

# Sedimentološke i geomorfološke posljedice uklanjanja naslaga morske cvjetnice *Posidonia oceanica* na primjeru plaže Sakarun

---

Godec, Petra

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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:217:082636>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-19**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Petra Godec

**SEDIMENTOLOŠKE I GEOMORFOLOŠKE  
POSLJEDICE UKLANJANJA NASLAGA  
MORSKE CVJETNICE POSIDONIA  
OCEANICA NA PRIMJERU PLAŽE SAKARUN**

Diplomski rad

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOLOŠKI ODSJEK

Petra Godec

**SEDIMENTOLOŠKE I GEOMORFOLOŠKE  
POSLJEDICE UKLANJANJA NASLAGA  
MORSKE CVJETNICE POSIDONIA  
OCEANICA NA PRIMJERU PLAŽE SAKARUN**

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

Mentor:  
Doc. dr. sc. Kristina Pikelj  
Prof. dr. sc. Blanka Cvetko Tešović

Zagreb, 2021.

## *Zahvale*

*Najprije želim zahvaliti svojoj mentorici doc. dr. sc. Kristini Pikelj na prijedlogu teme i uključivanju u projekt POSBMED II. Svojim me savjetima vodila kroz proces izrade ovog rada, te sam joj zahvalna na utrošenom vremenu, spremnosti za pomoć u svakom trenutku i ugodnoj atmosferi zbog čega ću pisanje ovog rada pamtiti kao lijepo iskustvo.*

*Htjela bih zahvaliti i svojoj komentorici prof. dr. sc. Blanki Cvetko Tešović jer je posvetila svoje vrijeme kako bi doprinijela nastanku ovoga rada, te mi je prenijela svoja znanja i zaključke koji su mi pomogli u pisanju.*

*Posebnu zahvalu želim istaknuti svojoj prijateljici Loreni, jer smo vrijeme tijekom pisanja svojih diplomskih radova provele zajedno, pružajući si međusobnu potporu i motivaciju, a pauze od pisanja provele u najboljem društvu.*

*Naravno, zahvalna sam svojoj obitelji jer su mi omogućili sve potrebno za bezbrižno provedeno vrijeme tijekom izrade rada, ali i cijelog školovanja, te su mi pružili bezuvjetnu potporu i motivaciju.*

*„...lipo mi je, na lažini suvoj ležat...“*

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Ocjenski rad

### SEDIMENTOLOŠKE I GEOMORFOLOŠKE POSLJEDICE UKLANJANJA NASLAGA MORSKE CVJETNICE POSIDONIA OCEANICA NA PRIMJERU PLAŽE SAKARUN

**Petra Godec**

**Rad je izrađen:** Geološki zavod, PMF, Zagreb, Horvatovac 102a

**Sažetak:** Dugogodišnja praksa uklanjanja naslaga (banketa) morske cvjetnice *Posidonia oceanica* na plaži Sakarun u prestanku je 2020. godine zbog pojačane erozije sedimenta. Ostavljanje banketa na plaži otvorilo je priliku za proučavanje morfologije i dinamike banketa i sedimenta, kao i procjenu posljedica njihovog uklanjanja s plaže. Kroz pet jesenskih i zimskih mjeseci praćene su promjene količine istaložene posidonije i njena interakcija sa sedimentom. Na mjesečnoj bazi su uzorkovani uzorci iz 1/16 m<sup>3</sup> naslaga posidonije radi utvrđivanja količine zarobljenog sedimenta. Za karakterizaciju taložnog okoliša i definiranja njegovih geoloških i sedimentoloških parametara sakupljeni su uzorci sedimenta plaže, plitkog podmorja i okolnih stijena. Napravljena je procjena količine sedimenta koja nestaje s plaže zajedno s uklonjenom posidonijom, te je prikazan utjecaj livada posidonije u moru i njenih banketa na obali na ukupni budžet sedimenta na plaži

**Ključne riječi:** *Posidonia oceanica*, banketi, plaža Sakarun, sitnozrnati sediment

**Rad sadrži:** 72+XXI stranica, 48 slika, 6 tablica, 56 literaturnih navoda i 8 tabli

**Jezik izvornika:** hrvatski

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

**Mentor:** doc. dr. sc. Kristina Pikelj  
prof. dr. sc. Blanka Cvetko Tešović

**Ocjenjivači:** doc. dr. sc. Kristina Pikelj  
prof. dr. sc. Blanka Cvetko Tešović  
prof. dr. sc. Marijan Kovačić

**Datum završnog ispita:** 19. ožujka 2021.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geology

### Master Thesis

## SEDIMENTOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGICAL CONSEQUENCES OF POSIDONIA OCEANICA BANQUETTE REMOVAL: EXAMPLE OF SAKARUN BEACH

Petra Godec

**Thesis completed in:** Department of Geology, Faculty of Science, Zagreb, Horvatovac 102a

**Abstract:** The Long-term practice of seagrass deposits (banquettes) of *Posidonia oceanica* removal from the Sakarun beach has come to an end in 2020 due to the increased sediment erosion. Leaving banquettes on the beach provided an opportunity to study the morphology and dynamics of the banquettes, as well as the impact of their removal from the beach. During the five autumn and winter months changes in seagrass debris quantity have been monitored, as well as its interaction with sediment. In total, 1/16 m<sup>3</sup> of banquettes was sampled on monthly basis in order to determine the quantity of sediment caught within the seagrass deposits. Samples of beach and submarine sediment together with nearby rocks were collected in order to characterize the depositional environment and to determine its geological and sedimentological parameters. Quantities of sediment removed together with banquettes were assessed, and the effect of banquettes and seagrass meadow of *Posidonia oceanica* on the total sediment budget was given.

**Keywords:** *Posidonia oceanica*, banquettes, Sakarun beach, fine-grained sediment

**Thesis contains:** 72+XXI pages, 48 figures, 6 tables, 56 references, and 8 plates

**Original in:** Croatian

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

**Supervisor:** Kristina Pikelj, PhD, Assistant Professor

Blanka Cvetko Tešović, PhD, Full Professor

**Reviewers:** Kristina Pikelj, PhD, Assistant Professor

Blanka Cvetko Tešović, PhD, Full Professor

Marijan Kovačić, PhD, Full Professor

**Date of the final exam:** March 19, 2021

**Sadržaj**

1.	Uvod.....	1
2.	Pregled dosadašnjih istraživanja .....	4
3.	Karakteristike istraživanog područja .....	6
3.1.	Prirodne karakteristike plaže Sakarun .....	9
4.	Značaj morskih trava ( <i>Posidonia oceanica</i> ) .....	13
4.1.	Banketi posidonije .....	18
5.	Materijali i metode istraživanja .....	21
5.1.	Uzorkovanje naslaga posidonije, sedimenta i stijena .....	21
5.2.	Analiza veličine zrna uzoraka pijeska .....	23
5.3.	Utvrđivanje količine sedimenta u naslagama posidonije .....	23
5.4.	Utvrđivanje udjela karbonatne komponente u uzorcima.....	24
5.5.	Određivanje mineralnog sastava uzoraka .....	25
5.6.	Utvrđivanje sastava i porijekla osnovne stijene i šljunkovite frakcije sedimenta plaže	26
6.	Rezultati .....	27
6.1.	Terenska opažanja .....	27
6.2.	Količina sedimenta unutar uzoraka banketa posidonije .....	35
6.3.	Veličina zrna i morfološke karakteristike uzoraka pijeska (Profil, Sprud) ...	35
6.4.	Veličina zrna sedimenta iz uzoraka posidonije .....	49
6.5.	Rezultati određivanja udjela karbonata i fazne analize .....	51
6.6.	Litofacijesi valutica s plaže .....	54
6.7.	Litofacijesi izdanaka stijena .....	55
7.	Rasprava.....	57
7.1.	Porijeklo, sastav i veličina zrna pjeskovite populacije .....	60
7.2.	Taložni okoliš stijenskog kompleksa i porijeklo šljunka .....	61
7.3.	Međudjelovanje sedimenta, livada i banketa posidonije .....	62

---

8.	Zaključak .....	64
9.	Literatura.....	65
10.	Popis slika u tekstu .....	70
11.	Popis tablica u tekstu .....	74
12.	Table .....	VI
13.	Prilozi.....	XVII



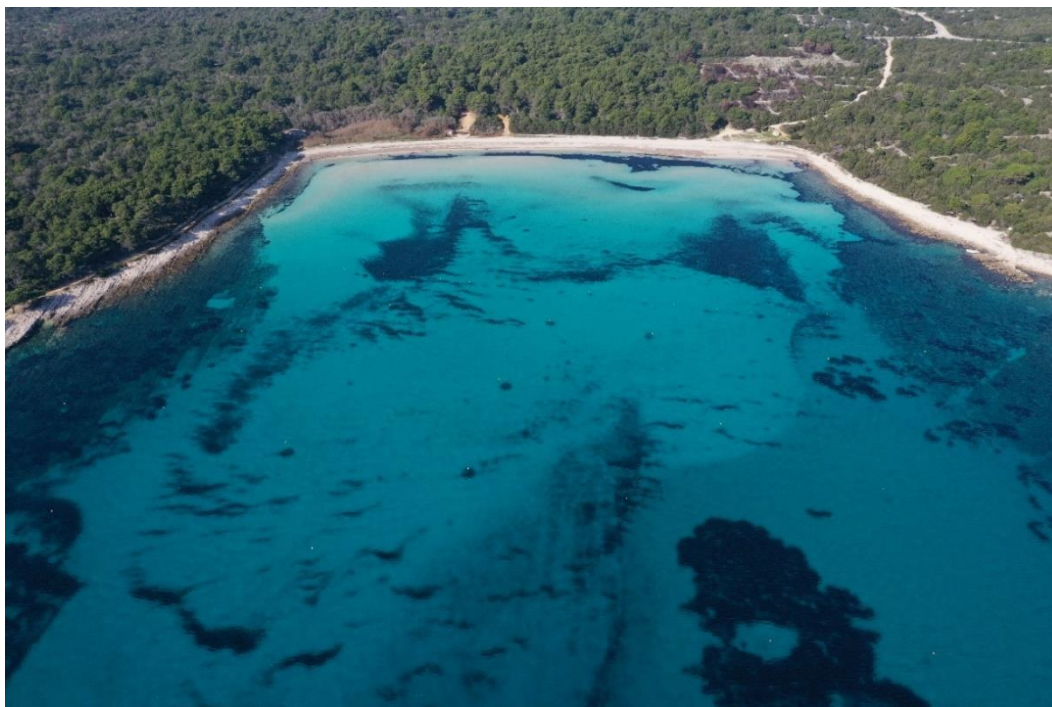
## 1. Uvod

U obalnim područjima duž Sredozemnog mora, pa tako i Jadranskog rasprostiru se livade morskih trava. Cvjetnica *Posidonia oceanica* (dalje u tekstu posidonija) zakonom zaštićena vrsta u većini zemalja na Sredozemlju (KRUŽIĆ, 2007), među važnijim je taksonima te skupine, jer predstavlja temelj primarne produkcije u moru (MATEO i sur., 2006), povećava koncentraciju kisika u stupcu vode (LARKUM i sur., 2006) te pruža stanište brojnim morskim organizmima. Osim biološkog značaja, livade utječu na strujanje vode, sedimentološke (KOCH i sur., 2006) i geomorfološke čimbenike na području rasta (morskom dnu), ali i na obalama duž kojih se detritus otpalog lišća i drugih dijelova biljke taloži (DE FALCO i sur., 2003). Sediment morskog dna stabilniji je u gustoj mreži rizoma biljke, livade smanjuju resuspenziju sedimenta, te pospješuju sedimentaciju (LARKUM i sur., 2006; GACIA i DUARTE, 2001; KOCH i sur., 2006). Na plažama ispred kojih rastu livade posidonije dolazi do stvaranja nanosa biljnog detritusa. Takvi nanosi popularno se nazivaju banketi (JEUDY DE GRISSAC i AUDOLY, 1985; BOUDOURESQUE i MEISNESZ, 1982). Banketi (Slika 1) čija struktura je čvrsta i ponekad masivna, čine plažu otpornijom na djelovanje valova; štite plažu od erozije te je sama struktura banketa prožeta sedimentom. Iako je poznato da banketi posidonije imaju utjecaj na smanjenje erozije plaže (MATEO i sur., 2003), do sada je objavljeno premalo istraživanja koja bi to detaljnije opisala.



Slika 1. Nanosi posidonije na plaži Sakarun, 07. 11. 2020. Fotografirala: P. Godec.

Nakupljanje posidonije u bankete na obali poznato je na više mjesta duž hrvatske obale, no prema dostupnoj literaturi oni su češća pojava u drugim državama Sredozemlja (pr. Italija, Francuska, Španjolska), a podaci s hrvatske obale o njima su oskudni. S obzirom na orijentaciju hrvatske obale (SZ-JI) i dominantne vjetrovne valove koji traju dovoljno dugo da oblikuju bankete (valovi juga), za očekivati je da će se ostaci posidonije nakupljati na onim dijelovima obale i plažama koje su najizloženiije valovima juga. Plaža Sakarun (Slika 2) na Dugom otoku mogla bi biti okarakterizirana kao džepna, iako veličinom premašuje prosječne dimenzije takvog tipa plaže. Za džepne plaže karakteristično je da su manjih dimenzija, najčešće smještene unutar uvala, izgrađene od rastresitog sedimenta (šljunka, pijeska, praha) te se okolišno razlikuju od svojih stjenovitih rtova kojima su omeđene (BALOUIN i BELON, 2014). Popularan su geomorfološki obalni oblik, a takav je velik broj prirodnih plaža na hrvatskoj obali (PIKELJ i JURACIĆ, 2013). Atraktivnog su krajobraza i time važne za razvoj turizma u Hrvatskoj. Duboko uvučena, prostrana uvala s pješčanim dnom i duga pješčana plaža u kombinaciji sa zaobljenim oblucima na Sakarunu privlače brojne kupaće i nautičare. Na rubnim dijelovima uvale i s porastom dubine, prostiru se livade posidonije.



Slika 2. Fotografija uvale i plaže Sakarun iz zraka (9. 11. 2020.). Fotografirala: K. Pikelj.

Nanosi posidonije koji se svake godine talože na plaži Sakarun bili su redovito uklanjani kako bi se postigao reprezentativniji i atraktivniji izgled plaže čime bi se podigla njena popularnost i time ojačala sveukupna turistička djelatnost na Dugom otoku. Radi primijećene pojačane erozije na plaži, odnosno konkretno smanjenja količine populacije pijeska, od 2020. godine potpuno uklanjanje nanosa detritusa posidonije je u prekidu. Ovakvu odluku donijela je Javna ustanova Natura Jadera (Javna ustanova za upravljanje zaštićenim dijelovima prirode na području Zadarske županije), koja između ostalog upravlja i sjeverozapadnim dijelom Dugog otoka u kategoriji značajnog krajobraza (URL 1, NN 80/2013), te se u sklopu Interreg Mediterranean Projekta POSBMED2 ukazala prilika za istraživanje i procjenu posljedica koje je ostavilo dugogodišnje uklanjanje na ukupni budžet sedimenta plaže.

Cilj ovog rada je definirati osnovne sedimentološke i geomorfološke karakteristike plaže Sakarun. Bit će opisane njene prirodne karakteristike, problemi nastali uklanjanjem nanosa posidonije te će se utvrditi postoje li promjene nakon prestanka uklanjanja posidonije s plaže. Pomoću geoloških karata te batimetrijskih i geomorfoloških podataka kao i osnovnih sedimentoloških analiza odredit će se karakter uvale i plaže, a nastojat će se procijeniti i uklonjen dio sedimenta zajedno s banketima.

## 2. Pregled dosadašnjih istraživanja

Mnogi su autori u svojim istraživanjima prikazali utjecaj posidonije na proces erozije i sedimentacije na prostoru rasta livada, tj. na morskom dnu, ali problematika oko uklanjanja nanosa, odnosno upravljanja nanosima posidonije na plažama nije detaljno razrađena. MATEO i sur. (2003) dali su uvid u istraživanje provedeno na španjolskom otočiću Nueva Tabarca. Obalno područje otoka okruženo je livadama posidonije i duž obale, na plažama, dolazi do taloženja biljnog detritusa. Područje istraživanja bili su banketi posidonije nataloženi na obali jednog od zaljeva na otoku. Kako bi se utvrdila morfologija i volumen banketa, izmjerene su dimenzije nanosa na određenim točkama duž zaljeva. Na sredini zaljeva uzorkovani su blokovi banketa izmjerenih dimenzija na 12 vertikalnih točaka duž visine od dva metra. Uzorci posidonije isprani su u morskoj vodi kako bi se uklonio pijesak. Posidonija je osušena i usitnjena u svrhu analize udjela ugljika, dušika i fosfora. Podaci o količini sedimenta unutar uzoraka posidonije ostaju nepoznati.

Nadalje, CHESSA i sur. (2000) prikazali su istraživanje provedeno na četiri lokaliteta na sjeverozapadu Sardinije. Analiza uzoraka banketa fokusirana je na biokemijski sastav biljnog detritusa i sadržaj teških metala i sedimenta (pijeska). Najveća količina pijeska unutar uzorka banketa izmjerena je na dva lokaliteta i iznosi u prosjeku  $43\text{kg/m}^3$ . Analizirani sediment pokazao je heterogenost u sastavu. Zaključeno je kako uklanjanje banketa s plaža nije poželjno, jer njihovo odsustvo nepovoljno utječe na zadržavanje sedimenta, tj. stopa erozije je nakon uklanjanja veća, a procesom uklanjanja se odnosi i velika količina sedimenta zarobljenog u banketu.

U ovom trenutku najdetaljniji pregled koji obuhvaća dinamiku i utjecaj banketa posidonije prikazan je u doktorskoj disertaciji autora SIMEONE (2008). U radu su opisani banketi posidonije na plažama Sardinije i razrađena je problematika oko uklanjanja naslaga biljnog detritusa radi 'poboljšanja' plaže u turističke svrhe. Cilj je bio utvrditi posljedice uklanjanja posidonije i količine uklonjene posidonije s plaže. Područje istraživanja uključuje čitavu obalu Sardinije, odnosno 116 plaža, ukupne duljine 289 km. Uklanjanje posidonije provodi se teškim strojevima i procijenjena količina uklonjena 2004. godine iznosila je  $106\ 180\ \text{m}^3$  materijala. Učestalost uklanjanja veća je tijekom ljetnih mjeseci i tada se ono provodi i na mjesečnoj bazi. Također, uklonjeni materijal najčešće nije pravilno deponiran. Što se tiče proučavanja samih banketa, tj. njihove morfologije, procesa nastanka i utjecaja na plažu, u obzir su uzete tri plaže različitih energetske uvjeta na zapadnoj obali otoka. Uzorkovanje

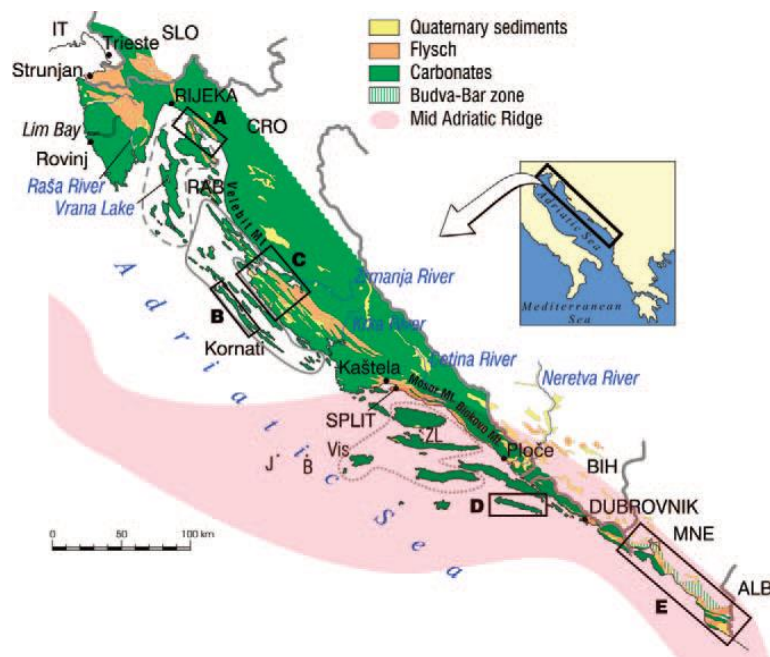
se odvijalo u dva navrata, u fazi prije ispadanja lišća i u fazi nakon ispadanja. Također, razlikovali su se uzorci na različitim dijelovima profila plaže, tj. uzorci iz *foreshore*-a i *backshore*-a. Cilj je bio utvrditi količinu biomase i sedimenta u uzorcima. U istraživanju je provedena rasprava o korelaciji između energetske uvjeta plaže i međudjelovanja banketa s morfološkim procesima na plaži. Utvrđeno je kako na visokoenergetskim plažama banketi sudjeluju u morfodinamici plaže. Doprinosi građi berme i imaju veću ulogu u geomorfologiji u odnosu na bankete s niskoenergetskih plaža. U slučaju niskoenergetskih plaža banketi leže na relativno nepromjenjivom sloju sedimenta. Uklanjanje nanosa posidonije s niskoenergetskih plaža manje je problematično nego s visokoenergetskih plaža uzimajući u obzir geomorfološke procese plaže. Dobiveni podaci o količini sedimenta unutar uzoraka posidonije pokazuju kako bi se uklanjanjem volumena od 1000 m<sup>3</sup> banketa uklonila količina sedimenta u iznosu od 19–44 m<sup>3</sup>. Zaključak je kako se nanosi ne bi trebali uklanjati tokom zimskih i proljetnih mjeseci kada su olujne epizode učestalije, jer tada će valovi pojačano erodirati ogoljelu plažu. Također se predlaže izbjegavanje korištenja bagera ili drugih teških strojeva u svrhu uklanjanja nanosa.

### 3. Karakteristike istraživanog područja

#### *Geomorfološke karakteristike istočnog dijela Jadranske obale*

Istočna jadranska obala (Slika 3) najvećim je dijelom strma i stjenovita, uglavnom izgrađena od okršenih karbonatnih stijena s karakterističnim potopljenim krškim formama (PIKELJ i JURAČIĆ, 2013). Nastanak ovakvog reljefa započeo je taloženjem plitkomorskih vapnenaca na izoliranoj karbonatnoj platformi tijekom srednjeg trijasa (VLAHOVIĆ i sur., 2002, 2005). Taloženje plitkomorskih vapnenaca odvijalo se u nekoliko faza tijekom mezozoika i ranog paleogena što je rezultiralo nastankom karbonatnih naslaga debljine od nekoliko kilometara (VLAHOVIĆ i sur., 2005). Današnja tektonska situacija istočnojadranskog područja razvila se tijekom miocena i ranog pliocena (KORBAR, 2009), i okarakterizirana je rasjednim, prebačenim i boranim formama koje se pružaju SZ–JI, tzv. dinarskim smjerom, paralelno istočnojadranskoj obali (PIKELJ i JURAČIĆ, 2013). Rasjedan i okršen reljef je zadnjim porastom morske razine na granici kasnog pleistocena i holocena djelomično potopljen što rezultira recentnim izgledom istočnojadranske obale (BENAC i JURAČIĆ, 1998, SURIĆ i sur., 2005). Prema PIKELJ i JURAČIĆ (2013), karbonatne obale istočnog dijela Jadranskog mora je moguće klasificirati u tri glavna tipa. Prvi tip su strme, nepristupačne obale, nastale na strmim karbonatnim stijenama. Česte su na kopnu i otocima duž jadranske obale. Drugi tip predstavljaju niski dijelovi stjenovite obale kod kojih su izložene gornje slojne plohe karbonatnih naslaga. Treći tip se odnosi na tzv. *džepne* plaže razvijene u karbonatnim stijenama. Njih je moguće podijeliti u dvije kategorije, ovisno o procesu nastanku. Prva kategorija se odnosi na plaže položene na južnim stranama otoka i okrenute su na J–JI. Na taj način izložene su snažnim valovima koje najčešće generira *jugo*. Plaže nastaju u prethodno tektonski izlomljenim i oslabljenim karbonatnim stijenama koje su i radi svog sastava podložne djelovanju valova. U tu skupinu spada plaža Sakarun. Druga kategorija su šljunčane plaže nastale na ušćima subrecentnih ili recentnih povremenih i stalnih tokova, nakupljanjem nanosa karbonatnog šljunka.

