanja. Sažimajući prethodna opažanja, a uzimajući u obzir status provedenog istraživanja nameće se potreba provođenja daljnje laboratorijske obrade izdvojenih mikroplastičnih niti, a sve u cilju dobivanja objašnjenja neophodno potrebnih za daljnju interpretaciju rezultata provedenog istraživanja. Ranije navedeno potkrepljuju i rezultati dobiveni usporedbom broja izoliranih mikroplastičnih niti iz dobivenih uzoraka

u odnosu na broj mikroplastičnih niti izoliranih na kontrolnim uzorcima tijekom provođenja vizualnog postupka identifikacije mikroplastike. Dok je u 31-om uzorku pronađeno ukupno 67 mikroplastičnih niti, istovremeno je u kontrolnim uzorcima izdvojeno 58 mikroplastičnih niti što ukazuje na izrazitu vjerojatnost kontaminacije uzoraka česticama iz zraka odnosno na potrebu provođenja postupka u strogo kontroliranim uvjetima s ciljem dobivanja vjerodostojnih rezultata istraživanja (Slika 14).



Slika 14. Grafički prikaz količine filamenata mikroplastike u BC i uzorcima

4. RASPRAVA

Predmetnim istraživanjem obuhvaćen je 31 uzorak probavila arbuna u kojem je laboratorijskom obradom izolirano 67 mikroplastičnih čestica. Prisutne čestice mikroplastike međusobno se razlikuju prema obliku, veličini i boji što je svakako vrijedan podatak budući da se provođenjem daljnjih analiza može pobliže odrediti njihovo porijeklo i starost, ali i druge značajke. Među izoliranim česticama, s obzirom na oblik mikroplastike, dominantni su oblici vlakana, a prema kriteriju boje vrijednosno najzastupljenije su čestice plave boje, zastupljene sa 42,0 % i čestice crne boje

zastupljene sa 28,0 % dok najmanji udjel imaju čestice narančaste, bijele i sive boje zastupljene sa 1,5 %. Iz rezultata provedenog istraživanja može se utvrditi povezanost između razdoblja mrijesta arbuna i intenziteta ishrane pa time i količine mikroplastičnih niti u probavilu arbuna. Razdoblje mrijesta arbuna je razdoblje proljetnih mjeseci odnosno od travnja do lipnja kada se smanjuje hranjenje kao posljedica biološkog faktora reprodukcije, a završetkom razdoblja mrijesta povećava se intenzitet ishrane kao i mogućnost unosa veće količine mikroplastičnih čestica što svrstava arbuna u skupinu „capital breeder-a“ koje karakterizira akumulacija hrane prije mrijesta te smanjenje intenziteta hranjenja tijekom mrijesta (Stephens i sur. 2014). Navedeno se može potkrijepiti i rezultatima analize uzoraka probavila budući da je u uzorcima iz kolovoza 2021. godine pronađeno u prosjeku 2,3 mikroplastične niti dok je naprimjer u studenom pronađena u prosjeku 1,1 mikroplastična nit po uzorku što se može protumačiti završetkom razdoblja mrijesti krajem srpnja to jest početkom povećanog intenziteta hranjenja. Stavljanjem u odnos količine mikroplastičnih niti iz uzorka iz mjeseca kolovoza u odnosu na prosječan broj mikroplastičnih niti u mjesecu listopadu (2,5), prosincu (3) i veljači (3,2) mora se uzeti u obzir i velika mogućnost kontaminacije uzoraka česticama iz zraka, između ostalog i plastičnim filamentima čiji je izvor sintetička odjeća sa koje se oslobađa velika količina mikroplastičnih filamenata (najčešće poliester, najlon, likra ili akril) (Varley, 2023), a imajući u vidu da u navedenom postoji odstupanje u korelaciji razdoblja mrijesti i intenziteta ishrane odnosno mogućnosti pronalaska mikroplastičnih čestica u probavilu ribu. Primjećen je pad broja mikroplastičnih niti u probavilu arbuna u uzorku iz studenog 2020. godine kada je izolirana samo prosječno 1,1 mikroplastična nit. Međutim, analizom uzoraka iz preostalih zimskih mjeseci (prosinac 2020. prosječno 3 mikroplastične niti po uzorku; veljača 2021. 3,2 mikroplastične niti po uzorku) kada bi zbog niže temperature mora i manjeg intenziteta ishrane, količina mikroplastičnih čestica teoretski trebala biti manja u odnosu na broj čestica iz uzoraka uzetih iz toplijeg dijela godine, utvrđuje se da je navedeno odstupanje posljedica moguće kontaminacije uzorka prilikom provođenja postupka analize. Po provedenom istraživanju i dovršenoj laboratorijskoj obradi uzoraka probavila arbuna izveden je zaključak o postojanju mikroplastičnih niti u sadržaju probavila kao i korelacija između broja pronađenih mikroplastičnih niti prema razdoblju mrijesta i prema temperaturi mora u ovisnosti o godišnjem dobu. Spoznate

