

# Karakteristike i opterećenje mikroplastikom sedimenta plaža i podplimne zone na Loparu, otok Rab

---

Bićanić, Karl

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:018261>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-01**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Karl Bićanić

**KARAKTERISTIKE I OPTEREĆENJE  
MIKROPLASTIKOM SEDIMENTA PLAŽA I  
POTPLIMNE ZONE NA LOPARU, OTOK RAB**

Diplomski rad

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOLOŠKI ODSJEK

Karl Bićanić

**KARAKTERISTIKE I OPTEREĆENJE  
MIKROPLASTIKOM SEDIMENTA PLAŽA I  
POTPLIMNE ZONE NA LOPARU, OTOK RAB**

Diplomski rad  
predložen Geološkom odsjeku  
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta  
Sveučilišta u Zagrebu  
radi stjecanja akademskog stupnja  
magistar geologije

Mentori:  
doc. dr. sc. Igor Felja  
izv. prof. dr. sc. Hana Fajković

Zagreb, 2023.

## ***Zahvale***

Hvala mentorima doc. dr. sc. Igoru Felji i izv. prof. dr. sc. Hani Fajković na vremenu, pristupačnosti, strpljenju, odgovorima i velikoj pomoći u laboratorijskom dijelu, kao i na konstruktivnim savjetima tijekom pisanja.

Hvala ostalim djelatnicima Geološkog odsjeka na prenesenom znanju i susretljivosti u raznim situacijama. Hvala doc. dr. sc. Zorici Petrinc na uvijek srdačnoj pomoći i što mi je predložila doc. dr. sc. Igora Felju kao mentora. Posebno hvala dipl.iur. Mariji Cindro što je bila najbolja teta u referadi ikad, igdje.

Hvala Filipu, Stanku i Zrinku što su bili samnom tu od prvog dana, u farmanju ECTS-a, pokeanju kolokvija, dodgeanju ispita, i ostalim studentskim uspjesima i nedaćama. Hvala na svim zabavnim trenucima, doživotnom prijateljstvu i što će uvijek biti najbolji gang za hingat.

Hvala Matei na pomoći, strpljenju, podršci, motivaciji i savjetima tokom pisanja i zadnjih nekoliko godina. Posebno hvala na trudu oko terenskog rada.

Veliko hvala mojoj obitelji, koja je napokon dočekala ovaj dan, na izuzetnom strpljenju i bezuvjetnoj potpori tokom studiranja, a i prije.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Diplomski rad

### **Karakteristike i opterećenje mikroplastikom sedimenta plaža i potplimne zone na Loparu, otok Rab**

**Karl Bičanić**

**Rad je izrađen u:** Geološko-paleontološki zavod, PMF, Zagreb, Horvatovac 102b; u sklopu diplomskog studija Geologija zaštite okoliša;

Mineraloško-petrografski zavod, PMF, Zagreb, Horvatovac 95.

#### **Sažetak:**

Prikupljeno je 14 uzoraka sedimenta iz tri uvale (Podšilo, Sahara, Livačina) na poluotoku Loparu, otok Rab. Na uzorcima je provedena granulometrijska, kalcimetrijska i rendgenska analiza. Uzorci su još podvrgnuti postupku odvajanja čestica na temelju gustoće, nakon kojeg je bilo moguće proučavanje mikroplastike. Uzorci granulometrijski pripadaju pijescima uz niske postotke mulja i/ili šljunka, uz iznimku jednog uzorka koji je vrlo slabo muljeviti pjeskoviti šljunak. Mineralni sastav sedimenata devet uzoraka je dominantno kvarcni, dok pet uzoraka sadrži više od 50 % kalcita. Nakon kvarca i kalcita, najčešći minerali su feldspati. Analiza mikroplastike je pokazala kako je kod sve tri uvale prisutno visoko opterećenje mikroplastikom. Dubina mora nije utjecala na brojnost komada mikroplastike. Glavni izvori zagađenja mikroplastikom su turizam i industrija.

**Ključne riječi:** Mikroplastika, zagađenje, karbonati, granulometrija, pijesak, Lopar

**Rad sadrži:** 38+X stranica, 16 slika, 6 tablica, 48 literaturnih navoda i 8 priloga

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Rad je pohranjen u:** Središnja geološka knjižnica, Geološki odsjek, PMF

**Mentor(i):** doc. dr. sc. Igor Felja, PMF, Zagreb

izv. prof. dr. sc. Hana Fajković, PMF, Zagreb

**Ocjenjivači:** 1. doc. dr. sc. Igor Felja, PMF – GPZ

2. izv. prof. dr. sc. Hana Fajković, PMF – MPZ

3. izv. prof. dr. sc. Kristina Pikelj, PMF – GPZ

Zamjena:

doc. dr. sc. Katarina Gobo, PMF – GPZ

**Datum završnog ispita:** 20. rujna 2023.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geology

### Graduate Thesis

#### **Characteristics and microplastic load in the beach and subtidal sediments of Lopar, Rab Island**

**Karl Bićanić**

**Thesis completed in:** Division of geology and paleontology, PMF, Zagreb, Horvatovac 102b; where the work on the thesis was carried out in the context of the graduate study of Environmental geology;

Division of mineralogy and petrology, PMF, Zagreb, Horvatovac 95.

#### **Abstract:**

Fourteen sediment samples were collected from three bays (Podšilo, Sahara, Livačina) on the Lopar Peninsula, Island of Rab. Granulometric, calcimetric, and X-ray analyses were performed on the samples. The samples were also subjected to a particle separation process based on density, after which microplastic analysis was performed. Collected samples are predominantly sands with low percentages of silt and/or gravel, with one exception which is a very slightly muddy sandy gravel. The mineral composition of sediments in nine samples is predominantly quartz, while five samples contain more than 50 % calcite. After quartz and calcite, feldspars are the most common minerals. Microplastic analysis revealed a high microplastic load in all three bays. Sea depth did not affect the abundance of microplastic pieces. The main sources of microplastic pollution are tourism and industry.

**Keywords:** Microplastics, pollution, carbonates, granulometry, sand, Lopar

**Thesis contains:** 38+X pages, 16 figures, 6 tables, 48 references, and 8 appendices

**Original in:** Croatian

**Thesis deposited in:** Central Library of Geology, Department of Geology, Faculty of Science

**Supervisor:** Assist. Prof. Igor Felja, PhD, PMF, Zagreb

Assoc. Prof. Hana Fajković, PhD, PMF, Zagreb

#### **Reviewers:**

1. Assist. Prof. Igor Felja, PhD, PMF – GPZ

2. Assoc. Prof. Hana Fajković, PhD, PMF – MPZ

3. Assoc. Prof. Kristina Pikelj, PhD, PMF – GPZ

Substitute:

Assist. Prof. Katarina Gobo, PhD, PMF – GPZ

**Date of the final exam:** September 20, 2023.

**Sadržaj**

1.	Uvod.....	1
2.	Pregled dosadašnjih istraživanja .....	3
3.	Pregled istraživanog područja .....	6
3.1.	Geografski smještaj .....	6
3.2.	Geološki pregled istraživanog područja .....	7
3.2.1.	Antiklinala Kalifront – Frkanj .....	8
3.2.2.	Sinklinala Supetarska Draga – Barbat .....	9
3.2.3.	Antiklinala Slatina – Kamenjak – Gavranica .....	9
3.2.4.	Sinklinala Lopar.....	9
4.	Materijali i metode istraživanja.....	12
4.1.	Uzorkovanje.....	12
4.2.	Granulometrijska analiza uzoraka .....	12
4.3.	Odvajanje čestica na temelju gustoće .....	13
4.4.	Proučavanje uzoraka pod lupom.....	17
4.5.	Određivanje udjela karbonata .....	18
4.6.	Rendgenska analiza uzoraka .....	19
5.	Rezultati .....	21
5.1.	Rezultati granulometrijske analize uzoraka .....	21
5.2.	Rezultati odvajanja čestica na temelju gustoće .....	22
5.3.	Rezultati nakon proučavanja pod lupom .....	23
5.4.	Rezultati kalcimetrijske analize uzoraka .....	26
5.5.	Rezultati rendgenske analize uzoraka.....	27
6.	Rasprava.....	29
7.	Zaključak.....	33
8.	Literatura .....	34

---

9. Prilozi.....	XXXIX
-----------------	-------



## 1. Uvod

Od kada je prvi put izumljena 1907. godine plastika je vrlo brzo postala jako bitan materijal korišten u svakodnevnom životu gotovo svih ljudi. Od hrane i pića koji su velikim dijelom pakirani u plastici, cijevi koje dovode i odvođe vodu, naftu, plin i slično, tehnologije i industrije, vrlo je teško zamisliti neku ljudsku djelatnost koja ne upotrebljava plastiku.

U 2021. godini svjetska proizvodnja plastike iznosila je 390,7 milijuna tona (PLASTICS EUROPE, 2022) s trendom rasta svake godine. Ubrzan rast u proizvodnji i korištenju plastike kroz zadnjih par desetljeća je doveo do novog sveprisutnog ekološkog problema koji je zagađenje mikroplastikom. Mikroplastikom se generalno smatraju čestice plastike manje od 5 mm. Mogu biti proizvedene tih dimenzija, a češće nastaju raspadom većih komada plastike, sintetskih tekstila i drugih mnogobrojnih predmeta koji sadrže plastiku. Uz to čestice mikroplastike su česte u abrazivima korištenima u svakodnevnoj higijeni, kućanstvu i industriji. Unatoč svojoj otpornosti, plastika se kroz vrijeme i potpomognuta sunčevim zrakama i mehaničkim utjecajima, troši, stvarajući još više mikroplastike.

Mikroplastika pokazuje iznimnu postojanost, što joj omogućuje da dugo vremena perzistira u okolišu. Mala veličina čestica i mogućnost plutanja omogućuju joj transport kroz različite okolišne sustave, uključujući atmosferu, slatkovodne sustave i morska okruženja. Kao rezultat toga, mikroplastika je otkrivena u širokom rasponu staništa, od udaljenih polarnih područja do urbanih središta, te od površinskih voda do dubina oceana.

Jedan od najalarmantnijih aspekata mikroplastike je njena sposobnost za interakciju s ekosustavima i organizmima. Ove čestice mogu biti progutane od strane raznovrsnih organizama, od zooplanktona i filtrirajućih beskralješnjaka do većih morskih životinja pa čak i ptica. Nakon unosa, mikroplastika može uzrokovati fizičku štetu kroz blokade ili posjekotine unutar probavnog trakta. Osim toga, površine čestica mikroplastike mogu adsorbirati i akumulirati različite toksične tvari, uključujući perzistentne organske onečišćujuće tvari i teške metale. Ova sposobnost koncentracije onečišćivača ukazuje na potencijal mikroplastike da prenosi štetne kemikalije unutar prehrambenih lanaca.

Ekološke posljedice zagađenja mikroplastikom protežu se izvan pojedinačnih organizama. Nakupljanje mikroplastike u staništima i njihove interakcije s vrstama imaju potencijal poremetiti strukturu i funkciju ekosustava.

Otok Rab je smješten u Kvarnerskom zaljevu na sjeveroistočnom dijelu Jadranskog mora. Kao i ostatak hrvatskog dijela jadranske obale, turistički je vrlo aktivan, a pogotovo poluotok Lopar na sjeveroistoku otoka. Poluotok Lopar je popularan zahvaljujući svojoj prirodi i velikom broju dugih pješčanih plaža nastalih trošenjem eocenskih pješčenjaka i lapora. U svrhu očuvanja ovih plaža i prirodnih ljepota polutoka Lopara i otoka Raba, potrebno je stalno nadzirati njihovu prirodnu ravnotežu i zagađenost koja ima antropogeno porijeklo.

Cilj ovog rada je determinirati karakteristike sedimenta iz tri uvale (Podšilo, Sahara i Livačina) na poluotoku Loparu, otok Rab i njihovo opterećenje mikroplastikom.

## 2. Pregled dosadašnjih istraživanja

Geologija otoka Raba je relativno jednostavna. Ukratko, otok Rab čine dvije antiklinale građene od gornjokrednih vapnenaca i dvije sinklinale građene od eocenskih pješčenjaka i lapora (MARJANAC i MARJANAC, 2007). Poluotok Lopar pripada jednoj od tih sinklinala. Detaljniji uvid u geologiju otoka Raba se nalazi u poglavlju 3.2 Geološki pregled istraživanog područja.

Plastike su sintetski polimeri dobiveni spajanjem monomera, najčešće dobivenih iz nafte ili plina, uglavnom uz dodatak raznih aditiva (THOMPSON et al., 2009). Prvi sintetski polimer, tj. plastika, je proizveden 1907. godine i nazvan je Bakelit, po njegovom izumitelju Leu Baekelandu, dok je danas poznato oko 20 vrsta plastike (THOMPSON et al., 2009). Plastika je danas vrlo široko rasprostranjena i nalazimo je u svim sferama života i svugdje oko nas, vidljivo po svjetskoj godišnjoj proizvodnji plastike koja je 2021. godine iznosila 390,7 milijuna tona (PLASTICS EUROPE, 2022), uz rastući trend svake godine. Od tih 390,7 milijuna tona plastike 90,2 % pripada plastici proizvedenoj iz foslnih goriva, 8,3 % pripada recikliranoj plastici dok 1,5 % pripada bio plastici (PLASTICS EUROPE, 2022). Plastika je toliko široko korištena zbog svojih mnogobrojnih poželjnih karakteristika: jeftina je za proizvesti, lagana, čvrsta, izdržljiva, otporna na koroziju te termalno i električki otporna (THOMPSON et al., 2009).

S druge strane, zbog svoje široke namjene i izdržljivosti plastika čini oko 10 % ukupnog otpada koje čovječanstvo danas proizvede (THOMPSON et al., 2009). BORRELLE et al. (2020) procjenjuju da je u 2016. godini oko 11 % proizvedene plastike u svijetu, tj. između 19 i 23 milijuna tona plastike završilo u vodenim ekosustavima. Jednom kada plastika dođe do mora ili oceana transportirana je strujama svugdje po svijetu, a većina plastike se naposljetku akumulira u subtropskim oceanskim strujnim vrtlozima (LEBRETON et al., 2012). Tako ERIKSEN et al. (2014) procjenjuju da na površini svjetskih oceana pluta oko 269 000 tona plastike, odnosno oko 5,25 trilijuna čestica, dok JAMBECK et al. (2015) procjenjuju da je samo u 2010. godini 4,8 do 12,7 milijuna tona plastičnog otpada završilo u svjetskim oceanima. U kasnijoj studiji ERIKSEN et al. (2016) tvrde da je procjena od 269 000 tona plastike vjerojatno preniska, a procjena od 4,8 do 12,7 milijuna tona plastike godišnje, previsoka. U novijoj studiji LEBRETON et al. (2019) procjenjuju da je od 1950. do 2015. godine u svjetske oceane ispušteno između 70 i 189,3 milijuna tona plastičnog plutajućeg otpada, ali da je stvarna

količina tog otpada na površini svjetskih oceana između 0,61 i 1,65 milijuna tona. Kao odgovor na pitanje gdje je nestala sva ta plastika predlažu da je 66,8 % završilo na obali u obliku makroplastike, dok je 32,3 % degradiralo u mikroplastiku (LEBRETON et al., 2019).

