

# Proljetne promjene sedimentoloških i biogeomorfoloških karakteristika plaže Lojišće (Dugi Otok)

---

Vrabac, Iva

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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:217:810276>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-19**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Iva Vrabac

**PROLJETNE PROMJENE  
SEDIMENTOLOŠKIH I  
BIOGEOMORFOLOŠKIH KARAKTERISTIKA  
PLAŽE LOJIŠĆE (DUGI OTOK)**

Diplomski rad

Zagreb, 2022.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOLOŠKI ODSJEK

Iva Vrabac

**PROLJETNE PROMJENE  
SEDIMENTOLOŠKIH I  
BIOGEO MORFOLOŠKIH KARAKTERISTIKA  
PLAŽE LOJIŠĆE (DUGI OTOK)**

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

Mentor:  
doc. dr. sc. Kristina Pikelj

Zagreb, 2022.

## IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Ja, Iva Vrabac, studentica Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, s prebivalištem na adresi Velike Sredice 85, Bjelovar, OIB 31188872676, JMBAG 0119038485, ovim putem izjavljujem pod materijalnom i kaznenom odgovornošću da je moj diplomski rad pod naslovom: „Proljetne promjene sedimentoloških i biogeomorfoloških karakteristika plaže Lojišće (Dugi otok)“, isključivo moje autorsko djelo, koje je u potpunosti samostalno napisano uz naznaku izvora drugih autora i dokumenata korištenih u radu.

U Zagrebu, rujan 2022.

---

Potpis

## *Zahvale*

*Prije svega, veliko hvala mojoj mentorici, doc. dr. sc. Kristini Pikelj, koja mi je usadila ljubav prema geologiji mora i omogućila mi da kroz terenski rad pronađem sebe u geologiji. Hvala Vam na uloženom trudu, beskrajnom strpljenju i spremnosti za pomoć u svakom trenutku pisanja ovog rada zbog čega će mi cijeli ovaj proces pisanja ostati u lijepom sjećanju.*

*Zahvaljujem i svim profesorima, asistentima i djelatnicima Geološkog odsjeka na prenesenom znanju i pomoći tijekom studija.*

*Veliko hvala svim mojim prijateljima, a posebno Matei, Klari, Loreni i Isidori što su bili uz mene sve ove godine i pružali mi neiscrpnu snagu da privedem studiranje kraju.*

*Posebno hvala mom zaručniku Petru na strpljenju i podršci sve ove godine. Hvala ti što si sa mnom dijelio i radost i tugu, i što si vjerovao u mene i kad ja to nisam.*

*I na kraju, neizmjereno sam zahvalna svojim roditeljima, Jasni i Vladku, te sestri Valentini na podršci koju mi pružaju od početka.*

*Sve mogu u Onome koji me jača...*

*Fil 4, 13*

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Diplomski rad

### PROLJETNE PROMJENE SEDIMENTOLOŠKIH I BIOGEOMORFOLOŠKIH KARAKTERISTIKA PLAŽE LOJIŠĆE (DUGI OTOK)

Iva Vrabac

Rad je izrađen na Geološkom zavodu Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Horvatovac 102a, 10000 Zagreb, Republika Hrvatska.

#### Sažetak:

Sediment plaže Lojišće na Dugom otoku čini slabo šljunkoviti sitnozrnati pijesak. U njegovom sastavu dominiraju karbonatni minerali (kalcit, magnezijски kalcit i aragonit) s preko 95%. Utvrđeno je da su čestice pijeska biogenog porijekla iz mora. S obzirom na orijentaciju, pretpostavlja se da na plažu djeluju valovi juga koji morski pijesak talože na obali. Udio sediment u banketima posidonije u prosjeku je nešto veći od  $400 \text{ kg/m}^3$  što dokazuje značajnu povezanost banketa i sedimenta u morfologiji plaže. Tijekom proljetnih mjeseci praćenja, nisu uočene značajne promjene u morfologiji plaže što se pripisuje izostanku značajnijih epizoda olujnih juga. Najveće promjene tijekom proljetnih mjeseci bile su unutar pola metra.

**Ključne riječi:** plaža Lojišće, sitnozrnati pijesak, *Posidonia oceanica*, banketi, geomorfologija

**Rad sadrži:** 58+VI stranica, 35 slika, 3 tablice i 60 literaturnih navoda

**Jezik izvornika:** hrvatski

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

**Mentor(i):** doc. dr. sc. Kristina Pikelj

**Ocjenjivači:** doc. dr. sc. Kristina Pikelj

prof. dr. sc. Darko Tibljaš

doc. dr. sc. Maja Martinuš

**Datum završnog ispita:** 23. rujna 2022.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geology

### Master Thesis

## SPRING CHANGES OF SEDIMENTOLOGICAL AND BIOGEOMORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE LOJIŠĆE BEACH (DUGI OTOK ISLAND)

Iva Vrabac

**Thesis completed in:** Institute of Geology Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb, Croatia.

### Abstract:

The sediment of the Lojišće beach on the Dugi otok Island consists of slightly gravelly, fine-grained sand. Its composition is dominated by carbonate minerals (over 95%): calcite, magnesium calcite and aragonite. The sand particles are of biogenic origin originating from the sea. Considering its orientation, it is assumed that the beach is affected by Sirocco waves, which deposit sea sand on the beach. The proportion of sediment in *Posidonia* banquettes is on average slightly higher than 400 kg/m<sup>3</sup>, which proves the significant connection between banquettes and sediment in the morphology of the beach. During the spring months of the monitoring, no significant changes in the morphology of the beach were observed, which is attributed to the absence of significant stormy episodes of Scirocco waves. The highest changes during the spring months were within half a meter.

**Keywords:** Lojišće beach, fine-grained sand, *Posidonia oenica*, banquettes, geomorphology

**Thesis contains:** 58+VI pages, 35 figures, 3 tables and 60 references

**Original in:** Croatian

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

**Supervisor:** dr. sc. Kristina Pikelj, Assistant Professor

**Reviewers:** dr. sc. Kristina Pikelj, Assistant Professor

dr. sc. Darko Tibljaš, Full Professor

dr. sc. Maja Martinuš, Assistant Professor

**Date of the final exam:** September 23, 2022

## Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Geološki položaj.....	3
2.1. Geomorfološke karakteristike istočnog dijela Jadranske obale.....	3
2.2. Opća građa terena Dugog Otoka i uvale Telašćica.....	5
2.3. Prirodne karakteristike plaže Lojišće .....	7
2.3.1. Ugroženost plaže pojavom plastitara .....	10
3. Značaj morske cvjetnice <i>Posidonia Oceanica</i> za Jadransko more i nastajanje banketa	
11	
3.1. Onečišćenje okoliša (mikro)plastikom i potencijalna uloga posidonije u očuvanju mora .....	15
4. Materijali i metode istraživanja.....	17
4.1. Uzorkovanje sedimenta i naslaga posidonije plaže Lojišće .....	17
4.2. Granulometrijska analiza pijeska.....	18
4.3. Mikroskopska analiza frakcija pijeska .....	20
4.4. Utvrđivanje količine sedimenta u naslagama <i>Posidonie oceanice</i> .....	20
4.5. Utvrđivanje udjela karbonatne komponente u uzorcima.....	21
4.6. Određivanje mineralnog sastava uzorka – rendgenska difrakcijska analiza .	22
4.7. Profiliranje i izrada modela plaže .....	23
5. Rezultati .....	24
5.1. Terenska opažanja .....	24
5.2. Rezultati granulometrijske analize pijeska .....	26
5.3. Rezultati mikroskopske analize pijeska.....	31
5.4. Količina sedimenta unutar uzoraka banketa posidonije .....	37
5.5. Rezultati određivanja udjela karbonata .....	37
5.6. Rezultati fazne analize.....	38

---

5.7. Topografija plaže.....	41
6. Rasprava.....	45
7. Zaključak.....	49
8. Literatura.....	50
9. Popis slika u tekstu.....	55
10. Popis tablica u tekstu .....	58

## 1. Uvod

Obalna područja Jadranskog mora sve su ugroženija usred pojačanog djelovanja klimatskih promjena, ali i turizma koji iz godine u godinu uzima sve više maha na našoj obali. Iz navedenih razloga, važnost praćenja plaža sve je veća, a ono prvenstveno za cilj ima zaštitu i očuvanje plaža Jadranskog ekosustava.

Erozija obala rezultat je ljudske aktivnosti i prirodnih promjena okoliša čime dinamičko djelovanje (valovi, struje, vjetar) gubi ravnotežu u obalnim procesima, a dugotrajni gubitak sedimenata obalnog područja rezultira procesom uništavanja i povlačenja obala te erozijom plaža (YINCAN i sur., 2017). Erozijska plaža prirodna je pojava koja predstavlja problem u cijelome svijetu kada je riječ o očuvanju plaža. Učinci erozije na obalne sustave ne mogu se u potpunosti spriječiti, ali svakako se mogu ublažiti. Ključan zadatak u borbi protiv erozije je definirati i razumjeti kako obale prirodno funkcioniraju i na koji su način povezani dijelovi obalnih zona (npr. izmjena nutrijenata, sedimenta i sl.).

Cvjetnica *Posidonia oceanica* (nadalje u tekstu posidonija) zakonom je zaštićena vrsta u većini zemalja u Sredozemlju (KRUŽIĆ, 2007), a njezino rasprostiranje zabilježeno je duž Sredozemnog pa tako i Jadranskog mora. Livade posidonije u moru su oaze života u morskim prostorima, a osim biološkog značaja, imaju veliku ulogu u očuvanju sedimenta plaže. Stvarajući bankete – čvrste i masivne strukture izgrađene od odbačenih listova i nanosa detritusa posidonije, čine plažu otpornijom na djelovanje valova. Glavni problem duž Jadranske obale predstavlja dugogodišnje uklanjanje banketa posidonije s plaža čime se neprestano smanjuje budžet sedimenta na njima, a sve s ciljem postizanja njihovog atraktivnijeg izgleda i porasta popularnosti među turistima. Iz prethodno navedenih razloga, neophodna je edukacija građana i turista, kao i izrada dugoročnih planova za očuvanje Jadranske obale, a sve s ciljem zaštite plaža i zajednica u livadama posidonije kojih je sve manje.

Uvala Lojišće i pripadajuća pješčana plaža (Slika 1) dio su parka prirode Telašćica koji se nalazi u jugoistočnom dijelu otoka Dugi otok. Plaža Lojišće je jedna od rijetkih u parku prirode pa je time njezina vrijednost još veća. Ispred i duž uvale Lojišće prostiru se livade posidonije koje uvelike doprinose stvaranju i očuvanju sedimenta plaže.





Slika 1 Plaža Lojišće – dio parka prirode Telašćica. Fotografirala K. Pikelj.

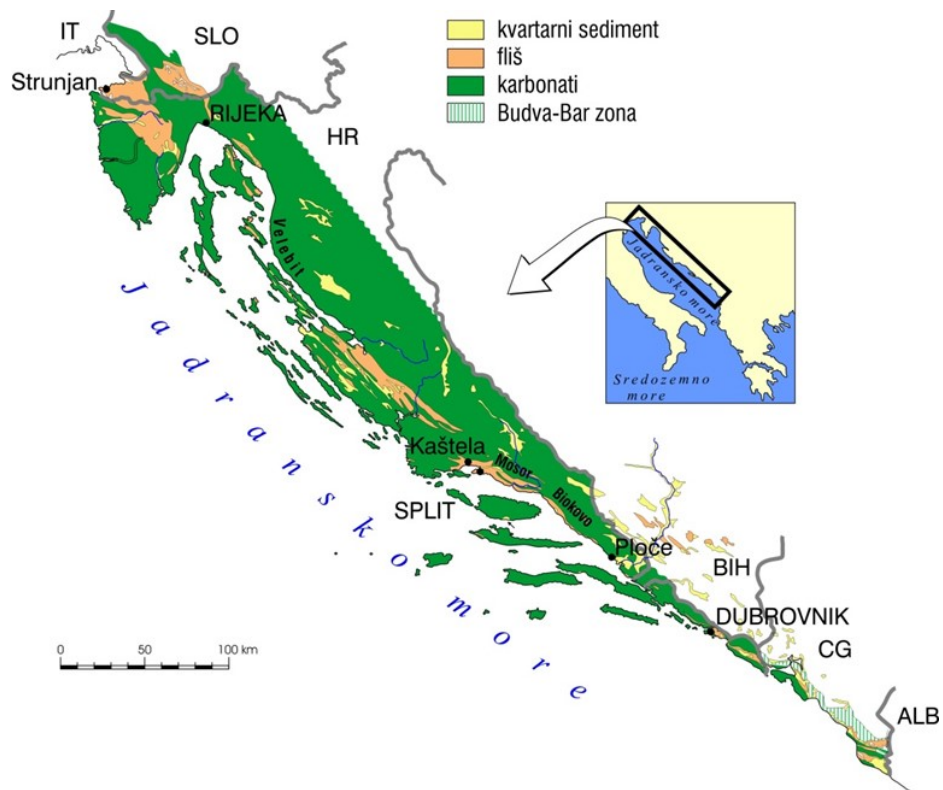
Cilj ovog rada je definirati sedimentološke i biogeomorfološke karakteristike plaže Lojišće te uočiti promjene koje se događaju na plaži tijekom proljetnih mjeseci – ožujka, travnja i svibnja. Diplomski rad je izrađen u sklopu stručnog projekta *Biogeomorfološka istraživanja uvale Lojišće u Parku prirode Telašćica*, u suradnji s Parkom prirode Telašćica.

## 2. Geološki položaj

### 2.1. Geomorfološke karakteristike istočnog dijela Jadranske obale

Istočni dio jadranske obale uglavnom je izgrađen od okršenih karbonatnih stijena s karakterističnim potopljenim krškim formama (PIKELJ i JURAČIĆ, 2013). Nastanak ovakve, najvećim dijelom strme i stjenovite podloge za reljef (Slika 2), započeo je tijekom srednjeg trijasa taloženjem plitkomorskih vapnenaca na izoliranoj karbonatnoj platformi Jadranske mikroploče (VLAHOVIĆ i sur., 2002, 2005). Taloženje plitkomorskih vapnenaca odvijalo se u nekoliko faza tijekom mezozoika i ranog paleogena što je rezultiralo nastankom karbonatnih naslaga (vapnenaca i dolomita) debljine i do nekoliko kilometara (VLAHOVIĆ i sur., 2005). Istočnojadransko područje kakvo danas poznajemo razvilo se tijekom miocena i ranog pliocena (KORBAR, 2009), a okarakterizirano je složenim rasjednim, prebačenim i boranim formama sa smjerom pružanja SZ-JI (tzv. dinarski smjer), paralelno istočnojadranskoj obali (PIKELJ i JURAČIĆ, 2013). Recentni izgled istočnojadranske obale rezultat je porasta morske razine na granici kasnog pleistocena i holocena te djelomičnog potapanja već rasjedanog i okršenog reljefa (BENAC i JURAČIĆ, 1998, SURIĆ i sur., 2005). Posljedica ovog porasta razine mora strma je, stjenovita i prvenstveno transgresijska obala gdje su obale paralelne antiklinale (analogno planinama u unutrašnjosti) formirale otočne lance, dok su sinklinale paralelne s obalom (analogno unutarnjim depresijama) postale uvale i kanali (BENAC i sur., 2008). Ovakav tip obale u svjetskoj literaturi naziva se *Dalmatinski tip obale* (VON RICHTHOFEN, 1901; FAIRBRIDGE, 1968; KELLETAT, 2005). Karbonatne obale istočnog dijela Jadranskog mora moguće je klasificirati u tri glavna tipa (PIKELJ i JURAČIĆ, 2013). Prvi tip uključuje strme, nepristupačne obale nastale na strmim karbonatnim stijenama. Moguće ih je vidjeti na kopnu i otocima. Drugi tip predstavljaju niski dijelovi stjenovite obale kod kojih su izložene gornje slojne plohe karbonatnih naslaga. Ovakav tip obala često se viđa na sjevernodalmatinskim otocima kao i na obalama kopna. Treći tip se odnosi na tzv. *džepne* plaže razvijene u karbonatnim stijenama te se, obzirom na procese nastanka, one mogu podijeliti u dvije kategorije. U prvu kategorije ulaze plaže izložene snažnim valovima koje najčešće stvara *jugo*, a koje se nalaze na južnim stranama otoka i okrenute su u smjeru J-JI. Takve plaže nastaju u prethodno tektonski oslabljenim i lomljenim karbonatnim stijenama koje su podložne djelovanju valova. Primjer ovakve plaže je plaža Sakarun na Dugom otoku (PIKELJ I JURAČIĆ,

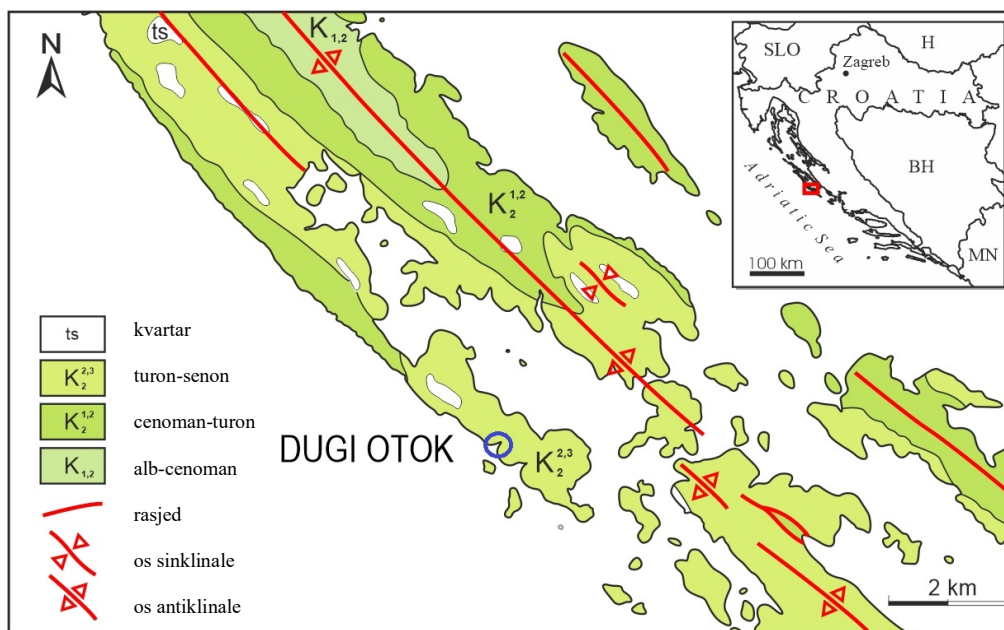
2013; GODEC, 2021). Druga kategorija su šljunčane plaže nastale nakupljanjem nanosa karbonatnog šljunka na ušćima subrecentnih ili recentnih povremenih tokova (PIKELJ I JURAČIĆ, 2013).