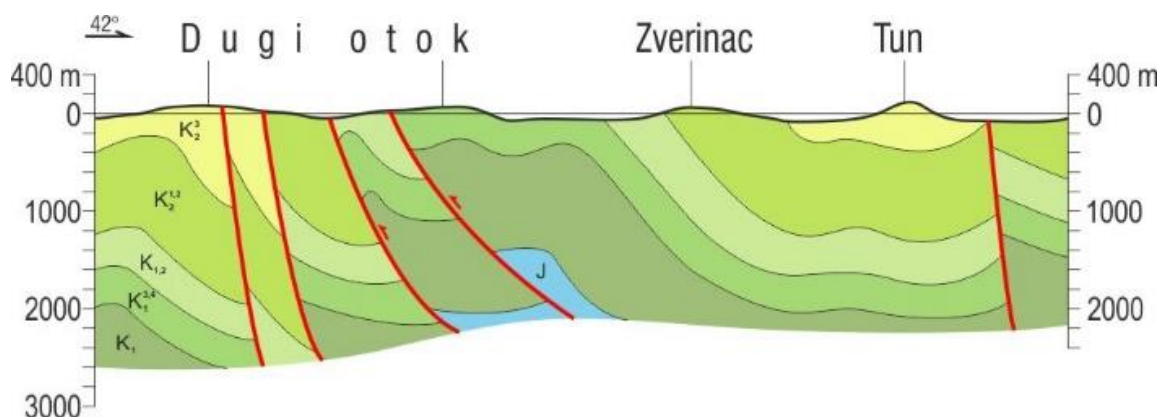
Treba istaknuti da se posebna pozornost mora usmjeriti na treći tip obale. Iako česte, ali malih dimenzija i raspršene duž istočnojadranske obale, džepne plaže imaju veliko značenje u turizmu, a zauzimaju ne više od 5% ukupne duljine obale. Podaci o morfodinamici, hidrodinamici i budžetu i sastavu sedimenta na plažama izostaju u velikoj mjeri u dosad objavljenim istraživanjima, a s obzirom na ograničeni donos sedimenta smatraju se ugroženim sustavom (PIKELJ i JURAČIĆ, 2013).



Slika 3. Pojednostavljena litološka karta istočnojadranskog područja (preuzeto iz PIKELJ i JURAČIĆ, 2013).

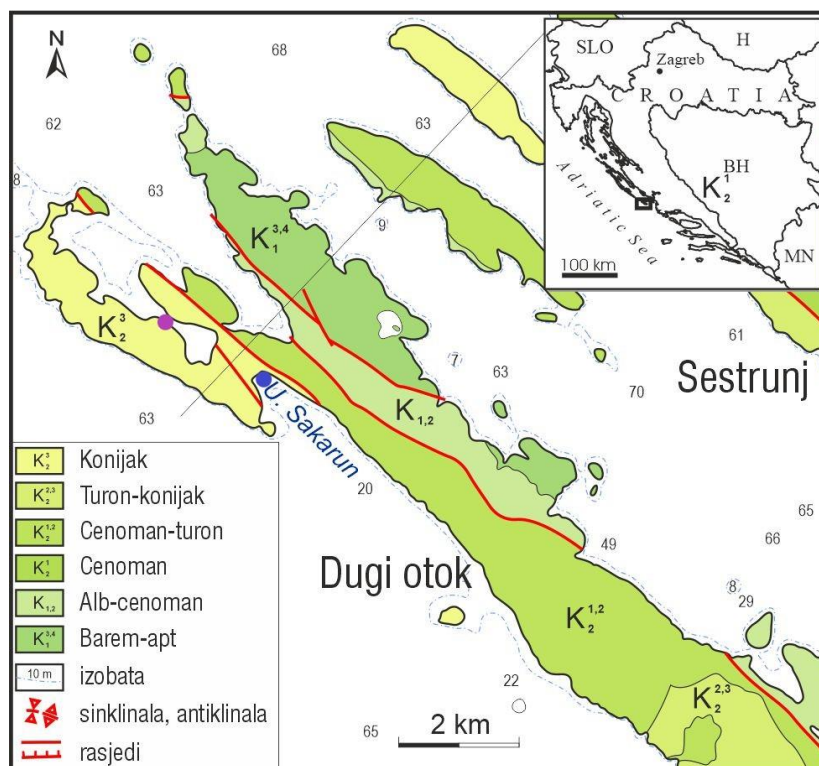
#### *Prikaz opće građe terena (Dugi otok)*

Dugi otok pripada tektonskoj jedinici zadarski otoci, a strukturne odlike ove jedinice su tonjenje osi antiklinala i sinklinala, reversni rasjedi i djelomično prevrnutе strukture. Djelomično prevrtanje slojeva rezultat je tektonskih pokreta koji se događaju koncem eocena (MAMUŽIĆ i SOKAČ, 1967). Slijed naslaga na istraživanom području pripadaju krednim naslagama čiji slojevi su presječeni s dva seta reversnih rasjeda (Slika 4).



Slika 4. Geološki profil, poprečni presjek na pružanje Dugog otoka, normalni slijed naslaga krede i reversni rasjedi (prema MAMUŽIĆ, 1970).

Na području plaže Sakarun otkrivene su stijene gornje krede,  $K_2^3$  (konijak) (Slika 5). Stijene su određene mikro- i makrofosilnim sadržajem. Na području Dugog otoka nađene su vrste *Thaumatoporella parvovesiculifera*, *Pseudolituonella reicheli* i *Decastronema kotori* (ranije poznata kao *Aeolisaccus kotori*) te su presjeci vrste *Pithonella ovalis* i *Stomiosphaera sphaerica* nađeni na području Velog rata. Od makrofaune prisutan je jedino *Hippurites (O.) lapeirousei*, također na području Velog rata (MAMUŽIĆ i SOKAČ, 1967).



Slika 5. Geološka karta sjevernog dijela Dugog otoka. Plaža Sakarun označena plavom točkom; Veli rat označen ljubičastom točkom. (prema MAMUŽIĆ, 1970).

Stijene taložene u ovoj seriji po sastavu su vapnenci, sive, svijetlosive do sivo smeđe boje. Slojevi su debljine 20–60 cm. Po tipu su kalcilutiti i u manjoj mjeri zastupljeni su kalkareniti. Kalkareniti su sastavljeni od biogenog detritusa, tj. ostataka fragmentiranih ljuštura foraminifera i drugih organizama. Udio  $\text{CaCO}_3$  prilično je visok i varira između 96% i 98%. Zaključak je da su ovi vapnenci taloženi u plitkom moru udaljenom od kopna zbog sadržaja intrabazenskog vapnenog detritusa i postupnog smanjivanja materijala terigenog porijekla (MAMUŽIĆ i SOKAČ, 1967).



### 3.1. Prirodne karakteristike plaže Sakarun

Plaža Sakarun nalazi se na Dugom otoku koji pripada sjevernodalmatinskoj skupini otoka. Smještena je na sjeverozapadnom dijelu otoka u blizini mjesta Božava, Verunić, Soline i Veli rat, a orijentirana je prema otvorenom moru (prema jugoistoku). Duljina plaže iznosi 300 metara, dok je širina 35–36 m. Iako većih dimenzija od uobičajenih džepnih plaža, princip nastanka ovakvog okoliša kao u uvali Sakarun tipičan je za prethodno opisanu prvu kategoriju tog tipa plaža. Plaža Sakarun je poznata kao popularna turistička destinacija. Do nje je omogućen cestovni pristup s dvije strane, ali je i određeno brojnih nautičara koji sidrište pronalaze u prostranoj uvali ispred plaže. Uvala je uvučena oko 800 metara (do linije prevlake s rtom Lopata), dok joj je prosječna širina oko 500 metara. Dubina mora u uvali ne prelazi 20 metara (Slika 6). Uz njen rub i u dijelu otvorenog mora ispred nje na većim dubinama rasprostiru se livade posidonije, čiji se biogeni detritus nakuplja i taloži unutar uvale, pa su na samoj plaži česti banketi čija debljina na pojedinim mjestima može prelaziti dva metra, kako je utvrđeno terenskim pregledom i usmenim priopćenjem mještana.



Slika 6. Batimetrijska karta uvale Sakarun.

Preliminarnim terenskim pregledom utvrđeno je da je sediment plaže sastavljen od populacije šljunka u kombinaciji s populacijom pijeska (Slika 7), a okružuju je karbonatne stijene.



Slika 7. Plaža Sakarun 18. 10. 2020.; prisutnost dviju populacija sedimenta: šljunak i pijesak. Fotografirala K. Pikelj.

Prema MOKOS i sur. (2019), na plaži Sakarun površina plaže pod pijeskom iznosi otprilike 30%, a pod šljunkom oko 70%. S obzirom na pretpostavku da je plaža nastala djelovanjem jakih valova juga na prethodno oslabljene i izlomljene karbonatne stijene (PIKELJ i JURAČIĆ, 2013), energija plaže je definirana kao srednje visoka do visoka<sup>1</sup>. U prilog tome ide i činjenica koju navodi SIMEONE (2000) kako na plažama visoke energije banketi i sediment zajedno sudjeluju u geomorfološkim procesima plaže (pr. formacija berme). Terenskim pregledom plaže utvrđena je prisutnost većih valutica šljunka i pijeska unutar naslaga posidonije, kao i posidonije unutar naslaga šljunka i pijeska (Slika 8).

---

<sup>1</sup> Treba napomenuti kako se energetska situacija plaže definira relativno, sukladno regionalnom smještaju plaže.



Slika 8. Banket posidonije na plaži Sakarun (18. 10. 2020.) u kojem značajan udio čine valutice šljunka na površini i unutar strukture banketa. Fotografirala: K. Pikelj.

Kako je već u uvodu napomenuto, Natura Jadera je kao nadležna ustanova za upravljanje plažom Sakarun godinama (sve do 2020. godine) uklanjala naslage posidonije, kako bi plaža bila atraktivnija. Čišćenje se izvodilo s pomoću teških strojeva (kamiona i bagera), čime se osim uklanjanja banketa uklanjala i za sad nepoznata, ali pretpostavljeno značajna količina sedimenta zarobljenog u banketima, kako sitnijeg pijeska tako i krupnijeg šljunka. Uklanjanje naslaga bagerom uništavalo se i kopnenu biljnu zajednicu koja je na plaži povremeno rasla (Slika 9) (oman (*Inula chritmoides*), primorska makovica (*Glaucium flavum*), polegla mlječika (*Euphorbia paralias*), primorska morguša (*Cakile maritima*), sodna solnjača (*Salsola soda*), primorski dvornik (*Polygonum maritimum*), vodopija (*Cichorium intybus*)) (MILOVIĆ i PANDŽA, 2016), a čime je direktno ugrožena stabilnost plaže. K tome, vožnja teških strojeva po plaži može se smatrati dodatnom antropoturbacijom kojom se dodatno remetilo nataložene slojeve sedimenta prožete posidonijom. Nakon uklanjanja banketa sediment na plaži ostaje otkriven i time podložan eroziji tijekom perioda olujnih valova. Uklonjeni materijal na plaži Sakarun do sada nije bio pravilno deponiran, već je odložen u prirodno močvarno tlo u zaleđu plaže. Tijekom izrade ovog diplomskog rada deponirane naslage prethodno deponirane posidonije su uklonjene, zbog čega nije bilo moguće procijeniti o kolikoj se količini posidonije i sedimenta do sad radilo.



Slika 9. Neke od čestih biljnih vrsta na plaži Sakarun. Gore: biljka oman (*Inula crithmoides*); dolje: nedeterminirana vrsta. Fotografirala: K. Pikelj.

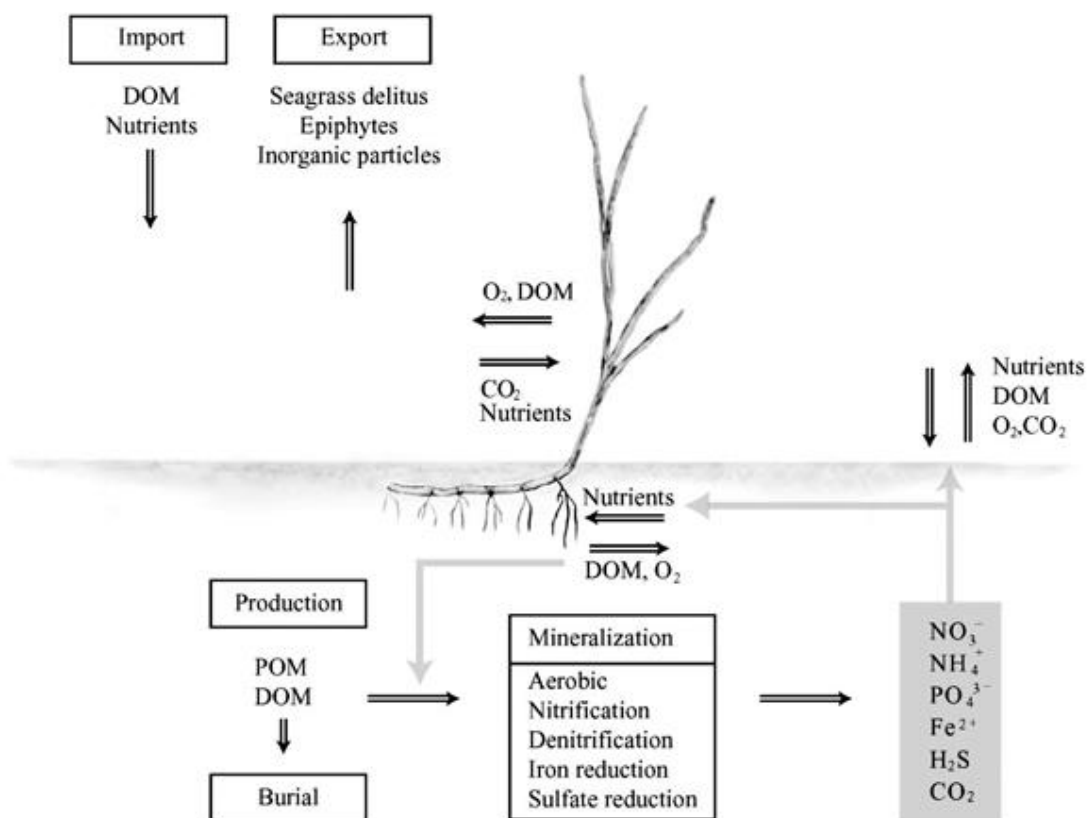
#### 4. Značaj morskih trava (*Posidonia oceanica*)

Kolokvijalni naziv *morska trava* podrazumijeva zapravo ekološku grupu, a ne taksonomsku kategoriju organizama. To znači da pojedine porodice morskih trava ne moraju biti blisko povezane. Taksoni koji spadaju u morske trave čine tri porodice organizama i pripadaju nadredu *Alismatifloreae* (DAHLGREN i sur., 1985). Porodice su: *Zosteraceae*, *Cymodoceaceae* i *Posidoniaceae* (DEN HARTOG, i KUO, 2006).

Uloga morskih trava je velika. Osim što su važni primarni proizvođači, tj. pretvaraju sunčevu svjetlost i ugljikov dioksid u organski oblik, morske trave opskrbljuju hranom hranidbenu mrežu za mnoge organizme, stabiliziraju morsko dno na kojem rastu, stvaraju posebnu strukturu morskog dna na kojem je tada omogućen život brojnim marinskim organizmima. Marinski organizmi koriste livade morskih trava kao stanište, hranilište i mrijestilište (COSTANZA i sur., 1997). Područje rasta morskih trava nalazi se na dodiru stupca morske vode i sedimenta, rasprostire se od plitkih dijelova zahvaćenih oscilacijama plime i oseke kao i na većim dubinama (intertajdala i subtajdala). Visina travnatog pokrova može biti od nekoliko centimetara pa do preko jednog metra (KOCH i sur., 2006), dok dubina rizosfere može doseći par centimetara ili prodirati više metara u sediment (primjer je posidonija MATEO i sur., 1997). Područja rasta morskih trava mogu podržavati veliku količinu biomase, kako iznad tako i unutar sedimenta. To ih svrstava među najznačajnije marinske primarne proizvođače (DUARTE I CHISCANO, 1999; MATEO i sur., 2006). Metaboličke aktivnosti i struktura morskih trava mijenjaju fizikalne i kemijske komponente vodenog stupca i sedimenta na području kojeg obuhvaćaju svojim rastom. Metabolizam utječe na kruženje ugljika i nutrijenata u obalom području (MATEO i sur., 2006), kao i na koncentraciju kisika u vodenom stupcu (LARKUM i sur., 2006). Struktura livada morskih trava ima utjecaj na strujanje morske vode i brzinu valova. Strujanje vode je usporeno i valovi gube na brzini i snazi. Na taj se način pospješuje sedimentacija (KOCH i sur., 2006) i smanjuje resuspenzija sedimenta (GACIA i DUARTE, 2001). Također, sediment nastao u rizosferi uspješno je zadržan u mreži gusto zbijenih rizoma (LARKUM i sur., 2006).

Morska trava značajna je za cjelokupan život u moru. Biološki značaj morskih trava ogleda se u većoj zastupljenosti biomase i makroorganizama koji se hrane iz suspenzije (pr. spužve, školjke i mješćinice) na području rasta trave u odnosu na ogoljelo dno. Također, brojni su epifaunalni oblici (žive pričvršćeni na površinu listova) organizama koji se hrane iz suspenzije (pr. obrubnjaci, mahovnjaci, vitičari, amfipodni rakovi, spirorbidni crvi i praživotinje). Tomu je tako, jer pokrov morske trave ima ulogu staništa i zaštite organizama od predatora (PETERSON i HECK, 2001) u kojem se mogu uspješno hraniti, razmnožavati i mrijestiti.

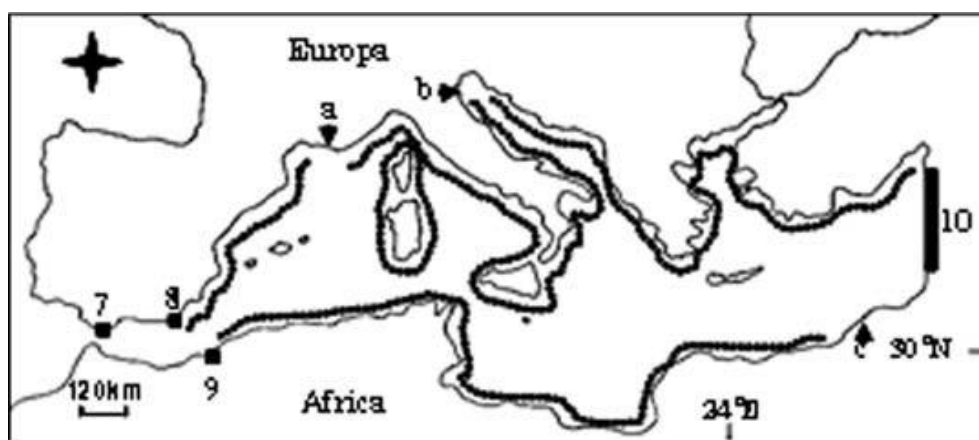
Morske trave igraju ulogu inženjera biogeokemijskih procesa (JONES i sur., 1997) u sedimentu i iznad njega. Kruženje ugljika, dušika i sumpora (Slika 10) pod utjecajem je djelovanja morskih trava (MATEO i sur., 2006).



Slika 10. Interakcija morske trave u stupcu vode i sedimenta (MARB`A i sur., 2006).

**PORODICA POSIDONIACEAE****ROD POSIDONIA****VRSTA POSIDONIA OCEANICA**

*Posidonia oceanica* endemska je vrsta u Sredozemnom moru. Postoji još osam vrsta iz roda *Posidonia* koje rastu u obalnim područjima Australije. Ovdje će se razmatrati samo *P. oceanica* koja je kao i u Sredozemnom prisutna i u Jadranskom moru. U Sredozemnom moru 1–2% od ukupne površine dna zauzimaju pokrovi posidonije, što iznosi 25 000–50 000 km<sup>2</sup> (PASQUALINI i sur., 1998) (Slika 11). Zapadna granica njenog rasprostiranja nalazi između gradova Almeria i Oran, jer na tom području dolazi do miješanja voda različite gustoće, tj. Atlantskog oceana i Sredozemnog mora (MARB`A i sur., 1996). Rasprostiranje na istočnom dijelu Sredozemlja značajnije je na sjevernim obalama nego na obalama Afrike, a na područje uz obale Libanona, Izraela i Sirije nije zabilježen rast *P. oceanice*. Ova morska cvjetnica raste na dubinama od 0,5 do 40 metara (PERGENT i sur., 1995), ali nedostaje na područjima ušća rijeka zbog donosa slatke vode i sitnozrnatog terigenog materijala. Visoka stopa sedimentacije i mutnoća na takvim lokalitetima smanjuje prozirnost vode, pa je i prodiranje svjetlosti manje (PASQUALINI i sur., 1998).

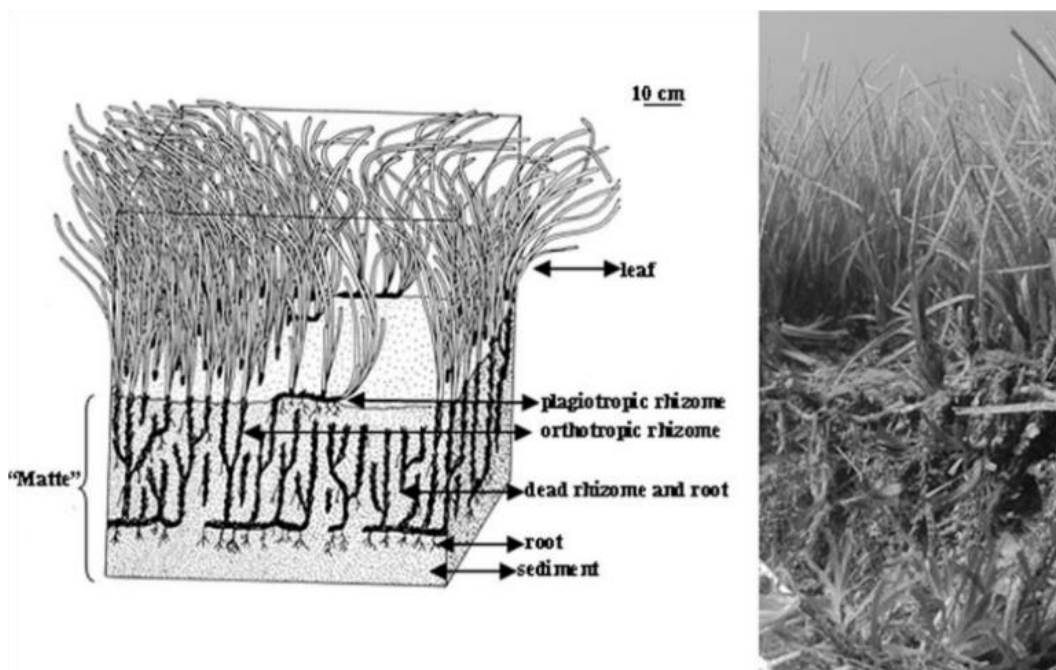


Slika 11. Rasprostranjenost *P. oceanice* u Sredozemnom moru (crna deblja linija). 7–10: Gibraltar, Almeria, Oran i obale Libanona, Izraela i Sirije; a–c: ušća rijeka Rhone, Po i Nila (LARKUM i sur., 2006).

Rodu *Posidonia* pripada devet već spomenutih vrsta. Biljka je jednodomna, tj. sadrži muške i ženske spolne organe, a cvat je hermafroditski. Sve vrste roda *Posidonia* velikih su dimenzija, imaju visoke izdanke i postojane listove (DUARTE, 1991). Životni vijek biljke

varira između 4–30 godina što ju čini dugoživućom, a list može potrajati od 70–350 dana (DUARTE i CHISCANO, 1999). Biljka se razmnožava cvjetanjem i češće vegetativno. Cvjetanje se češće odvija u istočnom dijelu Sredozemlja gdje su temperature morske vode više, dok je u zapadnom dijelu cvjetanje rijetkost (MOLINIER i PICARD, 1952).

Kao što je već spomenuto, *P. oceanica* (Slika 12) kao i ostale morske trave pospješuju uvjete za bogat marinski život. Velika količina biomase, mnoštvo organizama i značajna primarna produkcija karakteristični su za područja s pokrovom *P. oceanice*. Uz to, detritus nastao od otpalog lišća i ostalih dijelova biljke čine okolinu bogatom organskom tvari. Osim što je to bitno za ponovni rast morskih trava, jer sediment postaje obogaćen nutrijentima iz raspada organskih ostataka, detritus cvjetnica se odnosi strujama u morske dubine, odnosno valovima na obale (LENANTON i sur., 1982), gdje stvara plodnu okolinu kao alohtoni materijal.



Slika 12. *P. oceanica*; lijevo, ilustracija: u presjeku dijelovi biljke: list, rizomi i korijen (precrtano od BOUDOURESQUE i MEINESZ, 1982); desno, fotografija: živi pokrova (LARKUM i sur., 2006).