Generalno, pojam mikroplastika označava sitne čestice plastike. Različiti autori različito definiraju granicu mikroplastike. Još uvijek ne postoji usuglašenost oko definiranja veličine mikroplastike, pa tako neki autori mikroplastiku definiraju kao čestice plastike manje od 1 mm (BROWNE et al., 2008, 2010; CLAESSENS et al., 2011); neki kao čestice plastike manje od 2 mm (RYAN et al., 2009); neki kao čestice manje od 4,75 mm (ERIKSEN et al., 2014, 2016); neki kao čestice manje od 5 mm (BARNES et al., 2009; BETTS, 2008); neki kao čestice manje od 10 mm (CÓZAR et al., 2014; GRAHAM & THOMPSON, 2009). Ipak, u recentnijim radovima se uglavnom etablirala podjela da se mikroplastikom smatraju čestice manje od 5 mm (GESAMP, 2016; LOTS et al., 2017; LEBRETON et al., 2018, 2019; EGGER et al., 2020; SEVWANDI DHARMADASA et al., 2021; ANDRADY et al., 2022), pa će isto vrijediti i za ovaj rad.

Mikroplastiku dodatno možemo podijeliti na dvije vrste s obzirom na porijeklo: primarna i sekundarna. Primarna mikroplastika podrazumijeva čestice plastike koje su proizvedene manje od 5 mm (COLE et al., 2011). To su uglavnom peleti, prahovi i kuglice mikroskopskih dimenzija korišteni u kozmetici, sredstvima za čišćenje i industrijskim abrazivima (GESAMP, 2016). Sekundarna mikroplastika podrazumijeva čestice plastike manje od 5 mm koje su nastale raspadom od većih komada plastike kroz fizičke, biološke i kemijske procese (COLE et al., 2011). Sekundarna mikroplastika je daleko češća u oceanima od primarne (ANDRADY, 2022).

Faktori koji utječu na proces raspada većih komada plastike na manje, a u konačnici na mikroplastiku su: mehanički stres, visoka temperatura (FAIRBROTHER et al., 2019), vlažnost (JAMES et al., 2013), biološki agensi (WELDEN & COWIE, 2017), zagađenja u atmosferi (POSPÍŠIL et al., 2004), i sunčevo ultraljubičasto zračenje (ANDRADY, 2022). Od navedenih faktora najznačajniji je sunčevo ultraljubičasto zračenje. Pod utjecajem ultraljubičastog zračenja kidaju se lanci polimera u plastici, što u konačnici čini plastiku krutom. Proces raspada plastike pod utjecajem ultraljubičastog zračenja se naziva fotodegradacija. Fotodegradacija plastike je znatno jača na kopnu nego na površini mora zbog lošije topljivosti kisika u morskoj vodi i zaštite od topline i ultraljubičastih zraka. Ipak, ukoliko plastika prije dolaska u more oksidira na kopnu ili

plaži, degradacija će se nastaviti i u moru (ANDRADY, 2022). Prilikom raspada plastike se ispuštaju i razni aditivi koji plastici daju poželjna svojstva i kojih, ovisno o plastici, može biti i do 50 % masenog udjela (MARTURANO et al., 2016).

Krajnje odredište velike količine makro i mikro plastike u svjetskim morima i oceanima je morsko dno, odnosno sediment. KOOI & KOELMANS (2019) procjenjuju da je prosječna gustoća čestica mikroplastike  $1,099 \text{ g/cm}^3$ , dok je prosječna gustoća morske vode  $1,030 \text{ g/cm}^3$  (GARCÍA-ABDESLEM, 2020). Uz to, mehanizam biološkog obrastanja otežava čestice mikroplastike, što dodatno pospješuje tonjenje (ANDRADY, 2022). Stoga je činjenica da će prosječna čestica mikroplastike potonuti kroz stupac vode. Velika površina koju prekrivaju oceani na Zemlji dovodi do procjene da se u prvih 9 cm oceanskih sedimenata ukupno može naći 14,4 milijuna tona mikroplastike (BARRETT et al., 2020). Mikroplastiku istaloženu u sedimentu tada mogu unijeti razni organizmi koji ju zamjene za hranu.

Zbog svoje veličine i dostupnosti, mikroplastika vrlo lako ulazi u hranidbeni lanac, a zbog svoje otpornosti tamo i ostaje. Plastika i kemikalije koje dolaze u asocijaciji s plastikom imaju negativne posljedice za pojedine organizme, vrste pa i cjelokupne ekosustave. Ove posljedice mogu varirati od upalnih reakcija na čestice mikroplastike, oksidativnog stresa do otežanog hranjenja i reprodukcije što kroz nekoliko generacija može negativno utjecati na sposobnosti vrste (ANDRADY, 2022).

### 3. Pregled istraživanog područja

#### 3.1. Geografski smještaj

Otok Rab se nalazi u Kvarnerskom zaljevu u sjeveroistočnom dijelu Jadranskog mora (slika 1). Pružanja je sjeverozapad – jugoistok, kao i većina okolnih otoka, što je ujedno i smjer pružanja Dinarida. Površine je 86,1 km<sup>2</sup>, najveće dužine 22 km, dok širina varira od 11 km do 3 km. Otok Rab je na svom istočnom dijelu odijeljen od kopna Velebitskim kanalom, na sjevernom od Krka Senjskim vratima, na zapadnom od Cresa Kvarnerićem, i na južnom od Paga kanalom Paško tijesno.



**Slika 1** Republika Hrvatska s označenim otokom Rabom (crveni krug). Izvor: hrvatska.eu zemlja i ljudi.



Poluotok Lopar je smješten na sjeveroistočnom dijelu otoka Raba i građen je od eocenskih lapora i pješčenjaka koji su trošenjem kroz geološku prošlost stvorili mnogobrojne uvale i rtove. Iz tri ovakve uvale prikupljeni su uzorci sedimenta obrađeni u ovom radu. Te tri uvale su: 1. Podšilo, 2. Sahara i 3. Livačina (slika 2).

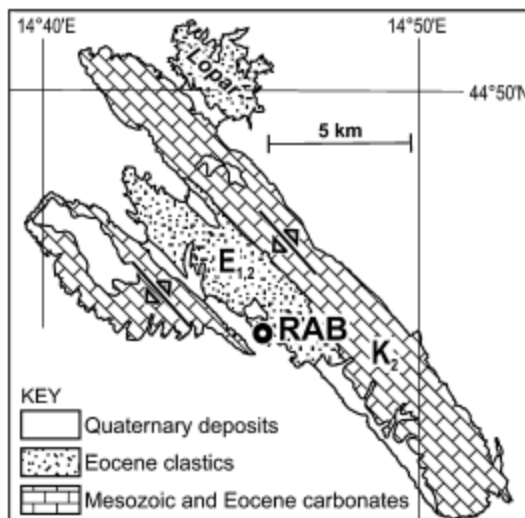


**Slika 2** Tri uvale na poluotoku Loparu s kojih su prikupljeni uzorci sedimenta: 1. Podšilo, 2. Sahara, 3. Livačina. Izvor: Google Earth.

### 3.2. Geološki pregled istraživanog područja

Strukturu otoka Raba karakteriziraju dvije paralelne antiklinale i dvije paralelne sinklinale pružanja sjeverozapad – jugoistok. Antiklinale su uglavnom građene od gornjokrednih naslaga dok su sinklinale uglavnom građene od paleogenskih naslaga (slika 3). Kontakt

između krednih i eocenskih vapnenaca karakterizira blaga kutna diskordancija i lokalni nalazi boksita (MARJANAC i MARJANAC, 2007).



**Slika 3** Geološka karta otoka Raba. Preuzeto iz MARJANAC i MARJANAC (2007).

### 3.2.1. Antiklinala Kalifront – Frkanj

Na sjeverozapadnom dijelu otoka se nalazi antiklinala Kalifront – Frkanj. Ova antiklinala je kratka (duljine 9 km) i široka (oko 3 km), a čini poluotok Kalifront s njegovim gustim šumama bora i hrasta. Tjeme antiklinale je sekundarno borano, jugozapadno krilo je nepotpuno, dok je sjeveroistočno izrazito strmo (MAMUŽIĆ, 1962). Uglavnom je građena od gornjokrednih vapnenaca koji se mogu podijeliti na dva člana.

Prvi član su smeđi vapnenci s rudistima i rijetkim nalazima hondrodonta (MAMUŽIĆ, 1962). Ove naslage su predstavljene kao dobro uslojeni svijetlo do sivosmeđi vapnenci s debljinom slojeva od 20 do 40 cm, ukupne debljine od oko 400 m. U baznom dijelu naslaga mjestimično se nalaze ulošci dolomitnih i tankouslojenih do škrljavih vapnenaca, dok se u gornjem dijelu pojavljuju svijetlosmeđi dobro uslojeni i slabije uslojeni bijeli i krhki vapnenci. Na osnovu fosilnog sadržaja gastropoda, rudista, ježinaca i hondrodonta, od kojih je najznačajnija vrsta *Chondrodonta joannae*, određena starost ovih naslaga je cenoman – turon, što ih čini najstarijim stijenama na otoku Rabu (MAMUŽIĆ i MILAN, 1973).

Drugi član predstavljaju bijeli i blijedožučkasti vapnenci s rudistima i gastropodima ukupne debljine naslaga od oko 300 m (MAMUŽIĆ, 1962). Ove naslage se postepeno



nastavljaju na prethodne smeđe vapnence s rudistima i rijetkim nalazima hondrodonta, a čine ih bijeli do blijedožućkasti slabo uslojeni vapnenci u donjem i srednjem dijelu, dok u gornjem prelaze u slabo uslojene, većinom ružičaste vapnence. Vrlo su fosiliferne, pogotovo u donjem i srednjem dijelu, a fosilnu zajednicu većinski čine gastropodi, kaprinidi, aktinoele i rudisti. Na osnovu ove fosilne zajednice određena starost je turon – senon (MAMUŽIĆ i MILAN, 1973).

Na slici 3 su također vidljive i kvartarne naslage. To su površinske naslage, maksimalne debljine do 6 m, a čine ih crvenkasti pijesci pomiješani s humusom s mjestimičnim limonitnim konkrecijama (MAMUŽIĆ, 1962).

### **3.2.2. Sinklinala Supetarska Draga – Barbat**

Ova relativno dugačka sinklinala se pruža od Supetarske Drage na sjeveru do Barbata na jugozapadu otoka, gotovo je uspravna s dosta strmim krilima. Čine ju donjo do srednjoeocenski foraminiferski vapnenci te srednjo do gornjoeocenski lapori i pješčenjaci, naslage vrlo slične onima na poluotoku Loparu koje su u literaturi dosta detaljnije proučavane.

### **3.2.3. Antiklinala Slatina – Kamenjak – Gavranica**

Ova antiklinala se pruža dužinom čitavog otoka i istog je smjera pružanja kao i sam otok, sjeverozapad – jugoistok. Oblikom je izduženija i uža od antiklinala Kalifront – Frkanj, ali litološki vrlo slična, sa smeđim vapnencima na koje se nastavljaju bijeli i blijedožućkasti vapnenci. Antiklinala je većinski uspravna, krila su poprilično strma, a tjeme je uglavnom široko i sekundarno borano (MAMUŽIĆ, 1962).

### **3.2.4. Sinklinala Lopar**

Sinklinala Lopar je relativno kratka, široka i nepotpuna. Sinklinalna os je blago povijena, jugozapadno krilo je vrlo strmo, dok je sjeveroistočno blaže ustrmljeno (MAMUŽIĆ, 1962). Građena je od eocenskih naslaga. Najdonji član su donjo do srednjoeocenski foraminiferski vapnenci (slika 4) na koje se nastavljaju srednjo do gornjoeocenski lapori i pješčenjaci.

Prvi član foraminiferskih vapnenaca su miliolidni vapnenci. Najslabije su razvijen član ovih vapnenaca i pojavljuju se samo uz sjeveroistočni rub otoka debljine do 2 m. Uz miliolide mogu sadržavati i sitne alveoline (MAMUŽIĆ i MILAN, 1973). Drugi i treći član, alveolinski i numulitni vapnenci, su petrografski vrlo slični, dolaze zajedno i gotovo ih je nemoguće odijeliti. Jedina razlika je što pri dnu dominiraju alveoline, a prema vrhu naslaga se povećava brojnost numulita. Na osnovu zajednica alveolina i numulita, određena starost ovih foraminiferskih vapnenaca je donji do srednji eocen, dok je debljina od 100 do 150 m (MAMUŽIĆ i MILAN, 1973).



**Slika 4** Srednjoeocenski foraminiferski vapnenci u podini i srednjo do gornjo eocenski pješčenjaci i lapori u krovini uz istočni dio uvale Livačina. Fotografija: Karl Bićanić.

Prijelaz iz foraminiferskih vapnenaca u klastite označavaju plavkasti do sivozelena glaukonitni laporoviti vapnenci debljine do 10 m. Eocenski klastiti, prisutni u sinklinalama Lopar i Supetarska Draga – Barbat, su predstavljeni u dva člana. MAMUŽIĆ (1962) naziva stariji član Donji fliš dok mlađi član naziva Gornji fliš. MARJANAC i MARJANAC (2007) predlažu nazive San Marino lapori i Loparski pješčenjaci za stariji i mlađi član, po nazivima naselja na poluotoku.

San Marino lapori su predstavljeni kao plavkasti pjeskoviti lapori, debljine oko 150 m (MAMUŽIĆ, 1962). Siromašni su makrofaunom, ali izrazito bogati mikrofaunom, pogotovo foraminiferama, na osnovu kojih je određena starost mlađi lutet – stariji barton (MARJANAC i MARJANAC, 2007).

Loparski pješčenjaci (slika 5) su predstavljeni kao ponavljajuća izmjena pješčenjaka i bioturbiranih lapora. Fosilni sadržaj makrofaune i foraminifera je u ovim naslagama rjeđi i lošije očuvan nego u San Marino laporima. Točno vrijeme taloženja stoga nije utvrđeno, ali na osnovu San Marino lapora, na koje se nastavlja, pretpostavlja se da je taloženje započelo u bartonu i vjerojatno trajalo kroz priabon (MARJANAC i MARJANAC, 2007).