Slika 2 Pojednostavljena litološka karta istočnojadranskog područja (modificirano prema PIKELJ i JURAČIĆ, 2013).

## 2.2. Opća građa terena Dugog Otoka i uvale Telašćica

Dugi otok pripada tektonskoj jedinici zadarski otoci, a strukturne odlike ove jedinice su tonjenje osi antiklinala i sinklinala, reversni rasjedi i djelomično prevrnutе strukture koje su rezultat tektonskih pokreta krajem eocena (MAMUŽIĆ i SOKAČ, 1967). U središnjem dijelu istočne obale Jadranskog mora, a u jugoistočnom dijelu Dugog otoka smjestila se uvala Telašćica sa šest otočića unutar uvale i 13 otoka i otočića koji je okružuju. Zahvaljujući svojim značajnim geološkim karakteristikama i zajednicama morskog dna, Telašćica je proglašena Parkom prirode 1998. godine. Park prirode Telašćica odlikuje se malobrojnim, ali vrijednim plažama i blago položenom obalom s jedne te divljim strmcima s druge strane parka [1]. Na jugoistočnoj strani parka prirode nalazi se uvala Lojišće (Slika 3) čije podmorje djelomično prekrivaju livade posidonije. Područje Dugog otoka prekriva slijed krednih naslaga čiji su slojevi presječeni reversnim rasjedima. Od fosilnog sadržaja ističu se brojni nalazi foraminifera, rudista i gastropoda (MAMUŽIĆ i NEDELA-DEVIDE, 1963). Na području plaže Lojišće otkrivene su stijene gornje krede, K<sub>2</sub><sup>2-3</sup> (turon-senon) (Slika 3). U litološkom pogledu, cijeli kompleks je dosta jednoličan što odgovara procesu taloženja u plitkom, mirnom moru sa sprudnim obilježjima (bioklastični vapnenci). Postotak CaCO<sub>3</sub> u sedimentu je između 97% i 99% što odgovara čistim vapnencima, a čak i kod dolomitičnih vapnenaca postotak CaCO<sub>3</sub> ne opada ispod 70%. U paleontološkom kontekstu, prisutan je velik broj foraminifera, a česte su pojave i rudista te nešto manje gastropoda. Konstatirani su sljedeći rodovi i vrste: *Thaumatoporella parvovesiculifera*, *Aeolisaccus kotori*, *Dicyclina cf. schlumbergeri*, *Valvulammina cf. pickardi*, *Nummoloculina heimi*, *Chrysalidina sp.*, *Dictyoconus sp.* te kuneoline, rotalide, miliolide, ostrakodi, tekstularide, verneilinide i trohaminide, detritus s fragmentima sitnih školjkaša i prerezima sitnih gastropoda (MAMUŽIĆ i NEDELA-DEVIDE, 1963). Makrofauna je siromašnija po broju vrsta i primjeraka, ali stratigrafski je također iznimno značajna. Sveukupna debljina turonsko-senonskih naslaga iznosi oko 600 m (MAMUŽIĆ i NEDELA-DEVIDE, 1963).



Slika 3 Geološka karta južnog dijela Dugog Otoka. Plaža Lojšće označena je plavim kružićem (prema MAMUŽIĆ i SOKAČ, 1967).





Sediment se u uvali Lojišće nalazi samo u najplićim dijelovima (Slika 5), dok se u dubljim dijelovima na morskom dnu nalaze karbonatne stijene djelomično prekrivene rijetkim krupnije zrnatim sedimentom. Uvala Lojišće svojim oblikom podsjeća na kanjon, a nedaleko same uvale, odnosno u zaleđu plaže nalazi se i slana lokva za koju se pretpostavlja da je po postanku ili potopljena ponikva ili neki drugi krški oblik.



Slika 5 Plaža Lojišće, travanj 2022. Uz naslage posidonije u tankom sloju, vidljiv je utjecaj valova na plažu u vidu valnih brazdi. Fotografirala K. Pikelj.

Utjecaj posidonije na plažu Lojišće od neizmjernog je značaja uzme li se u obzir da njeni ostaci čuvaju sediment plaže i uklapaju ga u sebe stvarajući bankete (Slika 6), čija debljina na mjestima može prelaziti i 1 m za vrijeme jakog juga.



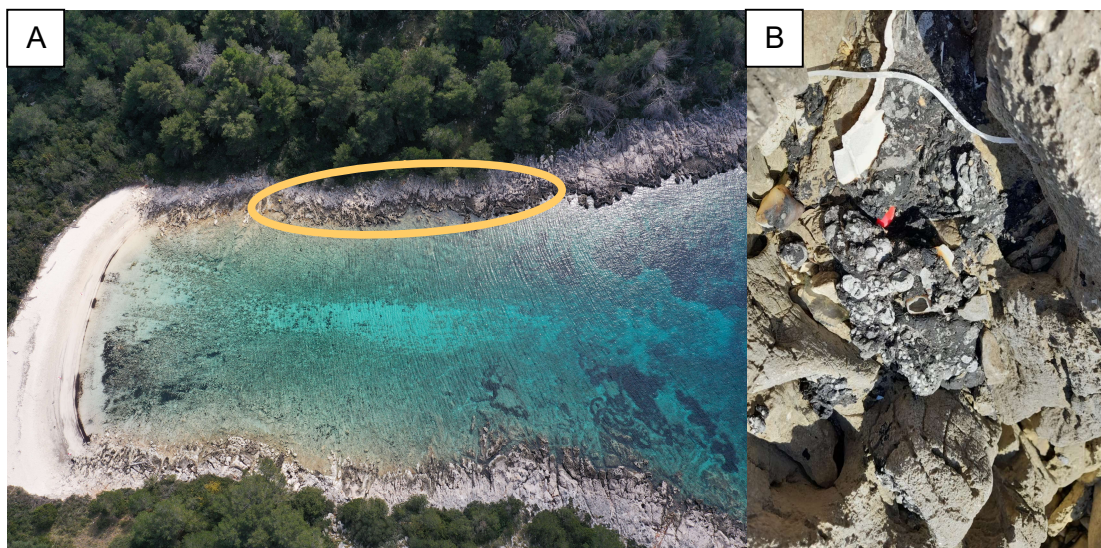
Slika 6 Banket posidonije na plaži Lojišće (ožujak 2022.). Visina banketa ne prelazi 20 cm. Fotografirala K. Pikelj.



### 2.3.1. Ugroženost plaže pojavom plastitara

Plastitari su relativno nova vrsta onečišćenja, tek nedavno nazivom definirana među znanstvenicima. Riječ je o očvrstnoj smjesi katrana i mikroplastike koja je zarobljena među stijenama (DOMÍNGUEZ-HERNÁNDEZ i sur., 2022). Formiranje plastitara je relativno jednostavno: ostaci od izlivanja nafte u oceanu isparavaju i tijekom vremena se nakupljaju na obali među stijenama, te tvore očvrslu uljni talog. Kuglice katrana s vremenom se počnu ponašati kao plastelin, a kad se valovi koji nose mikroplastiku ili bilo koju drugu vrstu morskog otpada obruše na stijene, te se krhotine lijepu za katran. Nakon određenog vremena, katranska masa se stvrdne, a sve odbačeno, od komada odbačene ribolovne opreme do plastičnih kuglica i ostataka poliestera i najlona, doslovno se stopi s katranom. Plastitari su još nedovoljno istraženi, ali znanstvenici vjeruju da kombinacija ugljikovodika i mikroplastike može potencijalno otpuštati otrovne kemikalije, uzrokujući onečišćenja koja bi mogla predstavljati ugrozu za organizme kao što su alge.

Na plaži Lojišće ova pojava vidljiva je na bočnim dijelovima plaže (Slika 7) i to na čak nekoliko mjesta što posebno zabrinjava obzirom da je bioraznost Jadranskog mora velika.



Slika 7 A) Područje plaže Lojišće na kojem su pronađeni plastitari obilježeno je žutom bojom; B) izgled plastitara na plaži Lojišće. Širina bijele vrpce je 10 cm. Fotografirala K. Pikelj.

### 3. Značaj morske cvjetnice *Posidonia Oceanica* za Jadransko more i nastajanje banketa

U Jadranskom moru prisutne su četiri vrste morskih cvjetnica: posidonija (*Posidonia oceanica*), morska svilina (*Zostera marina*), patuljasta svilina (*Zostera noltii*) i čvorasta morska resa (*Cymodocea nodosa*) [2]. Uloga morskih cvjetnica u Jadranu je velika jer, osim što su važni primarni proizvođači, tj. pretvaraju svjetlost i ugljikov dioksid u organski oblik, morske cvjetnice opskrbljuju hranom hranidbenu mrežu za mnoge organizme, stabiliziraju morsko dno na kojem rastu i stvaraju posebnu strukturu morskog dna na kojem je tada omogućen život brojnim marinskim organizmima (GODEC, 2021). Livade morskih cvjetnica služe marinskim organizmima kao stanište, hranilište i mrijestilište (COSTANZA i sur., 1997).

*Posidonia oceanica* je endemska vrsta u Sredozemnom moru. Građena je od korijena, stabljike – podanka (rizoma) i listova što je čini pravom biljkom (Slika 8).



Slika 8 (A) *Posidonia oceanica* u svom prirodnom staništu; (B) *P. oceanica* s naznačenim glavnim biljnim dijelovima: korijen, rizomi i list (prema POLI i sur., 2020).

Ova morska cvjetnica raste na dubinama od 0,5 do 40 m (PERGENT i sur., 1995), ali izostaje na područjima ušća rijeka zbog donosa slatke vode i sitnozrnatog terigenog materijala. Visoka stopa sedimentacije i mutnoće vode na takvim lokalitetima smanjuje prozirnost vode pa je i prodiranje svjetlosti manje (PASQUALINI i sur., 1998). Životni vijek biljke varira između 4 i 30 godina što ju čini dugoživućom, a list može potrajati od 70 do 350 dana (DUARTE i CHISCANO, 1999). Biljka je jednodomna, tj. sadrži muške i ženske spolne organe, a cvijet je hermafroditki. Razmnožava se cvjetanjem i češće vegetativno. Sve vrste roda *Posidonia* velikih su dimenzija – imaju visoke izdanke i postojane listove (DUARTE, 1991),



Slika 9 Važnost *Posidonia oceanice* u interakciji između stupca vode i sedimenta.

Modificirano prema GUTIÉRREZ (2012).

Svojim dugačkim listovima, livade posidonije smanjuju intenzitet valova te na taj način štite obalu od erozije, a istovremeno korijenjem učvršćuju sediment morskog dna i sprječavaju njegovo odnošenje. Kretanje lišća posidonije naprijed-natrag poboljšava vertikalno miješanje vodenog stupca (KOCH i GUST, 1999; GHISALBERTI i NEPF,



2002) što pospješuje isporuku hrane iz suspenzije na morsko dno te time razvoj bentičkih organizama (JUDGE i sur. 1993; IRLANDI, 1996). Česti su i epifaunalni oblici organizama koji žive pričvršćeni na površini listova, a hrane se također iz suspenzije. Tu su na primjer mahovnjaci, vitičari, obrubnjaci, spirorbidni crvi, amfipodni rakovi, praživotinje i dr.

Posidonija je i značajni bioindikator – na temelju gustoće livada i dubinske rasprostranjenosti te njihovih promjena, mogu se detektirati promjene u kvaliteti morske vode. Također, posidonija ima sposobnost akumuliranja teških metala u svojim rizomima. Važna je i za biogemijske procese (Slika 9) (JONES i sur., 1997) pa je tako kruženje sumpora, dušika i ugljika pod izravnim utjecajem ove morske cvjetnice (MATEO i sur., 2006).

Na plažama duž Sredozemlja, česti su nanosi otpalog lišća i biljnog detritusa posidonije (SIMEONE i DE FALCO, 2013) koji tako nanoseni čine bankete. Banket je, dakle, klinasta struktura nanosa morske trave sastavljena od lišća, rizoma i sedimenta čija debljina varira od nekoliko centimetara do preko dva metra. Formiranje banketa najčešće se događa tijekom kasnog ljeta i rane jeseni kada vrijeme postaje nestabilnije i češće dolazi do pojave olujnih valova (MATEO i sur., 2003.), a proces se povezuje i s prirodnim ciklusom opadanja listova posidonije koji se odvija tijekom kasnog ljeta. Takvi otpali listovi bivaju nošeni u vodenom stupcu tijekom olujnih nevremena te izbačeni na obale nakon slabljenja valova istih. Na hrvatskoj obali osobit značaj u formiranju banketa imaju valovi juga, a česta je i pojava banketa tijekom ranog proljeća, pogotovo kada je riječ o sjevernodalmatinskim otocima. Dobar primjer plaža s banketima su plaže Lojišće (Slika 10) i Sakarun na Dugom otoku.



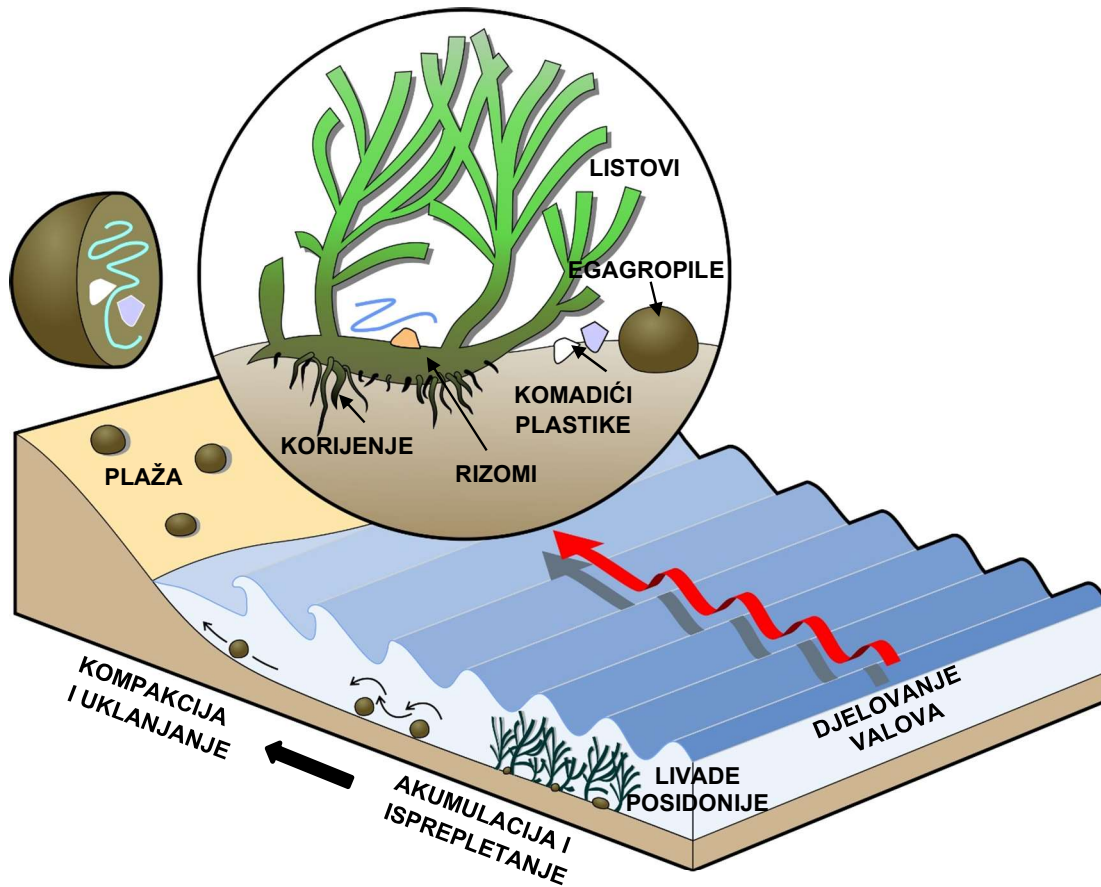
Slika 10 Banket na plaži Lojišće, travanj 2022. Fotografirala K. Pikelj.

Struktura posidonije (lišće, korijenje, rizomi) pozitivno utječe na povećanu brojnost organizama i bogatstvo vrsta u svojim livadama u odnosu na susjedna, neobrasla staništa (HECK, 1977; HECK i THOMAN, 1984; EDGAR i sur., 1994), a iz svih navedenih razloga, staništa morskih trava, pa tako i *Posidonia oceanica*, smatraju se "vrućim točkama bioraznolikosti" i "staništima za uzgoj" (HECK i THOMAN, 1984; BECK i sur., 2001). Tijekom posljednjeg desetljeća mnoge su livade posidonije nestale ili su izmijenjene. Budući da posidonija raste prosječnom brzinom od 1 cm na godinu, svako uništenje livada posidonije za čovjekovo poimanje predstavlja gotovo nepovratan proces. Velik problem predstavlja i sve veće širenje invazivnih algi *Caulerpa taxifolia* i *C. racemosa* stoga je učinkovito praćenje takvih područja koje pokriva posidonija ključ očuvanja ekosustava, iako je taj proces iznimno skup i dugotrajan.