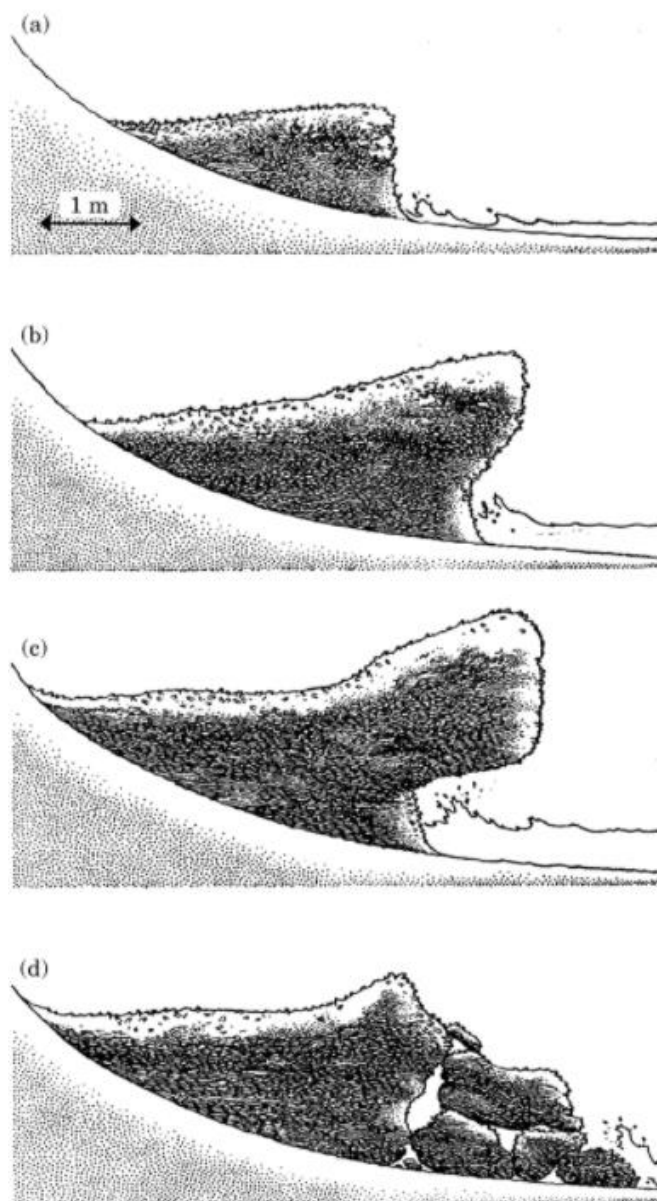


S obzirom na istaknutu važnost morskih trava, odnosno posidonije, treba napomenuti kako je zbog antropogenih utjecaja ova vrsta ugrožena i nalazi se u fazi regresije u mnogim područjima. Veliki problem u turističkim područjima povezan je sa sidrenjem brodova, jer dolazi do čupanja korijena biljke iz sedimenta što trajno oštećuje livade (ŽUNEC, 2015). Nadalje, onečišćenje morske vode i porast koncentracije nutrijenata rezultiraju pretjeranim rastom epifitnih algi i fitoplanktona koji zasjenjuju morsku travu. S druge strane, zbog uklanjanja izbačenog detritusa posidonije na obalu, što je ustaljena praksa na mnogim plažama radi postizanja atraktivnijeg izgleda, dolazi do odstranjivanja značajne količine nutrijenata iz morskog sustava potrebnih za budući rast žive posidonije (SIMEONE, 2007). Štetni učinci teško su uočljivi kroz kratak period, ali kada postanu zamjetni i regresija posidonije postane vidljiva, može se zaključiti da je ekosustav u velikoj mjeri oštećen. Presađivanje biljke je moguće, ali je skupo i sporo, pa je opcija očuvanja staništa ove biljke kroz racionalnije djelovanje pametnije rješenje (GOBERT i sur., 2006).

#### 4.1. Banketi posidonije

Nanos otpalog lišća i ostalog biljnog detritusa posidonije česti su na plažama duž Sredozemlja (SIMEONE, 2008). Termin *banket (banquette)* (JEUDY DE GRISSAC i AUDOLY, 1985; BOUDOURESQUE i MEISNESZ, 1982) podrazumijeva klinaste strukture nanosa morske trave debljine od nekoliko centimetara do preko jednog metra, a sastoje se od lišća, rizoma i sedimenta. MATEO i sur. (2003) navode da banketi posidonije čine plažu otpornijom na djelovanje valova. Izbačeni dijelovi biljke mogu se naći unutar morfoloških struktura plaže (npr. berme) i na taj način doprinose morfologiji plaže (DE FALCO i sur., 2003). Formiranje banketa općenito je vjerojatnije u kasno ljeto i ranu jesen (MATEO i sur., 2003), kada vremenski uvjeti postanu nepovoljni i dolazi do pojave jačih, olujnih valova. Konkretnije, taloženje biljnog detritusa događa se u fazi slabljenja olujnih valova. Povećana količina biljnog detritusa prisutna je u kasno ljeto, što se povezuje s pridodanim ciklusom ispadanja listova posidonije, nakon čega su oni dostupni u vodenom stupcu i koji zatim bivaju odneseni na obalu.

Struktura banketa je konzistentna i postojana iz nekoliko razloga; zasićenost vodom smanjuje hidrauličku vodljivost tvari (vode, zraka itd.) unutar strukture i dovodi do hipoksičnih uvjeta i veće kompaktnosti te rastom banket postaje sve čvršći. Banket na taj način brani sediment plaže od utjecaja valova. U prilog tomu ide i sporo raspadanje, tj. degradacija listova posidonije. Formiranje banketa je u potpunosti pod utjecajem valova. Snažniji nanos morske vode (*up rush*) nadolazećeg vala gomila otpatke morske trave na plažu, a slabiji povratni tok vala (*backwash*) nema snagu povlačenja naslaga nazad u more, pa nagomilani ostaci na tom mjestu i ostaju. Mehanizam je sličan kao kod taloženja pješčanog sedimenta. Ipak, stalna oscilacija energije valova može erodirati će podnožje banketa nakon čega dolazi do urušavanja njegovog prednjeg dijela (Slika 13) (MATEO i sur., 2003).



Slika 13. Princip stvaranja i razaranja banketa (MATEO i sur., 2003).

Malo je podataka o dinamici nastanka banketa i količini sedimenta koju naslage zahvaćaju (SIMEONE, 2007). Prema CHESSA i sur. (2000), udio sedimenta zahvaćenog u banketima posidonije može varirati od 10 do 100 kgm<sup>-3</sup>. Prema tome, uklanjanje naslaga s plaže negativno utječe na ukupni budžet sedimenta plaže smanjujući njegovu količinu. Različite količine sedimenta unutar banketa mogu biti povezane s energijom plaže ili sezonskim otpadanjem lišća posidonije (SIMEONE, 2007), ali i s vrstom sedimenta na pojedinoj plaži. S obzirom na različite energetske uvjete plaže postoji razlika u volumenu banketa posidonije. SIMEONE (2007) u svom radu navodi kako je volumen nastalih banketa na plažama visoke energije veći u odnosu na plaže manje energije, a razlog tomu je veći doseg djelovanja valova i posljedično sposobnost valova da stvore veće nanose biljnog

otpada. Količina, tj. koncentracija sedimenta unutar banketa ne ovisi o energiji plaže, tj. nema značajne razlike u zastupljenosti pijeska unutar banketa na plažama niske energije odnosu na plaže visoke energije. Količina sedimenta varira jedino unutar banketa, bez obzira na energiju plaže. S obzirom da je *up rush* vala veće energije od *backwash*-a, teži materijal, a time ujedno i krupnozrnati sediment, bit će raspoređen na rubu banketa koji je usmjeren prema kopnu, odnosno na mjestu maksimalnog doseg valova.

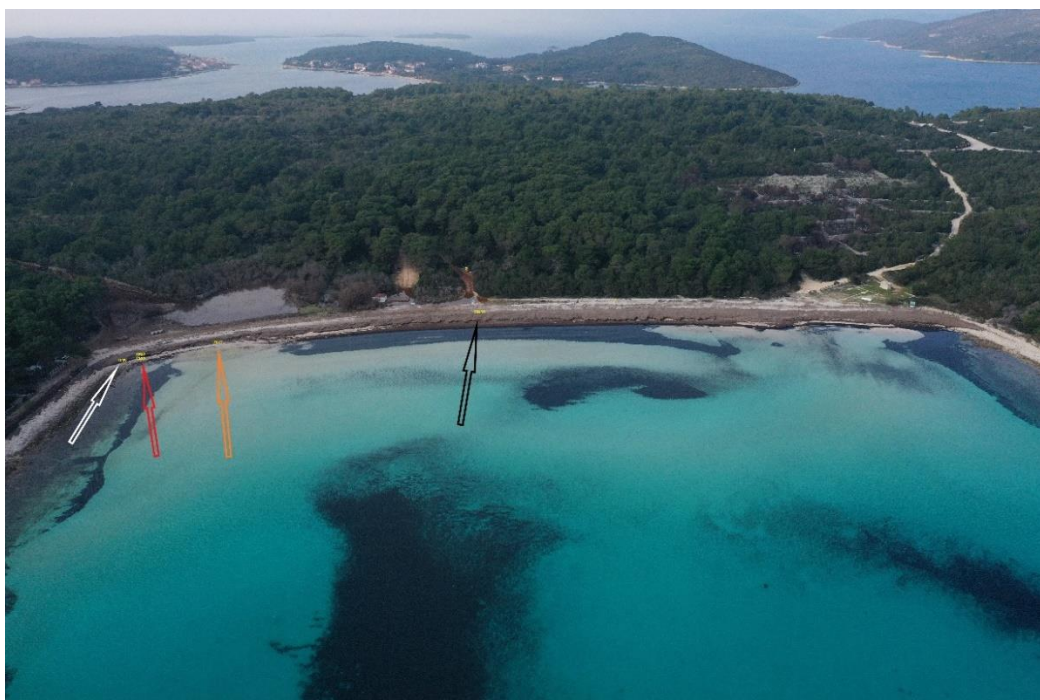
Kao što je već prethodno navedeno, banketi posidonije često se uklanjaju s plaža kako bi plaže bile atraktivnije. Uklanjanje se najčešće odvija s pomoću teških strojeva i na taj način se s plaže uklanja i velika količina sedimenta. To nepovoljno utječe na konačni budžet sedimenta na plaži, pogotovo ako se radi o plažama s prirodno niskim unosom sedimenta. Kako bi se smanjilo odnošenje sedimenta teškom mehanizacijom, predlaže se eventualno ručno sakupljanje nanosa, kako bi se mogao ukloniti samo dio banketa koji nije u velikoj mjeri zasićen sedimentom. Na taj način bi se uklonili nanosi s obalnog lica, a ostavio bi se dio nanosa u zaleđu plaže (SIMEONE, 2000).

Istraživanjem provedenom na tri plaže s različitim energetske uvjetima (zapadna obala Sardinije, SIMEONE, 2000) utvrđeno je da su plaže s visokom energijom valova osjetljivije na posljedice uklanjanja nanosa posidonije u odnosu na plaže s blažim energetske uvjetima. Na visoko energetske plažama taloženje biljnog materijala posidonije usko je povezana s kretanjem sedimenta i na taj način zajedno sudjeluju u geomorfologiji plaže i stvaranju berme, dok se na plaži s niskom energijom taloženje odvija preko donekle nepromjenjive površine sedimenta i sami nanosi čine zasebnu komponentu u geomorfologiji. Uklanjanjem nanosa s plaža visoke energije dolazi do promjena procesa koji kontroliraju geomorfologiju plaže.

## 5. Materijali i metode istraživanja

### 5.1. Uzorkovanje naslaga posidonije, sedimenta i stijena

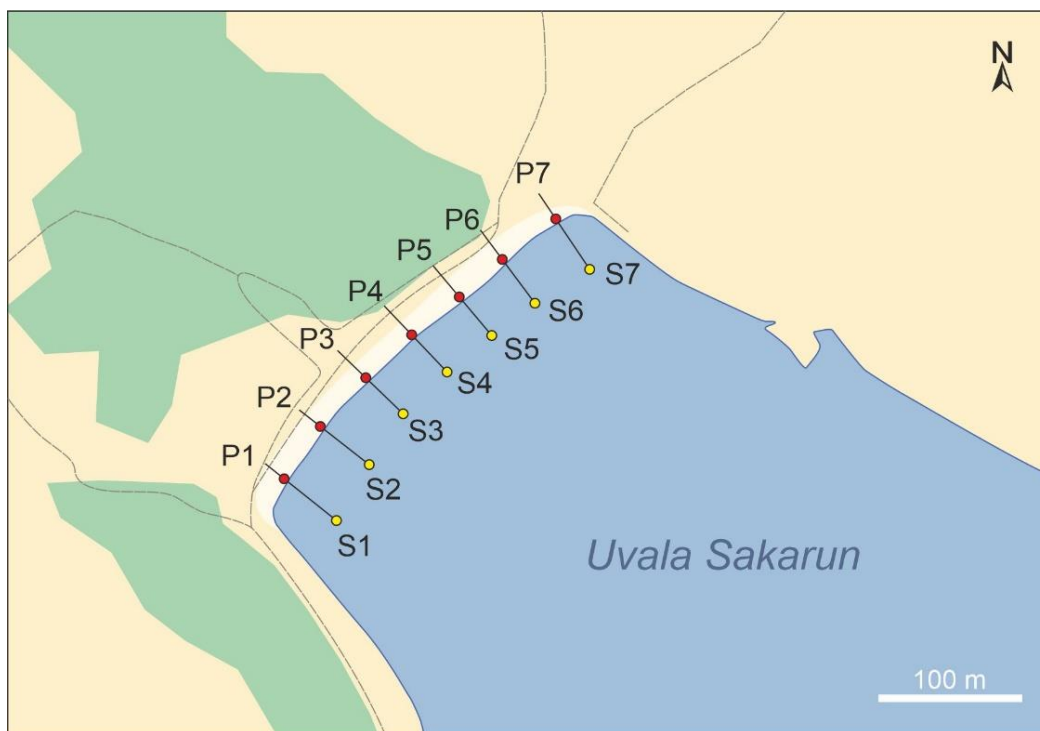
Proces sakupljanja uzoraka posidonije odvijao se kroz pet uzastopnih mjeseci na proizvoljno odabranim lokacijama plaže Sakarun. Uzorkovanje se odvijalo jednom mjesečno, s početkom u listopadu 2020. godine. Zadnje uzorkovanje bilo je u veljači 2021. godine. Slika 14 prikazuje mjesta uzorkovanja. Količina sakupljenog materijala na mjesečnoj bazi iznosila je 1/16 izmjerenog kubnog metra nanosa posidonije (25x50x50 cm).



Slika 14. Lokacije uzorkovanja naslaga posidonije tijekom razdoblja praćenja. Pos 10/20 i Pos 12/20-crvena strelica, Pos 11/20-bijela strelica, Pos 01/21-narančasta strelica, Pos 02/20-crna strelica.

Uzorkovanje sedimenta plaže i stijena koje okružuju plažu napravljeno je u studenom 2020. godine. Pješčani sediment plaže uzorkovan je na 14 točaka (Slika 15) u cilju utvrđivanja veličine zrna sedimenta. Uzorkovanje je provedeno priručnim jezgrilom za uzorkovanje sedimenta do dubine od cca. 10 cm. Sedam uzoraka sedimenta prikupljeno je na licu plaže (*shoreface*) na međusobno jednako udaljenim točkama duž plaže (Profil 1, Profil 2, Profil 3, Profil 4, Profil 5, Profil 6, Profil 7), a preostalih sedam na sprudu koji se proteže u *foreshore*-u i paralelan je s pružanjem plaže (Sprud 1, Sprud 2, Sprud 3, Sprud 4, Sprud 5, Sprud 6 i Sprud 7). Uzorci šljunka uzeti su sa berme na sredini plaže (V1, V4) i na

sjeverozapadnoj strani plaže (V2), te u *backshore*-u (V3) središnjeg dijela plaže (ukupno četiri uzorka šljunka). Uzorci stijena uzorkovani su na bočnim stranama koje okružuju plažu (SZ i JI od plaže). Na sjeverozapadnoj strani uzeta su dva uzorka stijene (I1, I2), te na jugoistočnoj tri uzorka (I3, I4, I5). Uzorci stijena i šljunkovite frakcije sedimenta plaže uzorkovani su u svrhu izrade mikroskopskih preparata kako bi se utvrdilo porijeklo, sastav i starost stijena u podlozi, te sličnost šljunkovitog materijala s osnovnom stijenom.



Slika 15. Lokacije uzorkovanja pješčanog sedimenta. Slovo P označava lokacije uzorkovanja na izloženom dijelu profila, a slovo S na potopljenom sprudu.

## 5.2. Analiza veličine zrna uzoraka pijeska

Uzorci pijeska su osušeni na zraku. Od svakog uzorka suhog sedimenta odvagano je 100 g. Materijal je miješan sa destiliranom vodom i prosijan procesom mokrog sijanja na sedam sita različitih veličina pora. Veličina pora prvog sita je 4 mm, redom dalje 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,250 mm, 0,125 mm i 0,063 mm. Materijal je frakcioniran na temelju različite granulacije zrna. Nakon sušenja svakoj pojedinoj frakciji je vaganjem određena masa i postotni udio u pripadajućem uzorku. Čestica sedimenta  $< 0,063$  mm je bilo vrlo malo u analiziranim uzorcima i većina tih čestica se nalazi u frakcijama 0,032–0,063 i 0,016–0,032 mm. Analiza dobivenih rezultata granulometrijske analize svakog uzorka pijeska (Profil 1, Profil 2, Profil 3, Profil 4, Profil 5, Profil 6, Profil 7, Sprud 1, Sprud 2, Sprud 3, Sprud 4, Sprud 5, Sprud 6 i Sprud 7, te Pos 10/20, Pos 11/20, Pos 12/20 i Pos 01/21) napravljena je pomoću programa GRADISTAT Verzija 6.0 (SIMON J BLOTT).

### 5.2.1. Mikroskopska analiza frakcija pijeska

U svrhu mikroskopske analize frakcija pijeska, svaka frakcija je pregledana pod svjetlosnim mikroskopom u reflektiranom svjetlu s povećanjem od 2,5x. Dani su opisi pojedinih frakcija s obzirom na tip bioklasta. Prisutnim organizmima određena je klasifikacija na razini razreda/koljena i utvrđen je stupanj očuvanosti.

## 5.3. Utvrđivanje količine sedimenta u naslagama posidonije

Uzorci posidonije ispirani su slatkom vodom u laboratorijskim uvjetima. Procesom ispiranja, odvojeni su taloženi sediment i čestice plastike zaostali u nanosima posidonije od listova posidonije. Čestice plastike i sediment u suspenziji pretakani su u zasebne posude nakon čega je voda dekantirana. Čestice plastike ostavljene su za potrebne kasnijih analiza, a sediment iz posidonije je osušen i izvagan. Kao i za granulometrijsku analizu pijeska, pripremljeno je pet uzoraka sedimenta iz posidonije za utvrđivanje veličine zrna (Pos 10/20, Pos 11/20, Pos 12/20 i Pos 01/21, Pos 02/21). Uzorak Pos 02/21 sadržavao je uglavnom šljunkovitu komponentu, pa je analiza veličine zrna tog uzorka napravljena metodom analize uz pomoć programa Image J.

## 5.4. Utvrđivanje udjela karbonatne komponente u uzorcima

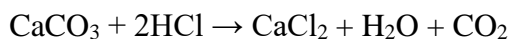
Metoda kalcimetrije kojom se utvrđuje udio karbonatne komponente nekog materijala temelji se na izračunu postotnog udjela karbonata pomoću formule:

$$\%CaCO_3 = \frac{V_{CO_2} \times pt_{fak} \times st_{fak} \times 100}{m_{uzorak}} \quad [1]$$

gdje je:

- $V_{CO_2}$  → volumen nastalog plina CO<sub>2</sub> u mililitrima
- $pt_{fak}$  → faktor koji je generiran poznatim vrijednostima tlaka (milibar) i temperature (°C)
- $st_{fak} = 2, 274$  (konstanta)
- $m_{uzorak}$  → masa uzorka u miligramima

Postupkom kalcimetrije moguće je detektirati količinu oslobođenog plina CO<sub>2</sub>. Metoda se provodi na način da se uzorak namijenjen za analizu u pravilu prvotno usitni do praha, a zatim se uzme određena odvaga ( $m_{uzorak}$ ). Uzorak poznate mase se potom stavlja u Erlenmeyerovu tikvicu zajedno s magnetskim štapićem. U tikvicu se zatim oprezno pomoću pincete dodaje i čašica s određenom količinom klorovodične kiseline razrijeđene destiliranom vodom u omjeru (1:1). Prah i kiselina pritom ne smiju doći u doticaj. Tikvica se spaja na Scheiblerovu aparaturu i zatim se sastojci promiješaju. Pomoću magneta održava se stalno miješanje sadržaja tikvice u vremenu potrebnom za otapanje karbonatnog materijala u uzorku, tj. do trenutka kada se determinira prestanak oslobađanja plina. Na dijelu aparature gdje se nalazi mjerna skala, očita se volumen oslobođenog CO<sub>2</sub> u sljedećoj reakciji:



Prilikom očitavanja volumena potrebno je istovremeno očitati trenutni tlak i temperaturu te odrediti pripadajući pt faktor u odgovarajućoj tablici. Kada su poznati svi parametri, moguće je izračunati postotni udio kalcijevog karbonata u uzorku prema gore navedenoj formuli.

Određivanje udjela karbonata napravljeno je za standardni uzorak praha kalcijevog karbonata, te za svaki uzorak pijeska (Profil 1, Profil 2, Profil 3, Profil 4, Profil 5, Profil 6, Profil 7, te Sprud 1, Sprud 2, Sprud 3, Sprud 4, Sprud 5, Sprud 6 i Sprud 7) kao i za sediment odvojen iz posidonije (Pos 10/20, Pos 11/20, Pos 12/20, Pos 01/21 te Pos 02/21). Materijal



prethodno nije usitnjavan zbog pretpostavke visokog udjela kalcijevog karbonata. Odvage su uzete pomoću precizne analitičke vage. Uzorak je zatim tretiran na način opisan gore. Svaki uzorak analiziran je dva puta s maksimalnim odstupanjem dobivenih rezultata do 3%. Ako je odstupanje bilo veće od 3%, postupak je ponovljen.

## 5.5. Određivanje mineralnog sastava uzoraka

Kristalna rešetka minerala je pravilna struktura te se zbog toga padom rendgenskih zraka na površinu kristalne rešetke zrake raspršuju (difraktiraju). Do difrakcije će doći ako je zadovoljen uvjet da je razlika u hodu između raspršenih zraka susjednih mrežnih ravnina jednaka cijelom broju valnih duljina, što je prikazano Braggovim zakonom:

$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin\theta \quad [2]$$

gdje je:

- $n$  → cijeli broj, red zračenja
- $\lambda$  → valna duljina zračenja
- $d_{hkl}$  → međumrežni razmak hkl tipa mrežnih ravnina
- $\theta$  → kut pod kojim zrake padaju na mrežnu ravninu

Postupak određivanja prisutnih mineralnih faza u uzorcima pomoću rendgenskih zraka je kvalitativan i semikvantitativan što znači da će se analizom otkriti koje se mineralne faze nalaze u uzorku, te koja je relativna količina pojedine faze.

### *Priprema uzoraka za snimanje*

Uzorcima odabrani za analizu su: Profil 1, 4, 7, Sprud 1, 4, 7, te Pos 10/20, Pos 11/20, Pos 12/20 i Pos 1/21. Svaki pojedini uzorak bilo je potrebno samljeti do dimenzija praha kako bi rendgensko snimanje bilo uspješno. Naime, u praškastom uzorku mnoštvo je kristalica orijentiranih u svim smjerovima, pa je i vjerojatnost zadovoljavanja Braggovog zakona veća. Prije stavljanja uzorka u ahatni mlin (korišten je ahatni mlin marke Fritsch u vlasništvu Mineraloško-petrološkog zavoda PMF-a, Zagreb), sediment iz posidonije kao i pijesak s plaže pregledan je i ako je nužno uklonjeni su dijelovi organske tvari, najviše prisutnih fragmenata suhih listova posidonije kako ne bi došlo do smetnji prilikom snimanja. S obzirom da se sitni fragmenti organske tvari iz sedimenta koji je izvađen iz naslaga posidonije (Pos 10/20, Pos 11/20, Pos 12/20 i Pos 01/21) nisu mogli u potpunosti izvaditi, materijal je nakon usitnjavanja tretiran s 50 ml razrijeđenog vodikovog peroksida u omjeru

1:1, a potom i 50 ml koncentriranog 30%-tnog vodikovog peroksida. Tako priređena smjesa ostavljena je da stoji 48 sati. Suhi uzorci su zatim pripremljeni za snimanje rendgenom, na način da je prah stavljen na aluminijski nosač. Snimanje svakog uzorka trajalo je deset minuta. Difrakcijski podaci prikupljeni su pomoću difraktometra za prah Philips PW 3040/60 X'Pert Pro. Analiza rentgenograma napravljena je u programu X'Pert HighScore Plus (PANALYTICAL, 2004), te su kratice imena minerala u njima pisane prema KRETZ (1983): kalcit – Cal; magnezijski kalcit – Cal-Mg; aragonit – Arg; halit – Hl; kvarc – Qtz; aluminij – Al.