**Slika 5** Loparski pješčenjaci uz zapadni dio uvale Livačina. Novčanik kao mjerilo.

Fotografija: Karl Bićanić.



## 4. Materijali i metode istraživanja

### 4.1. Uzorkovanje

Ukupno je prikupljeno 14 uzoraka sedimenta iz tri uvale na poluotoku Loparu: 1. Podšilo (PŠ), 2. Sahara (SAH) i 3. Livačina (L) (slika 2). Uzorci su prikupljeni u profilima okomitima na obalu pri različitim udaljenostima od obale, tj. dubinama mora (tablica 1). Uzorci su osušeni na zraku i pohranjeni u papirnate vrećice za potrebe daljnjih analiza.

**Tablica 1** Lokaliteti uzoraka s odgovarajućim dubinama mora. Uzorcima u tablici je dana boja s obzirom na dubinu mora s koje su prikupljeni: Bijela = 0 m, Žuta = 0,5 m, narančasta = 1 m i plava = 3 m.

Uzorak	Dubina
PŠ 1	0 m
PŠ 2	3 m
PŠ 3	0 m
PŠ 4	3 m
PŠ 5	0 m
PŠ 7	1 m
SAH 1	0 m
SAH 2	0,5 m
SAH 3	1 m
L 1	0 m
L 3	3 m
L 4	0 m
L 5	0 m
L 6	1 m

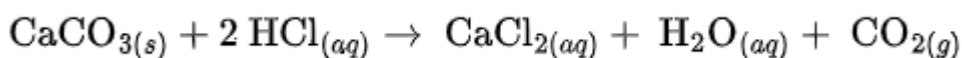
### 4.2. Granulometrijska analiza uzoraka

Granulometrijska analiza uzoraka provedena je metodom mokrog sijanja. U staklenim zdjelicama s oznakama uzorka je odvagano 50 g svakog uzorka. Staklene zdjelice s uzorcima su napunjene destiliranom vodom i ostavljene 24 h kako bi se uzorak namočio i slijepljene čestice razdvojile. Nakon namakanja, uzorci su prosijavani kroz niz od sedam sita (Retsch® ASTM), uz konstantno ispiranje vodom. Promjeri otvora na sitima odgovaraju Wentworth-ovoj (1922) klasifikaciji. Korišteno sito s najvećim promjerom otvora od 4 mm je donja granica sitnog šljunka, sito s promjerom otvora od 2 mm je donja granica vrlo sitnog šljunka, sito s promjerom otvora od 1 mm je donja granica vrlo krupnog

pijeska, sito s promjerom otvora od 0,5 mm je donja granica krupnog pijeska, sito s promjerom otvora od 0,25 mm je donja granica srednje krupnog pijeska, sito s promjerom otvora od 0,125 mm je donja granica sitnog pijeska, dok je najmanje korišteno sito s promjerom otvora od 0,063 mm donja granica vrlo sitnog pijeska. Čestice manje od 0,063 mm (mulj) su prošle kroz najsitnije sito. Ovih sedam frakcija svakog uzorka je zatim prebačeno u posebne zdjelice i ostavljeno da se osuše. Nakon sušenja svaka frakcija je izvagana i prebačena u označene papirnate vrećice.

### 4.3. Odvajanje čestica na temelju gustoće

Od sveukupne mase svakog uzorka odvagano je 10 g za potrebe odvajanja na temelju gustoće. Odvagana masa je zatim u laboratorijskim čašama pomiješana s razrijeđenom klorovodičnom kiselinom (10 % HCl), ovisno o burnosti reakcije (ako je reakcija sporija) dodano je koncentrirane klorovodične kiseline (50 % HCl). Uzorci su ostavljeni 24 h kako bi se karbonatni minerali kalcit i aragonit ( $\text{CaCO}_3$ ) u potpunosti otopili u klorovodičnoj kiselini, slijedeći reakciju:



Iako su kalcit ( $2,71 \text{ g/cm}^3$ ) i aragonit ( $2,95 \text{ g/cm}^3$ ) veće gustoće od otopine natrijevog polivolframata ( $1,65 \text{ g/cm}^3$ ) koja će biti korištena za odvajanje, ljušturice organizama koje su građene od karbonata ponekad mogu sadržavati mjehuriće zraka zbog kojih bi im prividna gustoća bila manja od otopine, stoga ih je bitno ukloniti iz uzoraka.

Nakon 24 h, otopina iz laboratorijskih čaša je dekantirana i uzorci su isprani tri puta destiliranom vodom. Uzorci su zatim pomiješani s razrijeđenim vodikovim peroksidom (30 %  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) kako bi se iz uzoraka uklonila organska tvar u sedimentu koja ponekad ima malu gustoću te se može izdvojiti zajedno s mikroplastikom u koraku separacije. Kako bi uzorci imali vremena reagirati s otopinom, ostavljeni su 24 h u otopini.

Nakon novih 24 h uzorci su filtrirani uz pomoć vakuumske pumpe i konstantno ispiranje destiliranom vodom, a zatim ostavljeni da se osuše. Kada su uzorci bili potpuno suhi, sastrugani su s filter papira u ahatni tarionik i dodatno usitnjeni. Dodatno usitnjeni uzorci su izvagani na analitičkoj vagi kako bi se vidio postotak izgubljene mase nakon uklanjanja karbonatne i organske tvari (tablica 3).

Svaki uzorak je zatim pomiješan u zasebnoj kiveti s otopinom natrijevog polivolframata. Natrijev polivolfram (eng. *sodium polytungstat*, *SPT*) je sol, vrlo topljiva u vodi, čijim je otapanjem moguće dobiti otopinu gustoće do  $3,1 \text{ g/cm}^3$ . Nastala otopina se može koristiti za odvajanje čestica na osnovu gustoće, a vrlo je pogodna zbog svoje mogućnosti recikliranja. Gustoća različitih vrsta plastike može varirati od  $0,89 \text{ g/cm}^3$  do  $1,58 \text{ g/cm}^3$  (ERIKSEN et al., 2016), dok je gustoća minerala koji se nalaze u preostalom sedimentu (kvarc, feldspati, muskovit, minerali glina) veća od  $2 \text{ g/cm}^3$ . Stoga je za odvajanje mikroplastike od ostatka minerala u uzorku na osnovu gustoće potrebna tekućina gustoće između  $1,58 \text{ g/cm}^3$  i  $2 \text{ g/cm}^3$ . Kako bi postigli željenu gustoću natrijev polivolfram je razrijeđen s destiliranom vodom, uz konstantno mjerenje areometrom, dok nije postignuta željena gustoća od  $1,65 \text{ g/cm}^3$ .

Kivete s uzorcima su zatim stavljene u centrifugu na 2500 okretaja po minuti na 5 minuta kako bi se ubrzalo odvajanje čestica na temelju gustoće. Nakon centrifugiranja, uzorci su stavljeni na stalak, a zatim u zamrzivač kako bi se zaledili (slika 6). Ovako zaleđeni uzorci omogućuju da imamo čestice odvojene na osnovu gustoće bez trenutne mogućnosti miješanja.



**Slika 6** Čestice odvojene na osnovu gustoće u zaleđenom SPT-u. Na dnu su vidljive čestice minerala, dok se pri vrhu zaleđene tekućine nalaze čestice mikroplastike. Slikano u laboratoriju Mineraloško-petrografskog zavoda PMF-a. Fotografija: Karl Bičanić.

Kako bi izdvojili čestice mikroplastike iz sedimenta, otapamo gornji sloj zaleđene otopine u kojem se nalaze čestice mikroplastike mlazovima destilirane vode, zatim filtriramo pomoću filter papira i vakuumske pumpe (slike 7 i 8).



**Slika 7** Aparatura za filtriranje čestica mikroplastike. Filter papir u keramičkom nosaču na plastičnoj tikvici za skupljanje SPT-a spojenoj na pumpu koja stvara vakuum. Slikano u laboratoriju Mineraloško-petrografskog zavoda PMF-a. Fotografija: Karl Bičanić.



**Slika 8** Iskorišteni filter papir nakon otapanja gornjeg sloja zaleđene tekućine. Slikano u laboratoriju Mineraloško-petrografskog zavoda PMF-a. Fotografija: Karl Bičanić.



Kako je cilj ovog koraka postupka izdvojiti čestice mikroplastike iz uzoraka, otopljeni su samo vršni slojevi svakog zaleđenog uzorka, otprilike gornjih 0,5 cm, jer bi čestice mikroplastike trebale biti pri vrhu (slika 6). Nakon filtriranja, filter papiri svakog uzorka su odloženi u zasebne petrijeve zdjelice i spremni su za proučavanje pod lupom.

Ostatak svakog uzorka (neotopljeni SPT i sediment) je izvađen iz kiveta u lijevke s filter papirima i ostavljen da se u potpunosti otopi (slika 9). SPT se nakon otapanja skupio u laboratorijskim čašama i reciklirao, dok će ostatak sedimenta biti korišten u rendgenskoj analizi.



**Slika 9** Odvajanje ostatka sedimenta i SPT-a. Slikano u laboratoriju Mineraloško-petrografskog zavoda PMF-a. Fotografija: Karl Bičanić.

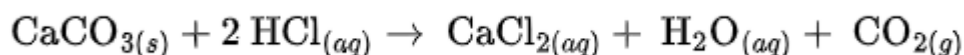
#### 4.4. Proučavanje uzoraka pod lupom

Od 14 početnih uzoraka za proučavanje pod lupom odabrano je osam na osnovu lokaliteta i dubine uzorkovanja. Odabrani uzorci su: PŠ 1, PŠ2, PŠ 5, PŠ 7, SAH 1, SAH 3, L 1 i L 3. Filter papir svakog uzorka je podijeljen na četiri jednaka dijela, od kojih je reprezentativni po broju čestica mikroplastike izabran za proučavanje. Svaki uzorak je potom proučavan

pod lupom uz pomoć Quick Photo Camera programa tako da je svaka vidljiva čestica mikropastike pobrojena i izmjerena. Određena četvrtina filter papira je proučavana sa 6,5x povećanjem, i katalogizirane su čestice veće od 0,1 mm, čiji se broj onda množio s četiri kako bi dobili broj čestica za cijeli uzorak. U toj četvrtini je također odabran reprezentativni dio po broju čestica mikroplastike površine 4,742 mm<sup>2</sup> za katalogiziranje čestica manjih od 0,1 mm. Ovaj dio je gledan pod 40x povećanjem, a broj katalogiziranih čestica je pomnožen s 335,39, na osnovu veličine proučavane površine i ukupne površine filtera (proučavana površina je 0,3 % ukupne površine filtera).

#### 4.5. Određivanje udjela karbonata

Određivanje udjela karbonata (kalcimetrija) je postupak mjerenja udjela kalcijevog karbonata u sedimentu izražen kao postotak. Kalcijev karbonat u uzorku se otapa u klorovodičnoj kiselini slijedeći kemijsku reakciju:

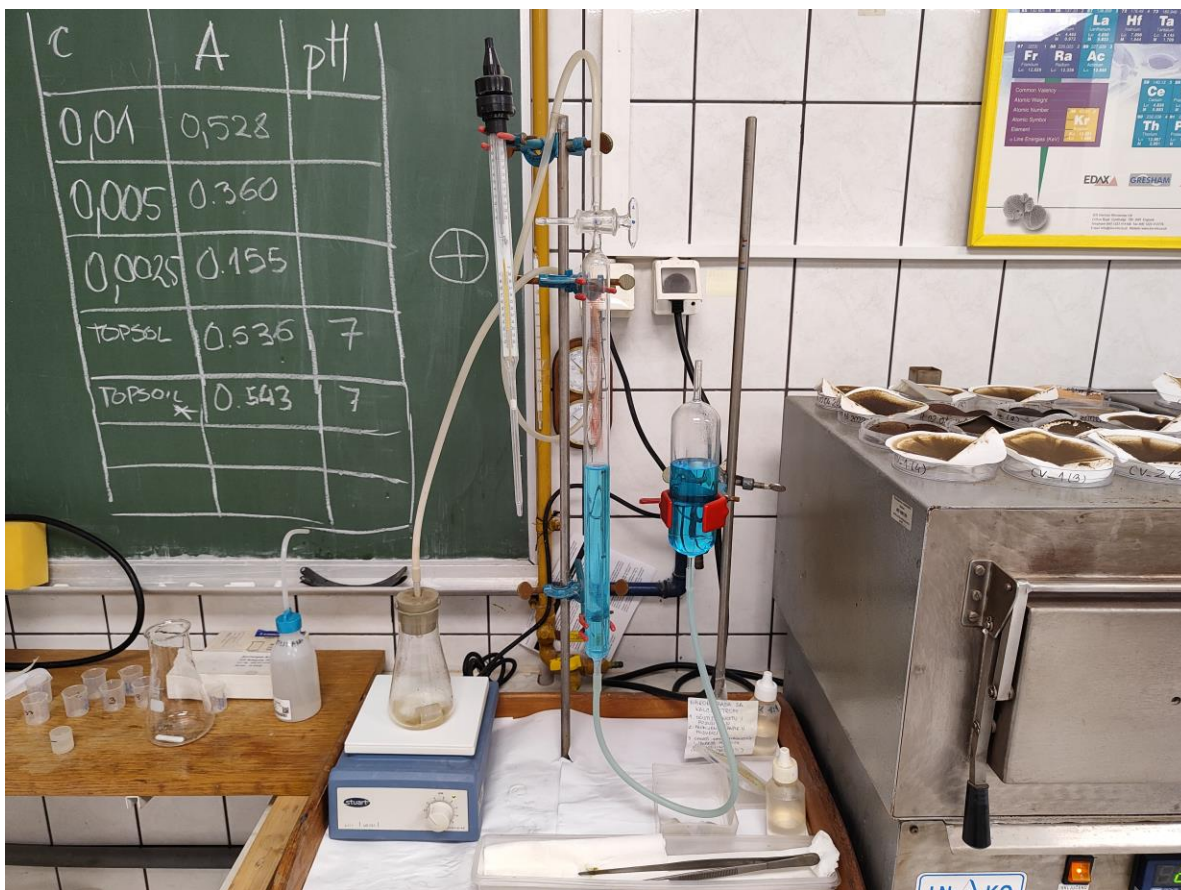


Postotak kalcijevog karbonata u uzorku se računa pomoću formule:

$$\% \text{CaCO}_3 = \frac{V(\text{CO}_2[\text{ml}]) \cdot F_{p,t} \cdot 2.274}{m_{Uz}[\text{g}]} \cdot 100$$

Gdje je V volumen ugljikovog dioksida koji se oslobodio tijekom reakcije,  $m_{Uz}$  je masa korištenog uzorka, a  $F_{p,t}$  je faktor koji ovisi o temperaturi i tlaku zraka, koje je potrebno provjeriti nakon svakog mjerenja kako bi imali točan faktor.