### **3.1. Onečišćenje okoliša (mikro)plastikom i potencijalna uloga posidonije u očuvanju mora**

Najnovija istraživanja provedena na Mallorci (SÀNCHEZ-VIDAL i sur., 2021) pokazuju da posidonija posjeduje važnu ekološku ulogu u morskom okolišu – ima sposobnost prikupljanja i uklanjanja plastičnih materijala iz mora. Zabrinjava činjenica da morska dna sve više postaju „umivaonici mikroplastike“ pa otkriće da se posidonija ponaša kao filter i zamka za plastiku u obalnim područjima budi nadu da će se pronaći način za zaštitu ekosustava. SÀNCHEZ-VIDAL i suradnici (2021) smatraju posidoniju važnom karikom u opisu prirodnog mehanizma za prikupljanje i uklanjanje plastičnih materijala iz mora.

Proučavanjem livada posidonije, otkriveno je da mikroplastika ostaje zarobljena među morskom travom posidonije, dok je na plažama pronađena u kuglastim nakupinama prirodnih vlakana posidonije – egagropilama/morskim kuglicama/Neptunovim kuglicama (nadalje u tekstu morske kuglice). Uglavnom se radi o filamentima, vlaknima i fragmentima polimera koji su gušći od morske vode pa padaju na morsko dno - primjer je poli(etilen-tereftalat) (PET), gdje bivaju miješani s odbačenim vlaknima posidonije stvarajući morske kuglice i jakim valovima izbačeni na plaže (Slika 11). Rezultati dobiveni ovim istraživanjem govore da je količina plastike izbačena morskim kuglicama znatno veća od one izbačene iz mora hvatanjem na lišće ili pijesak.



Slika 11 Hvatanje plastičnog otpada morskim travama. Prikaz procesa koji su uključeni u nakupljanje i ispreplitanje plastičnih fragmenata i vlakana posidonije kako bi se formirale morske kuglice bogate plastikom koje bivaju izbačene na plaže. Modificirano prema SÀNCHEZ-VIDAL i sur., 2021.

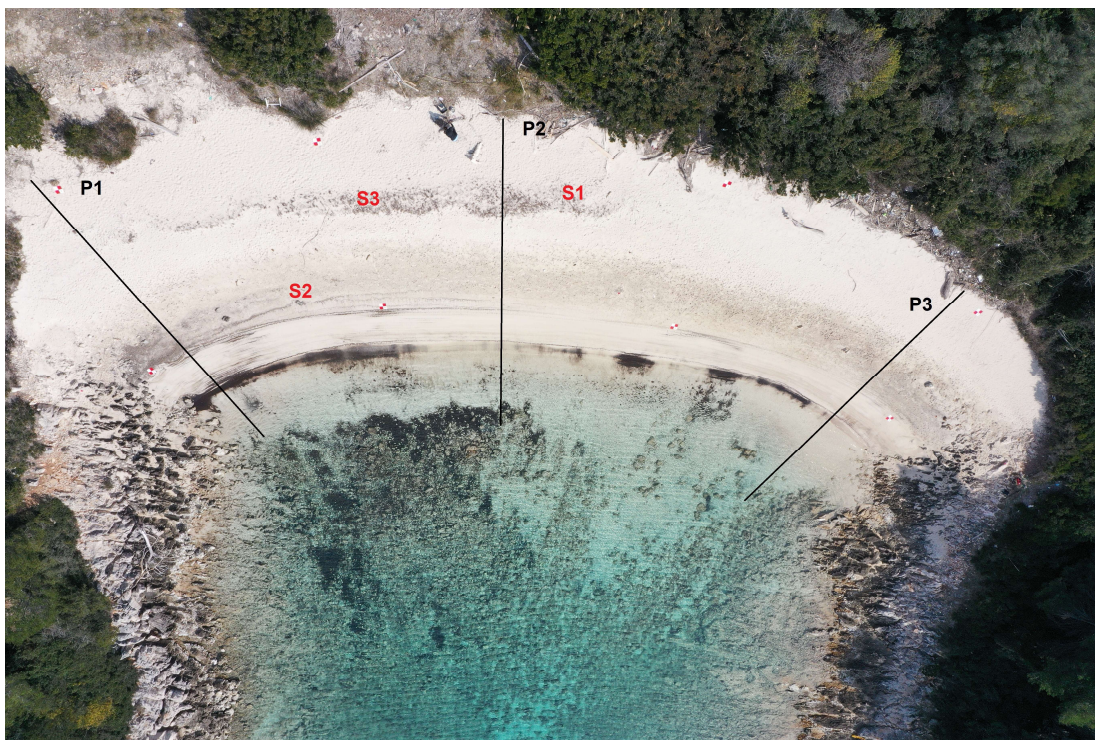


## 4. Materijali i metode istraživanja

### 4.1. Uzorkovanje sedimenta i naslaga posidonije plaže Lojišće

Za potrebe određivanja veličine zrna, udjela karbonatne komponente i analizu mineralnog sastava, sediment plaže Lojišće uzorkovana je u ožujku 2022. godine. Uzorci sedimenta uzorkovani su u niskom supratajdalju i intertajdalju duž 3 profila – P1, P2 i P3 (Slika 12).

Sediment je uzorkovan plastičnom lopaticom do dubine od 4 cm, a uzorkovano je otprilike oko 2 kg sedimenta. Uzorci su označeni i spremljeni u plastične vrećice do rada u laboratoriju.



Slika 12 Profili uzorkovanja sedimenta (P1-P3) i lokacije uzorkovanja banketa posidonije na plaži Lojišće (S1-S3). Fotografirala K. Pikelj.

Uzorci miješanih naslaga posidonije i sedimenta uzorkovani su tijekom sva tri terenska izlaska u ožujku, travnju i svibnju 2022. Mjesta uzorkovanja prikazana su na Slici 12 oznakama S1, S2 i S3.



## 4.2. Granulometrijska analiza pijeska

Prikupljeni uzorci doneseni su u laboratorij gdje su osušeni na zraku. Od svakog od uzoraka s različitih profila odvagano je 100 g, a zatim su procesom mokrog sijanja izdvojene frakcije na način da se je materijal miješan s destiliranom vodom i pušten kroz sita različitih veličina otvora. Veličine otvora sita kroz koje su uzorci sijani su sljedeći: 4 mm, 2mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm i 0,063 mm na temelju kojih je sediment frakcioniran. Nakon što je svaka pojedina dobivena frakcija osušena na zraku, vaganjem je određena masa i postotni udio pojedine frakcije u ukupnom uzorku. Na samom kraju, rezultati granulometrijske analize svakog od uzoraka uzetih s različitih profila plaže Lojišće obrađeni su u programu GRADISTAT (BLOTT i PYE, 2001) te su dobiveni podaci o količini pojedine frakcije u uzorku, sortiranosti uzorka, prosječne i srednje veličine čestica te asimetričnost raspodjele i zaoštrenost krivulje. Svi su analizirani uzorci s plaže Lojišće zatim prikazani trokomponentnim dijagramima i kumulativnim krivuljama. Veličina zrna je na kumulativnim krivuljama prikazana na osi x u  $\Phi$  jedinicama te raste s lijeva na desno, dok je masa prikazana na osi y u postocima. Očitavanjem vrijednosti veličine zrna u  $\Phi$  jedinicama iz kumulativne krivulje kod kumulativnih postotaka: 5, 16, 15, 25, 50, 75, 84, 95 izračunati su sljedeći granulometrijski parametri (FOLK i WARD, 1957):

**Srednja veličina zrna** (median) predstavlja vrijednost od koje je 50% čestica veće, a 50% manje:

$$M_d = \Phi 50$$

**Prosječna veličina zrna** (mean size):

$$M_z = \frac{(\Phi 16 + \Phi 50 + \Phi 84)}{3}$$

**Koeficijent sortiranosti (sorting)** pokazuje jednoličnost distribucije:

$$S_o = \frac{(\Phi_{84} - \Phi_{16})}{4} + \frac{(\Phi_{95} - \Phi_5)}{6,6}$$

Kategorije sortiranosti sedimenta:

- < 0,35 – vrlo dobro sortirano
- 0,35-0,50 – dobro sortirano
- 0,50-0,70 – umjereno dobro sortirano
- 0,70-1,00 – umjereno sortirano
- 1,00-2,00 – loše sortirano
- 2,00-4,00 – vrlo loše sortirano
- > 4,00 – izrazito loše sortirano

**Asimetričnost raspodjele** (skewness) je vrijednost koja pokazuje devijacije u raspodjeli čestica. Pozitivne vrijednosti ukazuju da prevladava krupnija frakcija, odnosno da je krivulja iskošena prema sitnijim sedimentima, a negativne vrijednosti da prevladava sitnija frakcija, odnosno da je krivulja iskošena prema krupnijim sedimentima:

$$S_k = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{84} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_5 + \Phi_{95} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)}$$

Kategorije asimetričnosti krivulje:

- 1,00 do -0,30 – vrlo negativno zakošena krivulja
- 0,30 do -0,10 – negativno zakošena krivulja
- 0,10 do 0,10 – gotovo simetrična krivulja
- 0,10 do 0,29 – pozitivno zakošena krivulja
- 0,30 do 1,00 – vrlo pozitivno zakošena krivulja

**Zaoštrenost krivulje** (kurtosis) odnosi se na raspršenost raspodjele materijala. Ako je krivulja zaoštrena, materijal je raspoređen oko jedne veličine zrna, a ukoliko je krivulja zaravnjena, prisutno je više granulometrijskih frakcija.

$$K_g = \frac{(\phi_{95} - \phi_5)}{2,44 (\phi_{75} - \phi_{25})}$$

Kategorije zaoštrenost krivulje:

< 0,67 – vrlo zaravnjena krivulja

0,67-0 90 – zaravnjena krivulja

0,90-1,11 – srednje zaoštrena krivulja

1,11-1,50 – zaoštrena krivulja

1,50-3,00 – vrlo zaoštrena krivulja

> 3,00 – izuzetno zaoštrena krivulja

### **4.3. Mikroskopska analiza frakcija pijeska**

Svaka frakcija pregledana je pod reflektiranim svjetlom svjetlosnog mikroskopa s povećanjem od 2,5 X, a s ciljem određivanja porijekla čestica u pojedinim frakcijama uzorka.

### **4.4. Utvrđivanje količine sedimenta u naslagama *Posidonie oceanice***

Uzorci banketa posidonije i pijeska prikupljeni su na plaži Lojišće tijekom uzorkovanja sedimenta u ožujku, travnju i svibnju 2022. Mjesta uzorkovanja prikazana su na Slici 12. Uzorci su uzeti na način da je postavljen drveni okvir veličine 20 x 20 cm, a dubina uzorkovanja bila je 5 cm. Svi prikupljeni uzorci doneseni su u laboratorij u kojem je procesom ispiranja slatkom vodom odvojen sediment od listova posidonije. Sediment iz suspenzije pušten je da se istaloži nakon čega je voda dekantirana, a sediment stavljen na

sušenje. Osušeni sediment na kraju je izvagan te je na temelju dobivenih rezultata izračunata njegova količina u 1 m<sup>3</sup> prikupljene posidonije, što znači da je količina dobivenog sedimenta iz svakog uzorka pomnožena s 500z.

#### 4.5. Utvrđivanje udjela karbonatne komponente u uzorcima

Karbonatna komponenta nekog materijala određuje se metodom kalcimetrije, a temelji se na izračunu postotnog udjela karbonata pomoću sljedeće formule:

$$\%CaCO_3 = \frac{V_{CO_2} \times F \times K \times 100}{m_{uzorak}}$$

gdje je:

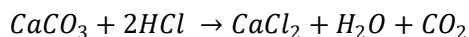
$V_{CO_2}$  = volumen nastalog CO<sub>2</sub> plina izražen u mililitrima

F = faktor generiran pri poznatim vrijednostima tlaka (milibar) i temperature (°C) tijekom provođenja analize

K = 2,274 (konstanta)

$m_{uzorak}$  = masa uzorka izražena u miligramima

Za potrebe određivanja udjela kalcita u uzorcima, u ahatnom tarioniku usitnjeno je otprilike 10 g uzorka. Sadržaj karbonata određen je volumetrijskim mjerenjem Scheiblerovim kalcimetrom. Metoda se temelji na određivanju volumnog udjela CO<sub>2</sub> koji nastaje reakcijom CaCO<sub>3</sub> s klorovodičnom kiselinom (HCl) na sljedeći način:



Točnost metode, prije početka mjerenja, provjerena je standardom – čistim CaCO<sub>3</sub>. Odvagano je 300 mg standarda koji je stavljen u Erlenmeyerovu tikvicu zajedno s 5 ml 18%-tne klorovodične kiseline u plastičnoj čaši i magnetom pritom pazeći da ne dođe do miješanja praha i kiseline. Pripremljena Erlenmeyerova tikvica zatim se stavlja na magnetnu miješalicu te se dobro zatvara gumenim čepom kako bi se dobio potpuno zatvoren sustav. Kada je sve spojeno na Scheiblerovu aparaturu, uključi se magnetna miješalica te se sastojci pomiješaju uz oslobađanje plina. Cijeli proces traje 5 minuta nakon čega se miješalica isključi i na mjernoj skali očita volumen oslobođenog CO<sub>2</sub> tijekom gore

navedene reakcije. Pri svakom mjerenju, osim očitavanja volumena ugljikovog dioksida, potrebno je očitati i trenutni tlak i temperaturu u prostoriji te odrediti pripadajući faktor F (iz za to odgovarajuće tablice). Postupak je ponovljen dva puta za svaki uzorak pijeska, kao i za sediment odvojen iz posidonije te je aritmetičkom sredinom dobivena srednja vrijednost udjela kalcita. Maseni udio karbonata za standardni uzorak mora iznositi 100%, a za svaki uzorak maksimalno odstupanje između dva dobivena rezultata također ne smije biti veće od 3%, inače je potrebno ponoviti postupak mjerenja.

#### **4.6. Određivanje mineralnog sastava uzorka – rendgenska difrakcijska analiza**

Rendgenska difrakcija na prahu temelji se na difrakciji rendgenskih zraka na mrežnim ravninama kristala (MOORE i REYNOLDS, 1997). Rendgenske zrake dio su elektromagnetskog zračenja (s valnim duljinama između 0,01 i 10 nm), a stvaraju se u rendgenskoj cijevi nakon što brzi elektroni naglo uspore i sudare se s Cu anodom. Braggov zakon (BRAGG i BRAGG, 1913) kaže da do refleksa na nekom skupu mrežnih ravnina s međumrežnim razmakom dolazi uz onaj kut za koji je razlika u hodu između zraka reflektiranih s dviju susjednih ravnina jednaka cijelom broju valnih duljina.

$$2d\sin\theta = n\lambda$$

d = međumrežni razmak

$\theta$  = kut pod kojim zrake upadaju na mrežnu ravninu

n = cijeli broj, red zračenja

$\lambda$  = valna duljina zračenja

Znamo li da su za različite mrežne ravnine različiti međumrežni razmaci, jasno je da će svaka mrežna ravnina postići difrakcijski maksimum pri različitim kutevima  $\theta$ . Prema tome, uzorak ili rendgenska cijev moraju se zakretati do položaja u kojem je zadovoljen Braggov zakon. Difraktogram je grafički prikaz ovisnosti intenziteta difraktiranog zračenja o difrakcijskom (Braggovom) kutu. Intenzitet difraktiranog zračenja ovisi o tipu i položaju atoma u strukturi, a svaki mineral ima jedinstvenu difrakcijsku sliku. Dobiveni

difraktogrami – uspoređeni su s difraktogramima minerala prikupljenih u međunarodnim bazama podataka.

Rendgenska difrakcijska analiza provedena je na Mineraloško-petrografskom zavodu Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagreba na rendgenskom difraktometru Philips X'pert za uzorke plaže Lojišće prikupljene tijekom ožujka, travnja i svibnja 2022., a pri snimanju su zadovoljeni sljedeći uvjeti: karakteristično bakreno (Cu) zračenje, kontinuirano snimanje ( $0.02^\circ 2\Theta/s$ ), jakost struje = 40 mA i napon = 40 kV.

Interpretacija rendgenograma napravljena je korištenjem X'pert Highscore Plus programa i baze podataka ICDD (2004).

#### **4.7. Profiliranje i izrada modela plaže**

Tijekom ožujka, travnja i svibnja 2022., duž tri profila okomita na pružanje obale, provedeno je profiliranje plaže pomoću sustava diferencijalnog globalnog pozicioniranja (eng: *Differential Global Positioning System*, DGPS) kao i snimanje plaže dronom iz zraka. Prikupljene fotografije plaže obrađene su u programu PHOTOSCAN u kojem su izrađeni digitalni površinski modeli plaže za svaki mjesec u kojem je provedeno snimanje. Dobiveni modeli međusobno su preklopljeni u parovima ožujak-travanj i travanj-svibanj te je napravljena njihova usporedba, odnosno razlikovni modeli. Usporedba modela napravljena je pomoću programa SURFER, te je dana interpretacija promjena zabilježena u promatranom periodu.