## **5.6. Utvrđivanje sastava i porijekla osnovne stijene i šljunkovite frakcije sedimenta plaže**

Uzorci valutica šljunka s plaže i izdanaka okolnih stijena prikupljeni na terenu detaljno su pregledani i odabrani za izradu mikroskopskih izbrusaka u laboratoriju Geološko-paleontološkog zavoda na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu. Ukupno je izrađeno 16 izbrusaka u svrhu sedimentoloških i mikropaleontoloških analiza koje su obavljene pomoću mikroskopa Axioplan (OPTON) te su mikrofacijesi i mikrofosilne zajednice fotografirane mikroskopskom kamerom Quick PHOTO CAMERA 3.0. Strukturni tip vapnenaca određen je prema klasifikaciji DUNHAMA (1962) nadopunjenoj prema EMBRY i KLOVANU (1971), dok su mikrofacijesi određeni prema FLÜGEL (2004). Gornjokredne bentičke foraminifere određene su prema GUŠIĆ i JELASKA (1990) i VELIĆ (2007 i reference u njima). Gornjokredne planktonske foraminifere utvrđene su na temelju promatranja njihovih dijagnostičkih obilježja prema PREMOLI SILVA i VERGA (2004) i SARI (2006, 2017).

## 6. Rezultati

### 6.1. Terenska opažanja

Plaža je sastavljena od dviju populacija sedimenta: šljunka, koji čini svojevrsnu šljunčanu dinu i pijeska koji se nalazi na plaži i u moru. Građa šljunčane dine specifična je po izmjeni šljunka i značajnoj količini naslaga izbačene posidonije. Detritus posidonije je na mjestima dobro očuvan, a negdje rastrošen i usitnjen. Šljunčana dina stabilizirana je biljkama s kopnene strane. Biljke koriste detritus posidonije kao supstrat za korijen, jer drugog tla nema. Šljunak čine karbonatna zrna, veličine ~5–10 cm, u globalu dobro zaobljena. Zaobljenost se smanjuje prema kopnu i prema kontaktu s osnovnom stijenom u podlozi, kao i prema rubovima plaže. Pijesak se nalazi djelomično na osnovnoj stijeni koja na par mjesta izdanjuje na središnjem dijelu plaže, a drugi dio frakcije u supratajdalju i intertajdalju naliježe na šljunak, te su u plitkom sloju te dvije frakcije izmiješane. Pijesak se čini dobro sortirani te je u potpunosti karbonatnog sastava. Bilo kakve razlike pijeska u intertajdalju i plitkom subtajdalju u odnosu na pijesak plaže nisu primijećene. Preliminarnim pregledom pijeska pod priručnom lupom na terenu pretpostavljeno je njegovo biogeno porijeklo zbog prisustva mnogih zrna fragmentiranih ljušturica i skeleta organizama. U podlozi plaže nalazi se oslabljena osnovna stijena. Slojevi osnovne stijene vidljivi su na bokovima plaže i orijentirani su vertikalno i subvertikalno (Slika 17, Slika 2- moguće je uočiti slojeve na lijevom dijelu slike). Na rtu Lopata do kojeg se slojevi pružaju u istom trendu pronađeni su valni riplovi (Slika 16), pa je prema tome određena gornja slojna ploha koja gleda na JZ.



Slika 16. Valni riplovi na gornjoj slojnoj plohi. Fotografirala: P. Godec.

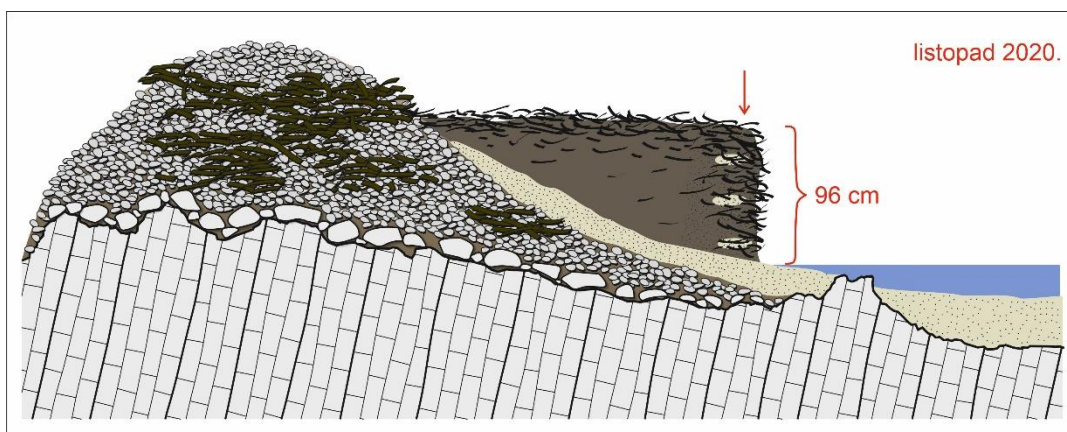


Slika 17. Položaj slojeva na jugoistočnom boku plaže Sakarun. Crna strelica pokazuje gornju slojnu plohu koja je orijentirana na jugozapad; crvena strelica pokazuje donju slojnu plohu koja je orijentirana na sjeveroistok Fotografirala: P. Godec.

Na plaži su odmah zamjetni nanosi posidonije, čija postojanost i debljina naslaga varira duž plaže. Naslage se mijenjaju i ovisno o vremenu (uočene su znatne promjene na mjesečnoj bazi kolika je bila učestalost odlaska na teren, ali pretpostavka je da se okoliš mijenja i puno češće, ovisno o vremenskim uvjetima, tj. jačini vjetera i valova). Nanosi posidonije vidljivi su i dalje od maksimalnog doseg valova, kao i komadi plastičnog otpada.

➤ Listopad 2020

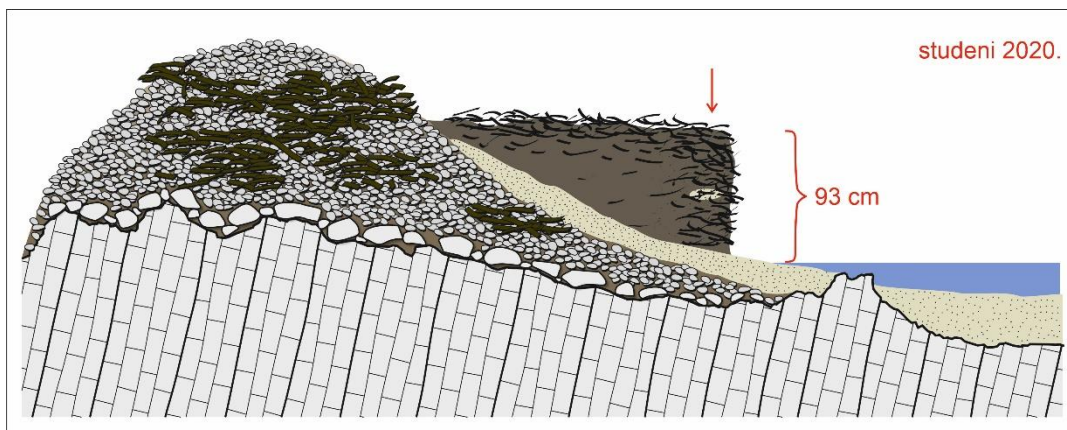
Naslage posidonije nalaze se između populacije šljunka i pijeska. Prijelaz između šljunka i posidonije je blaži u odnosu na prijelaz između posidonije i pijeska, gdje postoji „stepenica“ (Slika 18). Najveća količina posidonije nalazi se na JZ dijelu plaže, dok je središnji dio plaže prekriven na pola. Na SI dijelu nalazi se manje količina posidonije dok pijeska ima puno više, prekriva naslage posidonije i čini tzv. torta strukturu (sloj posidonije-sloj pijeska). U naslagama posidonije zamijećeni su veći komadi plastike, dok su se sitniji dijelovi nalazi na šljunku. Dio naslaga okrenutih prema moru i izloženih valovima zapunjeniji su sedimentom u odnosu na dijelove naslaga prema kopnu. Najveća debljina naslaga bez baznog sloja pijeska iznosila je 96 cm (SI plaže). Otpalih dijelova posidonije ima i u moru. Veća količina detritusa istaložena je u duguljastom jarku paralelnom s obalom koji se nalazi između plaže i plicjeg spruda. Mjesto uzorkovanja bilo je na JI dijelu plaže, a uzorkovan je površinski sloj banketa na dijelu naslaga koje su okrenute prema otvorenom moru.



Slika 18. Shematska skica profila plaže Sakarun za vrijeme terenskog obilaska u listopadu 2020.

## ➤ Studeni 2020

Nanosi posidonije su sličnog položaja i rasporeda kao u listopadu, ali u manjim količinama. Pijesak na plaži je vidljivo izložen. Prisutnost detritusa posidonije u moru je kao i u listopadu. Najveća izmjerena visina naslaga je 93 cm. Mjesto uzorkovanja blizu je onomu u listopadu, iako se pretpostavlja kako je prvi sloj nanosa odnesen valovima (Slika 19).



Slika 19. Shematska skica profila plaže Sakarun za vrijeme terenskog obilaska u studenom 2020.

## ➤ Prosinac 2020

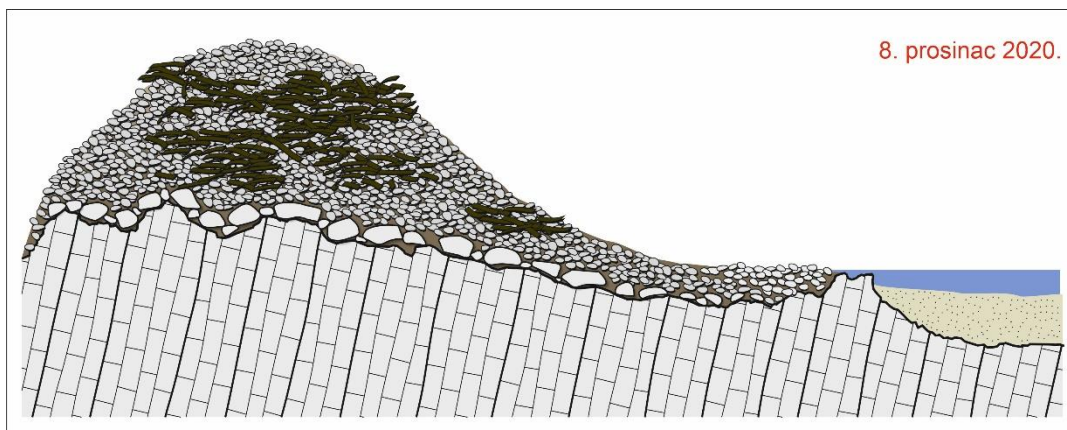
Neposredno nakon uvjeta olujnog juga (Slika 20) početkom mjeseca naslage posidonije potpuno izostaju s plaže (Slika 21 i Slika 22) (usmeno priopćenje iz JU Natura Jadera). Po smirivanju vremenskih uvjeta, a za vrijeme terenskog obilaska, na plaži se nalaze velike količine te otpada (plastični otpad, drveni trupci, jedna strvina glavate želve) te obilni nanosi posidonije, nataloženi duž cijele plaže (Slika 23). Tanak sloj posidonije nalazi se i na šljunčanoj dini i nije izmiješan sa sedimentom. Najveća visina koja je izmjerena iznosila je 210 cm, ali nije bilo moguće sigurno utvrditi gdje je dno plaže. Drugi dan terena za jakog juga primijećeno je kako detritus iz naslaga posidonije prekriva prije izložene dijelove pijeska na području kontakta s morem, tj. opažena je *in situ* erozija banketa. Lokacija uzorkovanja pomaknuta je malo prema SZ, tj. prema središnjem dijelu plaže, ali je u globalu i dalje na njenom JI dijelu (Slika 14). Prilikom uzorkovanja, prvo je uklonjen površinski sloj visine 20 cm, a zatim je uzorkovana 1/16 m<sup>3</sup> sloja ispod. Tijekom ovog terenskog obilaska primijećena je znatno manja količina sedimenta unutar naslaga.



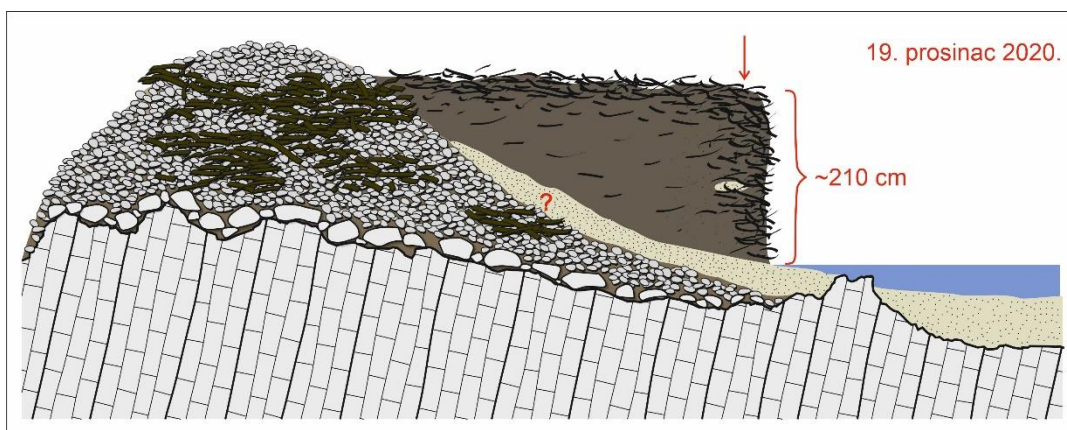
Slika 20. Valovi generirani olujnim jugom, 8. prosinca. 2020. Fotografirala: JU Natura Jadera



Slika 21. „Ogoljela“ plaža nakon olujne epizode juga 8. prosinca 2020. Fotografirala: JU Natura Jadera



Slika 22. Shematska skica profila plaže Sakarun: potpuno odsustvo banketa posidonije i pijeska neposredno nakon olujnih uvjeta juga na plaži Sakarun 8. prosinca 2020.

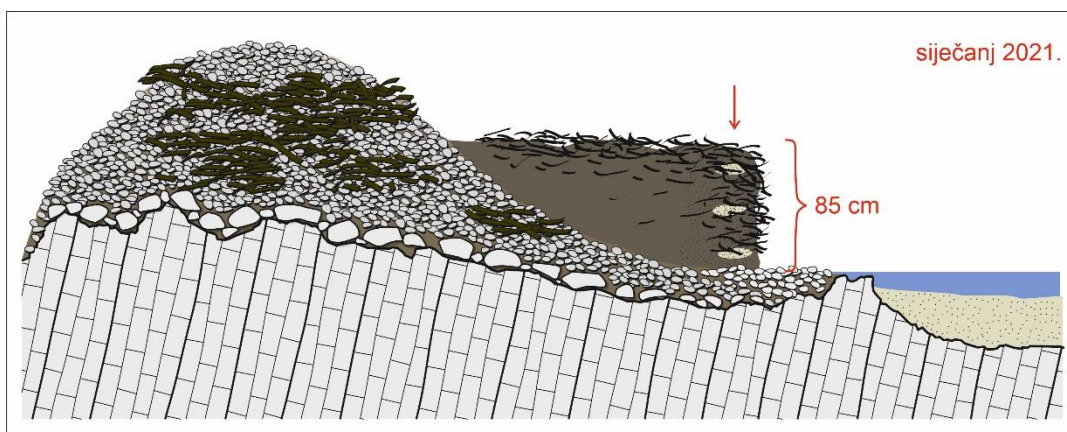


Slika 23. Shematska skica profila plaže Sakarun: Pozamašne količine izbačene posidonije na plaži Sakarun u fazi smirivanja olujnih uvjeta juga, 19. prosinca 2020.



## ➤ Siječanj 2021

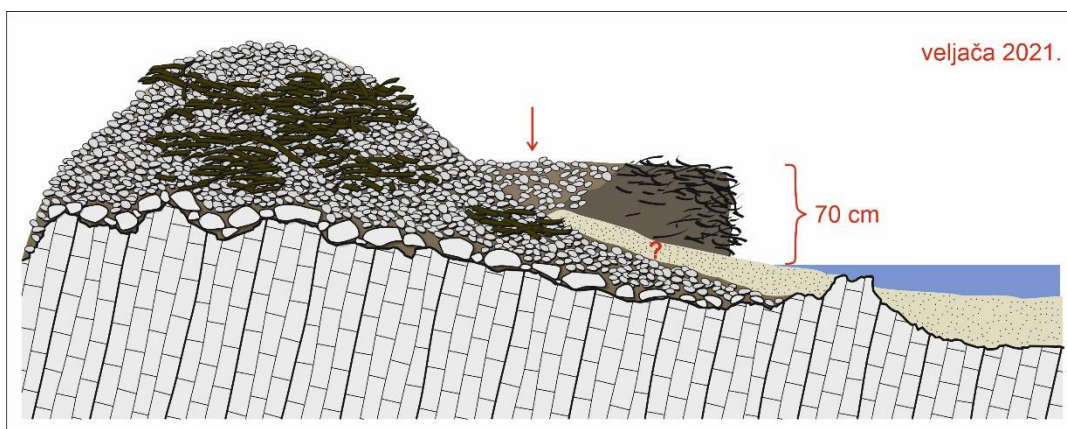
Na plaži je prisutna velika količina posidonije, površinom više nego prethodnih mjeseci. Pješčani dio plaže u potpunosti nedostaje, a nanosi posidonije prelaze sa šljunka direktno u more. Pijesak se može vidjeti samo na nekim mjestima u kontaktu s morem, dok je većinom u plitkom intertajdalnu vidljiva osnovna stijena. Maksimalna visina naslaga posidonije iznosi 85 cm, ali opet postoji nesigurnost u određivanju pozicije dna plaže (Slika 24). Mjesto uzorkovanja pomaknuto je prema središnjem dijelu plaže, na SZ (Slika 14). Sakupljen je gornji sloj naslage koji je izložen radu valova, te je primijećena značajno veća količina sedimenta unutar nanosa uspoređujući s prethodnim mjesecima.



Slika 24. Shematska skica profila plaže Sakarun za vrijeme terenskog obilaska u siječnju 2021.

## ➤ Veljača 2021

Plaža je uglavnom u cijelosti prekrivena nanosima posidonije. Primijećeno je kako se posidonija sa šljunčane dine koja je prethodni mjesec tamo nanosena sad povukla do zone intertajdala i visina banketa se primjetno smanjila. Najveća izmjerena visina naslaga nije bila veća od 70 cm (Slika 25). Nakon 24 sata bilo je moguće utvrditi znatno manje količine posidonije na plaže i primijetiti eroziju čije djelovanje se može promatrati u kratkim vremenskim intervalima (minute), što je odraz valova jakog juga tijekom terenskog izlaska. Mjesto uzorkovanja se razlikuje u potpunosti od prethodnih i sada se nalazi točno na sredini plaže (Slika 14), na kontaktu šljunčane dine i banketa, s pažnjom da se prilikom uzimanja uzorka ne zahvati materijal šljunčane dine. Uzorkovani materijal sadrži primjetno veću količinu šljunkovitog sedimenta, a sama posidonija u većoj je mjeri usitnjena u odnosu na duge listove kakvi se nalaze u uzorkovanim nanosima u blizini mora.



Slika 25. Shematska skica profila plaže Sakarun za vrijeme terenskog obilaska u veljači 2021.

## 6.2. Količina sedimenta unutar uzoraka banketa posidonije

S obzirom na različita mjesta uzorkovanja u banketima, promjenu meteoroloških prilika i ukupne promjene na plaži (poglavlje 6.1.), masa i vrsta sedimenta tijekom istraživanja je značajno varirala (Tablica 1). U prednjim dijelovima banketa koji su u kontaktu s morem sediment je uglavnom pijesak, a njegova količina ovisi o vremenskoj izloženosti valovima i njihovoj jačini, te brzini erozije banketa. U prva četiri uzorkovanja na prednjoj strani banketa sediment je bio pijesak, a pri zadnjem uzorkovanju u stražnjem dijelu banketa sediment je bio šljunak.

Tablica 1. Količina sedimenta odvojenog iz uzoraka posidonije svakog mjeseca uzorkovanja.

Uzorak	POS 10/20	POS 11/20	POS 12/20	POS 01/21	POS 02/21
Masa u 1/16m <sup>3</sup> posidonije (kg)	2,35	0,210	0,035	7,18	13,75
Masa u m <sup>3</sup> posidonije (kg)	37,60	3,36	0,56	114,88	219,9

## 6.3. Veličina zrna i morfološke karakteristike uzoraka pijeska (Profil, Sprud)

Granulometrijskom analizom uzoraka utvrđeno je da sediment s lica plaže (uzorci označeni kao Profil 1–7) pripada ili teksturalnoj grupi pijeska ili djelomično šljunkovitog pijeska. Pripadna teksturalna grupa uzoraka sedimenta sa spruda (uzorci označeni kao Sprud 1–7) uglavnom je grupa pijeska, osim za uzorak Sprud 6 koji je klasificiran kao djelomično šljunkoviti pijesak. Teksturalne grupe uzoraka prikazuje Tablica 2.

Tablica 2. Pripadajuće teksturalne grupe uzoraka.

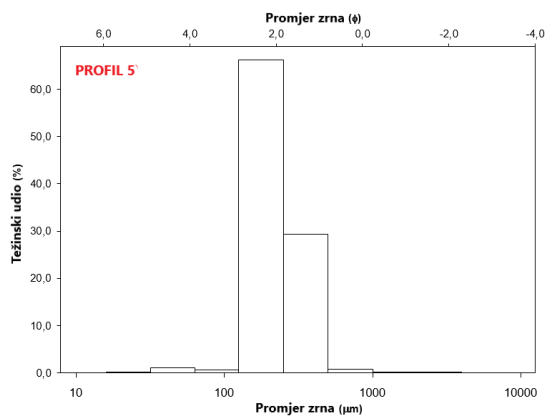
UZORAK	PROFIL 1	PROFIL 2	PROFIL 3	PROFIL 4	PROFIL 5	PROFIL 6	PROFIL 7
TEKSTURALNA GRUPA	Djelomično šljunkoviti pijesak	Djelomično šljunkoviti pijesak	Djelomično šljunkoviti pijesak	Pijesak	Djelomično šljunkoviti pijesak	Pijesak	Pijesak
UZORAK	SPRUD 1	SPRUD 2	SPRUD 3	SPRUD 4	SPRUD 5	SPRUD 6	SPRUD 7
TEKSTURALNA GRUPA	Pijesak	Pijesak	Pijesak	Pijesak	Pijesak	Djelomično šljunkoviti pijesak	Pijesak

Pregledom rezultata analize moguće je uočiti kako postoje male razlike u granulaciji sedimenta kako duž plaže, tako i duž spruda, ali evidentno je da je sediment s lica plaže krupnozrnatiji u usporedbi sa sedimentom koji je uzorkovan na sprudu pod površinom mora. Tablica 3 prikazuje glavne granulometrijske parametere. Odabrani su uzorci čije su vrijednosti subjektivno određene kao prosjek rezultata analiziranih uzoraka.

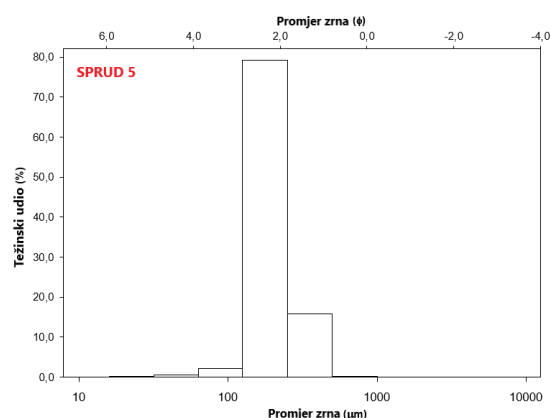
Tablica 3. Tip sedimenta i osnovni granulometrijski parametri analiziranih uzoraka (crveno i plavo naglašeni uzorci detaljnije su opisani u nastavku).