Postupak započinje prebacivanjem odvagute količine uzorka u Erlenmeyerovu tikvicu s magnetnom mješalicom. Zatim se u istu tikvicu spusti 5 ml 1:1 klorovodične kiseline (HCl) u plastičnoj čašici. Tikvica se zatvara namočenim gumenim čepom kako bi se sustav zatvorio. Kada je tikvica dobro zatvorena, pali se magnetna mješalica kako bi se srušila plastična čašica i pokrenula reakcija. Reakcija se odvija 5 min i nastaje ugljikov dioksid koji putuje u Schieblerov kalcimetar (slika 10) pomoću kojeg očitavamo volumen nastalog plina.



**Slika 10** Aparatura za određivanje udjela karbonata (kalcimetriju). Slikano u laboratoriju Mineraloško-petrografskog zavoda PMF-a. Fotografija: Karl Bičanić.

Kako bi bili sigurni da ja aparat ispravno kalibriran, provodimo testnu reakciju s 200 mg čistog kalcijevog karbonata (100 %  $\text{CaCO}_3$ ) tri puta. Nakon što smo provjerili točnost instrumenta prolazimo kroz isti postupak s 500 mg svakog uzorka dva puta kako bi dobili srednju vrijednost i standardnu devijaciju za svaki uzorak.

#### 4.6. Rendgenska analiza uzoraka

Od ukupno 14 uzoraka za rendgensku analizu je odabrano devet uzoraka: PŠ 1, PŠ2, PŠ 4, PŠ 5, PŠ 7, SAH 1, SAH 3, L 1 i L 3. Odabir uzoraka je isti kao i kod proučavanja pod lupom uz dodatak uzorka PŠ 4. Za svaki uzorak su određena dva poduzorka, jedan je uzet iz ukupne količine početnog uzorka od 50 g (bulk, B), dok je drugi poduzorak uzet od ostatka sedimenta nakon odvajanja na temelju gustoće (ostatak, O). Svaki poduzorak je zdrobljen pomoću drobilice i ahatnog tarionika do veličine vrlo sitnog praha. Prah je zatim prebačen u aluminijski nosač s predmetnim stakalcem i montiran na držač u rendgenu.

Početne postavke generatora su 40 mA i 40 kV, za analizu je korišteno Cu K  $\alpha$  zračenje, a nakon skeniranja rezultati su obrađeni u Xpert Highscore Plus programu.

## 5. Rezultati

### 5.1. Rezultati granulometrijske analize uzoraka

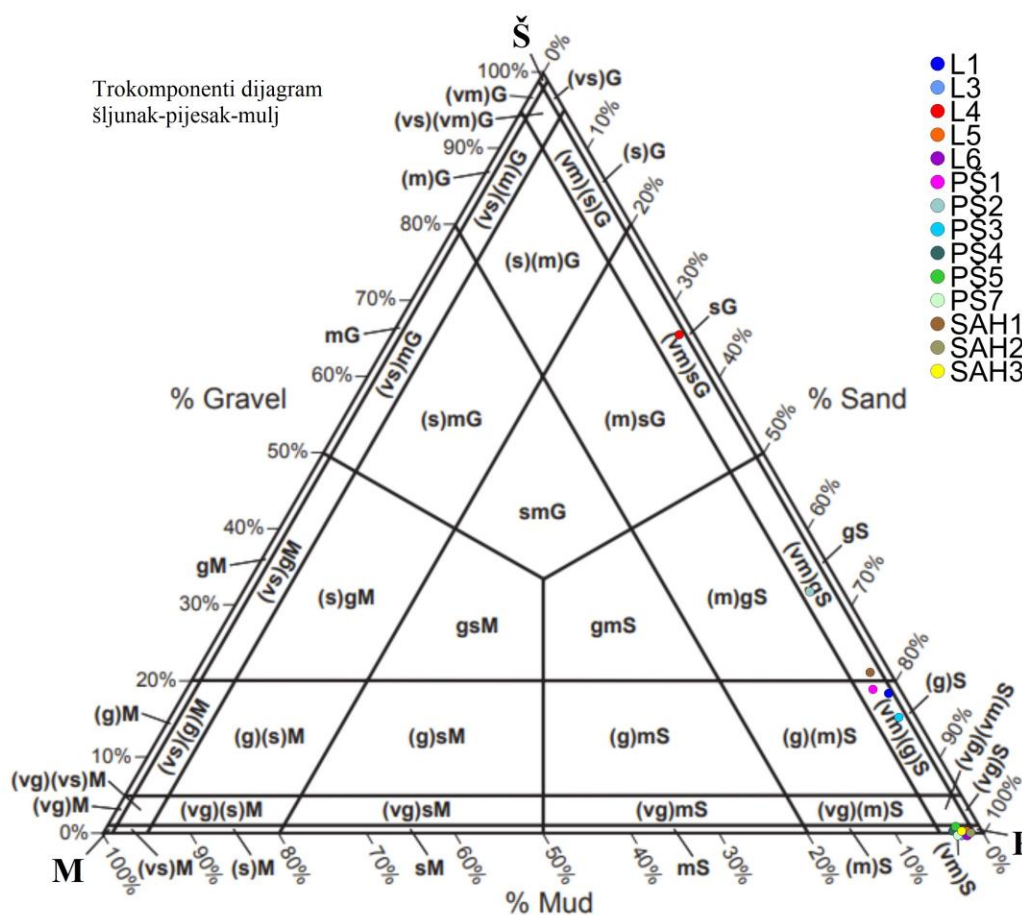
Nakon granulometrijske analize i vaganja, mase uzoraka su unesene u tablicu. Zatim je za svaku frakciju određen maseni udio kao postotak i unesen u tablicu 2.

**Tablica 2** Maseni udjeli frakcija šljunka, pijeska i mulja u uzorcima. Uzorcima u tablici je dana boja s obzirom na dubinu mora s koje su prikupljeni: Bijela = 0 m, Žuta = 0,5 m, narančasta = 1 m i plava = 3 m.

	PŠ 1	PŠ 2	PŠ 3	PŠ 4	PŠ 5	PŠ 7	L 1	L 3	L 4	L 5	L 6	SAH 1	SAH 2	SAH 3
> 4 mm	4,50%	18,96%	9,62%	0%	0%	0%	9,30%	0%	29,62%	0%	0%	19,34%	0%	0%
2 mm	14,72%	13,26%	6,02%	0,44%	0,74%	0%	8,74%	0%	36,12%	0,24%	0%	1,94%	0%	0%
1 mm	34,84%	15,66%	9,02%	0,10%	4,28%	0%	14,36%	0,28%	23,24%	0,68%	0%	0,34%	0%	0,10%
0,5 mm	39,20%	23,46%	21,68%	0,26%	31,32%	0%	36,96%	1,18%	7,92%	5,06%	0,56%	0,46%	0,54%	0,64%
0,25 mm	3,60%	17,32%	50,04%	14,54%	32,80%	12,00%	26,88%	38,38%	0,66%	52,78%	13,62%	9,10%	12,24%	13,82%
0,125 mm	0,08%	6,36%	1,48%	70,94%	26,82%	82,42%	1,64%	51,54%	0,32%	37,88%	79,44%	61,56%	80,38%	76,92%
0,063 mm	0,02%	1,40%	0,06%	10,02%	1,44%	2,42%	0,02%	5,90%	0,20%	1,28%	4,00%	4,42%	5,00%	6,04%
< 0,063 mm	3,04%	3,58%	2,08%	3,70%	2,48%	3,16%	2,10%	2,72%	1,92%	2,08%	2,38%	2,84%	1,84%	2,48%

Izračunati maseni udjeli su zatim uneseni u trokomponentni dijagram šljunak-pijesak-mulj (BLOTT & PYE, 2012) kako bi definirali svaki pojedini uzorak (slika 11). Šljunak predstavlja čestice veće od 2 mm, pijesak čestice manje od 2 mm i veće od 0,063 mm dok mulj čestice manje od 0,063 mm.





Slika 11 Trokomponentni dijagram šljunak-pijesak-mulj preuzet iz BLOTT & PYE (2012.) s rezultatima svakog uzorka.

## 5.2. Rezultati odvajanja čestica na temelju gustoće

Nakon otklanjanja karbonatne i organske tvari svaki uzorak je izvagan na analitičkoj vagi kako bi se odredio postotak izgubljene mase, tj. postotak mase karbonatne i organske tvari u uzorku (tablica 3).

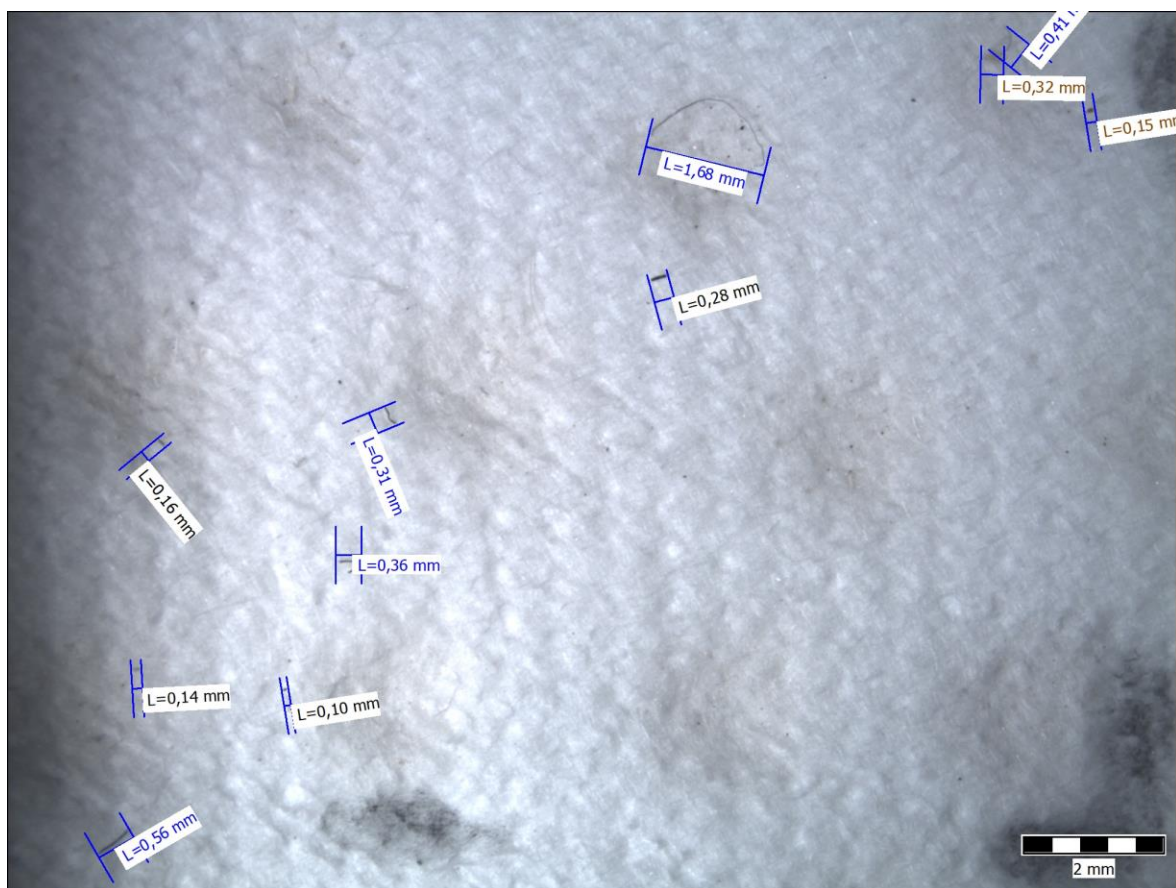
**Tablica 3** Postotak izgubljene mase za svaki uzorak nakon otklanjanja karbonatne i organske tvari. Uzorcima u tablici je dana boja s obzirom na dubinu mora s koje su prikupljeni: Bijela = 0 m, Žuta = 0,5 m, narančasta = 1 m i plava = 3 m.

Uzorak	% Izgubljene mase
PŠ 1	86,50
PŠ 2	74,22
PŠ 3	67,28
PŠ 4	19,57
PŠ 5	40,83
PŠ 7	5,41
SAH 1	5,38
SAH 2	4,5
SAH 3	4,91
L 1	52,21
L 3	17,33
L 4	73,03
L 5	19,18
L 6	11,10

### 5.3. Rezultati nakon proučavanja pod lupom

Filter papir svakog uzorka je uslikan pod povećanjem od 6,5x, a na dijelu uzorka i dodatno povećanje od 40x, zatim su čestice mikroplastike označene i katalogizirane pomoću Quick Photo Camera programa. Mikroplastika u uzorcima je katalogizirana na osnovu oblika i boje. Na osnovu oblika razlikovane su čestice i niti, dok na osnovu boje je razlikovana crna, crvena, smeđa i sivo/bijela mikroplastika.

Mikroplastika veća od 0,1 mm je proučavana na reprezentativnoj četvrtini uzorka (slika 12) stoga se izbrojene čestice i niti množe s 4 kako bi dobili ukupan broj mikroplastike u uzorku.