su osnovne značajke pronađenih mikroplastičnih čestica u pogledu boje i oblika, ali su također spoznate i značajke koje bi omogućile provođenje kvalitetnijeg istraživanja i svakako doprinjele dobivanju znanstveno vjerodostojnijih rezultata. Uzimanjem ciljanih uzoraka u pogledu prikupljanja uzoraka sa više različitih lokaliteta, uzoraka iz različitih vremenskih razdoblja godine s naglaskom na uzimanje uzoraka iz doba mrijesta, iz zimskog, proljetnog, ljetnog i jesenskog perioda dobili bi se cjelovitiji rezultati. Također, izrazito velik utjecaj na izvođenje zaključaka o provedenom istraživanju ima i mogućnost kontaminacije uzorka iz zraka u prostoru laboratorija. Rad u sterilnim uvjetima jedan je od preduvjeta točnosti interpretacije rezultata. Ranije opisanom problematikom bavi se i multidisciplinarni tim koji uključuje nacionalne i lokalne vlasti, istraživačke institute, razne nevladine udruge iz svih zemalja Jadransko-Jonske regije (Slovenija, Italija, Hrvatska, Bosna i Hercegovina, Crna Gora, Albanija i Grčka) i njihov cilj jačanje suradnje te poduzimanje zajedničkih akcija za Jadransko more bez otpada u cilju postizanja dobrog ekološkog stanja svih morskih voda kao i zaštite organizama u njima. Riječ je o EU projektu DeFishGear (eng. *Derelict Fishing Gear Management System in the Adriatic Region*) provedenom u vremenskom razdoblju od 2007. do 2013. godine. Naglasak projektnih aktivnosti bio je na utvrđivanju prisutnosti otpada plastičnog materijala između 0,3 mm i 5 mm veličine (mikroplastika) apsorbiranih u probavni sustav triju vrsta riba (trlja od kamena - *Mullus surmuletus*, arbun – *Pagellus erythrinus*, srdela – *Sardina pilchardus*) s različitih staništa. Navedenim projektom kao i u rezultatima provedenog istraživanja na uzorcima probavila arbuna, u određenom postotku u probavnom traktu riba pronađene su čestice koje bi potencijalno mogle biti mikroplastika. Budući da se i tu radi o vrlo sitnim filamentnim vlaknima ni u spomenutom projektu kao niti u provedenom istraživanju nije moguće s potpunom sigurnošću zaključiti o kojoj se vrsti polimera radi već se nameće potreba daljnje kemijske analize izdvojenih čestica a sve u cilju dobivanja preciznih podataka koji bi doprinjeli stjecanju saznanja o porijeklu mikroplastike, izvoru onečišćenja i mogućnosti njegova suzbijanja. Projektom DeFishGear obuhvaćen je uzorak od 30 probavila arbuna pri čemu je analizom utvrđeno prisustvo mikroplastike u sadržaju njih 15, a pronađene su ukupno 34 mikroplastične čestice što u prosjeku daje srednju vrijednost 1,88 broja čestica mikroplastike po probavilu. Rezultati dobiveni provedenim istraživanjem ovog rada kao i podatci projekta DeFishGear podudaraju se u pogledu