Uzorak	Median (D <sub>50</sub> )		Mean ( $\bar{x}$ )		Sorting ( $\sigma$ )		Skewness (Sk)	Kurtosis (K)
	$\mu\text{m}$	$\Phi$	$\mu\text{m}$	$\Phi$	$\mu\text{m}$	$\Phi$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$
PROFIL 1	196,9	2,334	208,7	2,260	1,479	0,564	0,269	1,089
PROFIL 2	198,9	2,330	211,1	2,244	1,480	0,566	0,261	1,027
PROFIL 3	252,3	1,987	258,7	1,951	1,697	0,763	0,162	0,917
PROFIL 4	225,6	2,148	235,9	2,084	1,546	0,628	0,144	0,759
PROFIL 5	205,4	2,284	218,9	2,191	1,511	0,596	0,241	0,876
PROFIL 6	189,0	2,404	192,2	2,380	1,400	0,486	0,207	1,111
PROFIL 7	235,9	2,084	241,2	2,052	1,542	0,625	0,070	0,742
SPRUD 1	186,9	2,420	187,9	2,412	1,390	0,475	0,180	1,107
SPRUD 2	183,9	2,443	183,9	2,443	1,370	0,460	0,165	1,101
SPRUD 3	191,0	2,389	199,5	2,326	1,470	0,556	0,231	1,101
SPRUD 4	183,1	2,449	183,1	2,449	1,371	0,455	0,162	1,092
SPRUD 5	187,2	2,418	187,7	2,414	1,382	0,466	0,174	1,109
SPRUD 6	197,7	2,418	209,5	2,255	1,494	0,579	0,248	0,997
SPRUD 7	176,0	2,506	176,9	2,506	1,438	0,524	-0,038	1,382

Rezultati distribucije veličine zrna uzoraka prikazani su histogramima odabranih uzoraka, za uzorke s plaže (Slika 26), odnosno za uzorke sa spruda (Slika 27).

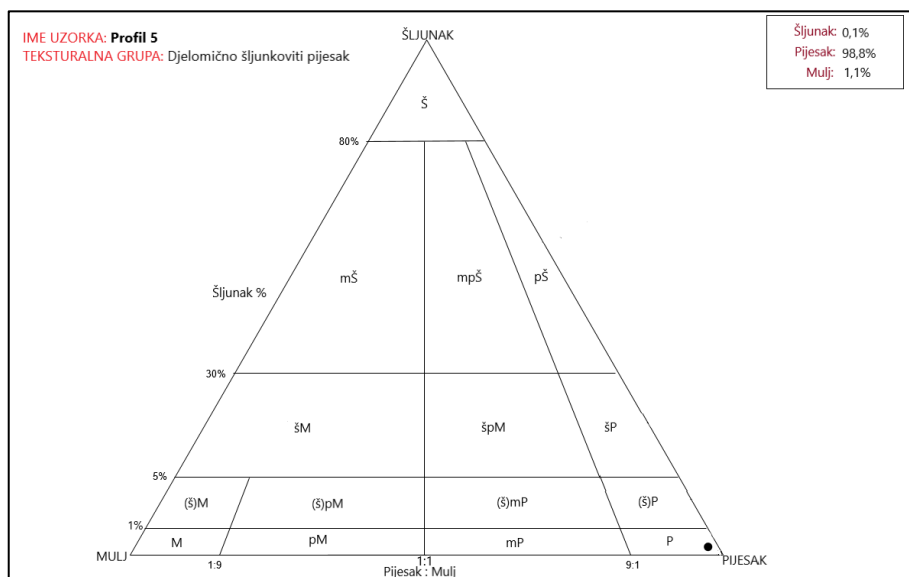


Slika 26. Histogram uzorka Profil 5.

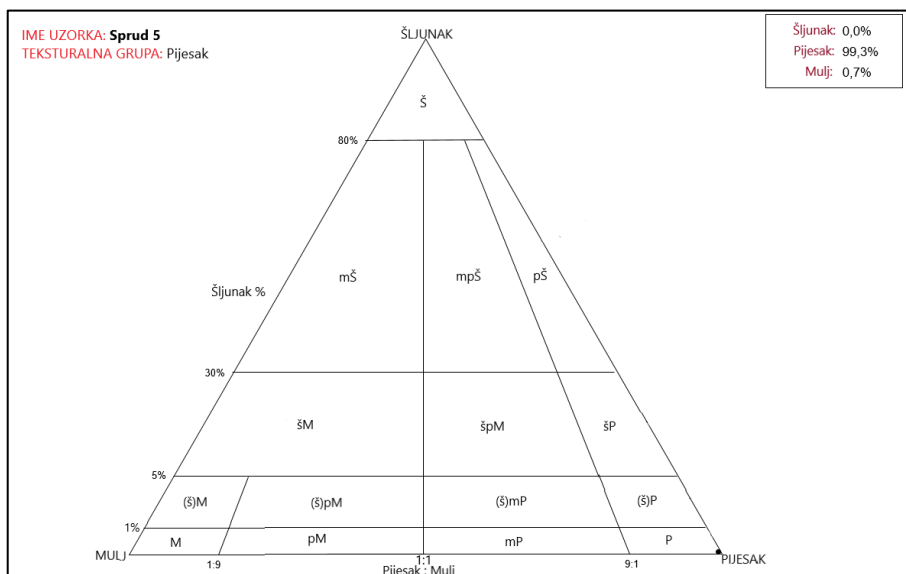


Slika 27. Histogram uzorka Sprud 5.

Klasifikacija uzoraka prema Folku (1954) prikazana je trokomponentnim dijagramom za uzorke s plaže (Slika 28), te za uzorke sa spruda (Slika 29), također za reprezentativne uzorke.

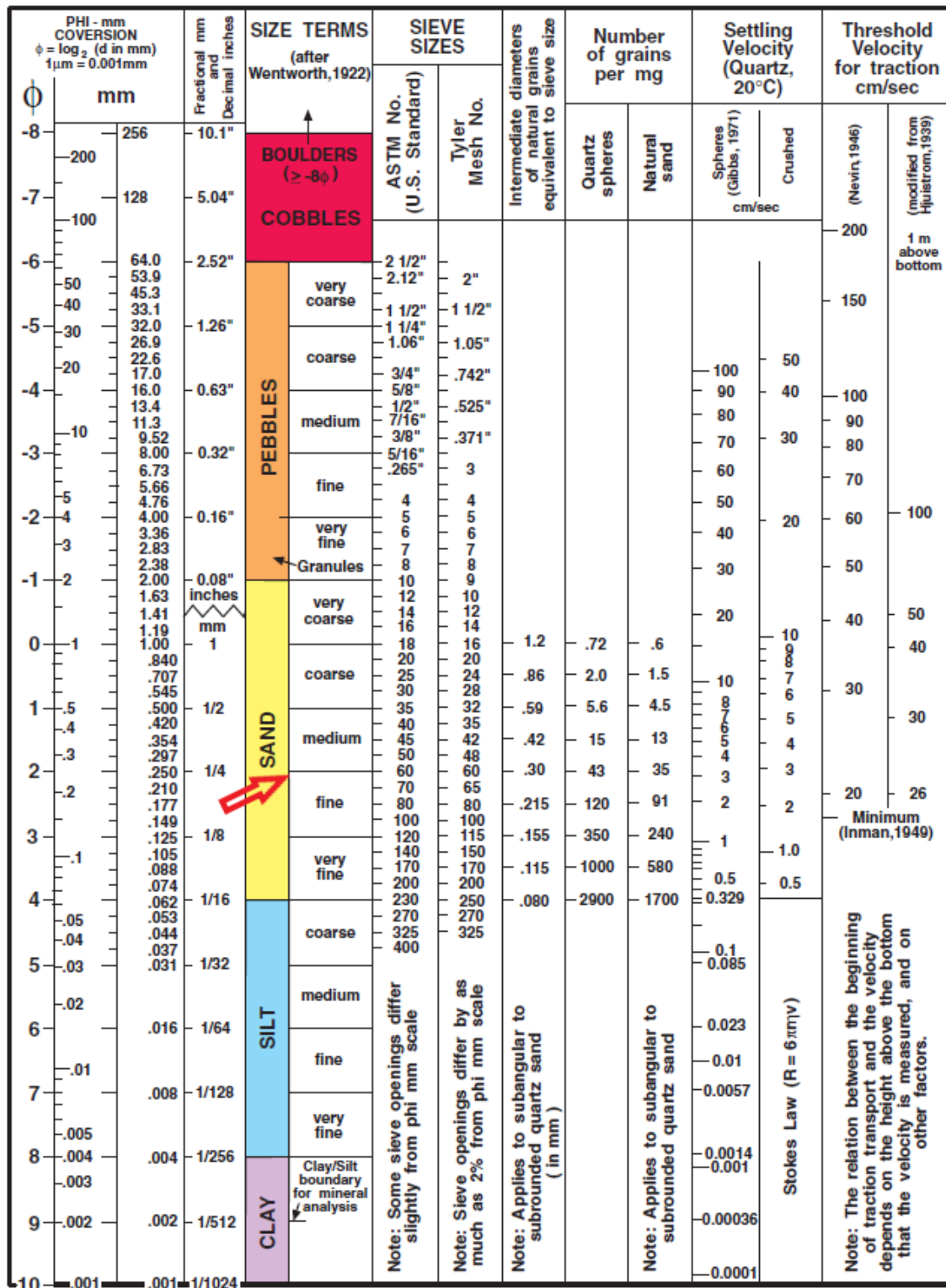


Slika 28. Trokomponentni dijagram za uzorak Profil 5.



Slika 29. Trokomponentni dijagram za uzorak Sprud 5.

Medijan, tj.  $D_{50}$  svih uzoraka je manji od  $250,0 \mu\text{m}$  što znači da se nalazi u frakciji sitnozrnatog pijeska, osim u slučaju uzorka Profil 3 čiji je  $D_{50} = 252,3 \mu\text{m}$  i kao takav najveći zabilježeni u svim analiziranim uzorcima, te se prema Wentworth-ovoj skali (1922) nalazi u klasi srednjezrnatog pijeska (Slika 30).

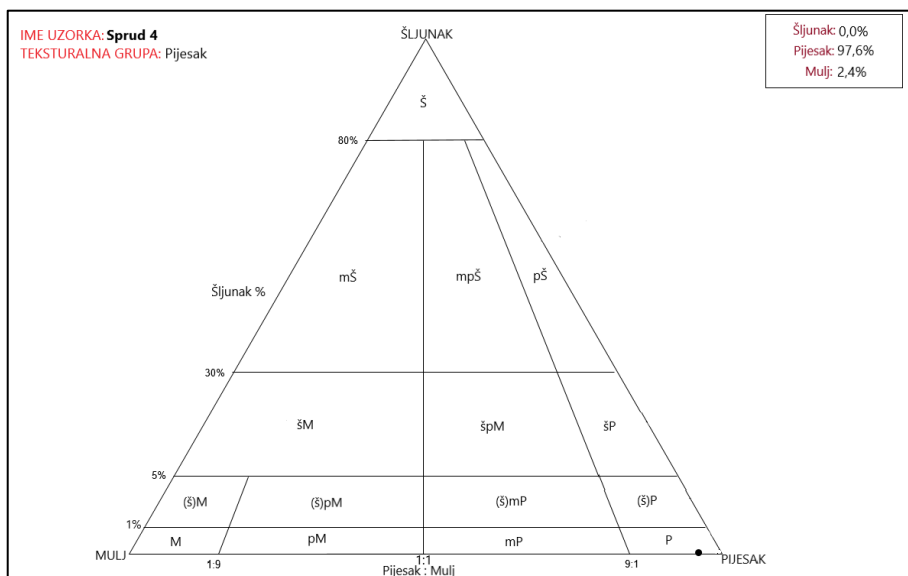


Slika 30. Wentworth-ova ljestvica (1922), granica sitnozrnatog i srednjezrnatog pijeska na 250μm (označeno crvenom strelicom).

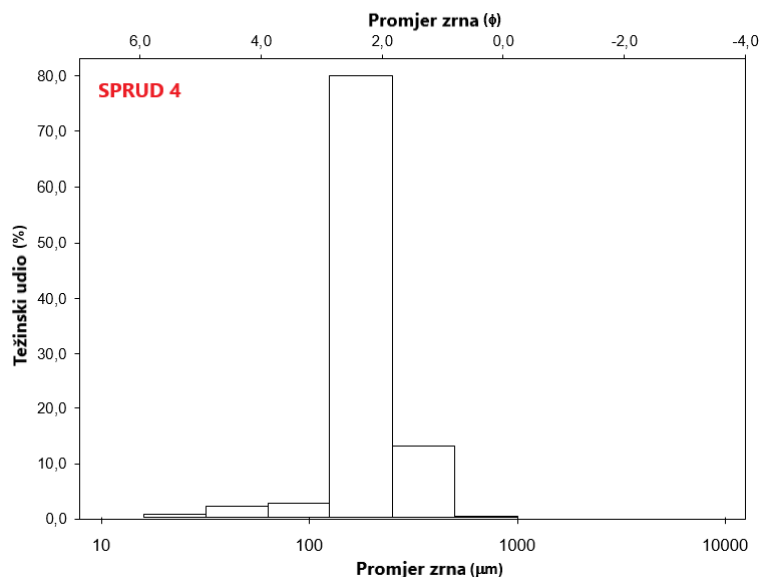




Potrebno je napomenuti kako je udio prahovite komponente u svim uzorcima neznan, odnosno zanemariv. Najveći udio prahovite komponente, tj. čestica manjih od 63 μm nalazi se u uzorku Sprud 4 što se vidi u trokomponentnom dijagramu (Slika 33), a iznosi 2,4%. Histogram uzorka Sprud 4 prikazuje Slika 34. Frakcija gline, tj. čestica manjih od 4 μm nije bila detektirana u uzorcima.



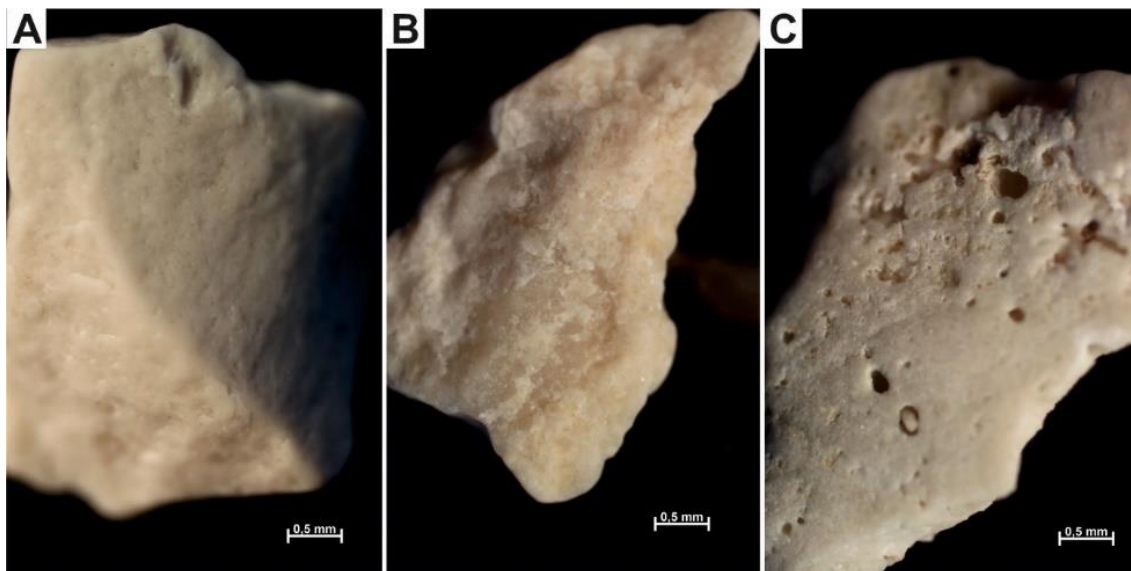
Slika 33. Trokomponentni dijagram za uzorak Sprud 4.



Slika 34. Histogram uzorka Sprud 4.

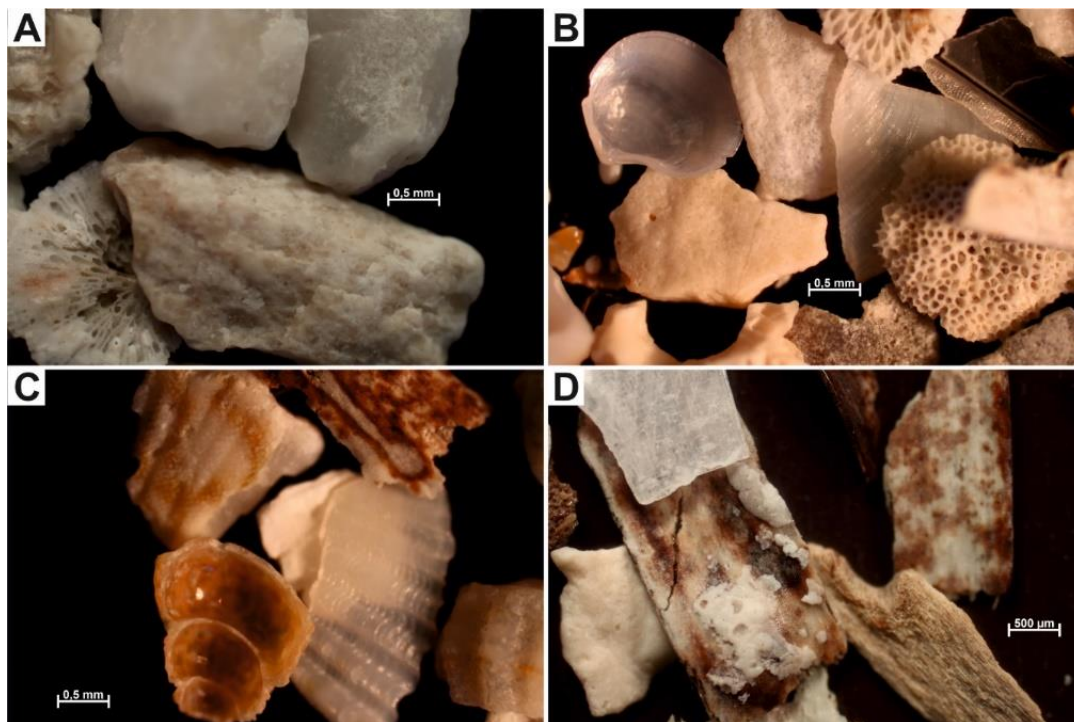
## 6.3.1. Opisi pojedinih frakcija pijeska

- Frakciju 2–4 mm (Slika 35) uglavnom čine fragmenti stijena, odnosno odlomljenog šljunka; frakcija nije prisutna u svakom uzorku.



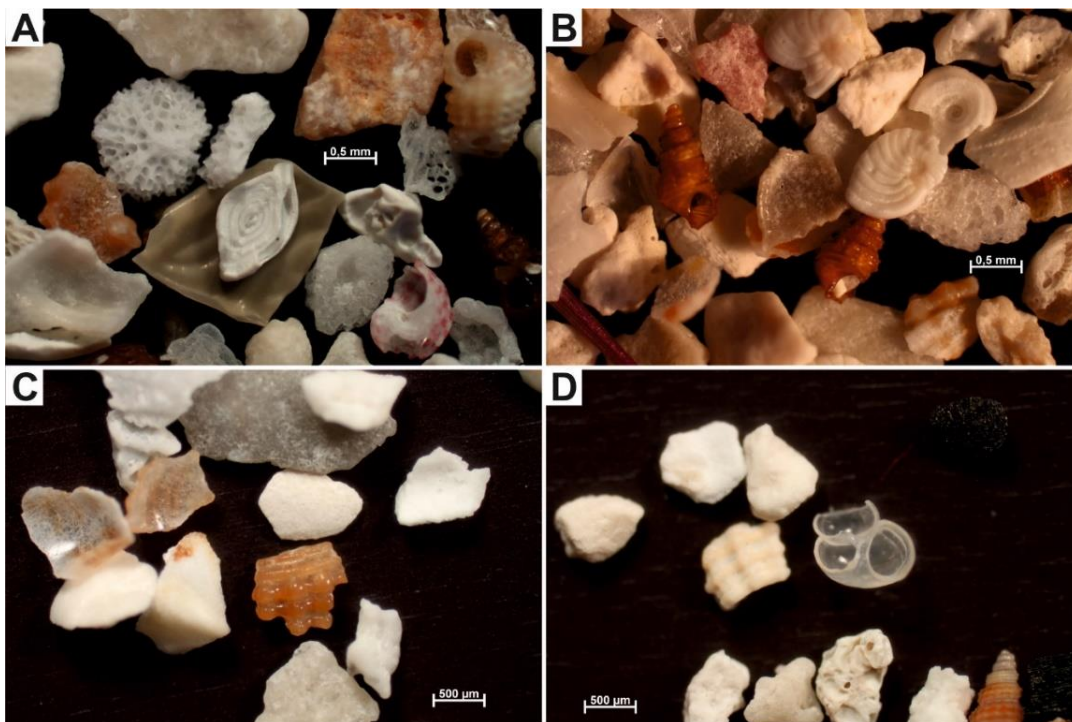
Slika 35. Frakcija 2–4 mm. A), B) i C) uzorak Profil 1, fragmenti stijene/šljunka.

- U frakciji 1–2 mm (Slika 36) zrna su u značajnoj mjeri biogena te ih čine cijele i fragmentirane ljuštore školjkaša, kućice puževa i fragmenti kolonija mahovnjaka. Mjestimično se mogu vidjeti fragmenti stijena i usitnjeni listovi posidonije.



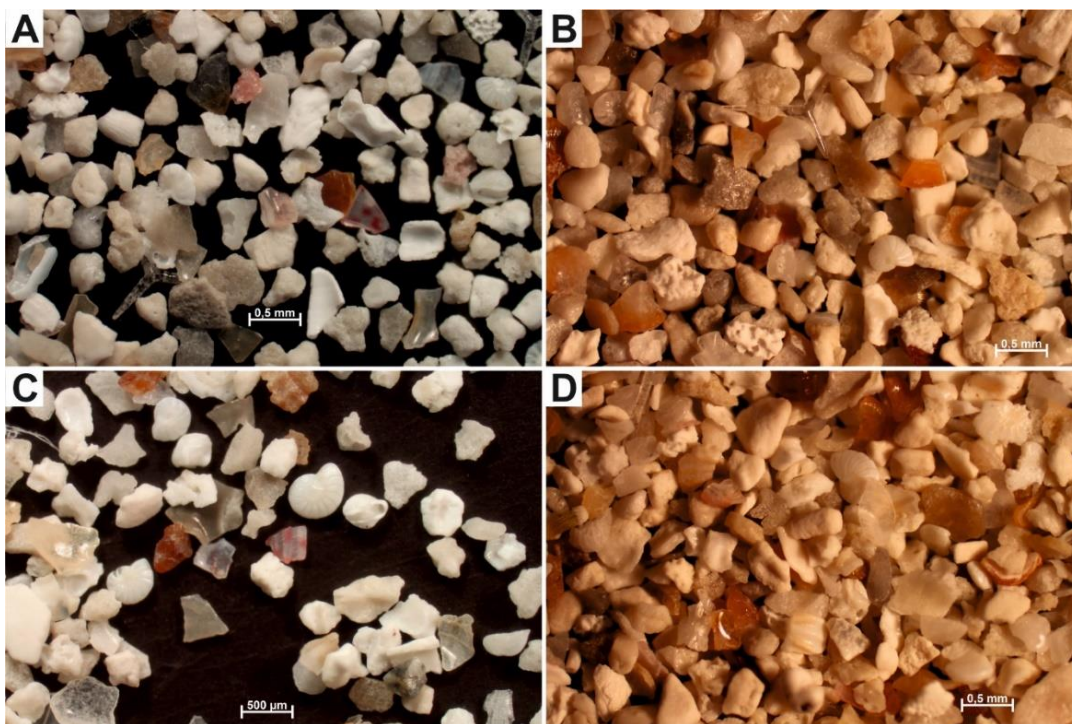
Slika 36. Frakcija 1–2 mm. A) Profil 1- fragmenti stijena, mahovnjak dolje lijevo; B) Profil 4- ljuštura školjkaša gore lijevo i sredina, mahovnjak gore i dolje desno, fragment lista posidonije gore desno, fragmenti stijena sredina; C) Profil 4- fragmentirana kućica puža, fragmenti ljuštura školjkaša iznad i desno od kućice puža, fragment lista posidonije gore desno; D) Sprud 7- fragment stijene dolje lijevo, komadić drveta dolje desno, fragmenti listova posidonije sredina i gore desno.

- Frakcija 0,5–1 mm (Slika 37) uglavnom je biogena te su prisutne brojne cijele kućice foraminifera, fragmentirane i cijele kućice puževa, fragmenti ljuštura školjkaša i kolonijskih formi mahovnjaka, te ponegdje bodlje ježinaca.