**Slika 12** Dio uzorka SAH 3 pod povećanjem 6,5x s označenim česticama i nitima mikroplastike većim od 0,1 mm.

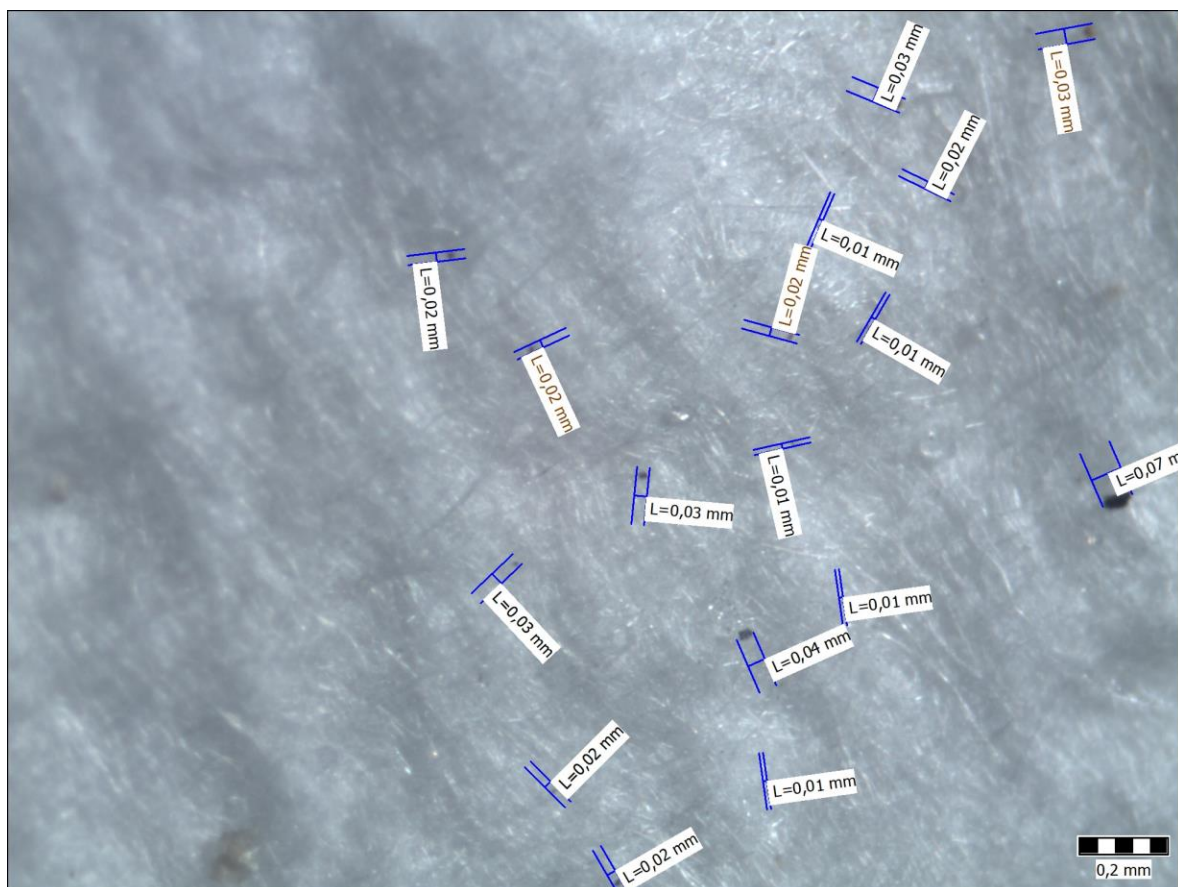
Broj čestica i niti mikroplastike većih od 0,1 mm po 10 g uzorka za svaki uzorak je prikazan u tablici 4.

**Tablica 4** Približan broj komada mikroplastike u uzorku većih od 0,1 mm razvrstan na osnovu boja po 10 grama uzorka. Posljednji red prikazuje ukupan broj po gramu uzorka. Uzorcima u tablici je dana boja s obzirom na dubinu mora s koje su prikupljeni: Bijela = 0 m, narančasta = 1 m i plava = 3 m.

	PŠ 1		PŠ 2		PŠ 5		PŠ 7		SAH 1		SAH 3		L 1		L 3	
	Čestice	Niti	Čestice	Niti	Čestice	Niti	Čestice	Niti	Čestice	Niti	Čestice	Niti	Čestice	Niti	Čestice	Niti
Crne	116	44	268	24	1012	48	160	64	92	52	48	52	80	36	224	28
Crvene	0	0	0	8	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	20	8
Smeđe	132	0	120	0	100	4	12	0	56	4	28	0	0	0	128	0
Sivo/Bijele	32	0	8	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	116	0
Ukupno/g	28	4,4	39,6	3,4	112	5,2	17,2	7,2	14,8	5,6	7,6	5,2	8	3,6	48,8	3,6



Čestice i niti mikroplastike manje od 0,1 mm su uslikane pod povećanjem od 40x i obrađene na jednak način kao i one veće od 0,1 mm (slika 13).



**Slika 13** Dio uzorka PŠ 1 pod povećanjem 40x s označenim česticama mikroplastike manjim od 0,1 mm.

Broj čestica manjih od 0,1 mm se množi s 335,39 zbog omjera površine uslikane slike i površine cijelog filter papira (površina uslikane slike je 4,742 mm<sup>2</sup> dok je promjer filter papira 45 mm a površina 1590,43 mm<sup>2</sup>), tj. površina uslikane slike je 0,3 % površine filter papira. Broj čestica i niti mikroplastike manjih od 0,1 mm po 10 g uzorka za svaki uzorak je prikazan u tablici 5. Kod komada mikroplastike ovih veličina, pri korištenom povećanju, nemoguće je razlučiti čestice od niti, stoga su svi komadi brojeni kao čestice.

**Tablica 5** Približan broj komada mikroplastike u uzorku manjih od 0,1 mm razvrstan na osnovu boja po 10 grama uzorka. Posljednji red prikazuje ukupan broj po gramu uzorka. Uzorcima u tablici je dana boja s obzirom na dubinu mora s koje su prikupljeni: Bijela = 0 m, narančasta = 1 m i plava = 3 m.

	PŠ 1		PŠ 2		PŠ 5		PŠ 7		SAH 1		SAH 3		L 1		L 3	
	Čestice	Niti	Čestice	Niti	Čestice	Niti	Čestice	Niti	Čestice	Niti	Čestice	Niti	Čestice	Niti	Čestice	Niti
Crne	4695	0	18111	0	68755	0	26496	0	15428	0	6372	0	6708	0	7379	0
Crvene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Smeđe	1006	0	1006	0	335	0	1006	0	1677	0	0	0	0	0	2348	0
Sivo/Bijele	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2683	0
Ukupno/g	570,1	0	1911,7	0	6909	0	2750,2	0	1710,5	0	637,2	0	670,8	0	1241	0

#### 5.4. Rezultati kalcimetrijske analize uzoraka

Nakon provedene kalcimetrijske analize računa se srednja vrijednost udjela karbonata za svaki uzorak. Srednje vrijednosti za svaki uzorak su prikazane u tablici 6.

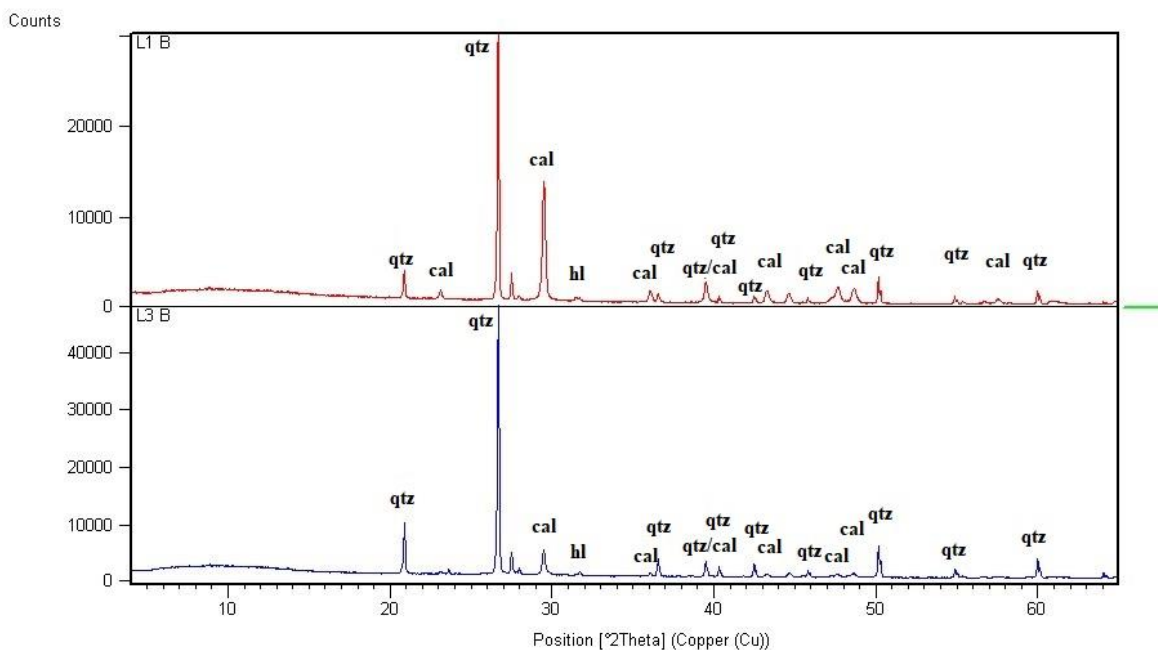
**Tablica 6** Udio karbonata u uzorcima. Uzorcima u tablici je dana boja s obzirom na dubinu mora s koje su prikupljeni: Bijela = 0 m, Žuta = 0,5 m, narančasta = 1 m i plava = 3 m.

Uzorak	% CaCO <sub>3</sub>
PŠ 1	88,71 ± 0,89
PŠ 2	63,03 ± 0,28
PŠ 3	56,43 ± 2,19
PŠ 4	18,21 ± 0,22
PŠ 5	41,33 ± 1,73
PŠ 7	5,38 ± 0,22
SAH 1	3,3 ± 0,03
SAH 2	4,52 ± 0,5
SAH 3	4,52 ± 1,08
L 1	54,04 ± 2,78
L 3	14,42 ± 0,65
L 4	75,51 ± 0,36
L 5	15,93 ± 0,43
L 6	11,99 ± 0,07

## 5.5. Rezultati rendgenske analize uzoraka

Nakon snimanja rendgenom, rendgenogram svakog uzorka je obrađen programom Xpert Highscore Plus. Kako bi odredili mineralni sastav uzoraka, potrebno je interpretirati i utvrditi podudaranje maksimuma prikazanih na rendgenogramu s maksimumima poznatih minerala iz baze podataka. Neke od maksimuma minerala program sam spoji s mineralima, uglavnom onim vrlo čestim u okolišu (kvarc, kalcit, halit), dok je neke potrebno samostalno odrediti.

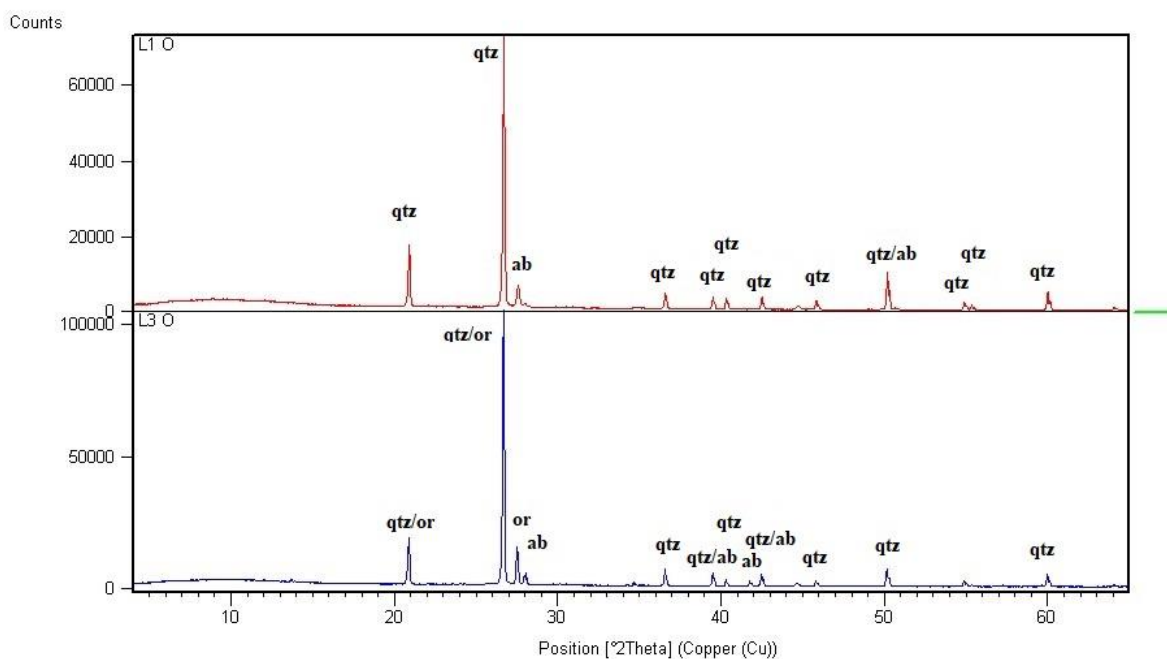
Sveukupno najčešći minerali u uzorcima uzetima iz ukupne mase originalnog uzorka (bulk, B) su kvarc, kalcit i halit (slika 14). Po jačini i učestalosti intenziteta na slici je vidljivo da je u uzorku najviše kvarca, onda kalcita, a najmanje halita. Također je primjetno smanjenje intenziteta maksimuma kalcita u uzorku L 3. Maksimum na poziciji  $27,5^{\circ}2\theta$  pripada neidentificiranom mineralu.



**Slika 14** Usporedba bulk uzoraka iz uvale Livačina iz različitih dubina mora s označenim mineralima na pripadajućim maksimumima. Kratice preuzete iz WHITNEY & EVANS (2010).

Dominantan mineral u uzorcima koju su ostali kao ostatak (O) nakon odvajanja na temelju gustoće je kvarc. Uz kvarc se u nekim uzorcima mogu pronaći minerali kao što su

albit, ortoklas, anortoklas (slika 15). Intenziteti maksimuma su slični kod oba uzorka uz blagi pad intenziteta kod maksimuma na poziciji  $20,9^{\circ}2\theta$  i na poziciji  $50,1^{\circ}2\theta$ .



**Slika 15** Usporedba uzoraka ostatka iz uvale Livačina iz različitih dubina mora s označenim mineralima na pripadajućim maksimumima. Kratice preuzete iz WHITNEY & EVANS (2010).

Kako bi usporedili uzorke iz sve tri uvale, izabran je uzorak s reprezentativnim maksimumima za svaku lokaciju. Usporedba uzoraka iz sve tri uvale uzetih od ukupne mase originalnog uzorka (bulk, B) vidljiva je u prilogu 1, dok je usporedba uzoraka iz sve tri uvale uzetih od ostatka (O) nakon odvajanja na temelju gustoće vidljiva u prilogu 2.

## 6. Rasprava

Rezultati granulometrijske analize, tablica 2 i slika 11, pokazuju da su većina prikupljenih uzoraka pijesci uz uglavnom nizak postotak mulja i/ili šljunka, izuzev uzorak L4 koji je vrlo slabo muljeviti pjeskoviti šljunak. Jedan od razloga tomu su eocenski lapori i pješčenjaci (MAMUŽIĆ, 1962; MAMUŽIĆ i MILAN, 1973; MARJANAC i MARJANAC, 2009), koji su vrlo česti na poluotoku Loparu, i čijim trošenjem je nastao sediment proučavanih plaža i potplimnih zona. San Marino lapori sadrže približno 30 % praha i gline (MAMUŽIĆ i MILAN, 1973), dok Loparski pješčenjaci, sadrže 40,8 % pijeska i 21,48 % praha i gline (MAMUŽIĆ, 1962). Iako izvorišne stijene sadrže znatnu količinu praha i gline, u sedimentima uvala ima ih malo, od 1,84 % u uzorku SAH 2 do 3,7 % u uzorku PŠ 4. Razlog je energija mora, koja je u ovim uvalama relativno mala, ali i dalje dovoljna da podigne sitne čestice praha i gline iz sedimenta u suspenziju i odnese ih prema dubljem moru (KOMAR, 1998).