sezonske razlike u koncentraciji mikroplastike u probavilima riba što se može objasniti direktnim utjecajem temperature mora u ovisnosti o godišnjem dobu. Zabilježene su niže koncentracije u uzorcima tijekom zimskih mjeseci u odnosu na topliji dio godine. Osim navedenog, interpretacijom rezultata istraživanja ovog projekta istaknuta je i očekivano veća količina mikroplastike pronađena u uzorcima ulovljenim bliže obali kao posljedica blizine potencijalnih izvora otpada s kopna što u provedenom istraživanju ovog rada nije bilo moguće utvrditi budući da istraživanje nije obuhvaćalo i ulov već samo obradu ranije ulovljenih jedinki (Tutman i sur., 2017). Bilo da se radi o istraživanju prisustva mikroplastike u probavilu malog broja uzoraka, o istraživanju koje se provodi u malom laboratoriju u skromnim uvjetima ili da je riječ o navedenom istraživanju koje se provodi na međunarodnoj razini, u laboratorijima opremljenim najsuvremenijom opremom, cilj je uvijek isti: spoznati izvor i utjecaj morskog otpada na ekosustave ne samo u cilju razumijevanja ekosustava i utjecaja mikroplastike već prvenstveno spriječiti daljnja zagađenja i promicati svijest o utjecaju morskog otpada kako na ekosustav mora tako i na cijelu biosferu. Direktivom 2008/56/EZ odnosno Okvirnom direktivom o morskoj strategiji uspostavljen je okvir djelovanja zemalja članica EU kojima se nalaže poduzimanje mjera za postizanje tj. održavanje dobrog stanja morskog okoliša. Razvijaju se morske strategije kojima se primjenjuje ekosustavni pristup upravljanja ljudskim djelatnostima. Implementacija navedene direktive temelji se na 11 deskriptora pri čemu se deskriptor pod rednim brojem osam odnosi na Koncentraciju onečišćujućih tvari, pod rednim brojem devet na onečišćujuće tvari u morskim organizmima namijenjenima za prehranu ljudi te pod rednim brojem 10 na otpad u moru. Ključna značajka deskriptora Otpad u moru je definiranje otpada, njegova svojstva i količine te isticanje prevladavajućih materijala otpada pod zajedničkim nazivom plastika u ukupnom morskom otpadu. Segment mikroplastike kao morskog otpada je još uvijek najslabije istražen, a ujedno je i najopasniji budući da ga razni morski organizmi zamjenjuju za plijen pa na taj način izravno ulazi u hranidbeni lanac. Ovim se deskriptorom utvrđuju učinci morskog otpada na morske organizme i ljude te se određuju primarni i sekundarni kriteriji i metodološki standardi za postizanje dobrog stanja morskog okoliša. Primarni kriteriji odnose se na utvrđivanje, praćenje i suzbijanje otpada i mikrootpada duž obale, u površinskom sloju vodenog stupca kao i u sedimentu morskog dna na razine koje ne štete obalnom i

morskom okolišu. Sekundarni kriteriji podrazumijevaju količinu otpadaka i mikrootpadaka koje jedinke unesu u organizam na razini koja nema štetan učinak na zdravlje predmetne vrste (Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja RH, 2008).

5. ZAKLJUČAK

Provedenim istraživanjem ovog rada utvrđeno je prisustvo mikroplastičnih niti u probavnom traktu uzoraka arbuna (*P. erythrinus*) s područja Medulinskog zaljeva na jugu Istarskog poluotoka. Istraživanje je temeljeno na nekoliko različitih kriterija. Prisutnost filamenata mikroplastike u jedinkama arbuna iz Medulinskog zaljeva ukazuje na potencijalnu onečišćenost ranije navedenog akvatorija što može biti uzrokovano različitim izvorima onečišćenja koji su rezultat ljudskog djelovanja npr. razvijena turistička djelatnost podneblja, sustav otpadnih voda, pomorski promet... Nadalje, ne smije se zanemariti niti mogućnost kontaminacije uzoraka tijekom provođenja istraživačkog postupka putem zraka. Opisane mogućnosti upućuju na potrebu provođenja daljnjeg istraživanja i to u dva smjera na način da se provede istraživanje akvatorija u cilju utvrđivanja postojanja onečišćenja i njegova izvora u svrhu zaštite ekosustava, a drugi smjer vodi utvrđivanju potencijalne kontaminacije iz zraka tijekom provođenja postupka i nužnosti provođenja laboratorijske obrade u sterilnim uvjetima. Također, arbut kao vrsta ribe koja često obitava u priobalnom području Istarskog poluotoka pa tako i Medulinskog zaljeva, kao vrsta ribe koja tijekom ljetnih mjeseci obitava u plićim djelovima mora, a život provodi u potrazi za hranom koja se nalazi na dnu, može poslužiti kao dobar modelni organizam za detekciju mogućeg onečišćenja morskog ekosustava. Između ostalog, laboratorijskom obradom uzoraka pronađeni su filamentni različitih boja, među kojima su dominantni filamentni plave boje što upućuje na potencijalnu mogućnost njihova umjetnog porijekla, a daljnom bi se obradom navedeno moglo potvrditi ili opovrgnuti. Uzimajući u obzir da postoji korelacija između intenziteta prehrane i razoblja mrijesta riba, a u cilju potvrđivanja navedene korelacije, bilo bi nužno provesti ciljano uzorkovanje u mjesecima mrijesta kao i u mjesecima povećanog intenziteta ishrane što bi moglo i