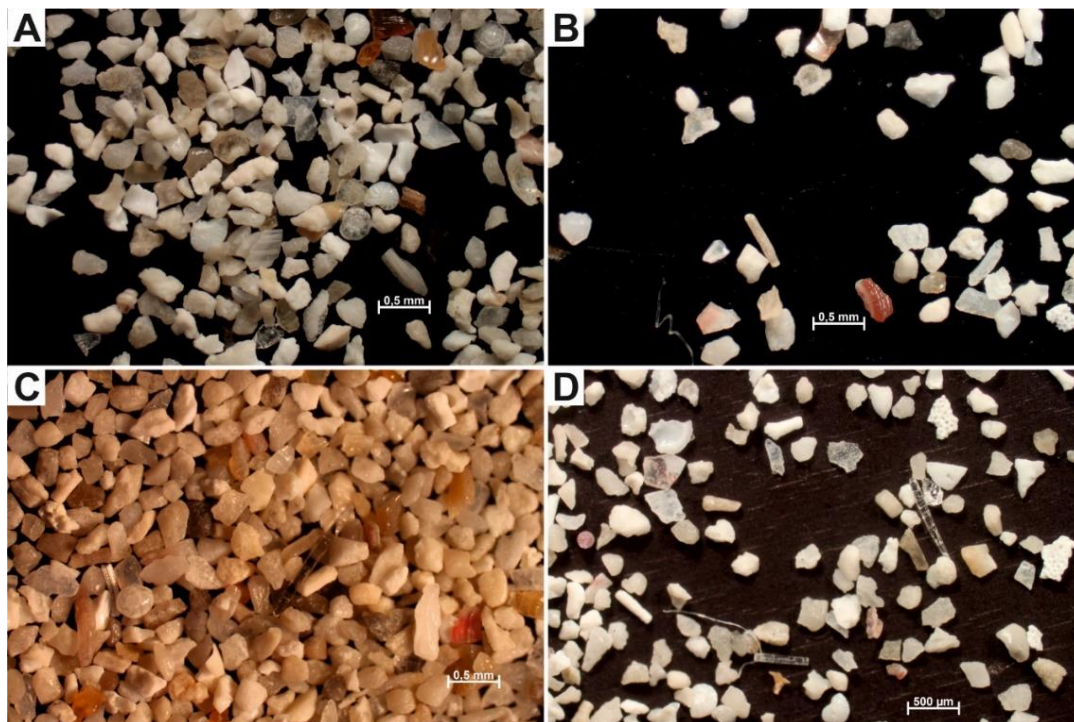
Slika 37. Frakcija 0,5–1 mm. A) Profil 1- kućica foraminifere sredina, fragment kolonije mahovnjaka sredina lijevo i sredina desno, ljuštore puževih kućica gore desno i dolje, fragment stijene gore lijevo; B) Profil 4-puževe kućice sredina i lijevo, kućice foraminifera sredina lijevo i gore, bodlja ježinca dolje lijevo, te brojni fragmenti ljuštura školjkaša; C) Sprud 4-fragment ljuštore školjkaša sredina; D) Sprud 7- fragment kućice puža sredina desno, fragment ljuštore školjkaša sredina lijevo, puževa kućica dolje desno, komadić ugljena gore desno.

- U frakciji 0,25–0,5 mm (Slika 38) se od čitavih skeleta nalaze samo kućice foraminifera, kojih ima i fragmentiranih, te ostaci kućica puževa, ljuštura školjkaša, mahovnjaka i spikula spužvi. Zrna su prilično erodirana, uglavnom zaobljena te djelomično ispolirana.



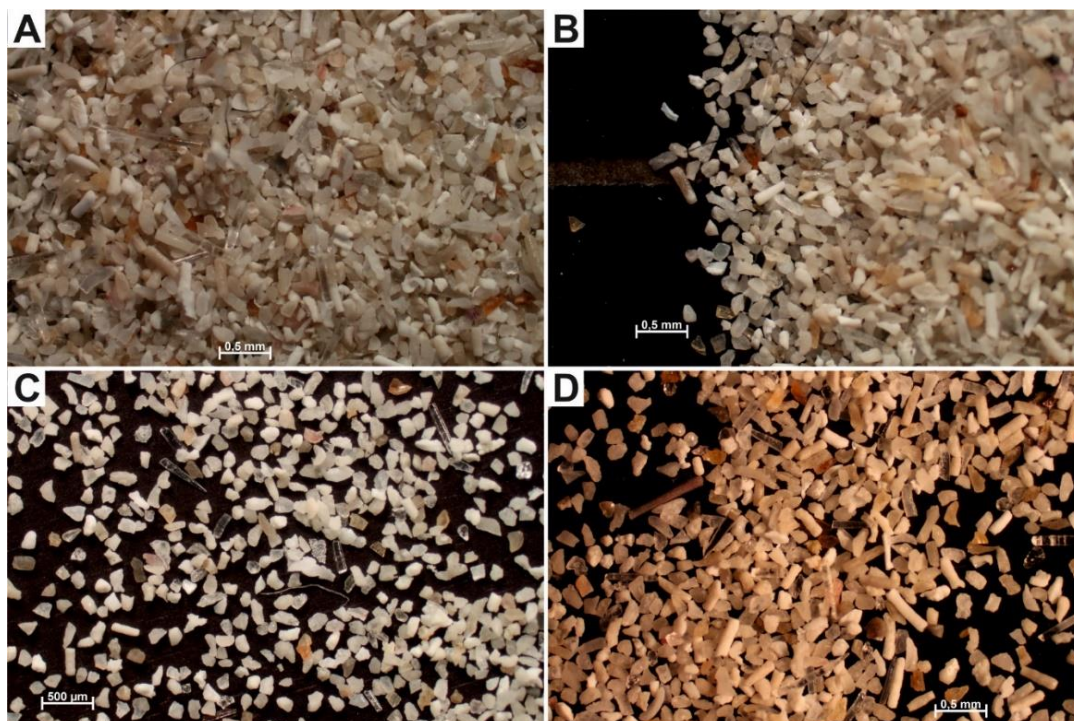
Slika 38. Frakcija 0,25–0,5 mm. A) Sprud 1-spikule spužve dolje lijevo i gore desno, kućice foraminifera gore lijevo i desno, te sredina lijevo; B) Profil 4-spikula spužve sredina gore, brojne cijele kućice foraminifera; C) Sprud 4-brojne cijele kućice foraminifera te fragmenti ljuštura školjkaša, nit plastičnog materijala gore lijevo; D) Profil 7-kućica foraminifere sredina gore desno, bodlja ježinca lijevo, fragment spikule spužve gore lijevo.

- Vrlo usitnjena, zaobljena i djelomično ispolirana zrna među kojima su prepoznatljive samo kućice foraminifera i spikule spužvi, sačinjavaju frakciju 0,125–0,250 mm (Slika 39). Ova frakcija često je najobilnija u analiziranim uzorcima.



Slika 39. Frakcija 0,125–0,25 mm. A) Sprud 1-brojne kućice foraminifera, fragmenti ljuštura školjkaša i puževa, spikula spužve gore lijevo; B) Profil 1-nit plastičnog materijala dolje lijevo; C) Profil 4-kućica foraminifere lijevo, fragment spikule spužve sredina; D) Sprud 7-fragmenti spikula spužve sredina desno i dolje, nit plastičnog materijala dolje lijevo.

- Frakcija 0,063–0,125 mm (Slika 40) slična je prethodnoj frakciji, ali s manjim brojem cijelih kućica foraminifera, te brojnim usitnjenim spikulama spužvi.



Slika 40. Frakcija 0,063–0,125 mm. A) Profil 1-brojni fragmenti spikula spužve, nit plastičnog materijala sredina gore; B) Sprud 1-brojni fragmenti spikula spužve, nit plastičnog materijala sredina gore, C) Sprud 7-brojni fragmenti spikula spužvi, nit plastičnog materijala sredina, fragmentirane kućice foraminifera; D) Profil 7-brojni fragmenti spikula spužve, bodlja ježinca lijevo, cijela kućica foraminifere iznad bolje ježinca.

U analiziranim uzorcima utvrđena je dominacija bioklasta. Sediment je obilježen prisutnosti foramol zajednice (LEES i BULLER, 1975) u kojoj dominiraju mekušci i foraminifere, te foramol-briomol (LEES i BULLER, 1975; NELSON i sur., 1988) zajednice u kojoj dominiraju foraminifere, mekušci i mahovnjaci, odnosno mekušci i mahovnjaci. Litoklasti se javljaju uglavnom samo u krupnijim frakcijama pijeska s plaže (2–4 mm, 1–2 mm) te su posljedica trošenja šljunka na plaži. Većina zrna je abradirana, usitnjena, zaobljena, te ispolirana što ukazuje na djelovanje valova. Ipak, na zrnima je moguće i dalje uočiti biogenu strukturu. Ovakav sastav zajednice odgovara tipičnom istočnojadranskom biogenom sedimentu kojeg uglavnom sačinjavaju ostaci mekušaca, foraminifera, mahovnjaka, ježinaca, serpulida, te manji broj spikula spužvi (PIKELJ, 2010).

S obzirom na odsutnost ježinaca na pjeskovitom dijelu uvale, te na bočnim dijelovima uvale gdje prevladava stjenovita podloga (okoliš kakav ježinci obično preferiraju), bodlje i drugi dijelovi skeleta ježinaca vjerojatno su doneseni iz područja izvan uvale ili dijela uvale udaljenog od plaže. Foraminifere, serpulidi i mahovnjaci često pokazuju zaravnjenost jednog dijela skeleta, što ukazuje kako su živjeli pričvršćeni za podlogu. Kao podlogu za pričvršćivanje organizmi često koriste dijelove posidonije, što je primijećeno i u laboratoriju prilikom ispiranja (Slika 41, Slika 42).



Slika 41. Inkrustirajuća forma mahovnjaka (gore) i serpulid (dolje) na otkinutom rizomu posidonije.



Slika 42. Serpulid pričvršćen za list posidonije.



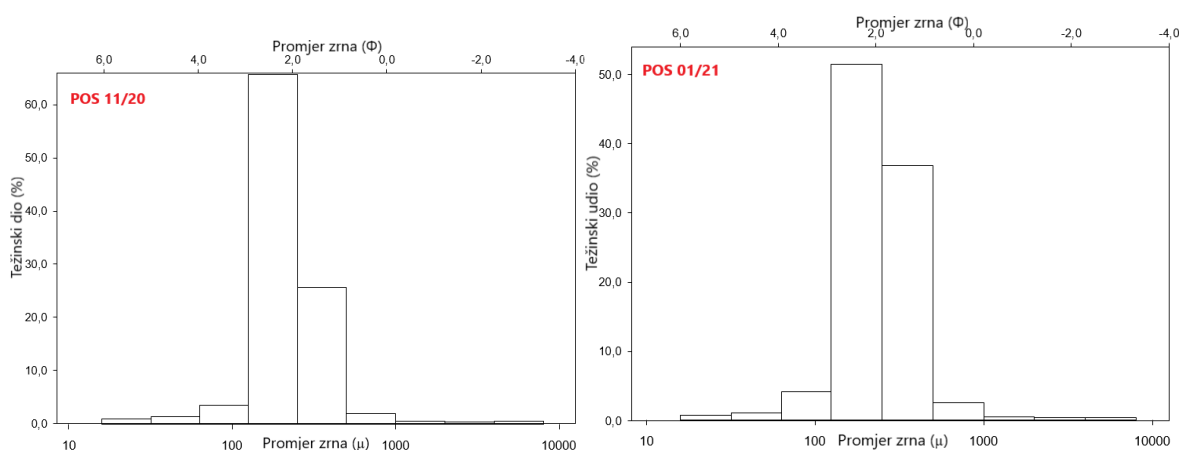
## 6.4. Veličina zrna sedimenta iz uzoraka posidonije

Svi uzorci sedimenta koji je izvađen iz nanosa posidonije pripadaju teksturalnoj grupi djelomično šljunkovitog pijeska (Slika 44). Prikazani su snovni granulometrijski parametri za sediment (Tablica 4). Srednja i prosječna veličina zrna uzoraka sedimenta Pos 10/20, Pos 11/20, Pos 12/20 i Pos 01/21 nalazi se prema Wentworthovoj skali u frakciji sitnozrnatog pijeska. Uzorku Pos 02/21 određena je prosječna veličina zrna pomoću metode analize slike, te iznosi 4,8 cm.

Tablica 4. Granulometrijski parametri za sediment iz posidonije.

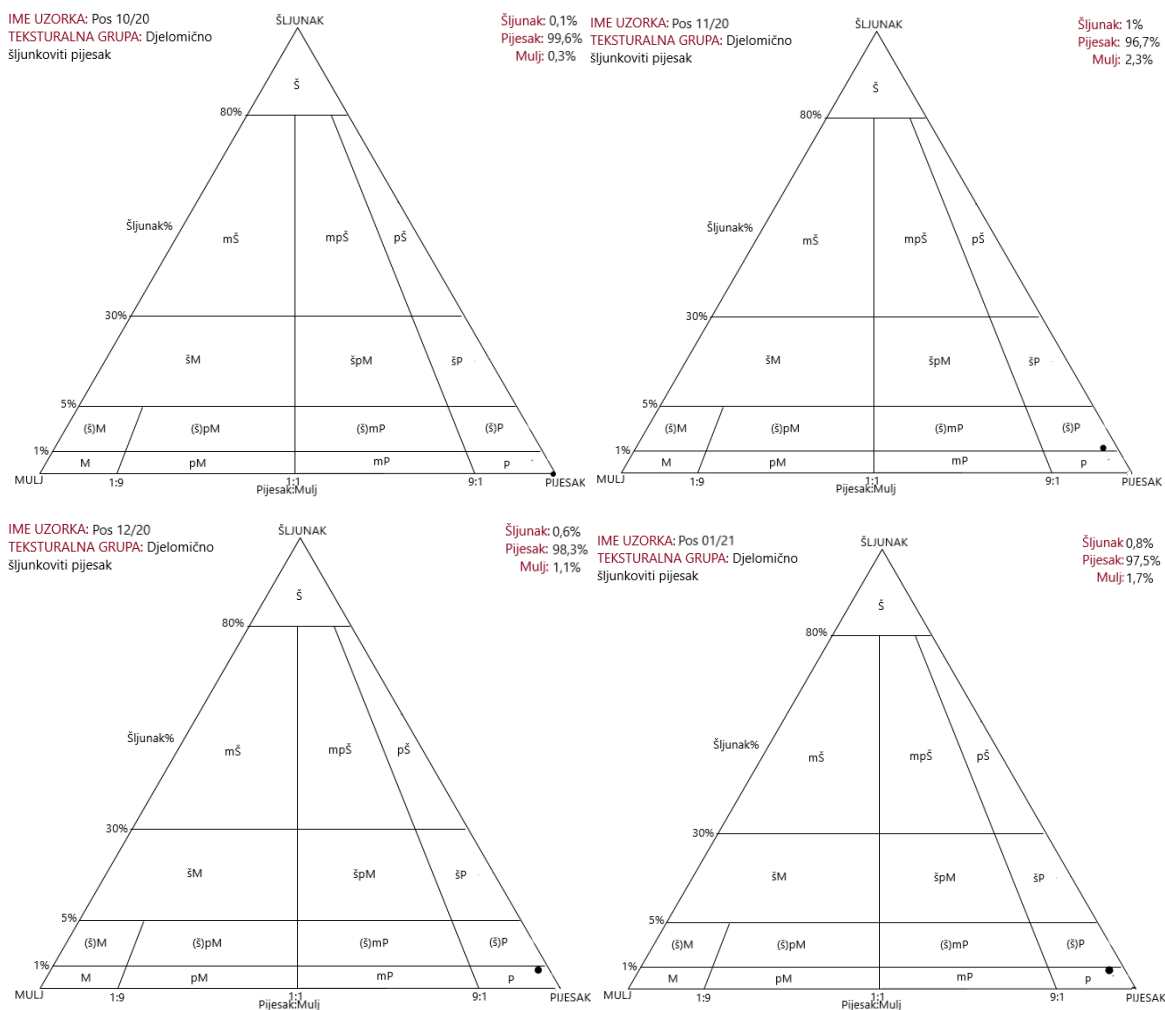
Uzorak	Median (D <sub>50</sub> )		Mean ( $\bar{x}$ )		Sorting ( $\sigma$ )		Skewness (Sk)	Kurtosis (K)
	$\mu\text{m}$	$\Phi$	$\mu\text{m}$	$\Phi$	$\mu\text{m}$	$\Phi$	$\mu\text{m}$	$\Phi$
POS 10/20	207,0	2,272	221,1	2,177	1,514	0,598	0,243	0,865
POS 11/20	199,8	2,323	214,7	2,220	1,590	0,669	0,193	1,040
POS 12/20	197,0	2,343	211,7	2,240	1,546	0,629	0,266	1,050
POS 01/21	223,4	2,162	233,6	2,098	1,628	0,704	0,082	0,835
	-		<i>Mean (<math>\bar{x}</math>), (cm)</i>		-		-	-
POS 02/21	-		4,8		-		-	-

Slika 43 usporedno prikazuje histogram uzorka Pos 11/20 (subjektivno odabran kao prosjek za uzorke iz listopada, studenog i prosinca 2020.) te histogram uzorka Pos 01/21 čiji se rezultati u nekoj mjeri razlikuju od prethodna tri uzorka. Frakcija veličine zrna  $125 < x < 500$  kod uzorka Pos 01/21 više je zastupljena nego kod ostalih uzoraka, što uzorak čini krupnozrnatijim, a što potvrđuje i parametar srednje vrijednosti (Tablica 4).



Slika 43. Histogrami uzoraka Pos 11/20 i Pos 01/21.

Trokomponentnim dijagramima (Slika 44) prikazani su analizirani uzorci sedimenta iz posidonije iz listopada, studenog i prosinca 2020., te siječnja 2021. godine. Uzorci pokazuju određene razlike u udjelima šljunkovite i muljevite komponentne.



Slika 44. Trokomponentni dijagrami uzoraka Pos 10/20, Pos 11/20, Pos 12/20 te Pos 01/21.

## 6.5. Rezultati određivanja udjela karbonata i fazne analize

Udjeli karbonatne komponente izračunati su prema formuli [1] (Tablica 5). Raspon dobivenih udjela %CaCO<sub>3</sub> kreće se između 93,3–99,4%.

Tablica 5. Udjeli karbonatne komponente u uzorcima standarda, pijeska, te sedimenta iz posidonije.

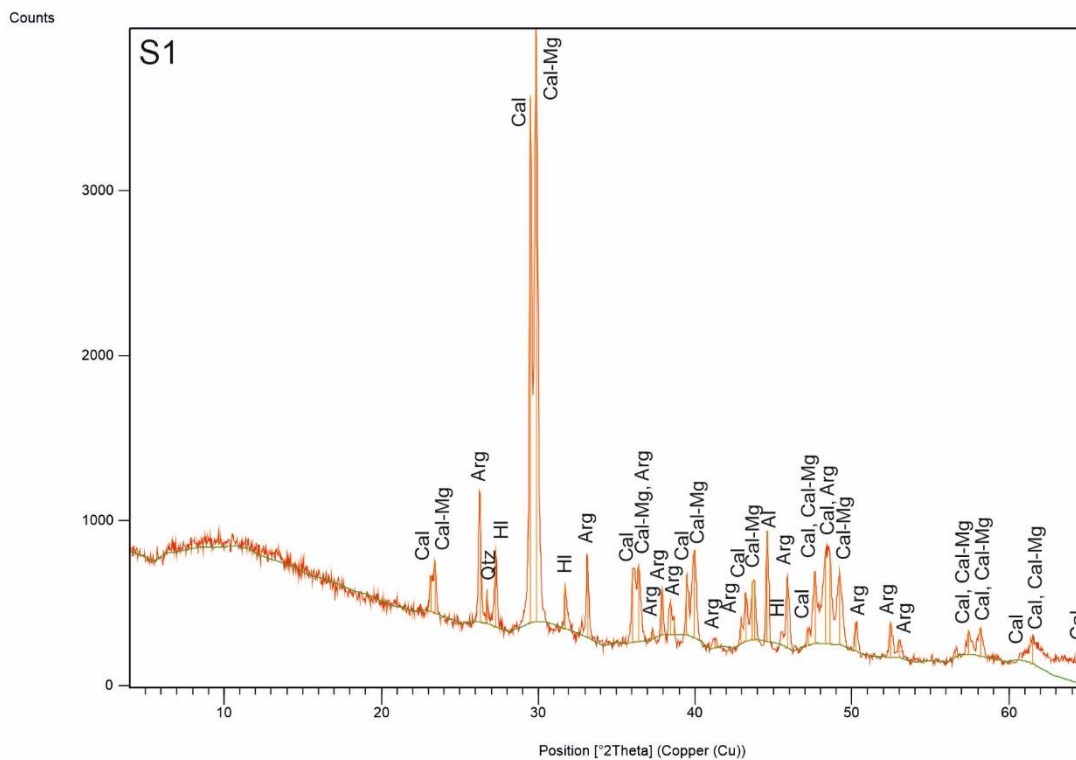
Uzorak	Udio % CaCO <sub>3</sub> (srednja vrijednost dva mjerenja)
PROFIL 1	93,5
PROFIL 2	99,4
PROFIL 3	98,5
PROFIL 4	94,0
PROFIL 5	98,3
PROFIL 6	96,3
PROFIL 7	93,6
SPRUD 1	94,2
SPRUD 2	93,3
SPRUD 3	94,2
SPRUD 4	94,1
SPRUD 5	95,3
SPRUD 6	94,7
SPRUD 7	94,2
POS 10/20	98,8
POS 11/20	94,7
POS 12/ 20	94,9
POS 01/21	99,4
POS 01/21	vapnenac

Rentgenskim snimanjem uzoraka ustanovljeno je kako su glavni, tj. dominantni minerali prisutni u uzorcima kalcit i magnezijski kalcit, odnosno magnezijski kalcit i kalcit; ovisno o uzorku mijenja se kvantiteta spomenutih minerala (minerali su navedeni po zastupljenosti u uzorku; Tablica 6). Sporedan mineral u svim uzorcima je aragonit, a u tragovima dolaze minerali halit (prisutan radi sušenja iz morske vode), aluminij, čija prisutnost je zapravo odraz nosača uzorka, te kvarc.

Tablica 6. Prikaz po uzorcima: dominantni, sporedni te minerali u tragovima.

UZORAK	DOMINANTNI MINERALI	SPOREDNI MINERALI	MINERALI U TRAGOVIMA
PROFIL 1	kalcit, magnezijski kalcit	aragonit	halit, aluminij
PROFIL 4	kalcit, magnezijski kalcit	aragonit	halit, aluminij
PROFIL 7	magnezijski kalcit, kalcit	aragonit	halit, aluminij
SPRUD 1	magnezijski kalcit, kalcit	aragonit	kvarc, halit, aluminij
SPRUD 4	magnezijski kalcit, kalcit	aragonit	kvarc, halit, aluminij
SPRUD 7	kalcit, magnezijski kalcit	aragonit	kvarc, halit, aluminij
POS 10/20	magnezijski kalcit, kalcit	aragonit	kvarc, halit, aluminij
POS 11/20	magnezijski kalcit, kalcit	aragonit	kvarc, halit, aluminij
POS 12/20	magnezijski kalcit, kalcit	aragonit	kvarc, halit, aluminij
POS 01/21	magnezijski kalcit, kalcit	aragonit	kvarc, halit, aluminij

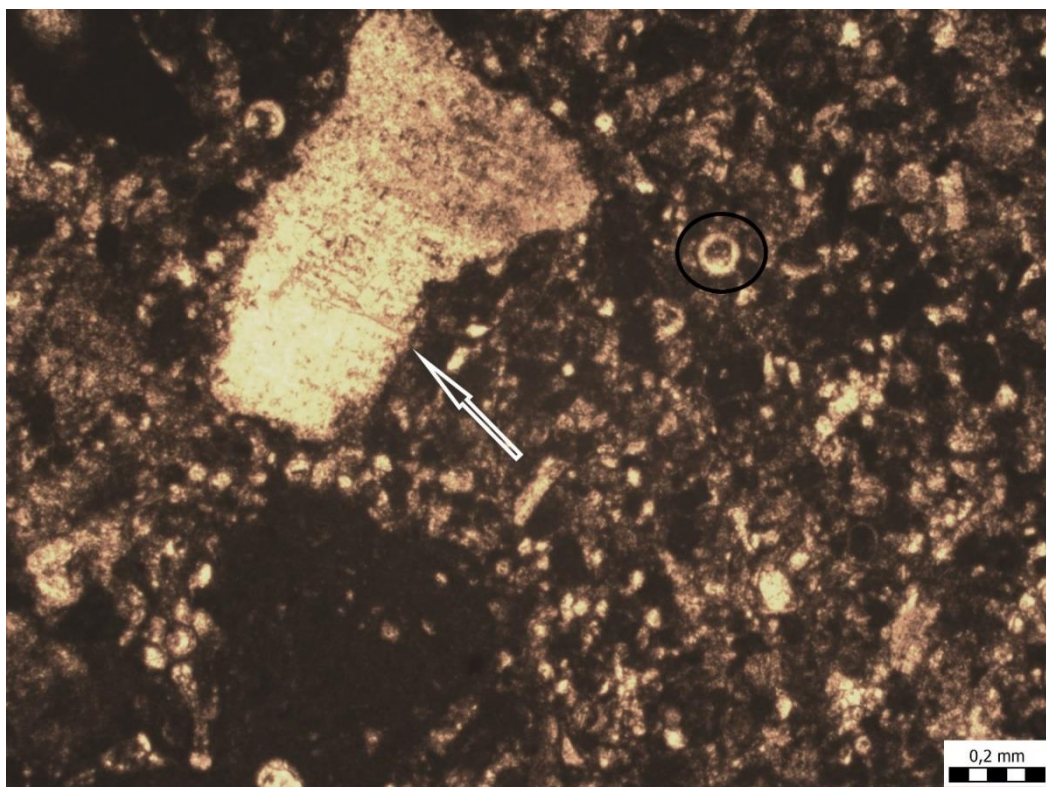
Rentgenogram uzorka Sprud 1 (Slika 45) prikazuje kako je magnezijski kalcit najdominantniji mineral u uzorku, te je prisutan i kvarc kao mineral u tragovima. Rentgenogrami ostalih uzoraka prikazani su u Prilozima.