Na svakoj od tri uvale je moguće uočiti da su uzorci prikupljeni sa dubina mora od 0,5 m – 3 m bolje sortirani i da imaju veći postotak sitnog pijeska od uzoraka prikupljenih sa 0 m (uz iznimku uzorka PŠ 2). Razlog tomu je što se ti sedimenti nalaze iznad valne baze te zato valovi utječu na dno i odnose sitnije čestice u suspenziju, a na dnu ostaje dominantno pjeskoviti sediment (KOMAR, 1998). Na osnovu granulometrijskog sastava moglo bi se zaključiti da uvale Podšilo i Livačina imaju podjednaku prosječnu energiju vode, dok je uvala Sahara bolje zaštićena od utjecaja mora i ima znatno nižu energiju vode.

Rendgenska analiza sedimenta koji je ostao kao ostatak nakon odvajanja čestica na temelju gustoće pokazuje da je dominantan mineral u svim uzorcima kvarc (slika 14, prilog 3, prilog 4), kao i kod većine pješčanih plaža u svijetu (KOMAR, 1998), zahvaljujući svojoj otpornosti na trošenje. U uzorcima bulka još dolaze i karbonatni minerali, najčešće kalcit (slika 14, prilog 5, prilog 6), rjeđe aragonit (prilog 3), te evaporitni mineral halit (slika 14, prilog 5, prilog 6), nastao tijekom sušenja uzoraka. Kod uzoraka koji su ostali kao ostatak nakon odvajanja čestica na temelju gustoće, osim kvarca, možemo naći feldspate kao što su albit i ortoklas (slika 15, prilog 3, prilog 4). Ovi minerali su česti u raznim kontinentalnim stijenama, i kao kvarc, otporni na razne vrste trošenja, stoga su također česti minerali u sedimentima plaža (KOMAR, 1998).

Rezultati nakon otapanja karbonata i organske tvari (tablica 3) su približni rezultatima kalcimetrijske analize (tablica 6), iz čega možemo zaključiti da je količina

organske tvari u uzorcima zanemariva naspram količine karbonata. Sedimenti iz uvala Podšilo i Livačina pokazuju različite količine karbonata, od visoko karbonatnih ( $88,71 \pm 0,89$  %  $\text{CaCO}_3$  za PŠ 1;  $75,51 \pm 0,36$  %  $\text{CaCO}_3$  za L 4) do nisko karbonatnih ( $5,38 \pm 0,22$  %  $\text{CaCO}_3$  za PŠ 7;  $11,99 \pm 0,07$  %  $\text{CaCO}_3$  za L 6), s tendencijom smanjivanja količine karbonata s povećanjem dubine mora, dok uzorci iz uvale Sahara imaju vrlo malu količinu karbonata (od  $3,3 \pm 0,03$  za SAH 1 do  $4,52 \pm 1,08$  za SAH 3). Karbonati prisutni u uzorcima mogu djelomično doći trošenjem iz San Marino lapora koji sadrže 70 %  $\text{CaCO}_3$  i Loparskih pješčenjaka koji sadrže 37,75 %  $\text{CaCO}_3$  (MAMUŽIĆ, 1962), a djelomično od recentnih foraminifera, gastropoda i školjkaša.

U usporedbi s ostalim proučavanim uvalama, uvala Podšilo ima najveću zagađenost česticama mikroplastike većih od 0,1 mm (tablica 4) i manjih od 0,1 mm (tablica 5), a srednju zagađenost nitima. Prosječna brojnost komada mikroplastike većih od 0,1 mm u uzorcima iz ove uvale iznosi  $49,2 \pm 37,11$  čestica/g i  $5,05 \pm 1,4$  niti/g. Prosječna brojnost čestica mikroplastike manjih od 0,1 mm u uzorcima iz ove uvale iznosi  $3035,25 \pm 2367,83$  čestica/g. Kod točne brojnosti čestica mikroplastike u uzorku PŠ 5 postoji mogućnost pogreške jer su čestice mnogobrojne i mjestimično sljepljenje pa je teško razlučiti pojedine čestice (prilog 7 i prilog 8).

Uspoređena s ostalim proučavanim uvalama, uvala Livačina ima srednju zagađenost česticama mikroplastike većih od 0,1 mm, a najmanju zagađenost nitima (tablica 4) i česticama manjim od 0,1 mm (tablica 5). Prosječna brojnost komada mikroplastike većih od 0,1 mm u uzorcima iz ove uvale iznosi  $28,4 \pm 20,4$  čestica/g i  $3,6 \pm 0$  niti/g. Prosječna brojnost čestica mikroplastike manjih od 0,1 mm u uzorcima iz ove uvale iznosi  $955,9 \pm 285,1$  čestica/g.

U usporedbi s ostalim izučavanim uvalama, uvala Sahara ima najmanju zagađenost česticama mikroplastike većih od 0,1 mm (tablica 4), srednju zagađenost česticama mikroplastike manjih od 0,1 mm (tablica 5), a najveću zagađenost nitima. Prosječna brojnost komada mikroplastike većih od 0,1 mm u uzorcima iz ove uvale iznosi  $11,2 \pm 3,6$  čestica/g i  $5,4 \pm 0,2$  niti/g. Prosječna brojnost čestica mikroplastike manjih od 0,1 mm u uzorcima iz ove uvale iznosi  $1173,85 \pm 536,65$  čestica/g.

S obzirom na dubine mora s kojih su prikupljeni uzorci nije jasno uočljiv nikakav trend za čestice mikroplastike veće od 0,1 mm, niti, kao ni za čestice mikroplastike manje od 0,1 mm.

Najviše čestica većih od 0,1 mm je prisutno u uzorku PŠ 5 (112 čestica/g), dok je najviše niti većih od 0,1 mm prisutno u uzorku PŠ 7 (7,6 niti/g). Najmanje čestica većih od 0,1 mm je prisutno u uzorku L 1 (8 čestica/g), dok je najmanje niti prisutno u uzorku PŠ 2 (3,4 niti/g). Najviše čestica manjih od 0,1 mm je prisutno u uzorku PŠ 5 (6909 čestica/g) dok je najmanje čestica manjih od 0,1 mm je prisutno u uzorku PŠ 1 (570,1 čestica/g).

Boja mikroplastike može ukazivati na njeno porijeklo. Crne čestice ukazuju na industrijsko porijeklo (BLAŠKOVIĆ et al., 2016); bijele, bezbojne i sive na ostatke opreme korištene u ribolovu ili kozmetiku; dok obojane čestice često ukazuju na komunalne otpadne vode (WANG et al., 2017). Ukupno u svim obrađenim uzorcima kod komada mikroplastike (čestice i niti) većih od 0,1 mm najčešća boja po brojnosti je crna s 74,78 % komada, slijede smeđa s 18,60 %, siva/bijela s 5,22 % i crvena s 1,40 %. Kod čestica mikroplastike manjih od 0,1 mm najčešća boja po brojnosti je crna s 93,86 % komada, slijedi smeđa s 4,50 % te siva/bijela s 1,64 %. Crvene čestice manje od 0,1 mm nisu uočene.

Ovi rezultati pokazuju znatno veću zagađenost mikroplastikom nego BLAŠKOVIĆ et al. (2016) u parku prirode Telašćica gdje je najveća zagađenost bila 469 komada mikroplastike manjih od 5 mm po kilogramu (slika 16). Od sveukupne pronađene plastike u ovim uzorcima, niti su činile 90 %.

BARRET et al. (2020) u studiji na dubokomorskim uzorcima skupljenima u Velikom australskom zaljevu pronalaze najviše 13600 komada mikroplastike većih od 0,05 mm po kilogramu sedimenta (slika 16).

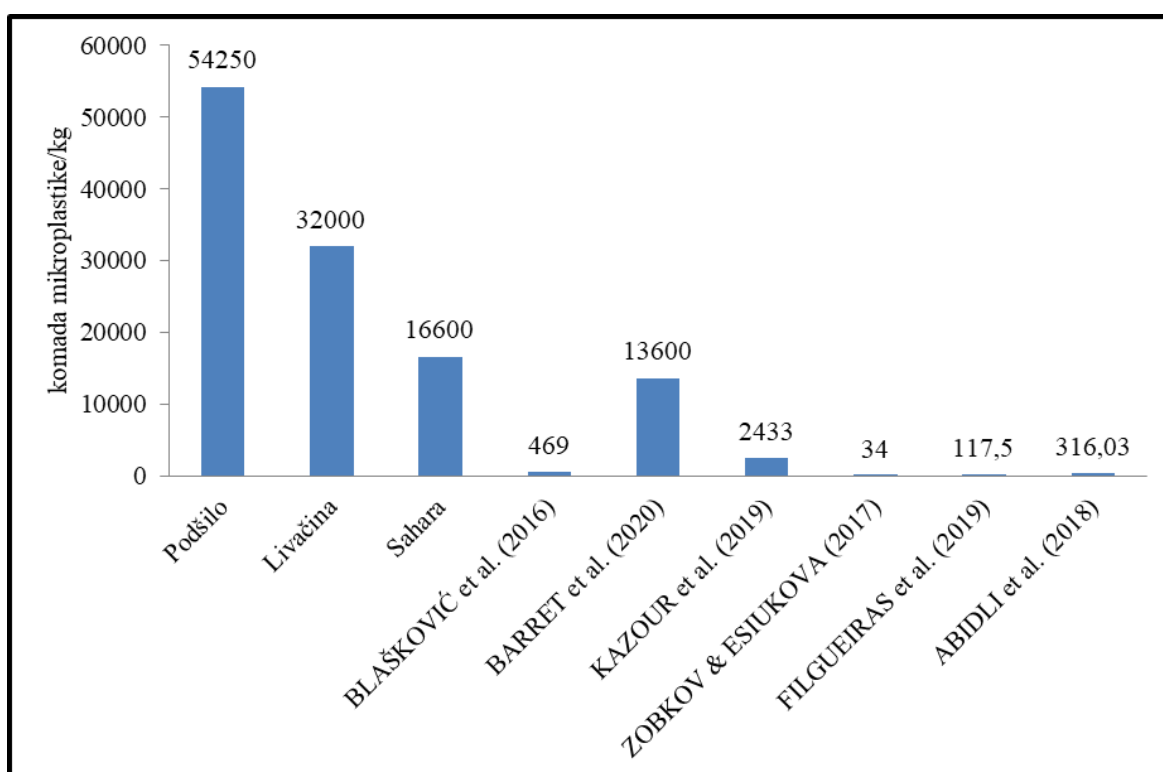
KAZOUR et al. (2019) pronalaze  $2433 \pm 2000$  komada mikroplastike veličine između 1 mm i 5 mm po kilogramu uz libanonsku obalu (slika 16).

ZOBKOV & ESIUKOVA (2017) u obalnim sedimentima Baltičkog mora na dubinama od 3 do 30 metara pronalaze prosječno  $34 \pm 10$  komada plastike od 0,2 do 5 mm po kilogramu (slika 16).

FILGUEIRAS et al. (2019) u sedimentima uz mediteranski dio španjolske obale na dubinama od 43 do 154 metra pronalaze prosječno 117,5 komada mikroplastike po kilogramu veličine od 0,5 do 5 mm (slika 16). Od pronađene mikroplastike, 82 % pripadalo je nitima, dok je ostatak (18 %) pripadao raznim vrstama čestica. Najbrojnije boje kod niti su bile: bez boje > plava > crna > crvena > zelena > žuta; a kod čestica: plava > bez boje > crna = zelena = crvena > smeđa.

ABIDLI et al. (2018) u lagunskim i obalnim sedimentima uz tunišku obalu na dubinama do 20 metara pronalaze prosječnu koncentraciju od  $316,03 \pm 123,74$  komada mikroplastike po kilogramu veličine od 0,1 do 5 mm (slika 16). Najčešće su niti kao i kod FILGUEIRAS et al. (2019) s raspodjelom boja: crna > bez boje > bijela > crvena > plava > zelena. Kod čestica raspodjela boja ima redoslijed: plava > bijela > bez boje > crvena > zelena > žuta > crna.

Kao što je moguće vidjeti iz dobivenih rezultata u usporedbi s drugim istraživanjima, koncentracija mikroplastike u sedimentima uvala Podšilo, Livačina, i Sahara je vrlo visoka (slika 16). Iako je turizam definitivno izvor zagađenja na hrvatskoj obali, veliki postotak crnih čestica pronađen u uzorcima mogao bi ukazivati i na zagađenje industrijskog porijekla (BLAŠKOVIĆ et al., 2016). Kretanje mikroplastike ovisi o puno faktora i vrlo je nepredvidivo, stoga se mikroplastika najčešće ne taloži na mjestu nastanka, i ponekad je onečišćenje veće u zaštićenim područjima (ALOMAR et al., 2016).



**Slika 16** Graf s brojnostima komada mikroplastike po kilogramu u uvalama Podšilo, Livačina, Sahara i vrijednostima iz navedenih radova. Broj komada mikroplastike uvala Podšilo, Livačina i Sahara je zbroj čestica i niti većih od 0,1 mm pomnožen s 1000.



## 7. Zaključak

Uzorci iz tri uvale (Podšilo, Sahara i Livačina) na poluotoku Loparu, otok Rab, uglavnom granulometrijski pripadaju pijescima uz niske postotke mulja i/ili šljunka, uz iznimku uzorka L 4 koji je vrlo slabo muljeviti pjeskoviti šljunak. Mineralni sastav sedimenata devet uzoraka je dominantno kvarcni, dok pet uzoraka sadrži više od 50 % kalcita. Nakon kvarca i kalcita, najčešći minerali su feldspati. Navedeni mineralni sastav rezultat je trošenja okolnih stijena, eocenskih lapora i pješčenjaka, dostatne dinamike mora, i recentnog taloženja karbonatnih organizama.

Rezultati analize mikroplastike pokazuju da su sve tri uvale vrlo opterećene mikroplastikom. Najveću zagađenost česticama mikroplastike većih i manjih od 0,1 mm ima uvala Podšilo ( $>0,1 \text{ mm} = 49,2 \pm 37,11 \text{ čestica/g}$ ;  $<0,1 \text{ mm} = 3035,25 \pm 2367,83 \text{ čestica/g}$ ), dok najveću zagađenost nitima ima uvala Sahara ( $5,4 \pm 0,2 \text{ niti/g}$ ). Dubina mora nije utjecala na brojnost komada mikroplastike. Najčešća boja mikroplastike u uzorcima je crna, a slijede ju smeđa, siva/bijela i crvena.