## 5. Rezultati

### 5.1. Terenska opažanja

Sediment plaže Lojišće se nalazi se na cijeloj površini plaže te djelomično i u moru. Na bokovima uvale izdanjuje osnovna, karbonatna stijena čiji je položaj slojeva vertikalni do subvertikalni (Slika 13). Osnovna stijena također izdanjuje i u moru, u zoni sublitorala. Sediment plaže se čini pjeskovit, relativno dobro sortiran i makroskopski sadrži značajnu količinu ostataka ljušturica i skeleta morskih organizama. Samo mjestimično i ovisno o vremenu, na plaži su uočeni nanosi krupnijih zrna izmiješanih s fragmentima ljušturica i mikroplastike koja čini sve veći ekološki problem (Slika 14). Također, na bočnim stijenama uvale uočena je pojava plastitara – očvrsnute smjese katrana i (mikro)plastike (Slika 15). Tijekom proljetnih mjeseci na plaži je primijećena značajna količina detritusa i lišća posidonije koja je, ovisno o položaju, dobro očuvana do usitnjena.



Slika 13 Vertikalni do subvertikalni slojevi na plaži Lojišće. Fotografirala I. Vrabac.





Slika 14 Mikroplastika izmiješana s fragmentima ljušturica i skeleta organizama.  
Fotografirala K. Pikelj.



Slika 15 Pojava plastitara u naslagama bočnih karbonatnih stijena.  
Fotografirala I. Vrabac



## 5.2. Rezultati granulometrijske analize pijeska

Granulometrijskom analizom uzoraka utvrđeno je da sediment plaže Lojišće pripada teksturalnoj grupi slabo šljunkovitog pijeska. Većina čestica analiziranih uzoraka nalazi se u frakcijama 0,5–1, 0,25–0,5 i 0,125–0,25 dok je gotovo zanemarivo čestica ostalo u suspenziji, odnosno kao dio frakcije >0,063 mm. Tablica 1. prikazuje glavne granulometrijske parametre za analizirane uzorke.

Uzorku Lojišće 1 srednja i prosječna vrijednost nalaze se u frakciji srednje-zrnatog pijeska (Slika 16). Uzorak je umjereno sortiran. Krivulja raspodjele veličine zrna gotovo je simetrična i srednje zaoštrena.

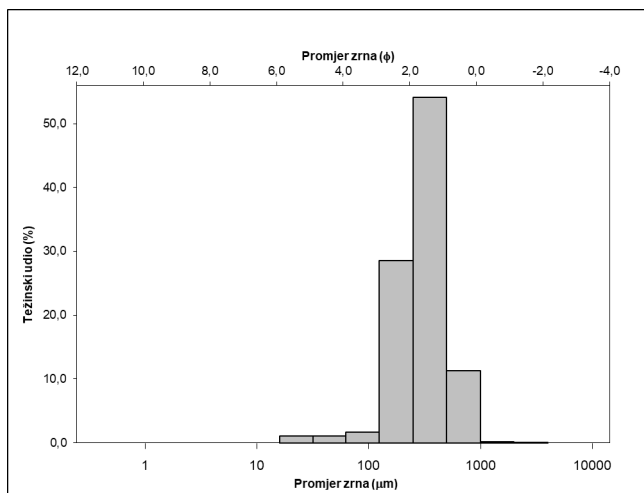
Srednja i prosječna vrijednost uzorka Lojišće 2 nalaze se u frakciji srednje-zrnatog pijeska (Slika 17). Pijesak je umjereno sortiran. Krivulja raspodjele veličine zrna pozitivno je zakošena i zaravnjena.

Uzorku Lojišće 3 se, također, srednja i prosječna vrijednost nalaze u frakciji srednje-zrnatog pijeska (Slika 18). Uzorak je sortiran loše. Krivulja raspodjele veličine zrna pozitivno je zakošena i srednje zaoštrena.

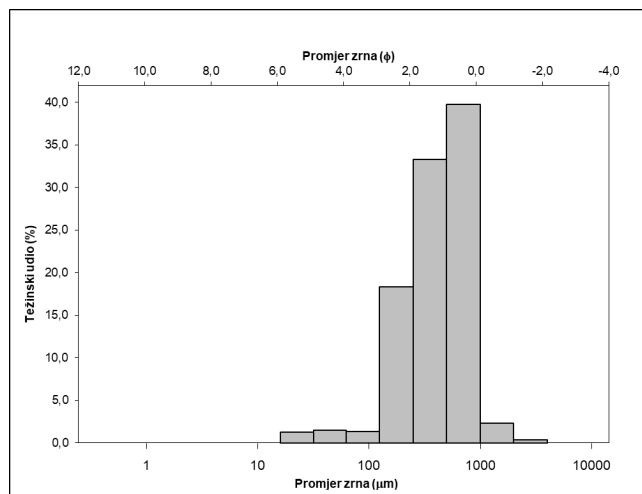
Tablica 1 Osnovni granulometrijski parametri analiziranih uzoraka.

Uzorak	Srednja veličina zrna ( $D_{50}$ )	Prosječna veličina zrna ( $\bar{x}$ )	Sortiranje ( $\sigma$ )	Asimetričnost raspodjele ( $S_k$ )	Zaoštrenost krivulje ( $K_g$ )
	mm	mm	$\Phi$	$\Phi$	$\Phi$
Lojišće 1	0,309	0,290	0,763	0,091	1,007
Lojišće 2	0,435	0,407	0,948	0,177	0,856
Lojišće 3	0,330	0,328	1,112	0,106	1,020

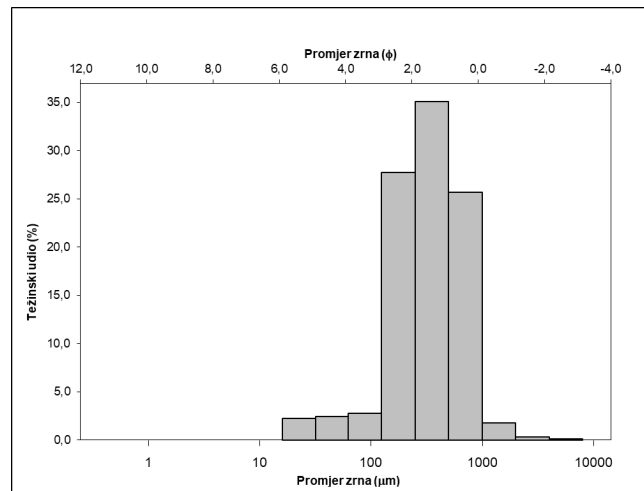
Histogrami uzoraka s plaže Lojišće prikazuju rezultate raspodjele veličine zrna, odnosno njihovu raspršenost (Slika 16; Slika 17; Slika 18), dok je trokomponentnim dijagramom i pripadajućim grafom prikazana klasifikacija uzoraka prema FOLKU (1954) (Slika 19; Slika 20).



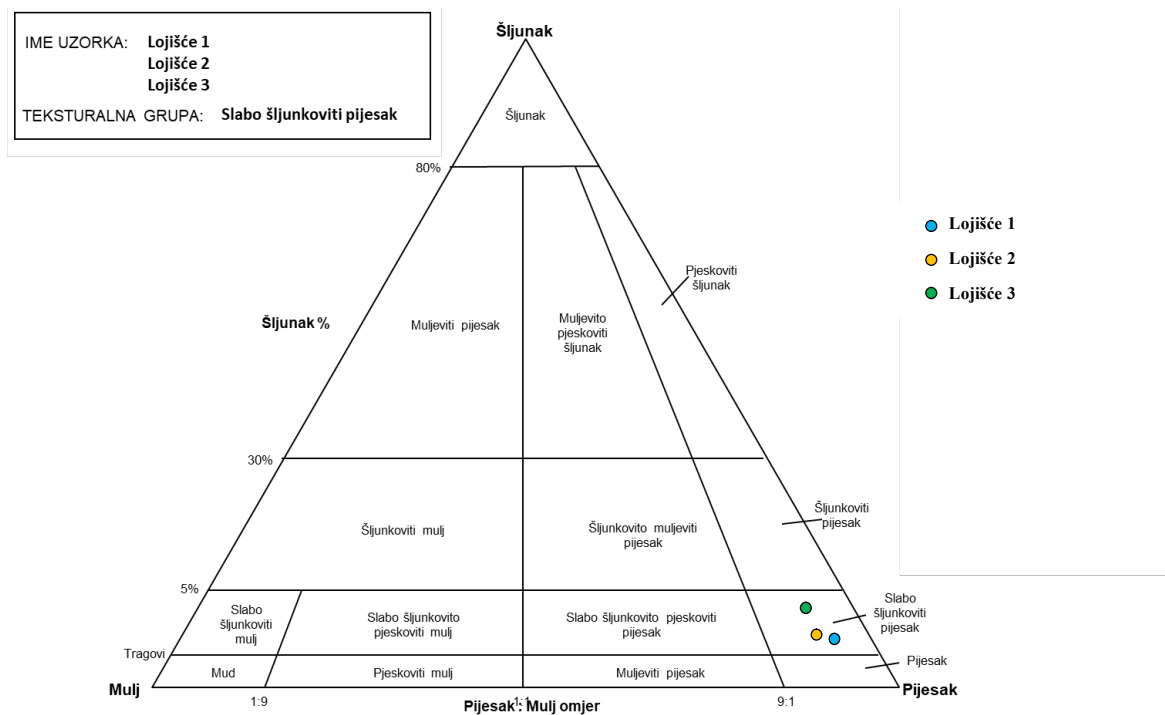
Slika 16 Histogram uzorka Lojišće 1.



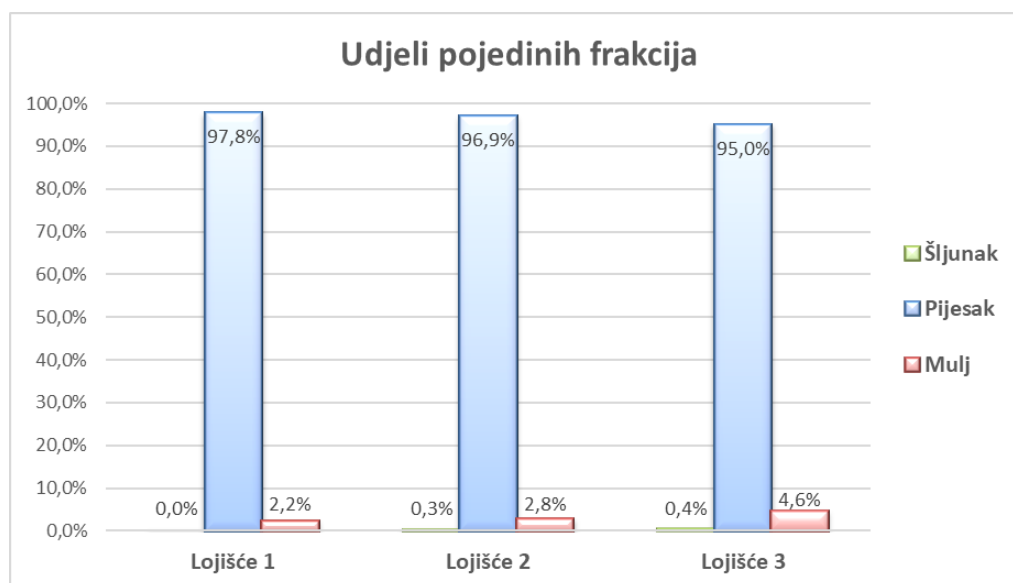
Slika 17 Histogram uzorka Lojišće 2.



Slika 18 Histogram uzorka Lojišće 3.

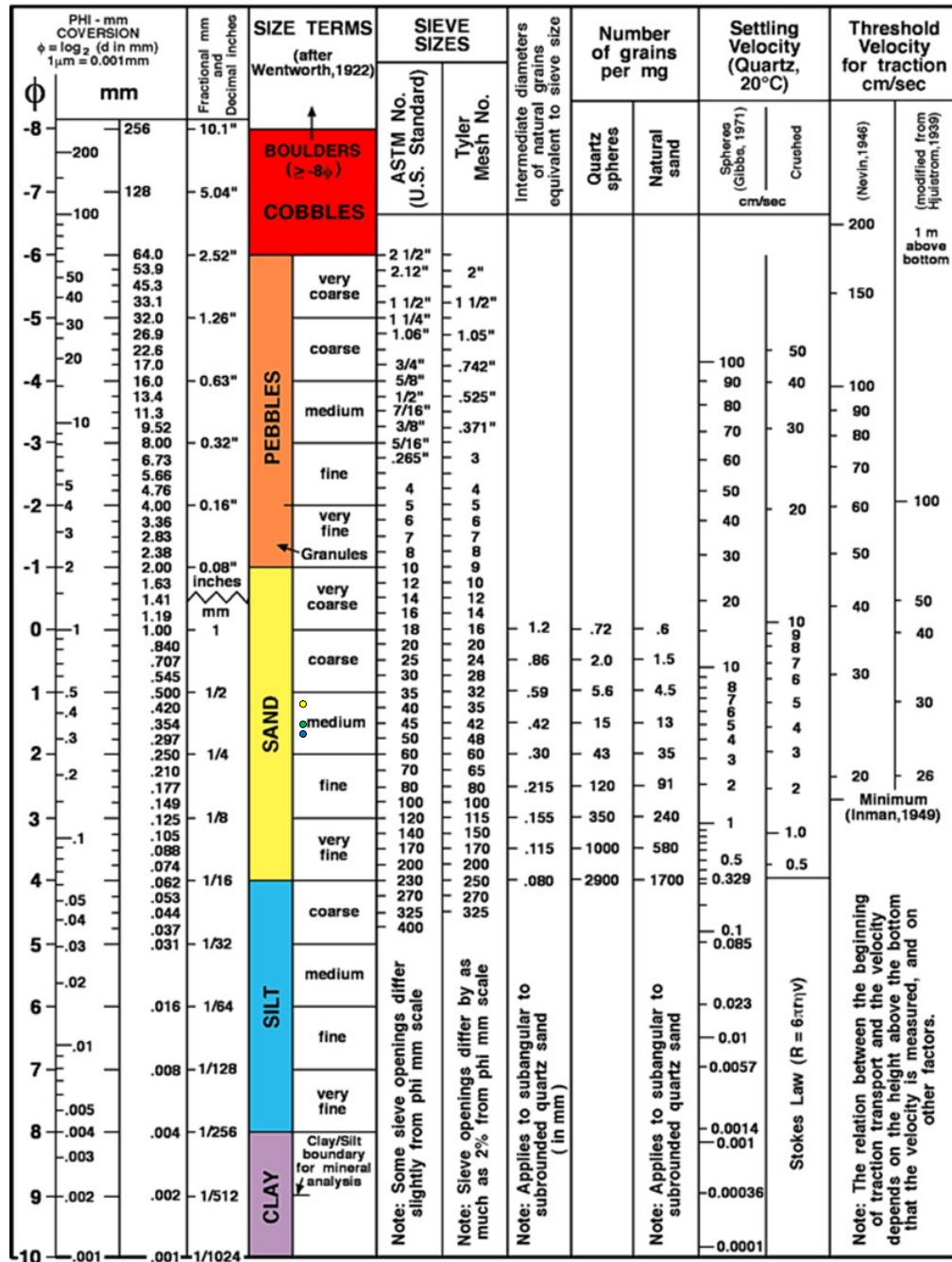


Slika 19 Trokomponentni dijagram za klasifikaciju prema FOLKU (1954) za uzorke Lojišće 1, Lojišće 2 i Lojišće 3.



Slika 20 Grafikon s udjelima pojedinih frakcija u uzorcima Lojišće 1, Lojišće 2 i Lojišće 3.

Srednja veličina zrna ( $D_{50}$ ) svih uzoraka nalazi se u rasponu 309–435  $\mu\text{m}$  te se prema Wentworthovoj ljestvici (1922) nalazi u klasi srednje-zrnatog pijeska (Slika 21).



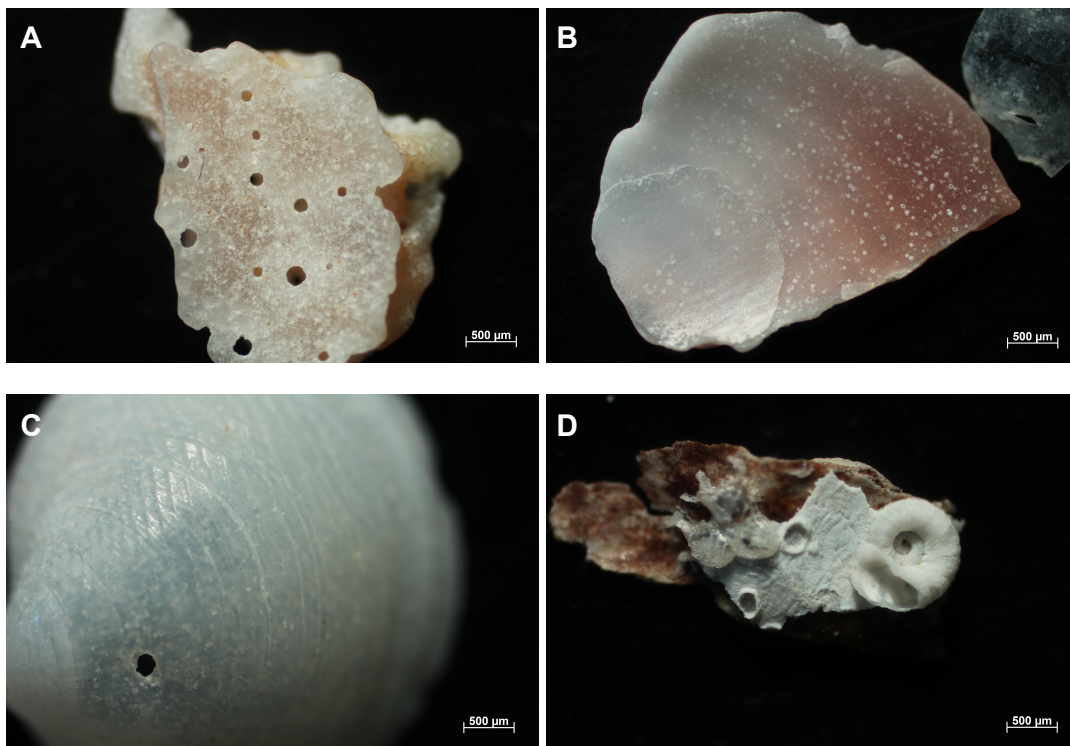
Slika 21 Wentworthova ljestvica. Vrijednost srednje veličine zrna za uzorak Lojišće 1 prikazana je plavim kružićem, za Lojišće 2 žutim kružićem, a za Lojišće 3 zelenim.