Slika 45. Rentgenogram uzorka Sprud 1.

## 6.6. Litofacijesi valutica s plaže

Pregledom mikroskopskih preparata izrađenih iz valutica šljunka s plaže (uzorci V1, V2, V3, V4) utvrđeno je da su one po sastavu vapnenci te su stoga klasificirane prema DUNHAMU (1962). Uzorak V1 (Tab. 1) određen je kao bioklastični (pelagički) vekston s planktonskim foraminiferama (*Globigerinoides* sp., *Marginotruncana* sp. (Tab. 1.2., 1.4.), *Heterohelix reussi* (CUSHMAN) (Tab. 1.3.)) i drugim pelagičkim česticama, najčešće kalcisferama uz fragmente bodljikaša, uglavnom ježinaca (Tab. 1.1.). Uzorak V2 (Tab. 2) prepoznat je kao pelagički vekston do pekston, odnosno pelagički pekston u kojem se pojavljuju mnogobrojne kalcisfere i pitonele (najčešće *Pithonella ovalis* (KAUFMANN) (Tab. 2.1.)), te planktonske foraminifere (vrste roda *Heterohelix* (Tab. 2.2. i 2.3.) i *Hedbergella* sp. (Tab. 2.4.)). Uzorak V3 (Tab. 3) klasificiran je kao peloidno-bioklastični vekston do pekston, s kojim se u kontaktu pojavljuje i bioklastični pekston do floutston. Peloidno-bioklastični vekston do pekston sadrži mnogobrojne presjeke cijanobakterije *Decastronema kotori* (RADOIČIĆ) (Tab. 3.1., 3.2. i 3.4.), te rijetko presjeke *Thaumatoporella parvovesiculifera* (RAINERI) (Tab. 3.1. i 3.2.). Prepoznate su i bentičke foraminifere (*Cuneolina pavonia* (D'ORBIGNY) (Tab. 3.3.) i miliolidna foraminifera (Tab. 3.5.)), te fragmenti ježinaca i drugih bodljikaša. U bioklastičnom pekstonu do floutstonu (Tab. 3.1.) nalaze se litoklasti u kojima je određena bentička mikrofosilna zajednica koju čine *Thaumatoporella parvovesiculifera* (RAINERI), *Moncharmontia apenninica* (DE CASTRO) i rijetko *Decastronema kotori* (RADOIČIĆ), te fragmenti bodljikaša. Slike i opisi mikroskopskih izbrusaka uzoraka V1, V2 i V3 prikazani su u poglavlju Table. Na Slika 46 je uzorak V4 u kojem se uočava kontakt bioklastičnog floutstona s bioklastima bodljikaša i rudista s biokalkarenitom u kojem se prepoznaju pelagičke čestice (najčešće kalcisfere).

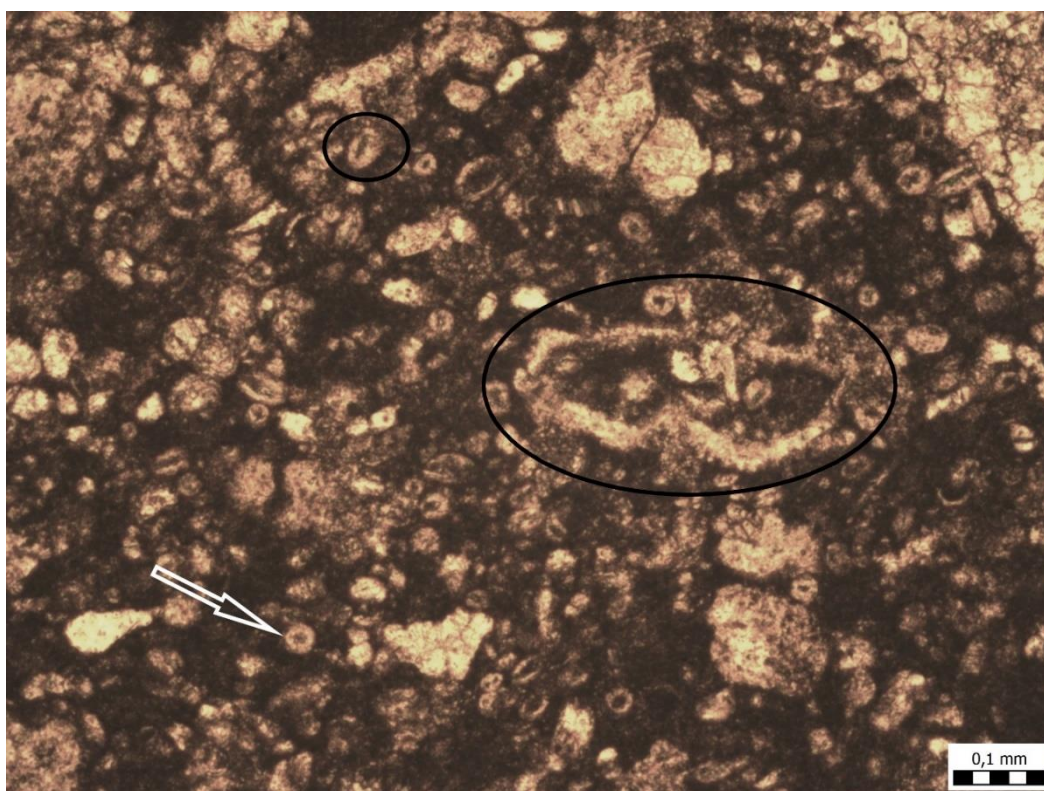


Slika 46. Mikrofotografija izbruska uzorka V4. Lijevo bioklastični floutston (strelica pokazuje bioklast ježinca), desno biokalkarenit (pelagičke čestice, zaokružena kalcisfera).

## 6.7. Litofacijesi izdanaka stijena

Sastav stijena je vapnenački kao i kod valutica, te je klasifikacija također napravljena prema DUNHAMU (1962). Uzorak I1 (Slika 47; Tab. 4.) pokazuje karakteristike bioklastičnog (pelagičkog) pekstona (Tab. 4.1, 4.2. i 4.4.), te bioklastičnog floutstona (Tab. 4.3. i 4.5.). U izbruscima se često mogu naći kalcisfere, planktonske foraminifere (*Heterohelix* sp. (Tab. 4.2. i 4.2.)), pitonele (*Pithonella ovalis* (KAUFMANN)) (Tab. 4.2. i 4.4.), fragmenti ježinaca i drugih bodljikaša, te rjeđe fragmenti rudista (Tab. 4.3.). Uzorak I2 (Tab. 5) klasificiran je kao bioklastični (pelagički) pekston u kojem su česte planktonske foraminifere (*Heterohelix globosa* (EHRENBERG) (Tab. 5.2.), *Marginotruncana* sp. (Tab. 5.3.)), fragmenti bodljikaša, kalcisfere, te pitonele. Uzorak I3 (Tab. 6) pokazuje karakteristike bioklastičnog (pelagičkog) vekstona do floutstona i bioklastičnog (pelagičkog) floutstona. Unutar bioklastičnog (pelagičkog) vekstona do floutstona mogu se naći bioklasti bodljikaša, planktonske foraminifere (rod *Hedbergella* (Tab. 6.4. i 6.5.)), odnosno bentičke (*Cuneolina?* sp. (Tab. 6.3.)), te rijetko kalcisfere. U bioklastičnom (pelagičkom) floutstonu vide se

bioklasti bodljikaša, rijetko planktonske foraminifere (*Marginotruncana* sp. (Tab. 6.1.)) i bentičke rotalidne foraminifere (Tab. 6.2.). Uzorak I4 (Tab. 7) određen je kao bioklastični (pelagički) pekston do floutston, te su uočene bentičke foraminifere (rotalidne foraminifere (Tab. 7.2.), *Pseudolituonella?* sp. (Tab. 7.4.)) i bioklasti bodljikaša. Ovaj uzorak može se odrediti i kao biokalkarenit (Tab. 7.1.) u kojem su zastupljeni bioklasti bodljikaša i druge pelagičke čestice (najčešće kalcisfere), rjeđe se pojavljuju bioklasti rudista i bentičke foraminifere. Uzorak I5 (Tab. 8) klasificiran je kao bioklastični (pelagički) pekston do floutston u kojem se najčešće pojavljuju bioklasti i fragmenti bodljikaša, kalcisfere i pitonele. Mogu se naći fragmenti i cijeli primjerci planktonskih foraminifera kao što je primjerice *Marginotruncana* sp. (Tab. 8.3. i 8.4.), te miliolidna foraminifera *Pseudonummoloculina* sp. (Tab. 8.1.). Mikrofotografije i opisi uzoraka I1, I2, I3, I4, I5 prikazani su u poglavlju Table.

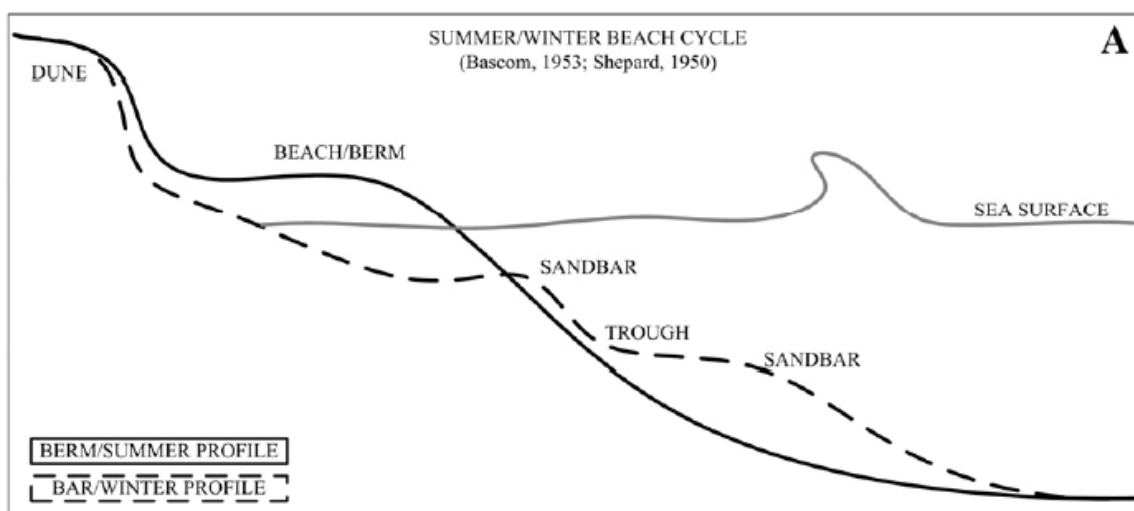


Slika 47. Uzorak I1. Bioklastični pelagički pekston s planktonskim foraminiferama (u krugu desno), pitonelama. (u krugu gore), kalcisferama (strelica) i fragmentima bodljikaša (najčešće ježinaca).



## 7. Rasprava

Promatranjem plaže tijekom pet jesenskih i zimskih mjeseci vidljivo je kako se postavke plaže neprestano mijenjaju. Količina sedimenta na plaži, udjeli svake od populacija (šljunak, pijesak), prisutnost i debljina banketa posidonije, promjena geomorfoloških oblika, te zastupljenost otpada na plaži elementi su na koje utječu meteorološki čimbenici. S obzirom na smještaj, plaža je otvorena na snažne udare jugoistočnog vjetrova, tj. juga, jednog od glavnih vjetrova koji pušu na području Jadranskog mora, kao i valova koje jugo izaziva. Tijekom ljetnih mjeseci kada jugo u pravilu izostaje, uglavnom vladaju stabilni vremenski uvjeti, te prevladavaju blagi valovi lijepog vremena koji nemaju dovoljnu snagu odvlačenja znatne količine sitnozrnatog sedimenta s plaže, već postepeno grade plažu. Prema tome, površina plaže pokrivena pijeskom je veća. Početkom jeseni i zimi olujne epizode počinju biti učestalije i tijekom ovog istraživanja uočeno je variranje količine pijeska na plaži, kao i površine plaže koja je njime pokrivena. Tijekom terenskih izlazaka primijećeno je postojanje i kretanje spruda u plitkom moru (nije uključeno u ovaj diplomski rad), koji se u pravilu pruža neposredno blizu i paralelno s plažom. Sprud mijenja svoj položaj i izgled iz mjeseca u mjesec, što se pripisuje utjecaju sve jačih zimskih valova. Opisane sezonske promjene su uobičajeni sezonski hod plaže prema ROBERTS i sur. (2013) (Slika 48). Za plažu Sakarun u ovom trenutku takav hod može biti samo pretpostavljen, jer za sad nedostaju podaci za proljetne i ljetne mjesece.



Slika 48. Razlike u profilu miješane šljunčano pješčane plaže s obzirom na sezonu (ljetni mjeseci označeni punom crnom crtom, zimski mjeseci označeni isprekidanom crnom crtom (ROBERTS i sur., 2013).

Oscilacije u količini i veličini naslaga banketa također su povezane s energijom valova, tj. valovi su glavni čimbenik dinamičkih procesa banketa. Proces stvaranja i razaranja banketa prikazali su MATEO i sur. (2003) (Slika 13). Mnogi od mehanizma transporta i taloženja detritusa posidonije i sedimenta plaže su slični. Primjerice, u jesen, kada oluje i olujni valovi postaju sve češći, količina posidonije i sedimenta ostala od ljeta može biti odnesena s plaže. Takva situacija je primijećena tijekom listopada i studenog na plaži Sakarun. S druge strane, u jesen je veća dostupnost otpalih listova posidonije u moru i može se očekivati njihovo ponovno i količinom značajnije nakupljanje na plaži tijekom slabljenja valova (MATEO i sur., 2003). Primjer za to je situacija iz prosinca 2020., kada je u intervalu od nekoliko dana (08.12. – 19.12.2020.) posidonija zajedno sa sedimentom u potpunosti bila odnesena s plaže i nakon toga vraćena u količini značajno većoj nego prije (str. 31 i 32). Tijekom olujnih valova i njihovog slabljenja značajna količina posidonije može biti pomiješana sa slojevima šljunka kojeg valovi također miješaju. Šljunčana dina koja u stvari čini većinu sedimenta na plaži Sakarun, na mjestima sadrži u svojoj strukturi i znatne količine usitnjene posidonije. Slojevi posidonije u šljunku na udaljenosti daljoj od mora (Slika 21) vjerojatno nastaju tijekom izmjene snažnih olujnih valova, koji imaju snagu premještati šljunak i gomilati posidoniju na većoj udaljenosti od mora (pr. do maksimalnog dosega valova; SIMEONE, 2007) s valovima manje energije koji osiguravaju nanošenje, a ne eroziju posidonije. U procesu miješanja šljunka i posidonije dolazi i do njenog usitnjavanja, pri čemu valutice šljunka težinom drobe njene listove. Posidonija uzorkovana tijekom veljače 2021. uzorkovana je na samom kontaktu sa šljunčanom dinom i osim što je sadržavala isključivo šljunak, bila je i vrlo usitnjena u odnosu na posidoniju uzorkovanu dalje od šljunčane dine.

Posidonija je uočena i na dijelovima plaže izvan dosega valova, pa čak i u makiji u zaleđu plaže, pa se pretpostavlja kako je i eolski donos važna komponenta u transportu biljnog detritusa u smjeru okomitom na plažu. Kako se površina banketa suši na vjetru, biljni materijal postaje lakši i time podložniji za daljnji transport vjetrom prema kopnu. Zajedno s otpuhanom posidonijom u makiji u zaleđu plaže uočena je i otpuhana plastika (vrećice i drugi lakši dijelovi plastičnog otpada).

Najdeblje naslage posidonije su u pravilu na plaži Sakarun u području intertajdala. To je uobičajeno i za druge slične okoliše (SIMEONE, 2007) i logično s obzirom da njeno taloženje prevladava tijekom slabljenja olujnih valova. Kao što je prethodno navedeno, šljunak na plaži Sakarun je dio banketa na mjestima na kojima je on u kontaktu sa

šljunčanom dinom. Što se tiče banketa koji se nalazi u samom kontaktu s morem, on sadrži isključivo pjeskovitu populaciju sedimenta (Tablica 4). Količine sedimenta unutar banketa posidonije također su uvjetovane djelovanjem valova. Nakon što valovi nanesu detritus posidonije na plažu, slijedi faza zapunjavanja banketa sitnozrnatim sedimentom (ali i plastikom) na kontaktu banketa s morem. Najveća količina sedimenta ( $219,9 \text{ kg /m}^3$  posidonije) u prednjem dijelu banketa (dio banketa okrenut moru) zabilježen je u siječnju 2021., upravo nakon slabljenja olujnih valova juga. Nastupanjem jačih i većih valova juga, banket može iz početka biti erodiran, a zatim njihovim slabljenjem sagrađen i ponovno zapunjen sedimentom.

Očito je da na plaži Sakarun u različitim vremenskim razmacima postoje i prostorne razlike u zastupljenosti i vrsti populacije sedimenta unutar banketa, tj. banketi nisu u svim svojim dijelovima jednako zasićeni sedimentom. Pomiješanost posidonije sa sedimentom, bez obzira na to dominira li u toj smjesi sediment ili posidonija, ukazuje na to kako posidonija zajedno sa sedimentom sudjeluje u geomorfološkoj dinamici plaže (struktura šljunčane dine), što po definiciji koju su dali SIMEONE i sur. (2007) čini plažu Sakarun visokoenergetskom. Drugim riječima, banketi posidonije na plaži Sakarun važan su i neophodan dio biogeomorfološkog razvoja plaže. Nadalje, detritus posidonije prenesen prema kopnu vremenom postaje hranjiva podloga za kopnene biljne vrste koje rastu na površini šljunčane dine, a radi kojih je plaža dodatno stabilizirana. S obzirom na izostanak pravog tla na plaži, očito je kako kopnenim biljkama koje ovdje rastu odgovara podloga od posidonije.

## 7.1. Porijeklo, sastav i veličina zrna pjeskovite populacije

Rezultati određivanja udjela karbonata su pokazali kako je pjeskoviti sediment plaže i spruda, te sediment unutar naslaga posidonije visokokarbonatan, s udjelima karbonata od preko 90% (Tablica 5). To potvrđuju i rezultati analize mineralnog sastava, prema kojima su dominantni minerali uvijek magnezijski kalcit i kalcit, te aragonit koji je prisutan kao sporedni mineral. U tragovima se pojavljuje halit, koji se javlja kao posljedica kristalizacije iz morske vode, te aluminij koji je odraz nosača uzorka. Magnezijski kalcit je uvijek biogeni mineral, najčešće ga izlučuju foraminifere, mahovnjaci i bodljikaši za izgradnju svojih skeleta. Mnogi organizmi izgrađuju svoje ljuštore i od aragonita (puževi, školjkaši, neke vrste foraminifera te mnogočetinaši), te se može smatrati da je detektirani aragonit u uzorcima također biogenog porijekla. Kalcit može biti i terigenog porijekla, nastao trošenjem šljunka, no s obzirom na količinu biogenih čestica detektiranih mikroskopskim pregledom u odnosu na litogene, može se zaključiti kako je i on u najvećoj mjeri biogen. Ovakav sastav i zastupljenost karbonatnih minerala u skladu je s općim karakteristikama površinskog sedimenta dna istočnojadranskog šelfa, u kojem dominira biogena krupnozrnata frakcija (PIKELJ, 2010). Prema tome, može se zaključiti kako populacija pijeska koja se taloži na plaži i u najplićem dijelu uvale Sakarun dolazi iz mora. Skeleti, ljuštore i drugi anorganski ostaci uginulih organizama nakupljaju se na morskom dnu na mjestu nastanka, te vremenom valovima budu odneseni na plažu. Ovakav transport omogućen je orijentacijom uvale i plaže prema jugoistoku i izloženosti snažnih valova juga. S obzirom na sastav zajednice 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 je značajan dio sedimenta pokrenut i donesen snažnim valovima iz područja na ulazu u uvalu ili izvan nje, gdje još uvijek rastu livade posidonije. Dokazano porijeklo pjeskovite populacije je u suprotnosti s dosadašnjim mišljenjem kako pješćani sediment nastaje trošenjem osnovne stijene u podlozi, odnosno trošenjem šljunka. Litoklasti čine gotovo zanemarivu frakciju pješćane populacije i prisutni su u najvećoj mjeri u najkrupnijim frakcijama.

Prikazanim rezultatima granulometrijske analize uzoraka pijeska s plaže (Tablica 2), kao i pijeska sa spruda može se potvrditi sustavna razlika u veličini zrna sedimenta na 'suhom' (Profil) i sedimenta 'pod morem' (Sprud). Srednja i prosječna veličina zrna su kod uzoraka pijeska sa spruda dosljedno niže u odnosu na sediment uzorkovan s lica plaže (Tablica 3). Sediment pripada klasi sitnozrnatog pijeska, s time da je pijesak uzorkovan na obalnom licu u prosjeku krupnozrnatiji, a sediment sa spruda sitnozrnatiji. Pregledom histograma može se

uočiti bolja sortiranost sedimenta spruda (jedna frakcija dominira nad ostalima) u odnosu na sediment plaže (usporedba Slika 26 i Slika 27). Uzorak Profil 3 (Slika 32) pokazuje najlošiju sortiranost, te je najkrupnozrnatiji. Općenito, sediment spruda je sitnozrnatiji, jer je kontinuirano pretaložen valovima. U tom transportu zrna sedimenta su izložena kontinuiranom zaobljavanju, poliranju, trganju i usitnjavanju, što je vidljivo na slikama frakcija pod mikroskopom (poglavlje 5.2.1). Osim toga, sitan materijal se lakše ispiru s plaže valovima, te završava u moru, prvo na sprudu, ali kasnije i u većim dubinama. To je razlog zbog kojeg frakcije praha i gline uvelike nedostaju u analiziranim uzorcima.

Pijesak uzorkovan na licu plaže je nešto krupnozrnatiji. To je, pretpostavlja se posljedica nekontinuiranog pretaloživanja valovima, jer u odnosu na sediment spruda ipak provede dio vremena van mora. Osim toga, veća je vjerojatnost da se u pijesak lica plaže lakše uklope zrna litoklasta nastala trošenjem šljunka, što mu povećava srednju i prosječnu veličinu zrna.

## 7.2. Taložni okoliš stijenskog kompleksa i porijeklo šljunka

Prema utvrđenom mikrofossilnom sadržaju unutar uzoraka stijena i valutica šljunka s plaže, moguće je odrediti okoliš taloženja. Pelagičke čestice uklopljene u vapnenački mulj sugeriraju dubokomorski okoliš udaljen od kopna u kojem nema značajnijeg terigenog donosa. Prisutnost bentičkih foraminifera, bioklasta rudista, te litoklasta može upućivati na kretanje sedimenta niz padinu i taloženje u dubljim dijelovima (nastanak karbonatne turbiditne breče). Dobiveni rezultati slažu se s ranijim navodima o taložnom okolišu i prisutnoj zajednici organizama koje su iznijeli MAMUŽIĆ i SOKAČ (1973).