Glavni izvor zagađenja mikroplastikom u proučavanim uvalama je turizam, a veliki broj crnih čestica mogao bi dodatno ukazivati na zagađenje industrijskog porijekla.

## 8. Literatura

ABIDLI, S., ANTUNES, J., FERREIRA, J., LAHBIB, Y., SOBRAL, P., TRIGUI EL MENIF, N., (2018): Microplastics in sediments from the littoral zone of the north Tunisian coast (Mediterranean Sea). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 205, 1 – 9.

ALOMAR, C., ESTARELLAS, F., DEUDERO, S. (2016) Microplastics in the Mediterranean Sea: deposition in coastal shallow sediments, spatial variation and preferential grain size. *Marine Environmental Research*, 115, 1 – 10.

ANDRADY, A.L. (editor) (2022): *Plastics and the ocean: Origin, characterization, fate, and impacts*, John Wiley & Sons, pp. 484 str. ISBN 9781119768401

ANDRADY, A.L., BARNES, P., BORNMAN, J., GOUIN, T., MADRONICH, S., WHITE, C.C., ZEPP, R.G., JANSES, M., (2022): Oxidation and fragmentation of plastics in a changing environment; from UV-radiation to biological degradation. *Science of The Total Environment*. 851. 158022.

BARRETT, J., CHASE, Z., ZHANG, J., HOLL, M.M.B., WILLIS, K., WILLIAMS, A., HARDESTY, B.D., WILCOX, C. (2020): Microplastic pollution in deep-sea sediments from the Great Australian Bight. *Frontiers in Marine Science*, 7, 1 – 10.

BARNES, D.K.A., GALGANI, F., THOMPSON, R.C., BARLAZ, M. (2009): Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364, 1985 – 1998.

BETTS, K. (2008): Why small plastic particles may pose a big problem in the oceans. *Environmental Science & Technology*, 42, 8995.

BLAŠKOVIĆ, A., FASTELLI, P., ČIŽMEK, H., GUERRANTI, C., RENZI, M. (2016): Plastic litter in sediments from the Croatian marine protected area of the natural park of Telašćica bay (Adriatic Sea). *Marine Pollution Bulletin*, 114(1), 583 – 586.

BLOTT, S., PYE, K. (2012): Particle size scales and classification of sediment types based on particle size distributions: Review and recommended procedures. *Sedimentology*, 59, 2071 – 2096.

BORRELLE, S.B., RINGMA, J., LAW, K.L., MONNAHAN, C.C., LEBRETON, L., MCGIVERN, A., MURPHY, E., JAMBECK, J., LEONARD, G.H., HILLEARY, M.A., ERIKSEN, M., POSSINGHAM, H. P., DE FROND, H., GERBER, L.R., POLIDORO, B.,

- TAHIR, A., BERNARD, M., MALLOS, N., BARNES, M., ROCHMAN, C.M. (2020): Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution. *Science*, 369, 1515 LP – 1518.
- 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). *Environmental Science & Technology*, 42, 5026 – 5031.
- BROWNE, M.A., GALLOWAY, T.S., THOMPSON, R.C. (2010): Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines. *Environmental Science & Technology*, 44, 3404 – 3409.
- CLAESSENS, M., MEESTER, S.D., LANDUYT, L.V., CLERCK, K.D., JANSSEN, C.R. (2011): Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 2199 – 2204.
- COLE, M., LINDEQUE, P., HALSBAND, C., GALLOWAY, T.S. (2011): Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 62 (12), 2588 – 2597.
- CÓZAR, A., ECHEVARRÍA, F., GONZÁLEZ-GORDILLO, J.I., IRIGOIEN, X., UBEDA, B., HERNÁNDEZ-LEÓN, S., PALMA, A.T., NAVARRO, S., GARCÍA-DE-LOMAS, J., RUIZ, A., FERNÁNDEZ-DE-PUELLES, M.L., DUARTE, C.M. (2014): Plastic debris in the open ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 2014 Jul 15;111(28), 10239 – 10244.
- EGGER, M., SULU-GAMBARI, F., LEBRETON, L. (2020): First evidence of plastic fallout from the North Pacific Garbage Patch. *Scientific Reports*, 10, 7495.
- ERIKSEN, M., LEBRETON, L., CARSON, H., THIEL, M., MOORE, C., BORRERO, J., GALGANI, F., RYAN, P., REISSER, J., (2014): Plastic pollution in the World's Oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at Sea. *PLoS One*, 9(12).
- ERIKSEN, M., THIEL, M., LEBRETON, L. (2016): Nature of Plastic Marine Pollution in the Subtropical Gyres. U: TAKADA, H., KARAPANAGIOTI, H. (editors): *Hazardous Chemicals Associated with Plastics in the Marine Environment. The Handbook of Environmental Chemistry*, vol 78. Springer, Cham, 135 – 162.

- FAIRBROTHER, A.-W., HSUEH, H.-C., KIM, J.-H., JACOBS, D., PERRY, L., GOODWIN, D., WHITE, C., WATSON, S. (2019): Temperature and light intensity effects on photodegradation of high-density polyethylene. *Polymer Degradation and Stability*, 165, 153 – 160.
- FILGUEIRAS, A.V., GAGO, J., CAMPILLO, J.A., LEÓN, V.M. (2019): Microplastic distribution in surface sediments along the Spanish Mediterranean continental shelf. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 21264 – 21273.
- GARCÍA-ABDESLEM, J. (2020): On the seawater density in gravity calculations. *Journal of Applied Geophysics*, 183, 104200.
- GESAMP (2016): Sources, Fate and Effects of Microplastics in the Marine Environment : Part 2 of a global assessment. *GESAMP Reports and Studies*, (93), 220.
- GRAHAM, E.R., THOMPSON, J.T. (2009): Deposit-and suspension-feeding sea cucumbers (Echinodermata) ingest plastic fragments. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 368, 22 – 29.
- JAMBECK, J. R., GEYER, R., WILCOX, C., SIEGLER, T. R., PERRYMAN, M., ANDRADY, A., (2015): Plastic waste inputs from land into the ocean, *Science*, 347(6223): 768-771.
- JAMES, S. L., ROBINSON, A. J., ARNOLD, J. C., WORSLEY, D.A. (2013): The effects of humidity on photodegradation of poly(vinyl chloride) and polyethylene as measured by the CO<sub>2</sub> evolution rate. *Polymer Degradation and Stability*, 98(2), 508 – 513.
- KAZOUR, M., JEMAA, S., ISSA, C., KHALAF, G., AMARA, R. (2019): Microplastics pollution along the Lebanese coast (Eastern Mediterranean Basin): occurrence in surface water, sediments and biota samples. *Science of the Total Environment*, 696, 133933.
- KOMAR, P.D. (1998): *Beach Processes and Sedimentation*. 2nd Edition, Prentice-Hall, Englewood-Cliffs, pp. 544.
- KOOI, M., & KOELMANS, A.-A. (2019): Simplifying microplastic via continuous probability distributions for size, shape, and density. *Environmental Science & Technology Letters* 6, 551-557.
- LEBRETON, L., GREER, S., BORRERO, J. (2012): Numerical modelling of floating debris in the world's oceans. *Marine pollution bulletin*, 64, 653 – 661.

- LEBRETON, L., SLAT, B., FERRARI, F., SAINTE-ROSE, B., AITKEN, J., MARTHUSE, R., HAJBANE, S., CUNSOLO, S., SCHWARZ, A., LEVIVIER, A., NOBLE, K., DEBELJAK, P. MARAL, H., SCHÖNEICH-ARGENT, R., BRAMBINI, R., REISSER, J. (2018): Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Scientific Reports*, 8, 4666.
- LEBRETON, L., EGGER, M., SLAT, B. (2019): A global mass budget for positively buoyant macroplastic debris in the ocean. *Scientific Reports*, 9, 1 – 10.
- LOTS, F.A.E., BEHRENS, P., VIJVER, M.G., HORTON, A.A., BOSKER, T. (2017): A large-scale investigation of microplastic contamination: Abundance and characteristics of microplastics in European beach sediment. *Marine Pollution Bulletin*, 123(1-2), 219 – 226.
- MAMUŽIĆ, P. (1962): Novija geološka istraživanja otoka Raba. *Geološki Vjesnik* 15(1), 121 – 141.
- MAMUŽIĆ, P., MILAN, A. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100,000, Tumač za list Rab L33-144 Institut za Geološka Istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd, 5 – 39
- MARJANAC, T., MARJANAC, LJ. (2007): Sequence stratigraphy of Eocene incised valley clastics and associated sediments, Island of Rab, northern Adriatic Sea, Croatia. *Facies*, 53, 493 – 508.
- MARTURANO, V., CERRUTI, P., AMBROGI, V. (2016): Polymer additives. *Physical Sciences Reviews*, 2(6), 1 – 20.
- PLASTICS EUROPE (2022): *Plastics - The Facts 2022*. URL: <https://plasticseurope.org/>
- POSPÍŠIL, J., PILAŘ, J., BILLINGHAM, N. C., MAREK, A., HORÁK, Z., NEŠPŮREK, S. (2004): Impact of weathering on chemical and morphological changes in stabilized polymers. U: REICHART, T. (Ed): *Natural and Artificial Ageing of Polymers*. GUS, Germany, pp. 411 – 422.
- RYAN, P.G., MOORE, C.J., VAN FRANEKER, J.A., MOLONEY, C.L. (2009): Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364, 1999 – 2012.

SEWANDI DHARMADASA, W.L.S., ADRADY, A.L., KUMARA, P.B.T.P., MAES, T., GANGABADAGE, C. (2021): Microplastic pollution in Marine Protected Areas of Southern Sri Lanka. *Marine Pollution Bulletin*, 168, 112462.

THOMPSON, R.C., SWAN, S.H., MOORE, C.J., VOM SAAL, F.S. (2009): Our plastic age. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364, 1973 – 1976.

WANG, W., NDUNGU, A.W., LI, Z., WANG, J. (2017): Microplastics pollution in inland freshwaters of China: a case study in urban surface waters of Wuhan, China. *Science of the Total Environment*, 575, 1369 – 1374.

WELDEN, N., COWIE, P. (2017): Degradation of common polymer ropes in a sublittoral marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 118(1–2), 248 – 253.

WHITNEY, D., EVANS, B. (2010): Abbreviations for Names of Rock-Forming Minerals. *American Mineralogist*, 95, 185 – 187.

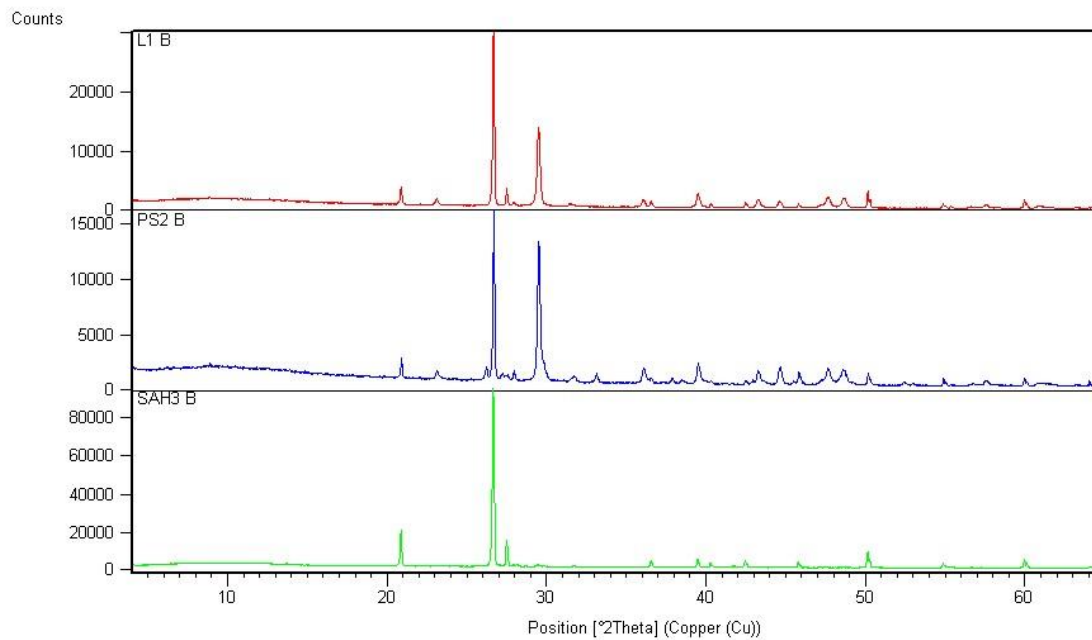
ZOBKOV, M., ESIUKOVA, E. (2017): Microplastics in Baltic bottom sediments: quantification procedures and first results. *Marine Pollution Bulletin*, 114, 724 – 732.

Internetski izvori:

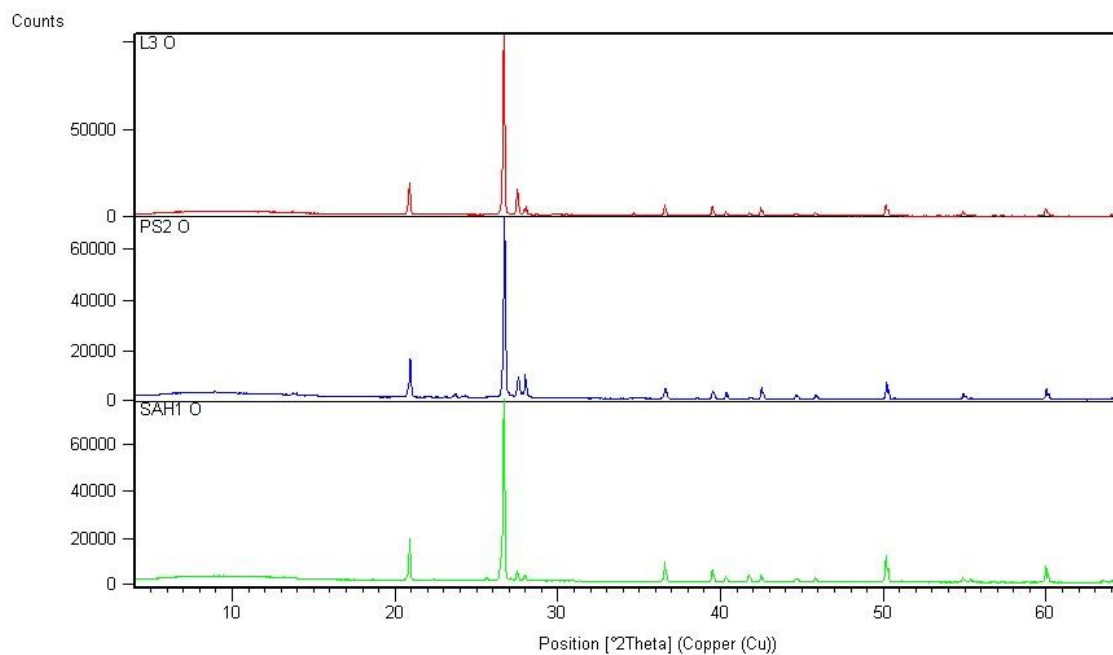
<https://croatia.eu/index.php?view=article&id=6&lang=1> 3.9.2023.