### 5.3. Rezultati mikroskopske analize pijeska

Mikroskopskom analizom pojedinih frakcija uzoraka utvrđeno je porijeklo čestica pijeska plaže Lojišće. Kroz različite frakcije uzoraka Lojišće 1, Lojišće 2 i Lojišće 3, prikazani su dobiveni rezultati mikroskopskog pregleda.

#### Frakcija 2–4 mm

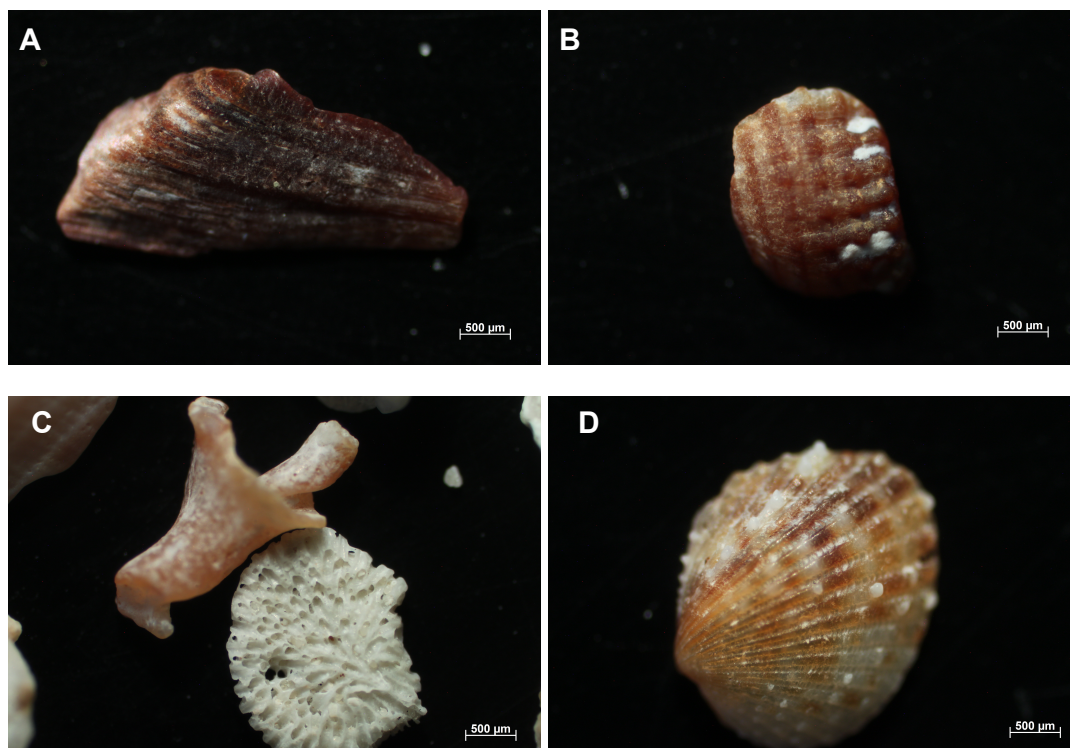
Frakciju 2–4 mm uglavnom čine fragmenti školjkaša i razlomljenih listova posidonije (Slika 22).



Slika 22 Frakcija 2–4 mm. A) uzorak Lojišće 2 – fragment ljuštore školjkaša s tragovima bušenja nepoznatog organizma; B) uzorak Lojišće 2 – fragment ljuštore školjkaša; C) uzorak Lojišće 3 – ljuštura školjkaša s tragom bušenja; D) uzorak Lojišće 3 – list posidonije s inkrustirajućom formom mahovnjaka i serpulidom.

**Frakcija 1–2 mm**

U frakciji 1–2 mm (Slika 23) ističu se ljuštore školjkaša, kućice puževa i kolonije mahovnjaka.

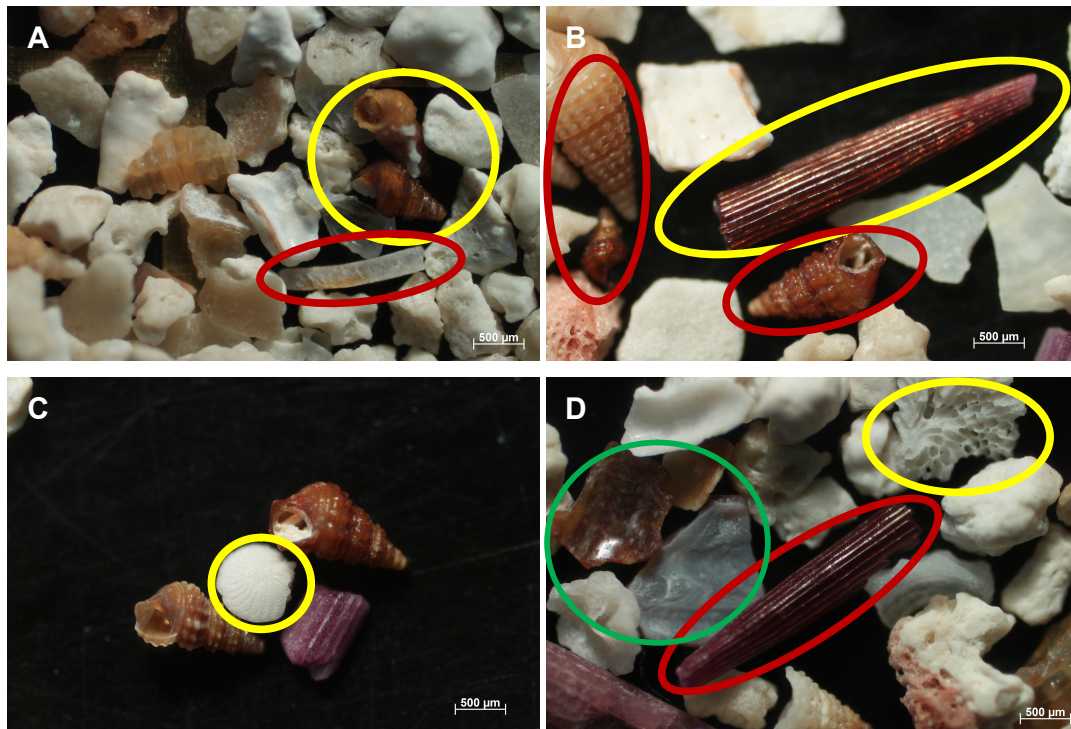


Slika 23 Frakcija 1–2 mm. A) uzorak Lojišće 1 – fragment ljuštore školjkaša, B) uzorak Lojišće 2 – fragment kućice ježinca, C) uzorak Lojišće 3 – fragment puževe kućice i kolonije mahovnjaka; D) uzorak Lojišće 3 – ljuštura školjkaša.



### Frakcija 0,5–1 mm

U frakciji 0,5–1 mm (Slika 24) ističu se brojne kućice puževa – cijele i fragmentirane, fragmenti ljuštura školjkaša, brojne očuvane foraminifere, mahovnjaci i bodlje ježinaca.

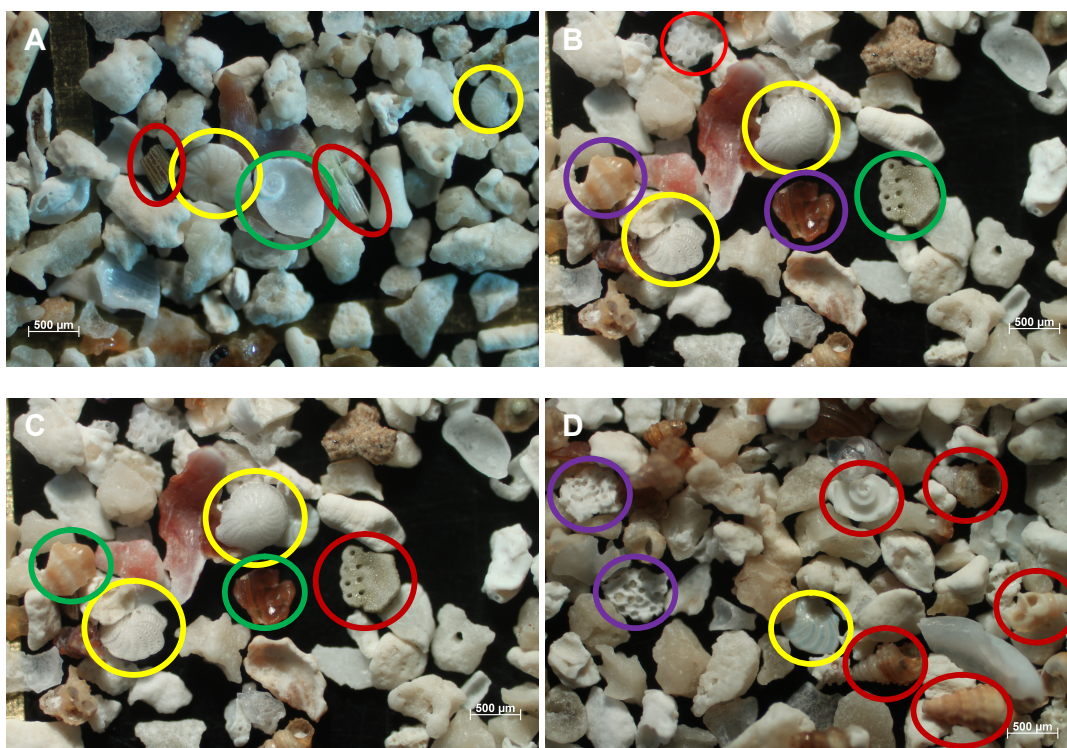


Slika 24 Frakcija 0,5–1 mm. A) uzorak Lojišće 1 – puževe kućice – žuto zaokruženo, serpulid ili puž s ravnom kućicom – crveno zaokruženo; B) uzorak Lojišće 2 – bodlja ježinca – žuto zaokruženo, puževe kućice – crveno zaokruženo; C) uzorak Lojišće 2 – kućica foraminifere – žuto zaokruženo, puževe kućice i fragment bodlje ježinca; D) uzorak Lojišće 3 – fragment kolonije mahovnjaka – žuto zaokruženo, bodlja ježinca – crveno zaokruženo, fragmenti školjkaša – zeleno zaokruženo.



### Frakcija 0,25–0,5 mm

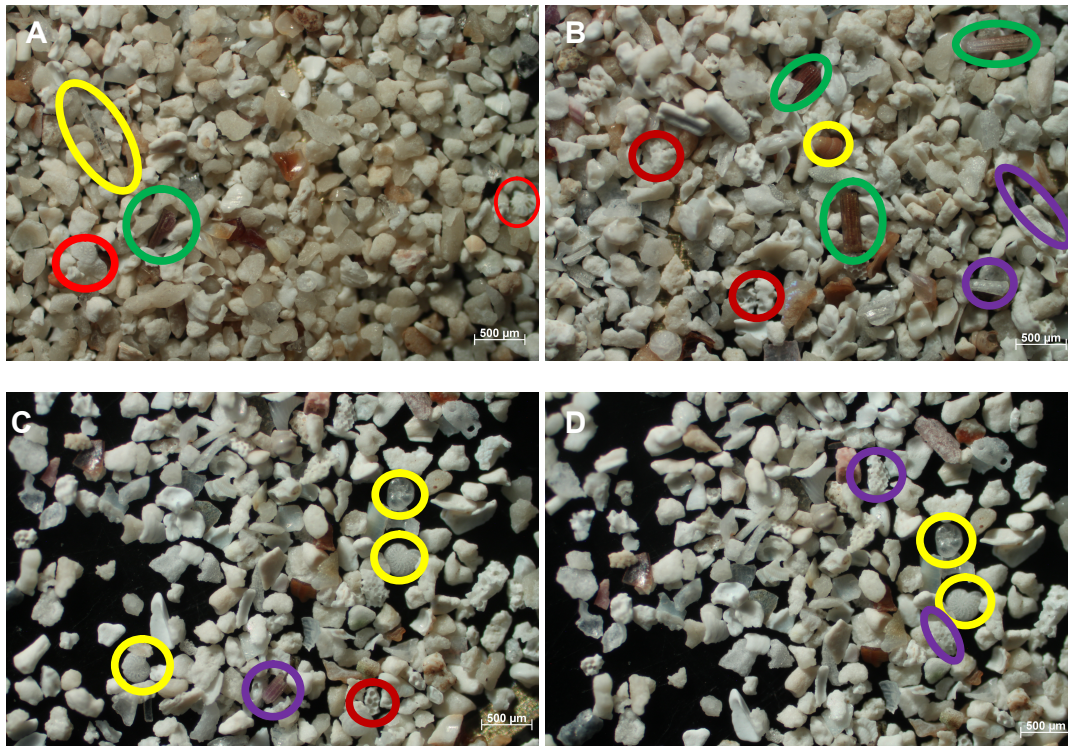
Frakcija 0,25–0,5 mm (Slika 25) također obiluje biogenim ostacima. Brojne su kućice cijelih foraminifera, fragmenti školjkaša, kolonijske forme mahovnjaka, kućice puževa – cijele i fragmentirane, fragmenti bodlji ježinaca. Fragmenti školjkaša i kućica puževa su već poprilično erodirani – ostaci su djelomično zaobljeni i glatki. Ova frakcija je najobilnija u analiziranim uzorcima.



Slika 25 Frakcija 0,25–0,5 mm. A) uzorak Lojišće 1 – fragmenti bodlji ježinaca – crveno zaokruženo, kućica foraminifere – žuto zaokruženo, fragment puževe kućice – zeleno zaokruženo. B) uzorak Lojišće 2 – kućice foraminifera – žuto zaokruženo, fragment kolonije mahovnjaka – crveno zaokruženo, fragmenti ljuštore školjkaša – ljubičasto zaokruženo, fragment kućice ježinca – zeleno zaokruženo; C) uzorak Lojišće 2 – kućice foraminifera – žuto zaokruženo, fragment kućice ježinca – crveno zaokruženo, fragmenti ljuštore školjkaša – zeleno zaokruženo; D) uzorak Lojišće 3 – kolonije mahovnjaka – ljubičasto zaokruženo, kućice foraminifera – žuto zaokruženo, puževe kućice – crveno zaokruženo.

**Frakcija 0,125–0,25 mm**

Frakcija 0,125–0,25 mm (Slika 26) je vrlo usitnjena. Biogena zrna su uglavnom zaobljena i glatka. U ovoj frakciji vidljive su spikule spužvi i kućice foraminifera te izlomljeni fragmenti školjkaša, bodlji ježinaca i kolonija mahovnjaka.

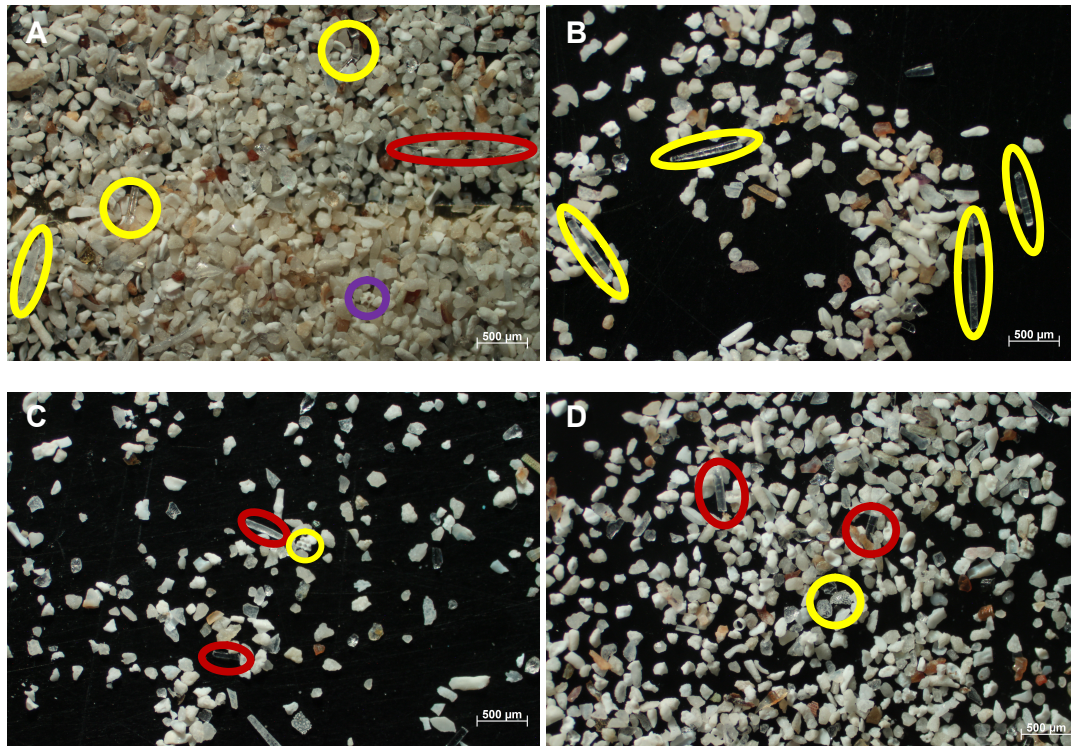


Slika 26 Frakcija 0,125–0,25 mm. A) uzorak Lojišće 1 – spikula spužve – žuto zaokruženo, fragment bodlje ježinca – zeleno zaokruženo, kućice foraminifera – crveno zaokruženo; B) uzorak Lojišće 2 – fragmenti bodlji ježinaca – zeleno zaokruženo, spikula spužve – ljubičasto zaokruženo, fragmenti kolonije mahovnjaka – crveno zaokruženo, puževa kućica – žuto zaokruženo; C) uzorak Lojišće 3 – kućice foraminifera – žuto zaokruženo, fragmenti kolonije mahovnjaka – crveno zaokruženo, fragment dolje ježinca – ljubičasto zaokruženo; D) uzorak Lojišće 4 – kućice foraminifera – žuto zaokruženo, fragmenti kolonije mahovnjaka – ljubičasto zaokruženo.