potvrditi činjenicu o prisustvu veće količine filamenata u probavnom sustavu arbuna u uzorcima prikupljenim izvan razdoblja mrijesta. Iako je raširena predodžba o Jadranskom moru kao jednom od najčišćih i najočuvanijih akvatorija, ovo istraživanje provedeno u okviru malog laboratorija kao i pojedina, daleko opsežnija istraživanja različitih institucija ukazuju na prisutnost mikroplastike u moru, ali i u organizmima koji u njemu obitavaju. Za učinkovitu zaštitu ekosustava mora nužno je provođenje različitih aktivnosti monitoringa od strane različitih dionika u cilju donošenja strategije zaštite mora kako na regionalnoj tako i na europskoj odnosno svjetskoj razini. Polazna točka, neovisno o aspektu promatranja, je čovjek i njegova spoznaja o posljedicama nemarnog ponašanja, o posljedicama gospodarskog razvoja, razvoja civilnog društva te nužnost i potreba suživota svih individua planeta Zemlje.

6. POPIS LITERATURE

- Agency, E. E. (22. travanj 2019). Medulinski zaljev. Dohvaćeno iz <https://eunis.eea.europa.eu/sites/HR3000173#tab-designations>
- Ali Shah, A., Hasan, F., Hameed, A., Ahmed, S. (2008). Biological degradation of plastic: A comprehensive review. *Biotechnology Advances*, 26(3), 246-265. Dohvaćeno iz <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.12.005>
- Andrady, A. (2011). Microplastic in the marine environment. 62(8), 596-605.
- Barletta, M., Lima, A.R.A., Costa, M.F. (2019). Distribution, sources and consequences of nutrient. *Science of the Total Environment*, 1199-1218.
- Bauchot, M. L., Hureau, J. C. (1986). Sparidae. U P. B. Whitehead, *Fishes of the north-eastern Atlantic and the Mediterranean* (Svez. 2, str. 883-907). Paris: UNESCO.
- Bermúdez JR, Swarzenski PW. (29. Sep 2021). A microplastic size classification scheme aligned with universal plankton survey methods. *MethodsX*. doi:doi:10.1016/j.mex.2021.101516.
- Budimir, S. (2014). *Mikroplastika u morima*. Dohvaćeno iz BIOM: <https://www.biom.hr/mikroplastika-u-morima/>
- Crawford, C. B., Quinn, B. (2017). Plastic Production, Waste and Legislation. *Microplastic Pollutants*, 39-56. doi:10.1016/B978-0-12-809406-8.00003-7
- CZGO. (2022). *Regionalni centar čistog okoliša*. Dohvaćeno iz <https://rcco.hr/zagadenje-mora-i-oceana/>
- FAO. (n.d.). *Adriamed*. Dohvaćeno iz <https://www.faoadriamed.org/html/Species/PagellusErythrinus.html>
- fishbase.org. (n.d.). *Pagellus erythrinus (Linnaeus, 1758) Common pandora*. Dohvaćeno iz fishbase.org: <https://fishbase.mnhn.fr/summary/893>
- Hrvatska enciklopedija. (2013-2024). Ekosustav. *Leksikografski zavod Miroslav Krleža*. Zagreb, Hrvatska. Dohvaćeno iz <<https://www.enciklopedija.hr/clanak/ekosustav>>
- JU, K. (2023-2032). *Plan upravljanja područjima ekološke mreže Medulinski i Pomorski zaljev (PU 6067)*. Pula: Ministarstvo RH.
- Jukić, S., Arneri, E. (1984). Distribution of hake (*Merluccius merluccius* L.), Red mullet (*Mullus barbatus* L.) and Pandora (*Pagellus erythrinus* L.) in the Adriatic sea. *FAO*, 290, 85-91.