<https://earth.google.com/web/@44.83685063,14.75737139,2.59968728a,9470.45461702d,35y,-0h,0t,0r> 18.9.2023.

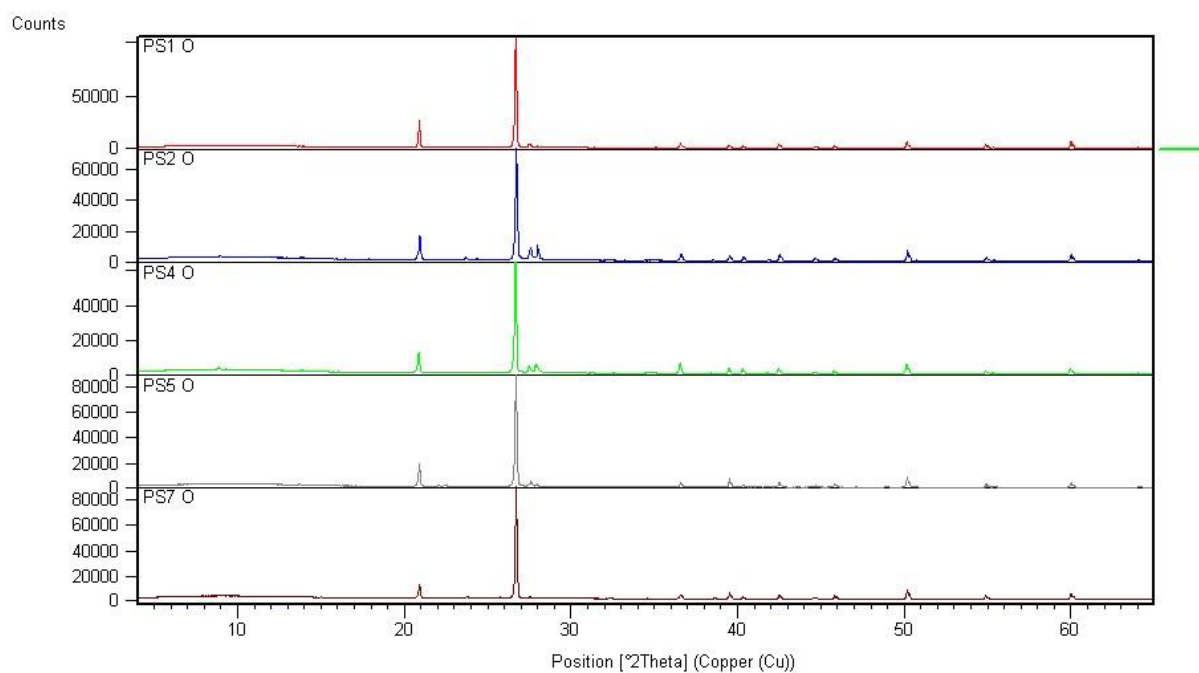
## 9. Prilozi



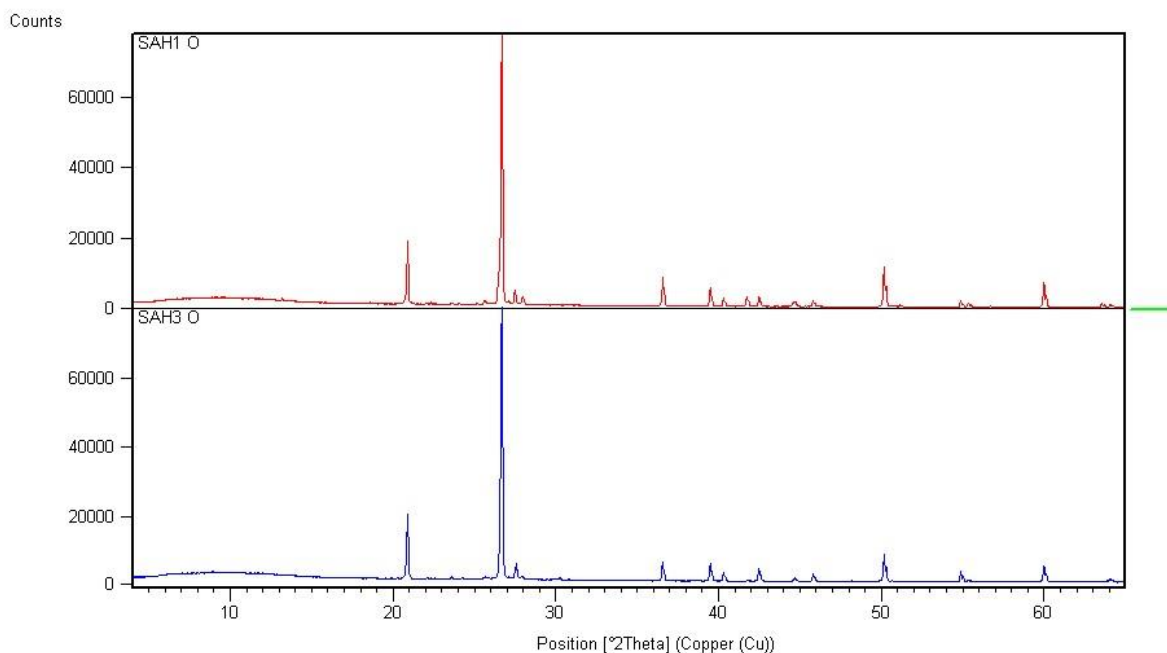
**Prilog 1** Usporedba uzoraka bulka sa sve tri uvale.



**Prilog 2** Usporedba uzoraka ostatka sa sve tri uvale.

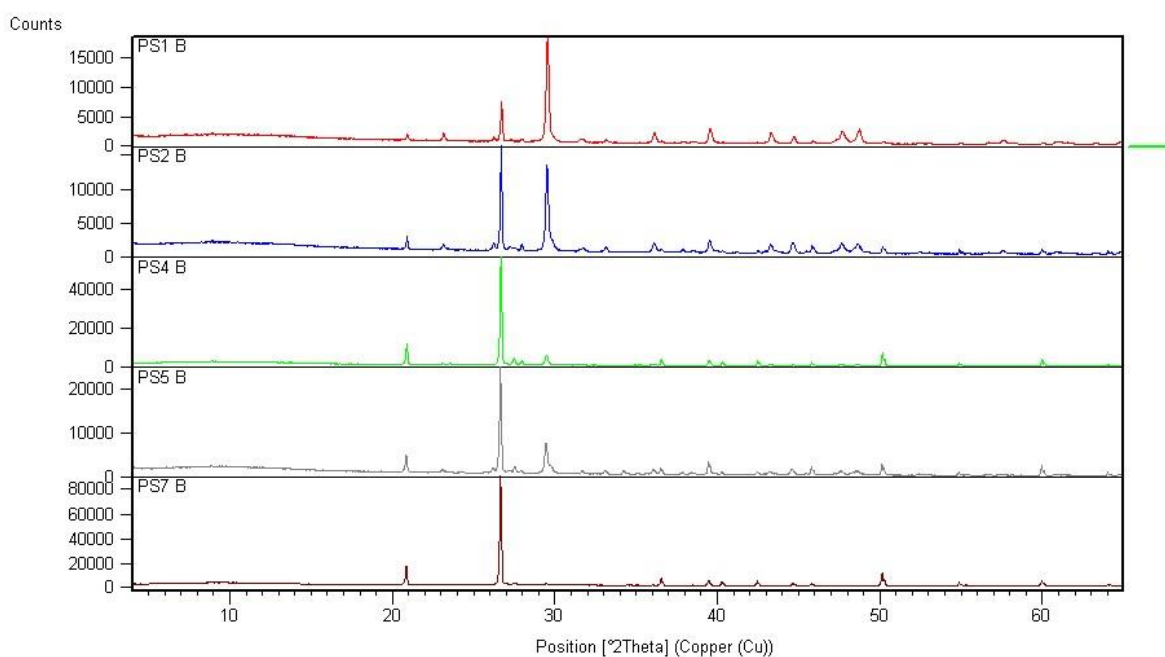


**Prilog 3** Usporedba uzoraka ostatka iz uvale Podšilo s različitim dubina mora.

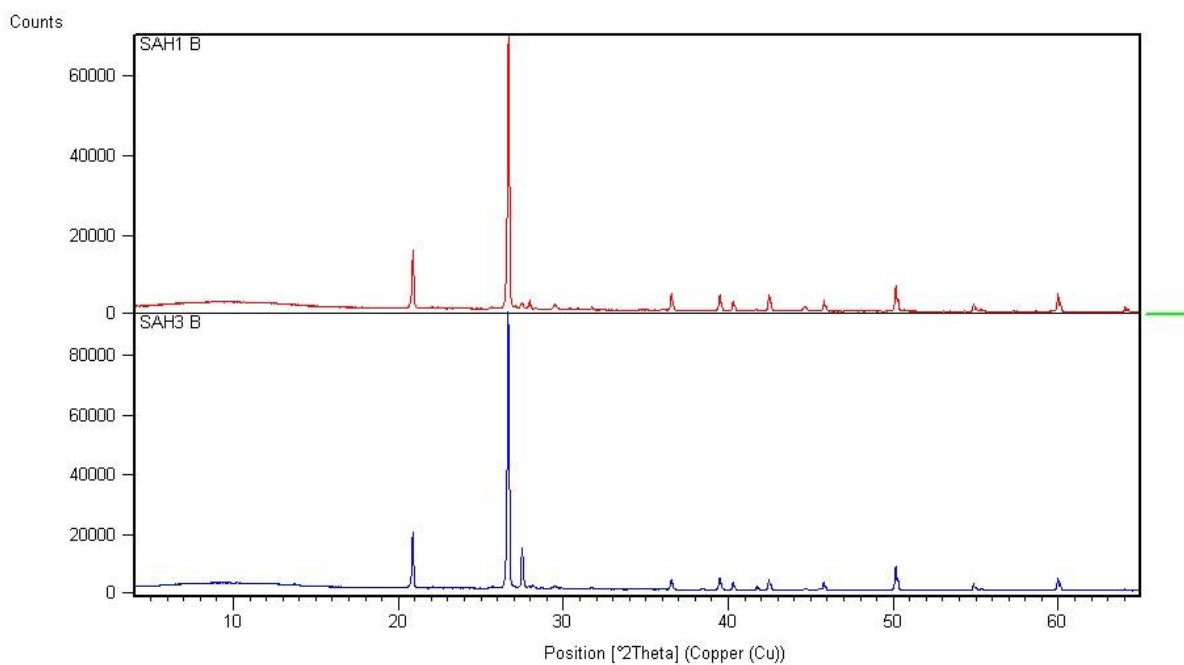


**Prilog 4** Usporedba uzoraka ostatka iz uvale Sahara s različitim dubina mora.





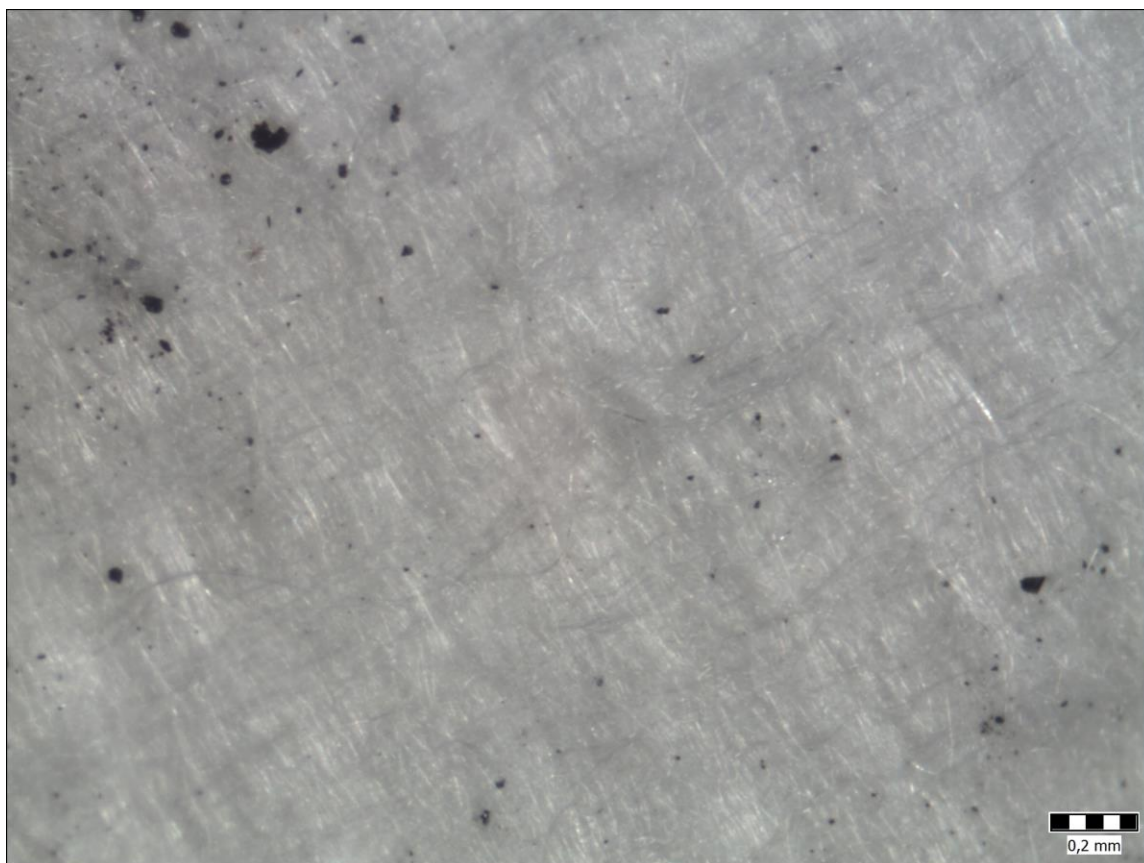
**Prilog 5** Usporedba bulk uzoraka iz uvale Podšilo s različitim dubina mora.



**Prilog 6** Usporedba bulk uzoraka iz uvale Sahara s različitim dubina mora



**Prilog 3** Dio uzorka PŠ 5 pod povećanjem od 6.5x.



**Prilog 4** Dio uzorka PŠ 5 pod povećanjem od 40x.