**Frakcija 0,063–0,125 mm**

Frakcija 0,063–0,125 mm (Slika 27) vrlo je slična frakciji 0,125–0,25 mm. Brojne su usitnjene spikule spužvi, kućice foraminifera su fragmentirane kao i ostaci školjkaša i puževa.



Slika 27 Frakcija 0,063–0,125 mm. A) uzorak Lojišće 1 – spikule spužvi – žuto zaokruženo, fragment mahovnjaka – ljubičasto zaokruženo, nit plastičnog materijala – crveno zaokruženo; B) uzorak Lojišće 1 – spikule spužvi – žuto zaokruženo; C) uzorak Lojišće 2 – spikule spužvi – crveno zaokruženo, fragment kolonije mahovnjaka – žuto zaokruženo, D) uzorak Lojišće 3 – spikule spužvi – crveno zaokruženo, razlomljene kućice foraminifera – žuto zaokruženo.

#### 5.4. Količina sedimenta unutar uzoraka banketa posidonije

Tijekom razdoblja istraživanja, masa sedimenta u banketima značajno je varirala (Tablica 2), kao i izgled samih banketa te razlomljenost listova posidonije.

Tablica 2. Količina sedimenta odvojena iz uzoraka posidonije za svaki mjesec uzorkovanja (ožujak, travanj, svibanj 2022.).

Uzorak	Lojišće ožujak	Lojišće travanj	Lojišće svibanj
Masa sedimenta u 1 m <sup>3</sup> posidonije (kg)	354	427	455,5

#### 5.5. Rezultati određivanja udjela karbonata

Udjeli karbonatne komponente izračunati su i prikazani u Tablici 3. Raspon dobivenih udjela %CaCO<sub>3</sub> kreće se između 97,5% i 99,1% .

Tablica 3. Udjeli karbonatne komponente u uzorcima pijeska i sedimenta iz posidonije.

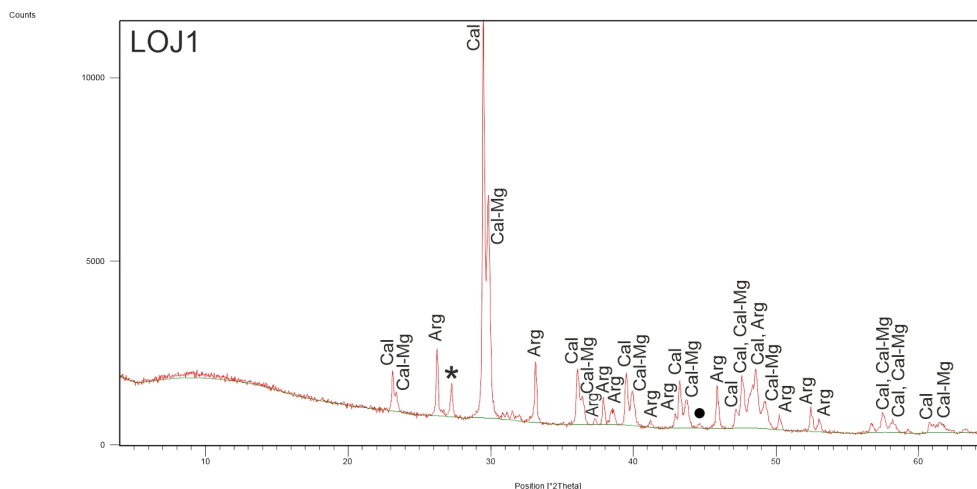
Uzorak	Udio %CaCO <sub>3</sub>
Lojišće 1	97,5
Lojišće 2	98,8
Lojišće 3	99,1
Lojišće – posidonija ožujak	98,8
Lojišće – posidonija travanj	98,4
Lojišće – posidonija svibanj	98,7

## 5.6. Rezultati fazne analize

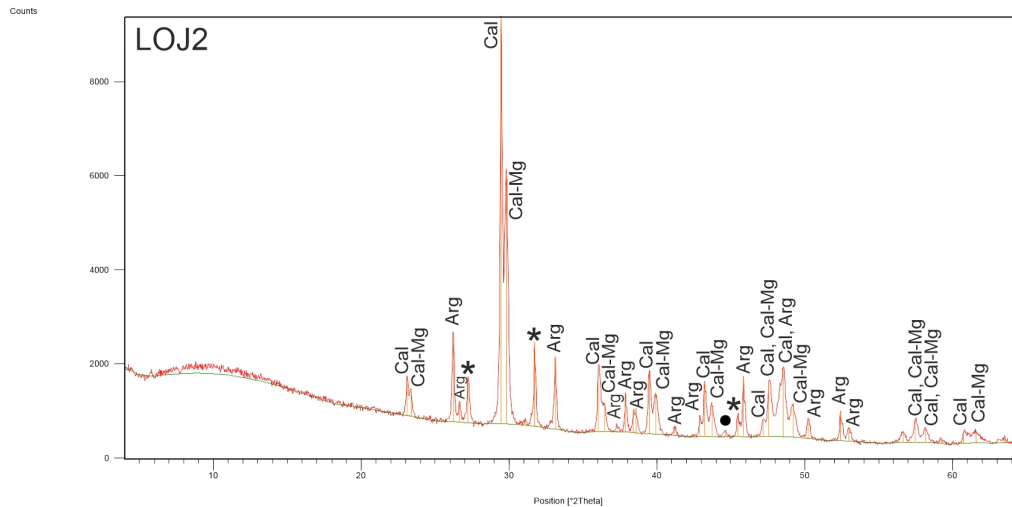
Faznom analizom ustanovljeno je da sva tri uzorka s plaže Lojišće imaju vrlo sličan sastav. Glavni minerali prisutni u uzorcima su kalcit i magnezijски kalcit, a sporedni mineral u svim uzorcima je aragonit (Slika 28; Slika 29; Slika 30). U tragovima se pojavljuju kvarc (nije označen na Slikama 28-30) i halit čija je pojava posljedica sušenja i kristalizacije iz morske vode. Pojava aluminija odraz je nosača uzorka.

U uzorku Lojišće 1 ne pojavljuje se kvarc kao element u tragovima, a u odnosu na preostala dva uzorka, sadrži najmanje aragonita i magnezijskog kalcita (Slika 31). Slika 31 prikazuje usporedni rendenogram za uzorke Lojišće 1, Lojišće 2 i Lojišće 3, na kojem se na poziciji 26,68 2 $\theta$  kod posljednja dva uzorka vidi prisutnost kvarca, a oba uzorka sadrže više magnezijskog kalcita nego uzorak Lojišće 1. U uzorku Lojišće 3 detektirano je najviše aragonita.

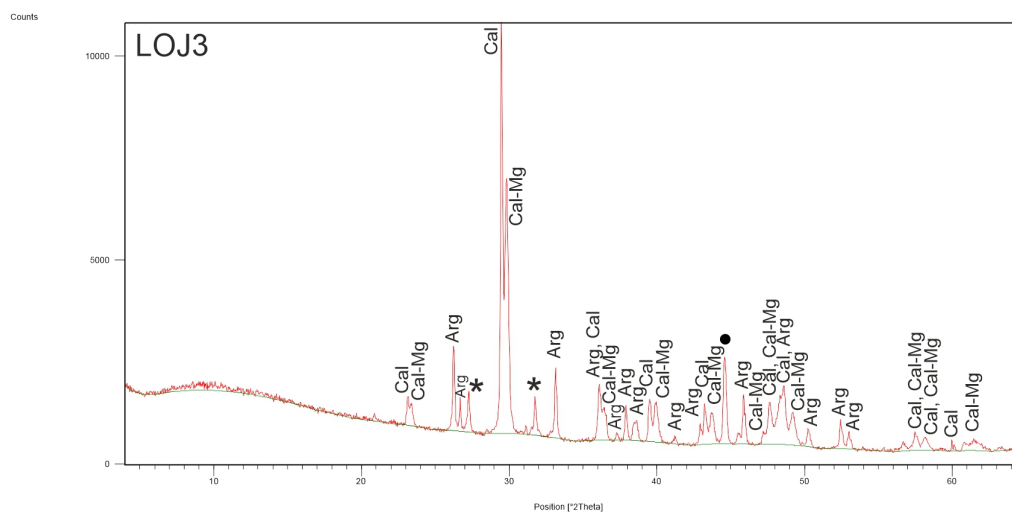
Rendegenogrami uzoraka (Slika 28; Slika 29; Slika 30) jasno prikazuju magnezijски kalcit kao najdominantniji mineral u uzorku i aragonit kao dominantni sporedni mineral.



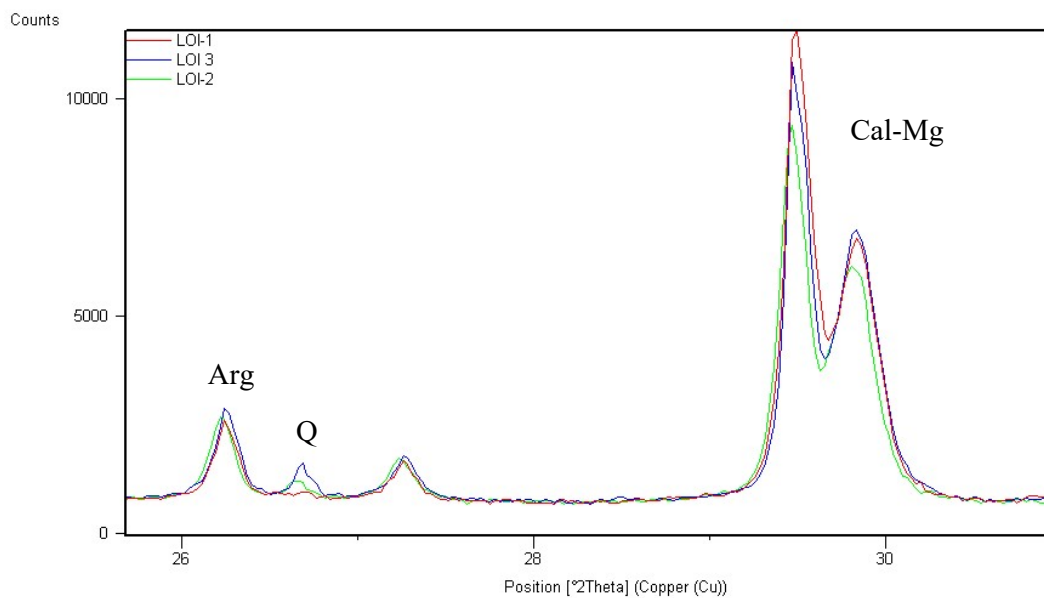
Slika 28 Rendegenogram uzorka Lojišće 1. Oznake na vrhovima pikova predstavljaju minerale: Cal – kalcit, Cal-Mg – magnezijски kalcit, Arg – aragonit, \* – halit, ● – aluminij.



Slika 29 Rendgenogram uzorka Lojišće 2. Oznake na vrhovima pikova predstavljaju minerale: Cal – kalcit, Cal-Mg – magnezijски kalcit, Arg – aragonit, \* – halit, ● – aluminij.



Slika 30 Rendgenogram uzorka Lojišće 3. Oznake na vrhovima pikova predstavljaju minerale: Cal – kalcit, Cal-Mg – magnezijски kalcit, Arg – aragonit, \* – halit, ● – aluminij.

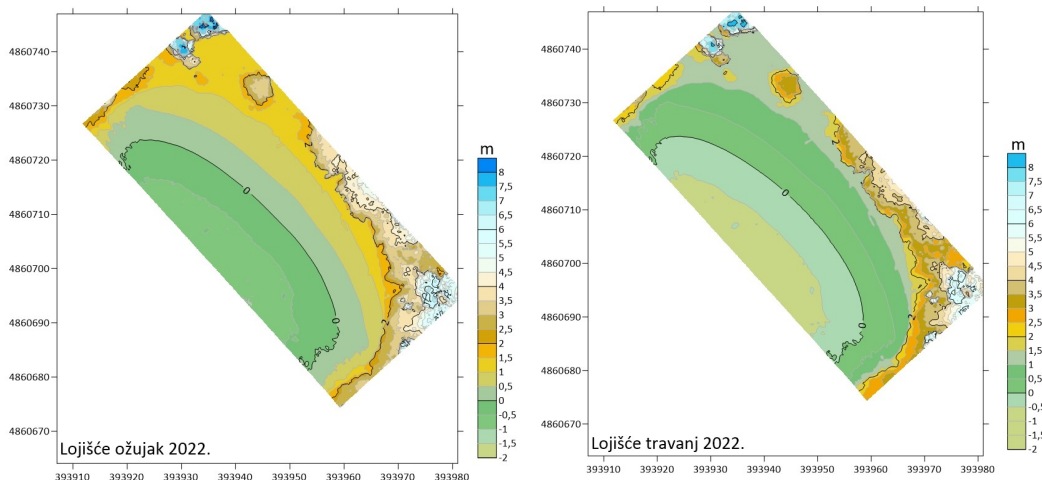


Slika 31 Dio uspoređenih rendgenograma za uzorke Lojišće 1, Lojišće 2 i Lojišće 3 s prikazanim kvarcom u tragovima.



## 5.7. Topografija plaže

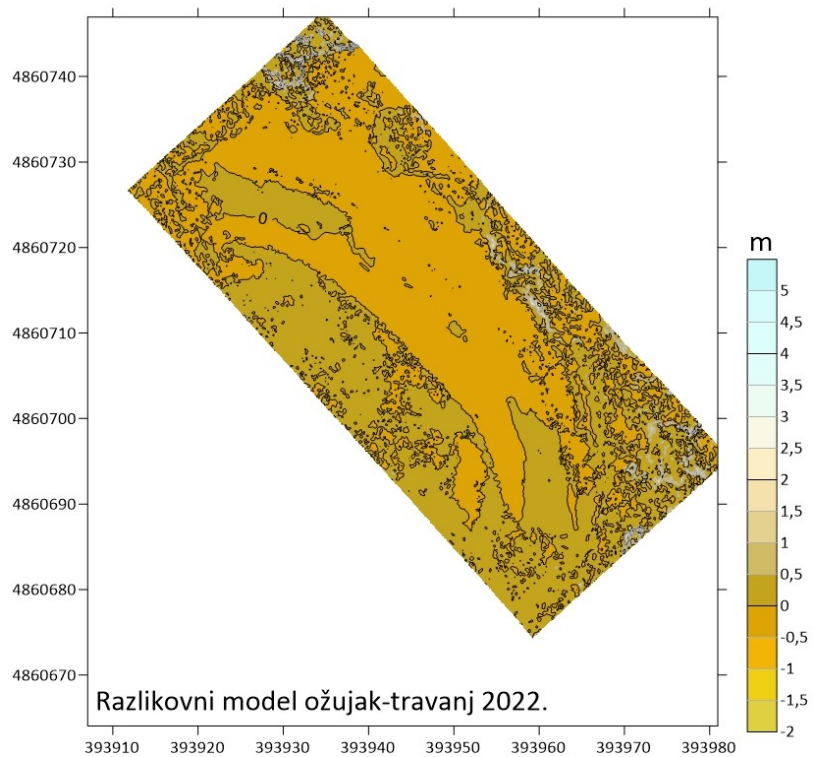
Digitalni površinski modeli plaže dobiveni snimanjem plaže Lojišće u ožujku i travnju prikazani su na slici 23. Iako skala boja za oba modela nije jednaka, uočeno je da je razina mora (0m) približno na istom mjestu. Više predjele na modelu čine rubovi plaže, a pripadaju vegetaciji.



Slika 32 Digitalni površinski modeli plaže Lojišće snimljeni u ožujku i travnju 2022.

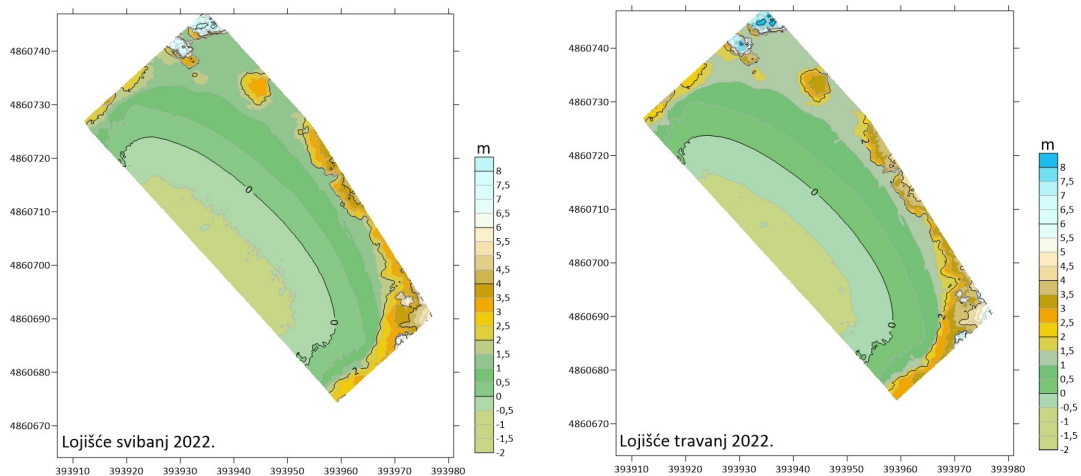
Napomena: boje na legendi ne odražavaju visinu na isti način.