- Jukić, S., Županović, Š. (1965). Relations entre la température et l'intensité de l'alimentation chez *Mullus barbatus* L. et *Pagellus erythrinus* L. dans baie de Kaštela. *FAO Proc. Gen. Fish. Coun. Medit.*, 173-177.
- Kawai, F. (1995). Biodegradation of Synthetic and Natural Plastic by Microorganisms. *Adv Biochem Eng Biotechnol*, 52, 151-194. doi:10.12691/jaem-5-1-2
- Matsui, S. (2008). Endocrine Disruptors. *Encyclopedia of Ecology*, 1259-1260. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00402-X>
- Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja RH. (17. June 2008). *Okvirna direktiva o morskoj strategiji*. Dohvaćeno iz More: [http://baltazar.izor.hr/portal/clanci?p_oznaka=Okvirna%20direktiva%20o%20morskoj%20strategiji%20\(ODMS\)](http://baltazar.izor.hr/portal/clanci?p_oznaka=Okvirna%20direktiva%20o%20morskoj%20strategiji%20(ODMS))
- Mojetta, A., Ghisotti, A. (2005). *Flora e fauna del Mediterraneo*. Mondadori.
- Myers, J.P., Guillette Jr, L. J., Swan, S. H., Vom Saal, F. S. (2008). Endocrine Disruptor Chemicals: Overview. *Encyclopedia of Ecology*, 1265- 1269. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00245-7>
- Regionalni centar čistog okoliša (RCČO). (2014). Zagađenje mora i oceana. Split, Splitsko-dalmatinska županija. Dohvaćeno iz <https://rcco.hr/zagadenje-mora-i-oceana/>
- Rivard, C., Moens, L., Roberts, K., Brigham, J., Kelley, S. (1995). Starch esters as biodegradable plastics: Effects of ester group chain length and degree of substitution on anaerobic biodegradation. *Enzyme and Microbial Technology*, 17(9), 848-852. doi:[https://doi.org/10.1016/0141-0229\(94\)00120-G](https://doi.org/10.1016/0141-0229(94)00120-G)
- Rodriguez, F. (n.d.). *Plastic chemical compound*. Dohvaćeno iz Britannica: <https://www.britannica.com/science/plastic>
- Rujnić-Sokele, M. (2015). Plastični otpad - globalni ekološki problem. *Polimeri*, 34-37.
- Silva, A.B., Costa, M.F., da Costa Duarte, A. (2018). Biotechnology advances for dealing with environmental pollution by micro(nano)plastics: Lessons on theory and practices. *Current Opinion in Environmental Science and Health*, 30-35. doi:10.1016/j.coesh.2017.10.005
- Stephens, P. A., Houston, A. I., Harding, K. C., Boyd, I. L., McNamara, J. M. (2014). Capital and income breeding: the role of food supply. *Ecology*, 882- 896. doi: <https://doi.org/10.1890/13-1434.1>
- Sun, J., Dai, X., Wang, Q., van Loosdrecht, M. C. M., Ni, B. J. (2019). Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal. *Water Research*, 152(12). doi:10.1016/j.watres.2018.12.050