Kako bi se utvrdilo postoji li ikakva promjena u morfologiji plaže između ožujka i travnja, napravljen je razlikovni model (Slika 33). Prema njemu vidljive su samo blage promjene – na većini plaže dogodila se blaga erozija unutar pola metra. Na SZ i JI dijelu plaže je došlo do blage akumulacije, također unutar pola metra, a isto je posebno vidljivo u morskom prostoru. U zaleđu plaže detektirana je velika promjena u visini (prividna akumulacija) što odgovara proljetnom rastu vegetacije.



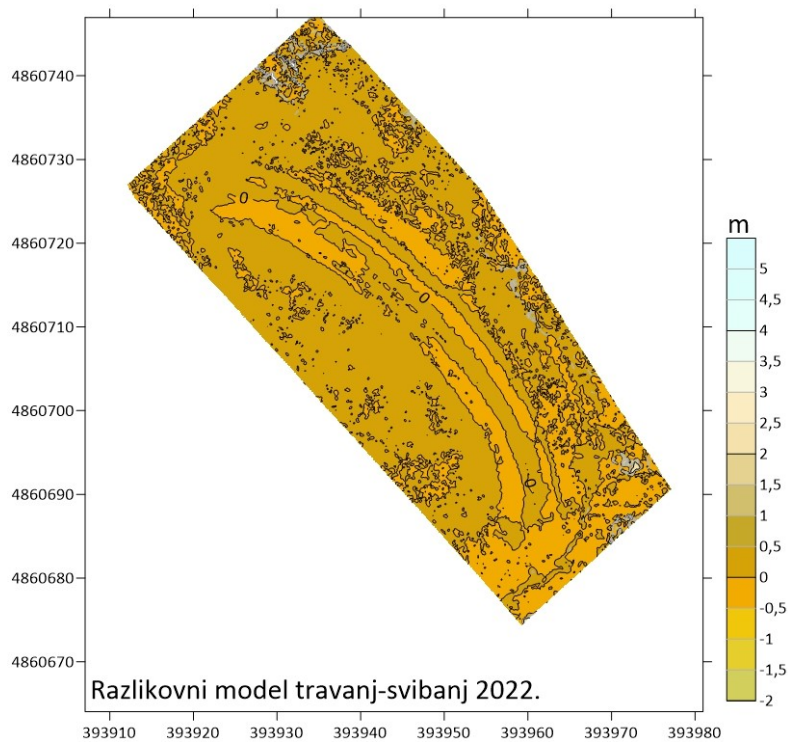
Slika 33 Razlikovni model plaže Lojšće za ožujak-travanj 2022.

Slična je situacija s modelima plaže koji su dobiveni snimanjem plaže Lojišće u travnju i svibnju. Dobiveni digitalni površinski modeli također pokazuju minimalne promjene u odnosu na snimanje između dva mjeseca. I ovdje treba napomenuti da skala boja nije jednaka za oba modela, kao i to da prikazana površina plaže ne odgovara prethodnom paru.



Slika 34 Modeli plaže Lojišće snimljeni u travnju i svibnju 2022. Boje na legendi ne odražavaju visinu na isti način.

Razlikovni model za travanj-svibanj (Slika 35) pokazuje nešto veće promjene od onog za ožujak-travanj. I erozija i akumulacija su detektirane na plaži do unutar pola metra, pri čemu je akumulacija materijala primijećena na većem dijelu plaže, naročito na područjima na kojima su bili prisutni (a ujedno su i uzorkovani) banketi posidonije čija je lokacija prikazana na Slici 12. Značajnija vidljiva akumulacija na rubovima modela se ponovo odnosi na bujanje vegetacije.



Slika 35 Razlikovni model plaže Lojišće za travanj-svibanj 2022.

## 6. Rasprava

Promatranjem plaže Lojišće tijekom tri proljetna mjeseca prilikom terenskog rada, uočene su blage promjene na plaži.

Sediment na plaži Lojišće relativno je ujednačene veličine zrna. Uzorci sa sva tri profila određeni su kao slabo šljunkoviti pijesak (Tablica 1). U sva tri uzorka dominiraju tri veličinske frakcije, grupirane u području oko srednje-zrnatog pijeska (Tablica 1).

Rezultati određivanja karbonata pokazali su da je njihova zastupljenost veća od 95% u svim uzorcima (Tablica 3) te se analizirani pijesak može smatrati vrlo visoko karbonatnim materijalom. Ovakav rezultat potkrepljuju i rezultati analize mineralnog sastava. Prema njima su dominantni minerali u sva tri uzorka magnezijski kalcit i kalcit, te aragonit kao sporedni mineral (Slike 28-31). Poznato je da je magnezijski kalcit biogeni mineral, a pri izgradnji svoga skeleta, izlučuju ga foraminifere, bodljikaši i mahovnjaci. Također, u morskom okolišu je i detektirani aragonit najčešće biogenog porijekla, jer mnogi organizmi (puževi, školjkaši, neke vrste foraminifera te mnogočetinaši) izgrađuju svoje ljuštore od ovog minerala. Kalcit može biti i terigenog porijekla, što bi značilo da se na plaži Lojišće mehanički trošila osnovna stijena – kredni vapnenac. Kako bi se utvrdilo porijeklo ovog vrlo karbonatnog sedimenta plaže Lojišće, sve frakcije analiziranog sedimenta pregledane su pod mikroskopom. Sve snimljene slike, od kojih je samo dio prikazan u ovom radu, pokazale su da su u analiziranom sedimentu prisutne u velikoj mjeri biogene čestice i to ostaci različitih morskih beskralješnjaka (Slike 22-27). Na temelju prethodno utvrđenog, može se zaključiti da u sedimentu dominiraju foramol zajednice (LEES i BULLER, 1972) predvođene mekušcima i foraminiferama, odnosno foramol-briomol zajednice (LEES i BULLER, 1972; NELSON i sur., 1988) predvođene foraminiferama, mekušcima i mahovnjacima, odnosno mekušcima i mahovnjacima. U frakcijama pijeska i šljunka nisu nađeni fragmenti stijena u podlozi plaže, pa se pretpostavlja da je i kalcit identificiran u pijesku također biogenog porijekla. Ovakav nalaz je u skladu s ukupnim izgledom plaže i njenim sedimentom u kojem tijekom terenskog rada nisu pronađene karbonatni obluci, kao što je to slučaj plaže Sakarun (GODEC, 2021). Drugim riječima, malo je vjerojatno da se osnovna stijena mehanički troši u tolikoj mjeri kao što je to slučaj plaže Sakarun.

Opisani sastav i zastupljenost karbonatnih minerala, u skladu je s općim karakteristikama površinskog sedimenta dna istočnojadranskog šelfa u kojem dominira

biogena, krupnozrnata frakcija (PIKELJ, 2010). U skladu s tim, može se zaključiti da pijesak taložen na plaži i u najplićem dijelu uvale Lojišće dolazi iz mora. Ostaci uginulih organizama – skeleti i ljušturice nakupljaju se na morskom dnu te vremenom budu valovima izbačeni na plažu. Orijentacija uvale i plaže na jugozapad, kao i izloženost valovima juga, omogućuje ovakav transport sedimenta na plažu.

Obzirom na sastav zajednice identificiranih organizama te njihova morfološka obilježja u sedimentu koja se vežu uz njihov način života (pričvršćeni na listove i druge dijelove posidonije), moguće je zaključiti da značajan dio sedimenta potječe iz livada posidonije, koje su još uvijek prisutne u prostoru na ulazu u uvalu. Slična situacija primijećena je i kod plaže Sakarun (GODEC, 2021).

Za razliku od plaže Sakarun koje je prema PIKELJ i JURAČIĆ (2013) definirana kao šljunčana plaža koja nastaje usitnjavanjem oslabljene karbonatne podloge uslijed značajno djelovanju valova juga, kod plaže Lojišće nije moguće u potpunosti jasno definirati kojem tipu plaže bi pripadala. Pijesak kao sediment plaža na hrvatskoj obali nije česta pojava (PIKELJ i JURAČIĆ, 2013), a na mjestima na obali na kojima se pojavljuje je najčešće terigenog porijekla (pr. PIKELJ i FURČIĆ, 2020; BANAK i sur., 2021). Pojava morskog pijeska na plaži Lojišće, ali i na plaži Sakarun može se stoga smatrati rijetkom pojavom. Pretpostavlja se da je riječ o kombinaciji čimbenika koji su doveli do taloženja morskog pijeska na obalu. Jedan od čimbenika je zasigurno izloženost valovima juga. U odnosu na plažu Sakarun na koju valovi juga dolaze pod pravim kutom, plaža Lojišće je radi svoje orijentacije na JZ i uvučenosti nešto manje izložena tim valovima. Drugi čimbenik je zasigurno postojanje plitkog morskog prostora ispred svake od tih plaža (pr. Slika 4), na kojem postoje živuće livade posidonije. Obzirom da su one „tvornice“ karbonatnog biogenog sedimenta, može se pretpostaviti da ti plitki morski prostori djeluju kao izvor pjeskovite frakcije obiju plaža. Ipak, za plažu Lojišće još nije utvrđeno nalazi li se ispod pijeska šljunkoviti materijal ili je pijesak taložen direktno na osnovnu stijenu.

Veliku važnost za ekosustav morskog i obalnog sustava imaju livade posidonije što je već objašnjeno u Poglavlju 3. Svojim korijenjem, posidonija stabilizira sediment na morskom dnu i sprječava njegovo širenje i gubitak u dubljim dijelovima mora, odnosno nepovratnu eroziju sedimenta. Listovi posidonije posredno štite plažu od erozije valovima usporavajuću brzinu i snagu valova. Također, od iznimnog su značaja, jer pružaju stanište mnogim marinskim organizmima na morskom dnu – mekušcima, foraminiferama, ribama, epifaunanim oblicima koji žive pričvršćeni za same listove posidonije (npr. serpulidi).



Degaradacijom livada posidonije, sediment s morskog dna valovi talože u uvali i na plaži te se na taj način plaža obogaćuje sedimentom. Iako se ovo čini kao povoljna okolnost za razvoj plaža, jer raste dostupna količina sedimenta za plažu, dugoročno gledano, smanjenjem površina livada posidonije nestaje prostor koji omogućuje dugoročno „čuvanje“ sedimenta i opskrbu plaže (GODEC, 2021).

Banketi na plaži Lojišće su u proljetnom periodu ožujak-svibanj 2022. bili relativno niski te oskudni što se tiče rasprostranjenosti po površini plaže. Prema GODEC (2021), najveća količina posidonije, odnosno banketa posidonije, nalazi se na plažama nakon jačih epizoda valova juga. Iako za promatrani period nisu analizirane vremenske i valne prilike (to će biti učinjeno po završetku cijelog perioda praćenja), na temelju oskudnosti i male debljine banketa može se zaključiti da značajnijih olujnih epizoda juga nije bilo u proljeće 2022. Blaga promjena u rasporedu i debljini banketa jest primijećena tijekom sva tri mjeseca, pa je u skladu s tim i mjesto uzorkovanja banketa variralo iz mjeseca u mjesec, kako je prikazano na Slici 12.

Kao i kod plaže Sakarun, pijesak je na plaži Lojišće inkorporiran u bankete posidonije. Količina sedimenta u banketima je bila najveća u svibnju i iznosi  $455,5 \text{ kg/m}^3$ , dok je najmanja količina zabilježena u ožujku:  $357 \text{ kg/m}^3$ . Uzme li se prosječna količina sedimenta u posidoniji za proučavane proljetne mjesece na plaži Lojišće od  $412,1 \text{ kg/m}^3$  može se zaključiti da je količina sedimenta u banketima plaže Lojišće i do 7 puta veća u odnosu na plažu Sakarun (GODEC, 2021), gdje ta količina iznosi nešto više od 60 kg. Ovakvi rezultati ukazuju na još veću povezanost sedimenta i banketa u odnosu na plažu Sakarun, te se smatra da banketi kao biogeomorfološke strukture plaže Lojišće nipošto ne bi trebali biti remećeni. Također, može se zaključiti da banketi posidonije pozitivno utječu na ukupni budžet plaže Lojišće. Vremenska promjena količine pijeska u banketima tijekom proljetnih mjeseci praćenja ukazuje na djelovanje valova na plažu i „prevrtanje“ sedimenta kojim je on utisnut u bankete. Također, njegovo kontinuirano povećanje količine od ožujka do svibnja može biti i znak vraćanja plaže u ljetnu fazu, kod koje se sediment na plaži nakuplja, za razliku od zimske faze kod koje sediment s plaže biva erodiran.

Iako u ovom radu nije analiziran sediment izvađen iz banketa, makroskopskim pregledom utvrđeno je da on izgledom ne odudara od sedimenta na ostatku plaže, pa se pretpostavlja da je riječ također o pijesku sličnih granulometrijskih karakteristika. Sličnost pijeska plaže i pijeska iz banketa očituje se i u vrlo visokoj zastupljenosti karbonatne frakcije (Tablica 3).

Usporedbom razlikovnih modela u periodu ožujak-travanj i travanj-svibanj vidljive su samo blaže promjene u morfologiji plaže (Slika 33 i Slika 35). Očekivane veće promjene u izgledu plaže Lojišće tijekom promatranih proljetnih mjeseci izostale su zbog, pretpostavlja se, prisutnosti samo blažih epizoda juga. Tijekom cijelog razdoblja promatranja plaže, akumulacija i erozija su unutar pola metra, a uočeni banketi posidonije odgovaraju područjima akumulacije, kako je prethodno navedeno u Poglavlju 5. Veće promjene uočene su samo na vegetaciji što odgovara proljetnom rastu. Iako su epizode snažnih valova juga tijekom ovog proljeća izostale, praćenje morfoloških karakteristika plaže Lojišće bit će nastavljeno u jesen 2022. godine, nakon čega bi trebala biti dobivena potpunija slika morfoloških promjena u duljem vremenskom periodu i tijekom različitih vremenskih prilika.

## 7. Zaključak

Zbog svog položaja u Parku prirode Telašćica, a s ciljem njezine zaštite, plaža Lojišće je pod povećalom lokalnih vlasti i Parka. Na Jadranskoj obali, pojava morskog pijeska na plažama je rijetkost pa je time vrijednost plaže Lojišće još veća. Na temelju rezultata provedenih analiza u ovom radu, mogu se donijeti sljedeći zaključci:

- ⚓ Plaža je sastavljena od slabo šljunkovitog sitnozrnatog pijeska koji se u najvećoj mjeri sastoji od biogenog karbonatnog materijala koji dolazi iz mora, preciznije iz područja na ulazu u uvalu i izvan nje, gdje se rasprostiru livade posidonije.
- ⚓ Mikroskopskom analizom utvrđena je dominacija bioklasta pri čemu se ističu zajednice foraminifera, školjkaša, puževa, mahovnjaka i ježinaca, što ukazuje na to da u sedimentu dominiraju foramol iforamol-briomol zajednice.
- ⚓ Sastav sedimenta plaže odgovara tipičnom morskom površinskom, visoko-karbonatnom biogenom sedimentu istočne strane Jadranskog mora.
- ⚓ Primijećeno je kontinuirano povećanje sedimenta u banketima posidonije, što ukazuje na njihovu značajnu povezanost, čime se ne preporučuje njihovo remećenje.
- ⚓ Promjene na plaži Lojišće uočene izradom razlikovnih modela odgovaraju slabijim epizodama juga tijekom proljetnih mjeseci.

## 8. Literatura

- BANAK, A., PIKELJ, K., LUŽAR-OBERITER, B., KORDIĆ, B. (2017): Characteristics of Pleistocene aeolian – alluvial sediments of the northern cliff of Vrgada island (Adriatic sea, Croatia). *Revue Paralia* 4, 17–22.
- BECK, M.W., HECK, K.L., JR., ABLE, K.W., CHILDERS, D.L., EGGLESTON, D.B., GILLANDERS, B.M., HALPERN, B., HAYS, C.G., HOSHINO, K., MINELLO, T.J., ORTH, R.J., SHERIDAN, P.F., WEINSTEIN, M.P., (2001): The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates. *BioScience* 51, 633–641.
- BENAC, Č., JURAČIĆ, M. (1998): Geomorphological indicators of the sea level changes during Upper Pleistocene (Wurm) and Holocene in the Kvarner region (NE Adriatic Sea). *Acta Geographica Croatica* 33(1), 27–45.
- BENAC, Č., JURAČIĆ, M., BLAŠKOVIĆ, I. (2008): Tidal notches in Vinodol Channel and Bakar Bay, NE Adriatic Sea: indicators of recent tectonics. *Marine Geology*, 248(3–4), 151–160.
- BLOTT, S. J., PYE, K. (2001): GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments, *Earth Surface Processes and Landforms* 26, 1237–1248.
- BRAGG, W.H., BRAGG, W.L. (1913): The Reflexion of X-rays by Crystals, *Proceedings of the Royal Society of London A* 88 (605), 428–38.
- COHEN, O. (2014): Profiler 3.1 XL, a free software for topographical profile construction and analysis in Microsoft Excel ©. Fifth International Symposium: "Monitoring of Mediterranean coastal areas: problems and measurement techniques. Livorno, Italy.
- COSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K., NAEEM, S., O'NEILL, R., PARUELO, J., RASKIN, R., SUTTON, P., VAN DEN BELT, M. (1997): The value of the world's ecosystem services and natural capital, *Nature* 387, 253–60.
- DOMÍNGUEZ-HERNÁNDEZ, C., VILLANOVA-SOLANOAB C., SEVILLANO-GONZÁLEZ M., HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, C., GONZÁLEZ-SÁLAMO, J., ORTEGA-ZAMORA, C., DÍAZ-PEÑA, F. J., HERNÁNDEZ-BORGES, J. (2022): Plastitar: A new threat for coastal environments. *Science of The Total Environment*, 839.
- DUARTE, C. M. (1991): Allometric scaling of seagrass form and productivity. *Marine Ecology Progress Series* 77, 289–300.

- DUARTE, C. M., CHISCANO, C. L. (1999): Seagrass biomass and production: a reassessment. *Aquatic Botany* 65, 159–174.
- EDGAR, G.J., SHAW, C., WATSON, G.F., HAMMOND, L.S., (1994): Comparisons of species richness, size-structure and production of benthos in vegetated and unvegetated habitats in Western Port, Victoria. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 176, 201–226.
- FAIRBRIDGE, R.W. (ed.) (1968): *The Encyclopedia of Geomorphology*. New York: Reinhold Book, 1295 str.
- FOLK, R. L. (1954): The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. *Journal Geology* 62, 344–356.
- FOLK, R. L., WARD, W.C. (1957): Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27, 3–26.
- GHISALBERTI, M., NEPF, H.M. (2002): Mixing layers and coherent structures in vegetated aquatic flows. *Journal of Geophysical Research* 107(C2), 3011.
- GODEC, P. (2021): Sedimentološke i geomorfološke posljedice uklanjanja naslaga morske cvjetnice *Posidonia oceanica* na primjeru plaže Sakarun. Diplomski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 74 str.
- GUTIÉRREZ, J. L., JONES, C. G., BYERS, J., A., K. (2012): Physical Ecosystem Engineers and the Functioning of Estuaries and Coasts. *Treatise on Estuarine and Coastal Science* 7, 53–81.
- HECK, K.L., JR. (1977): Comparative species richness, composition, and abundance of invertebrates in Caribbean seagrass (*Thalassia testudinum*) meadows (Panamá). *Marine Biology* 41, 335–348.
- HECK, K.L., JR., THOMAN, T.A. (1984): The nursery role of seagrass meadows in the upper and lower reaches of the Chesapeake Bay. *Estuaries* 7, 70–92.
- ICDD (2004): Powder diffraction file PDF-2, Release 2004. Newton Square.
- IRLANDI, E.A. (1996): The effects of seagrass patch size and energy regime on growth of a suspension-feeding bivalve. *Journal of Marine Research* 54, 161–185.
- JONES, C. G., LAWTON, J. H., SHACHAK, M. (1997): Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers. *Ecology* 78, 1946–1957.
- JUDGE, M.L., COEN, L.D., HECK, K.L., JR. (1993): Does *Mercenaria mercenaria* encounter elevated food levels in seagrass beds? Results from a novel technique to collect suspended food resources. *Marine Ecology Progress Series* 92, 141-150.

- KELLETTAT, D.H. (2005): Dalmatian coasts. In: Schwartz, M. (ed.), Encyclopedia of Coastal Science. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 355–356.
- KOCH, E.W., GUST, G. (1999): Water flow in tide- and wave-dominated beds of the seagrass *Thalassia testudinum*. Marine Ecology Progress Series 184, 63–72.
- KORBAR, T. (2009): Orogenic evolution of the External Dinaride in the NE Adriatic region: a model constrained by tectonostratigraphy of Upper Cretaceous to Paleogene carbonates. Earth-Science Reviews 96(4), 296–312.
- KRUŽIĆ, P. (2007): Variations in *Posidonia oceanica* meadow structure along the coast of the Dugi Otok Island (eastern Adriatic Sea). Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 88(05), 883–892.
- LEES, A., BULLER, A. T. (1972): Modern temperate-water and warm-water shelf carbonate sediments contrasted. Marine Geology 13(5), 67–73.
- MAMUŽIĆ, P., NEDELA – DEVIDE, D. (1963): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, list Biograd, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
- MAMUŽIĆ, P., SOKAČ, B. (1973): Tumač za listove Silba i Molat, Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1967), Savezni geološki institut, Beograd, 39 str.
- MATEO, M. A., SÁNCHEZ-LIZASO, J.-L., ROMERO, J. (2003): *Posidonia oceanica* ‘banquettes’: a preliminary assessment of the relevance for meadow carbon and nutrients budget. Estuarine, Coastal and Shelf Science 56 (1), 85–90.
- MATEO, M. A., CEBRAN, J., DUNTON, K., MUTCHLER, K. (2006): Carbon Flux in Seagrass Ecosystems, Chapter 7 in LARKUM, A. W. D., ORTH, R. J., DUARTE, C. (eds): Seagrasses: Biology, Ecology, and Conservation-Springer, 676 str.
- NELSON, C. S., KEANE, S. L., HEAD, P. S. (1988): Non-tropical carbonate deposits on the modern New Zealand shelf. Sedimentary Geology 60, 71–94.
- MORE, D. M., REYNOLDS, R. C. (1997): X-ray diffraction and identification and analysis of clay minerals. 2nd Edition, Oxford University Press, New York.
- PASQUALINI, V., PERGENT-MARTINI, C., CLABAUT, P., PERGENT, G. (1998): Mapping of *Posidonia oceanica* using Aerial Photographs and Side Scan Sonar: Application off the Island of Corsica (France). Coastal and Shelf Science 47, 359–367.
- PERGENT, G., PERGENT-MARTINI, C., BOUDOURESQUE, C. (1995): Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée: État des connaissances. Mésogée 54, 3–27.



- PIKELJ, K. (2010): Sastav i porijeklo površinskih sedimenata dna istočne strane Jadranskog mora. Doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 239 str.
- PIKELJ, K., JURAČIĆ, M. (2013): Eastern Adriatic Coast (EAC): Geomorphology and Coastal Vulnerability of a Karstic Coast, *Journal of Coastal Research* 29, 944-957.
- PIKELJ, K., FURČIĆ, N. (2020): Impact of cliff erosion on marine sediment composition - indication of local coastline evolution (Vrgada Island, Croatia). *FUP Best Practice in Scholarly Publishing*. 462–468.
- POLLI, A., BOVIO, E., RANIERI, L., VARESE, G. C., PRIGIONE, V. (2020): Fungal Diversity in the Neptune Forest: Comparison of the Mycobiota of *Posidonia oceanica*, *Flabellia petiolata*, and *Padina pavonica*. *Front. Microbiol.* 11, 933.
- SÀNCHEZ-VIDAL, A., CANALS, M, DE HAAN, W. P., ROMERO, J., VENY, M. (2021): Seagrasses provide a novel ecosystem service by trapping marine plastics. *Scientific Reports* 11, 254.
- SIMEONE, S., DE FALCOS, G. (2013): *Posidonia oceanica* banquettes removal: sedimentological, geomorphological and ecological implications. *Journal of Coastal Research* 65, 1045-1050.
- SURIĆ, M., JURAČIĆ, M., HORVATINČIĆ, N., KRAJCAR BRONIĆ, I. (2005): Late Pleistocene-Holocene sea-level rise and the pattern of coastalkarst inundation: records from submerged speleothems along the eastern Adriatic coast (Croatia). *Marine Geology* 214(1–3), 163–175.
- VLAHOVIĆ, I., TIŠLJAR, J., VELIĆ, I., MATIČEĆ, D. (2002): The karst Dinarides are composed of relics of a single Mesozoic platform: facts and consequences. *Geologia Croatica* 55(2), 171–183.
- VLAHOVIĆ, I., TIŠLJAR, J., VELIĆ, I., MATIČEĆ, D. (2005): Evolution of Adriatic carbonate platform: palaeogeography, main events and depositional dynamics. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 220(3–4), 333–360.
- VON RICHTHOFEN, F. (1901): *Führer für Forschungreisende*. Hannover, Germany: Verlag Von Gebrudek Janecke, 734 str.
- WENTWORTH, C. K. (1922): A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The Journal of Geology* 30, 377–392.
- YINCAN, Y. et al. (2017): *Marine Geo-Hazards in China*. Elsevier, Amsterdam, 794 str.

INTERNETSKI IZVORI:

[1] <https://pp-telascica.hr/o-parku/> (pristupljeno 29. 7. 2022.)

[2] <https://www.haop.hr/hr/tematska-podrucja/prirodne-vrijednosti-stanje-i-ocuvanje/bioraznolikost/morske-vrste/morske> (pristupljeno 17. 8. 2022.)

[3] <https://www.navionics.com/fin> (pristupljeno 19. lipnja 2022.)

## 9. Popis slika u tekstu

Slika 1 Plaža Lojišće – dio parka prirode Telašćica. Fotografirala K. Pikelj.....	2
Slika 2 Pojednostavljena litološka karta istočnojadranskog područja (modificirano prema PIKELJ i JURAČIĆ, 2013).....	4
Slika 3 Geološka karta južnog dijela Dugog Otoka. Plaža Lojišće označena je plavim kružićem (prema MAMUŽIĆ i SOKAČ, 1967).....	6
Slika 4 Batimetrijska karta uvale Lojišće i okolnog prostora. Karta je izrađena prema [3]..	7
Slika 5 Plaža Lojišće, travanj 2022. Uz naslage posidonije u tankom sloju, vidljiv je utjecaj valova na plažu u vidu valnih brazdi. Fotografirala K. Pikelj.....	8
Slika 6 Banket posidonije na plaži Lojišće (ožujak 2022.). Fotografirala K. Pikelj. ....	9
Slika 7 A) Područje plaže Lojišće na kojem su pronađeni plastitari obilježeno je žutom bojom; B) izgled plastitara na plaži Lojišće. Fotografirala K. Pikelj.....	10
Slika 8 (A) <i>Posidonia oceanica</i> u svom prirodnom staništu; (B) <i>P. oceanica</i> s naznačenim glavnim biljnim dijelovima: korijen, rizomi i list (POLI i sur., 2020). ....	11
Slika 9 Važnost <i>Posidonie oceanice</i> u interakciji između stupca vode i sedimenta. Modificirano prema GUTIÉRREZ, 2012.....	12
Slika 10 Banket na plaži Lojišće, travanj 2022. Fotografirala K. Pikelj.....	14
Slika 11 Hvatanje plastičnog otpada morskim travama. Prikaz procesa koji su uključeni u nakupljanje i ispreplitanje plastičnih fragmenata i vlakana posidonije kako bi se formirale morske kuglice bogate plastikom koje bivaju izbačene na plaže. Modificirano prema SÀNCHEZ-VIDAL i sur., 2021.....	16
Slika 12 Lokacije uzorkovanja pješčanog sedimenta i banketa posidonije na plaži Lojišće. Fotografirala K. Pikelj.....	17
Slika 13 Vertikalni do subvertikalni slojevi na plaži Lojišće. Fotografirala I. Vrabac.....	24
Slika 14 Mikroplastika izmijašana s fragmentima ljušturica i skeleta organizama. Fotografirala K. Pikelj.....	25
Slika 15 Pojava plastitara u naslagama bočnih karbonatnih stijena. Fotografirala I. Vrabac.....	25

Slika 16 Histogram uzorka Lojišće 1. ....	27
Slika 17 Histogram uzorka Lojišće 2. ....	27
Slika 18 Histogram uzorka Lojišće 3. ....	28
Slika 19 Trokomponentni dijagram za klasifikaciju prema FOLKU (1954) za uzorke Lojišće 1, Lojišće 2 i Lojišće 3.....	28
Slika 20 Grafikon s udjelima pojedinih frakcija u uzorcima Lojišće 1, Lojišće 2 i Lojišće 3. ....	29
Slika 21 Wentworthova ljestvica. Vrijednost srednje veličine zrna za uzorak Lojišće 1 prikazana je plavim kružićem, za Lojišće 2 žutim kružićem, a za Lojišće 3 zelenim.....	30
Slika 22 Frakcija 2–4 mm. A) uzorak Lojišće 2 – fragment ljuštore školjkaša s tragovima bušenja nepoznatog organizma; B) uzorak Lojišće 2 – fragment ljuštore školjkaša; C) uzorak Lojišće 3 – ljuštura školjkaša s tragom bušenja; D) uzorak Lojišće 3 – list posidonije s inkrustirajućom formom mahovnjaka i serpulidom. ....	31
Slika 23 Frakcija 1–2 mm. A) uzorak Lojišće 1 – fragment ljuštore školjkaša, B) uzorak Lojišće 2 – fragment kućice ježinca, C) uzorak Lojišće 3 – fragment puževe kućice i kolonije mahovnjaka; D) uzorak Lojišće 3 – ljuštura školjkaša.....	32
Slika 24 Frakcija 0,5–1 mm. A) uzorak Lojišće 1 – puževe kućice – žuto zaokruženo, serpulid ili puž sa savijenom kućicom – crveno zaokruženo; B) uzorak Lojišće 2 – bodlja ježinca – žuto zaokruženo, puževe kućice – crveno zaokruženo; C) uzorak Lojišće 2 – kućica foraminifere – žuto zaokruženo, puževe kućice i fragment bodlje ježinca; D) uzorak Lojišće 3 – fragment kolonije mahovnjaka – žuto zaokruženo, bodlja ježinca – crveno zaokruženo, fragmenti školjkaša – zeleno zaokruženo.....	33
Slika 25 Frakcija 0,25–0,5 mm. A) uzorak Lojišće 1 – fragmenti bodlje ježinca – crveno zaokruženo, kućica foraminifere – žuto zaokruženo, fragment puževe kućice – zeleno zaokruženo. B) uzorak Lojišće 2 – kućice foraminifera – žuto zaokruženo, fragment kolonije mahovnjaka – crveno zaokruženo, fragmenti ljuštore školjkaša – ljubičasto zaokruženo, fragment kućice ježinca – zeleno zaokruženo; C) uzorak Lojišće 2 – kućice foraminifera – žuto zaokruženo, fragment kućice ježinca – crveno zaokruženo, fragmenti ljuštore školjkaša – zeleno zaokruženo; D) uzorak Lojišće 3 – kolonije mahovnjaka – ljubičasto zaokruženo, kućice foraminifera – žuto zaokruženo, puževe kućice – crveno zaokruženo.....	34

Slika 26 Frakcija 0,125–0,25 mm. A) uzorak Lojišće 1 – spikula spužve – žuto zaokruženo, fragment bodlje ježinca – zeleno zaokruženo, kućice foraminifera – crveno zaokruženo; B) uzorak Lojišće 2 – fragmenti bodlji ježinaca – zeleno zaokruženo, spikula spužve – ljubičasto zaokruženo, fragmenti kolonije mahovnjaka – crveno zaokruženo, puževa kućica – žuto zaokruženo; C) uzorak Lojišće 3 – kućice foraminifera – žuto zaokruženo, fragmenti kolonije mahovnjaka – crveno zaokruženo, fragment dolje ježinca – ljubičasto zaokruženo; D) uzorak Lojišće 4 – kućice foraminifera – žuto zaokruženo, fragmenti kolonije mahovnjaka – ljubičasto zaokruženo.....	35
Slika 27 Frakcija 0,063–0,125 mm. A) uzorak Lojišće 1 – spikule spužvi – žuto zaokruženo, fragment mahovnjaka – ljubičasto zaokruženo, nit plastičnog materijala – crveno zaokruženo; B) uzorak Lojišće 1 – spikule spužvi – žuto zaokruženo; C) uzorak Lojišće 2 – spikule spužvi – crveno zaokruženo, fragment kolonije mahovnjaka – žuto zaokruženo, D) uzorak Lojišće 3 – spikule spužvi – crveno zaokruženo, razlomljene kućice foraminifera – žuto zaokruženo.....	36
Slika 28 Rendgenogram uzorka Lojišće 1. Oznake na vrhovima pikova predstavljaju minerale: Cal – kalcit, Cal-Mg – magnezijски kalcit, Arg – aragonit, * – halit, ● – aluminij. ....	38
Slika 29 Rendgenogram uzorka Lojišće 2. Oznake na vrhovima pikova predstavljaju minerale: Cal – kalcit, Cal-Mg – magnezijски kalcit, Arg – aragonit, * – halit, ● – aluminij. ....	39
Slika 30 Rendgenogram uzorka Lojišće 3. Oznake na vrhovima pikova predstavljaju minerale: Cal – kalcit, Cal-Mg – magnezijски kalcit, Arg – aragonit, * – halit, ● – aluminij. ....	39
Slika 31 Usporedni rendgenogram za uzorke Lojišće 1, Lojišće 2 i Lojišće 3. ....	40
Slika 32 Modeli plaže Lojišće snimljeni u ožujku, travnju i svibnju 2022. Boje na legendi ne odražavaju visinu na isti način.....	41
Slika 33 Razlikovni model plaže Lojišće za ožujak-travanj 2022.....	42
Slika 34 Modeli plaže Lojišće snimljeni u travnju i svibnju 2022. Boje na legendi ne odražavaju visinu na isti način. ....	43
Slika 35 Razlikovni model plaže Lojišće za travanj-svibanj 2022.....	44

## **10. Popis tablica u tekstu**

Tablica 1 Osnovni granulometrijski parametri analiziranih uzoraka. ....	26
Tablica 2. Količina sedimenta odvojena iz uzoraka posidonije za svaki mjesec uzorkovanja (ožujak, travanj, svibanj 2022.). ....	37
Tablica 3. Udjeli karbonatne komponente u uzorcima pijeska i sedimenta iz posidonije...	37