- Šafarek, G. (2022). *Priroda Hrvatske*. Dohvaćeno iz <https://prirodahrvatske.com/jadran/>
- Šantić, M., Paladin, A., Rađa, B.,. (2011). Feeding habits of common pandora *Pagellus erythrinus* (Sparidae) from eastern central Adriatic Sea. *Cybium*, 35(2), 83-90.
- tportal.hr. (n.d.). Spasimo Jadransko more. Dohvaćeno iz <https://native.tportal.hr/jadransko-more/>
- Treer, T., Safner, R., Aničić, I., Lovrinov, M. (1995). *Ribarstvo* . Zagreb: Nakladni zavod Globus.
- Tutman, P., Bojanić-Varezić, D., Prvan, M., Božanić, J., Nazlić, M., Šiljić, J., Pavičić, M. (2017). ntegrirano planiranje u cilju smanjivanja utjecaja otpada iz mora – projekt DeFishGear. *Tehnoeko*, str. 20-29.
- Varley, C. (16. November 2023). *Microplastic Pollution Linked to Synthetic Fast Fashion*. Preuzeto 5. June 2024 iz EARTH.ORG: <https://earth.org/microplastic-pollution-linked-to-synthetic-fast-fashion/>
- Wieczorek, A.M., Morrison, L., Croot, P.L., Allcock, A.L., MacLoughlin, E., Savard, O., Brownlow, H., Doyle, T.K. (2018). Frequency of Microplastic in Mesopelagic Fishes from the Northwest Atlantic. *Front. Mar. Sci.*, 5(39). doi:10.3389/fmars.2018.00039

7. SAŽETAK

Problem mikroplastike u morima prepoznat je kao problem globalnih razmjera. Razgradnjom većih plastičnih predmeta nastaje mikroplastika koja, iako je ljudskom oku nevidljiva, ne nestaje razgradnjom, već postaje prijetnja morskim organizmima. U tom obliku, ona vrlo lako dopijeva u probavni sustav organizama odnosno u cjelokupni hranidbeni lanac nanoseći pri tome štetu svakoj jedinki. Svjesnost o prijetnjama mikroplastike za život svih organizama, a naročito organizama u morima, polazna je osnova provedenog istraživanja na jedinkama arbuna (*P. erythrinus*) s područja Medulinskog zaljeva na jugu Istarskog poluotoka. Istraživanjem je obuhvaćen 31 uzorak probavila arbuna u kojem je laboratorijskom obradom izolirano 67 mikroplastičnih čestica. Među izoliranim česticama, obzirom na oblik mikroplastike, dominantni su oblici vlakana, a prema kriteriju boje, vrijednosno najzastupljenije su čestice plave boje (42,0 %). Analizom je utvrđen i udio filamenata po jedinki po mjesecu ulova čime je izveden zaključak o korelaciji između broja pronađenih mikroplastičnih niti prema razdoblju mrijesta i prema temperaturi mora u ovisnosti o godišnjem dobu. Rezultati provedenog istraživanja ukazuju na prisutnost filamenata mikroplastike u jedinkama arbuna iz Medulinskog zaljeva kao i na potencijalnu onečišćenost spomenutog akvatorija što može biti uzrokovano različitim izvorima onečišćenja. Svakako, pri tumačenju rezultata istraživanja, treba uzeti u obzir i mogućnost kontaminacije uzoraka putem zraka tijekom laboratorijske obrade. Opisano upućuje na potrebu provođenja daljnjeg istraživanja, ali i na nužnost kontinuiranog monitoringa kako Medulinskog zaljeva tako i ostalih zaštićenih morskih područja.

Ključne riječi: Medulinski zaljev, mikroplastika, arbun, probavni sustav

8. ABSTRACT

The problem of microplastic in the seas is recognized as a global issue. The degradation of larger plastic items results in microplastics which, although invisible to the human eye, do not disappear through degradation but instead become a threat to marine organisms. In this form, it can easily enter the digestive systems of organisms and thus the entire food chain, causing harm to each organism. Awareness of the threats posed by microplastics to the lives of all organisms, especially marine organisms, is the starting point for the conducted research on red mullet (*P. erythrinus*) specimens from the Medulin Bay area in the southern part of the Istrian peninsula. The study included 31 samples of red mullet digestive tracts, from which 67 microplastic particles were isolated through laboratory processing. Among the isolated particles, based on the shape of the microplastics, fibers were the dominant form, and according to the color criterion, blue particles were the most prevalent (42.0%). The analysis also determined the proportion of filaments per individual per month of catch, leading to a conclusion about the correlation between the number of found microplastic fibers and the spawning period as well as sea temperature depending on the season. The results of the study indicate the presence of microplastic filaments in red mullet from Medulin Bay and potential contamination of the mentioned area, which can be caused by various sources of pollution. Certainly, when interpreting the research results, the possibility of sample contamination through the air during laboratory processing should also be considered. This points to the need for further research and continuous monitoring of both Medulin Bay and other protected marine areas.

Keywords: Medulin Bay, microplastics, red mullet, digestive system