Rezultati analize litofacijesa izbrusaka osnovne stijene i valutica šljunka s plaže Sakarun pokazali međusobnu sličnost (poglavlje 6.6, 6.7 i 12), pa se može zaključiti da je osnovna stijena u podlozi plaže Sakarun ujedno i izvorišna stijena za šljunkovitu populaciju sedimenta plaže. Činjenica da je riječ o karbonatnoj breči koja je u odnosu na kompaktniji vapnenac podložnija mehaničkom trošenju, potvrđuje pretpostavku da je sastav osnovne stijene otoka na istraženoj plaži jedna od predispozicija za razvoj i uvale i plaže (PIKELJ i JURAČIĆ, 2013). Nadalje, tektonska poremećenost slojeva izvorišne stijene (vertikalni i subvertikalni slojevi; Slika 17) direktno povećava vjerojatnost njenog razaranja u uvjetima snažnih valova. Sa svake strane i duž cijele uvale osnovna stijena je u značajnoj mjeri mehanički potrošena, pri čemu na njoj mjestimice leži otkinuto kršje. Vremenom, ovakvo uglavito kršje na plaži Sakarun djelovanjem valova postaje dobro zaobljeni šljunak.

### 7.3. Međudjelovanje sedimenta, livada i banketa posidonije

Kako je objašnjeno u Poglavlju 4, livade posidonije imaju veliku važnost u ekosustavu morskog i obalnog prostora. Na morskome dnu pružaju stanište i „sigurnu“ zonu raznolikim marinskim organizmima, ribama, mekušcima, foraminiferama, te epifaunanim oblicima pričvršćenima za same listove posidonije. Posidonija svojim korijenjem stabilizira sediment i sprječava njegovu eroziju i odnos u dublje dijelove mora. Svojim dugim listovima uspješna je u smanjivanju brzine i snage valova i na taj način posredno štiti plažu od erozije valovima. Na plaži Sakarun koja je izložena učestalim i snažnim valovima juga, livade su od izuzetnog značaja. Livade posidonije su u uvali Sakarun najviše ugrožene sidrenjem (KRUŽIĆ, 2007), jer su ljeti uvala i plaža popularna turistička destinacija. Dizanjem sidra biljka se čupa iz korijena, što oporavak livade čini otežan. Takvim uklanjanjem posidonije s dna mora sediment se „oslobađa“ iz guste mreže rizoma, što omogućuje njegov transport. Uslijed toga je sediment valovima odnesen u pliće dijelove i taložen na plažu, a s druge strane moguć je transport i u veće dubine, te je tada nepovratno izgubljen, pogotovo u slučaju frakcija praha i gline, ukoliko postoje. Talženjem sedimenta prvotno u pliće dijelove nije isključena mogućnost kasnijeg odnosa u dublje dijelove mora. S obzirom na pretpostavku iz potpoglavlja 0, koja objašnjava porijeklo pijeska na Sakarunu, te na činjenicu kako brojni organizmi koriste livade posidonije kao stanište (Slika 41 i Slika 42) može se pretpostaviti kako se degradacijom livada i mobilizacijom sedimenta s dna, taj sediment taloži valovima upravo u uvali, kao i na plaži, te se na taj način plaža obogaćuje sedimentom. Unatoč prividno povoljnom razvoju okolnosti kod kojih raste dostupna količina sedimenta za plažu, smanjenjem površine livada posidonije dugoročno nestaje i prostor koji omogućuje jednako tako dugoročno „čuvanje“ sedimenta.

Količina sedimenta koja se nalazi unutar banketa posidonije varira prostorno i vremenski, ali zasigurno nije zanemariva (Tablica 1), te uklanjanjem banketa s plaže taj se sediment trajno i nepovratno gubi. Uzme li se u obzir situacija iz prosinca 2020. ili siječnja 2021., kada je otprilike 1/3 dužine plaže bila potpuno prekrivena posidonijom (ukupno oko 1200 m<sup>2</sup>) i kada je procijenjena prosječna visina posidonije bila oko 1,3 m, ukupan maksimalan volumen posidonije može iznositi do 1560 m<sup>3</sup>. Ukoliko se uzme prosječna količina sedimenta u posidoniji (prema Tablica 1 za sve mjesece) od oko 75 kg/m<sup>3</sup>, uklanjanjem navedene količine posidonije s plaže uklanja se oko 117 000 kg sedimenta (uključuje i pijesak i šljunak). S obzirom da je sediment u potpunosti karbonatnog sastava, a gustoća karbonata je 2,7 g/cm<sup>3</sup>, ukupan uklonjeni volumen sedimenta može premašiti 43 m<sup>3</sup>, s

pretpostavkom da navedena količina naslaga posidonije (1560 m<sup>3</sup>) može neerodirana dočekati proljeće kada se u pravilu obavljalo njeno uklanjanje. Dobiveni podaci o količini sedimenta u posidoniji u skladu su s rezultatima istraživanja iz drugih dijelova plaža Sredozemnog mora (SIMEONE, 2007). Kako bi bilo osigurano odstranjivanje čim manje količine sedimenta s plaže, prilikom uklanjanja posidonije, potrebno je primijeniti racionalnije metode njenog premještanja. Prvo, uklanjanje tijekom jesenskih i zimskih mjeseci, kada su češće olujne epizode, treba izbjegavati zbog pojačane erozije plaže, pa se predlaže uklanjanje obavljati manje agresivnim metodama. Umjesto korištenja kamiona i bagera, predlaže se ručno uklanjanje te pri tom zahvaćanje čim manjih količina sedimenta u podlozi banketa. Ako je moguće, prilikom uklanjanja, na samoj plaži bilo bi dobro osigurati prosijavanje uklonjenog banketa (SIMEONE, 2007). Na kraju, može se donijeti općeniti zaključak da se nestankom livada posidonije te uklanjanjem banketa s plaže nepovoljno utječe na ukupni budžet sedimenta, kako na plaži Sakarun, tako i u drugim dijelovima obalnog ekosustava.

## 8. Zaključak

Zbog svoje turističke vrijednosti, plaža Sakarun pod povećalom je lokalnih vlasti, te se nastoji upravljati plažom na optimalan način. Banketi posidonije u perspektivi turista narušavaju ljepotu plaže, pa je zbog toga bila redovito uklanjana. S obzirom da se dosadašnja praksa uklanjanja dokazala kao problematična, rezultirajući pojačanom erozijom plaže, donesena je odluka o prekidu takve prakse na plaži Sakarun. Na temelju rezultata provedenih analiza u ovom radu, mogu se donijeti sljedeći zaključci:

- Plaža je sastavljena od dvije populacije sedimenta, čije porijeklo je različito. Populacija šljunka koji izgrađuje većinu plaže u obliku svojevrzne šljunčane dine, nastala je razaranjem strukturno i sastavom predisponiranih stijena te zaobljavanjem otkinutih fragmenata. Trošenjem šljunka, sitni fragmenti kreću se u smjeru mora, te jednim dijelom završavaju u pješčanoj frakciji. Pješčana populacija koja se sastoji od najvećim dijelom biogenog sedimenta dolazi iz mora, preciznije iz područja na ulazu u uvalu ili izvan nje, gdje se rasprostiru livade posidonije.
- Mehanizam taloženja otpalih dijelova posidonije na plaži na neki je način sličan mehanizmu taloženja sedimenta. Karakter i jačina valova, kao i na sediment najviše utječu na količinu istaložene posidonije na plaži (sezonske i intrasezonske varijacije postoje u ovisnosti o intenzitetu i učestalosti olujnih epizoda). Sediment unutar posidonije varira veličinom i količinom ovisno o prostornom rasporedu banketa na plaži. Na plaži Sakarun posidonija je u gornjem dijelu profila plaže (dio banketa bliže kopnu) u velikoj mjeri pomiješana sa šljunkom i zajedno s njim tvori bermu, na čijoj površini rastu biljne zajednice, te svojim korijenjem dodatno učvršćuju taj dio plaže. Pješčana frakcija u neprestanom je kretanju. Kako je morskog porijekla u pravilu zapunjava prednje dijelove banketa, te se ovisno o snazi valova, banket u kontaktu s morem puni pijeskom ili ispire.
- Uklanjanjem samo jednog kubnog metra nanosa posidonije moguće je s plaže odstraniti više od 219 kilograma sedimenta. U prosjeku, obično je trećina plaže prekrivena posidonijom i njenim potpunim uklanjanjem bilo je moguće svake godine ukloniti i preko 43 m<sup>3</sup> sedimenta s cijele plaže.
- Kako bi se umanjile posljedice uklanjanja nanosa posidonije, potrebno je razumjeti koji su dijelovi banketa važni za morfologiju i stabilnost plaže, te koji su načini uklanjanja i odlaganja uklonjenog materijala prihvatljivi. Posidoniju je preporučljivo uklanjati za vrijeme stabilnih vremenskih uvjeta, kada je erozija najblaža bez upotrebe teške mehanizacije.



## 9. Literatura

- BALOUIN, Y., BELON, R. (2014): Evolution of Corsican pocket beaches, *Journal of Coastal Research* 70, 96–101.
- 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.
- BOUDOURESQUE, C. F., MEINESZ, A. (1982): D'ecouverte de l'herbier de Posidonies. *Cahier du Parc national de Port-Cros* 4, 1–79.
- CHESA, L. A., FUSTIER, V., FERNANDEZ, C., MURA, F., PAIS, A., PERGENT, G., SERRA, S., VITALE, L. (2000): Contribution to the Knowledge of 'Banquettes' of *Posidonia oceanica* (L.) Delile in Sardinia Island, *Biologia Marina Meditteranea* 7, 35–38.
- COCCIONI, R., PREMOLI, S., (2015): Revised Upper Albian–Maastrichtian planktonic foraminiferal biostratigraphy and magneto-stratigraphy of the classical Tethyan Gubbio section (Italy). *Newsletters on Stratigraphy* 48/1, 47–90.
- COSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R., FRABER, 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.
- DAHLGREN, R. M. T., CLIFFORD, H. T., YEO, P. F. (1985): *The Families of the Monocotyledons: Structure, Evolution and Taxonomy*. Springer Verlag, Berlin, 520 str.
- DE FALCO, G., MOLINAROLI, E., BAROLI, M., BELLACICCO, S. (2003): Grain size and compositional trends of sediments from *Posidonia oceanica* meadows to beach shore, Sardinia, western Mediterranean, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 58, 299–309.
- DE FALCO, G., BAROLI, M., SIMEONE, S. (2008): Management of Beach-Cast *Posidonia oceanica* Seagrass on the Island of Sardinia (Italy, Western Mediterranean), *Journal of Coastal Research* 24, 69–75.
- 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.
- DUNHAM, R. J. (1962): Classification of carbonate rocks according to depositional texture. U: Ham WE (ur.), *Classification of carbonate rocks*. AAPG Memoir 1, 108–121.

- DEN HARTOG, C., KUO, J. (2006): Taxonomy and Biogeography of Seagrasses, Chapter 1 in Larkum, A. W. D.; Orth, R. J., i Duarte, C. (eds): *Seagrasses\_ Biology, Ecology and Conservation-Springer*, 676 str.
- EMBRY, A. F., KLOVAN, J.E. (1971): A Late Devonian track on northeastern Banks Island, NWT. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology* 19, 730–781.
- FLÜGEL, E. (2004): *Microfacies of Carbonate Rocks, Analysis, Interpretation and Application*. Springer, London, 976 str.
- GACIA, E., DUARTE, C. M. (2001): Sediment retention by a Mediterranean *Posidonia oceanica* meadow: The balance between deposition and resuspension. *Coastal and Shelf Science* 52, 505–514.
- GOBERT, S., CAMBRIGE, M. L., VELIMIROV, B., PERGENT, G., LEPOINT, G., BOUQUEGNEAU, J-M., DAUBY, P., PERGENT-MARTINI, C., WALKER, D. I. (2006): Biology of *Posidonia*, Chapter 17 in LARKUM A. W. D., ORTH, R. J., DUARTE, C. (eds): *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation-Springer*, 676 str.
- GUŠIĆ, I., JELASKA, V. (1990): Stratigrafija gornjokrednih naslaga otoka Brača. *Djela Jugoslavenske Akademije Znanosti i Umjetnosti*, Zagreb, 1–160.
- JEUDY DE GRISSAC, A., AUDOLY, G. (1985): Etude préliminaire des banquettes de feuilles mortes de *Posidonia oceanica* de la region de Marseille (France). *Rapports de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée*, 29(5)
- JONES, C. G., LAWTON, J. H., SHACHAK, M. (1997): Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers. *Ecology* 78, 1946–1957.
- KOCH, E. W., ACKERMAN, J. D., VERDUIN, J., VAN KEULAN, M. (2006): Fluid Dynamics in Seagrass Ecology—from Molecules to Ecosystems, Chapter 8 in LARKUM, A. W. D., ORTH, R. J., DUARTE, C. (eds): *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation-Springer*, 676 str.
- KORBAR, T. (2009): Orogenic evolution of the External Dinarides in the NE Adriatic region: a model constrained by tectonostratigraphy of Upper Cretaceous to Paleogene carbonates. *Earth-Science Reviews* 96(4), 296–312.
- KRETZ, R. (1983): Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist* 68, 277–279.
- 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, 883–892.

- LARKUM, A. W. D., ORTH, R. J., DUARTE, C. (2006): Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation-Springer, Foreword (XIV), 676 str.
- LARKUM, A. W. D., DREW, E. A., RALPH, P. J. (2006): Photosynthesis and Metabolism in Seagrasses at the Cellular Level, Chapter 14 in LARKUM, A. W. D., ORTH, R. J., DUARTE, C. (eds): Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation-Springer, 676 str.
- LEES, A., BULLER, A. T. (1972): Moderate temperate-water and warm-water shelf carbonate sediments contrasted. *Marine Geology* 13/5, 67–73.
- LENANTON, R. C. J., ROBERTSON, A.I., HANSE, J.A. (1982): Nearshore accumulations of detached macrophytes as nursery area for fish. *Marine Ecology Progress Series* 9, 51–57.
- MAMUŽIĆ, P. (1970): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 00, List Molat L33-13. Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1963-1969), Savezni geološki institut, 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* 56, 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.
- MATEO, M. A., ROMERO, J., PÉREZ, M., LITTLER, M. M., LITTLER, D. S. (1997): Dynamics of millenary organic deposits resulting from growth of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*, *Coastal and Shelf Science* 44, 103–110.
- MARB`A, N., DUARTE, C. M., CEBRI`AN, J., ENRIQUEZ, E., GALLEGOS, M. E., OLESEN, B., SAND-JENSEN, K. (1996): Growth and population dynamics of *Posidonia oceanica* on the Spanish Mediterranean coast: Elucidating seagrass decline. *Marine Ecology Progress Series* 137, 203–213.
- MARB`A, N., HOLMER, M., GACIA, E., BARRÓN, C. (2006): Seagrass Beds and Coastal Biogeochemistry, Chapter 6 in Larkum, A. W. D., ORTH, R. J., DUARTE, C. (eds): Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation-Springer, 152 str.
- MILOVIĆ, M., PANDŽA, M. (2016): Florističke i vegetacijske vrijednosti zaštićenog krajobraza sjeverozapadni dio Dugog otoka s posebnim osvrtom na uvalu Saharun. Elaborat, Natura Jadera, 45 str.

- MOKOS, M., MARTINEZ, I. Z., ZUBAK, I. (2019): Is central Croatian Adriatic Sea under plastic attack? Preliminary results of composition, abundance and sources of marine litter on three beaches, *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali* 3, 797–806.
- MOLINIER, R., PICARD, J. (1952): Recherches sur les herbiers de phanérogames marines du littoral méditerranéen français, *Annales de l'Institut océanographique* 27, 157–234.
- 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.
- NN 80/2013 (2013): Zakon o zaštiti prirode. Službeni list Republike Hrvatske.
- PASQUALINI, V., PERGENT-MARTINI, C., CLABAUT, P., PERGENT, G. (1998): Mapping of *Posidonia oceanica* using aerial photographs and side-scan sonar: Application of the islands of Corsica (France). *Coastal and Shelf Science* 47, 359–367.
- PERGENT, G., PERGENT-MARTINI, C., BOUDOURESQUE, C. F. (1995): Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée: état des connaissances. *Mésogée*, 5, 3–27.
- PETERSON, B. J., HECK JR., K. L. (2001): Positive interactions between suspension-feeding bivalves and seagrass (a facultative mutualism). *Marine Ecology Progress Series* 213, 143–155.
- 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.
- PREMOLI SILVA, I., VERGA, D., 2004. Practical manual of Cretaceous planktonic Foraminifera. International School on Planktonic Foraminifera, 30 Course: Cretaceous. In: Verga, D., Rettori, R. (Eds.), International School on Planktonic Foraminifera, 3rd Course: Cretaceous. University of Perugia and Milano, Tipografia Pontefelecino, Perugia, 283 str.
- ROBERTS, T. M., WANG, P., PULEO, J. A. (2013): Storm-driven cyclic beach morphodynamics of a mixed sand and gravel beach along the Mid-Atlantic Coast, USA, *Marine Geology* 346, 403–421.
- SARI, B., 2006. Upper Cretaceous planktonic foraminiferal biostratigraphy of the Bey Dağları Autochthon in the Korkuteli area, western Taurides, Turkey. *Journal of Foraminiferal Research* 36, 241–261.

- SARI, B., 2017. Lithostratigraphy and planktonic foraminifera of the uppermost Cretaceous-Upper Paleocene strata of the Tavas nappe of the Lycian nappes (SW Turkey). *Geologia Croatica* 70/3, 163–177.
- SIMEONE, S. (2007): *Posidonia oceanica* banquettes removal: sedimentological, geomorphological and ecological implications, PhD Thesis.
- 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.
- VELIĆ, I. (2007): Stratigraphy and Paleobiogeography of Mesozoic Benthic Foraminifera of the Karst Dinarides (SE Europe). *Geologia Croatica* 60/1, 1–113.
- VLAHOVIĆ, I., TIŠLJAR, J., VELIĆ, I., MATIČEC, 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., MATIČEC, D. (2005): Evolution of the Adriatic carbonate platform: palaeogeography, main events and depositional dynamics. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 220(3–4), 333–360.
- ŽUNEC, A. (2015): Raznolikost faune u livadama morske cvjetnice *Posidonia oceanica* (L.) Delile na području rta Kamenjak, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, 47 str.

#### INTERNETSKI IZVORI:

URL 1: <https://natura-jadera.com/>, (4. 3. 2021.)

## 10. Popis slika u tekstu

Slika 1. Nanosi posidonije na plaži Sakarun, 07. 11. 2020. Fotografirala: P. Godec.....	1
Slika 2. Fotografija uvale i plaže Sakarun iz zraka (9. 11. 2020.). Fotografirala: K. Pikelj.	2
Slika 3. Pojednostavljena litološka karta istočnojadranskog područja (preuzeto iz PIKELJ i JURAČIĆ, 2013). .....	7
Slika 4. Geološki profil, poprečni presjek na pružanje Dugog otoka, normalni slijed naslaga krede i reversni rasjedi (prema MAMUŽIĆ, 1970).....	7
Slika 5. Geološka karta sjevernog dijela Dugog otoka. Plaža Sakarun označena plavom točkom; Veli rat označen ljubičastom točkom. (prema MAMUŽIĆ, 1970). .....	8
Slika 6. Batimetrijska karta uvale Sakarun.....	9
Slika 7. Plaža Sakarun 18. 10. 2020.; prisutnost dviju populacija sedimenta: šljunak i pijesak. Fotografirala K. Pikelj. ....	10
Slika 8. Banket posidonije na plaži Sakarun (18. 10. 2020.) u kojem značajan udio čine valutice šljunka na površini i unutar strukture banketa. Fotografirala: K. Pikelj.....	11
Slika 9. Neke od čestih biljnih vrsta na plaži Sakarun. Gore: biljka oman ( <i>Inula crithmoides</i> ); dolje: nedeterminirana vrsta. Fotografirala: K. Pikelj. ....	12
Slika 10. Interakcija morske trave u stupcu vode i sedimenta (MARB`A i sur., 2006).....	14
Slika 11. Rasprostranjenost <i>P. oceanica</i> u Sredozemnom moru (crna deblja linija). 7–10: Gibraltar, Almeria, Oran i obale Libanona, Izraela i Sirije; a–c: ušća rijeka Rhone, Po i Nila (LARKUM i sur., 2006). ....	15
Slika 12. <i>P. oceanica</i> ; lijevo, ilustracija: u presjeku dijelovi biljke: list, rizomi i korijen (precrtano od BOUDOURESQUE i MEINESZ, 1982); desno, fotografija: živi pokrova (LARKUM i sur., 2006). ....	16
Slika 13. Princip stvaranja i razaranja banketa (MATEO i sur., 2003).....	19
Slika 14. Lokacije uzorkovanja naslaga posidonije tijekom razdoblja praćenja. Pos 10/20 i Pos 12/20-crvena strelica ,Pos 11/20-bijela strelica, Pos 01/21-narančasta strelica, Pos 02/20-crna strelica. ....	21
Slika 15. Lokacije uzorkovanja pješčanog sedimenta. Slovo P označava lokacije uzorkovanja na izloženom dijelu profila, a slovo S na potopljenom sprudu.....	22

Slika 16. Valni riplovi na gornjoj slojnoj plohi. Fotografirala: P. Godec. ....	28
Slika 17. Položaj slojeva na jugoistočnom boku plaže Sakarun. Crna strelica pokazuje gornju slojnu plohu koja je orijentirana na jugozapad; crvena strelica pokazuje donju slojnu plohu koja je orijentirana na sjeveroistok Fotografirala: P. Godec. ....	28
Slika 18. Shematska skica profila plaže Sakarun za vrijeme terenskog obilaska u listopadu 2020. ....	29
Slika 19. Shematska skica profila plaže Sakarun za vrijeme terenskog obilaska u studenom 2020. ....	30
Slika 20. Valovi generirani olujnim jugom, 8. prosinca. 2020. Fotografirala: JU Natura Jadera.....	31
Slika 21. „Ogoljela“ plaža nakon olujne epizode juga 8. prosinca 2020. Fotografirala: JU Natura Jadera.....	31
Slika 22. Shematska skica profila plaže Sakarun: potpuno odsustvo banketa posidonije i pijeska neposredno nakon olujnih uvjeta juga na plaži Sakarun 8. prosinca 2020. ....	32
Slika 23. Shematska skica profila plaže Sakarun: Pozamašne količine izbačene posidonije na plaži Sakarun u fazi smirivanja olujnih uvjeta juga, 19. prosinca 2020. ....	32
Slika 24. Shematska skica profila plaže Sakarun za vrijeme terenskog obilaska u siječnju 2021. ....	33
Slika 25. Shematska skica profila plaže Sakarun za vrijeme terenskog obilaska u veljači 2021. ....	34
Slika 26. Histogram uzorka Profil 5. ....	37
Slika 27. Histogram uzorka Sprud 5.....	37
Slika 28. Trokomponentni dijagram za uzorak Profil 5. ....	37
Slika 29. Trokomponentni dijagram za uzorak Sprud 5.....	38
Slika 30. Wentworth-ova ljestvica (1922), granica sitnozrnatog i srednjezrnatog pijeska na 250 $\mu$ m (označeno crvenom strelicom). ....	39
Slika 31. Trokomponentni dijagram za uzorak Profil 3. ....	40
Slika 32. Histogram uzorka Profil 3 (uzorak pokazuje najveću raspršenost frakcija među analiziranim uzorcima). ....	40

Slika 33. Trokomponentni dijagram za uzorak Sprud 4.....	41
Slika 34. Histogram uzorka Sprud 4.....	41
Slika 35. Frakcija 2–4 mm. A), B) i C) uzorak Profil 1, fragmenti stijene/šljunka.....	42
Slika 36. Frakcija 1–2 mm. A) Profil 1- fragmenti stijena, mahovnjak dolje lijevo; B) Profil 4- ljuštura školjkaša gore lijevo i sredina, mahovnjak gore i dolje desno, fragment lista posidonije gore desno, fragmenti stijena sredina; C) Profil 4- fragmentirana kućica puža, fragmenti ljuštura školjkaša iznad i desno od kućice puža, fragment lista posidonije gore desno; D) Sprud 7- fragment stijene dolje lijevo, komadić drveta dolje desno, fragmenti listova posidonije sredina i gore desno.....	43
Slika 37. Frakcija 0,5–1 mm. A) Profil 1- kućica foraminifere sredina, fragment kolonije mahovnjaka sredina lijevo i sredina desno, ljuštore puževih kućica gore desno i dolje, fragment stijene gore lijevo; B) Profil 4-puževa kućice sredina i lijevo, kućice foraminifera sredina lijevo i gore, bodlja ježinca dolje lijevo, te brojni fragmenti ljuštura školjkaša; C) Sprud 4-fragment ljuštore školjkaša sredina; D) Sprud 7- fragment kućice puža sredina desno, fragment ljuštore školjkaša sredina lijevo, puževa kućica dolje desno, komadić ugljena gore desno. ....	44
Slika 38. Frakcija 0,25–0,5 mm. A) Sprud 1-spikule spužve dolje lijevo i gore desno, kućice foraminifera gore lijevo i desno, te sredina lijevo; B) Profil 4-spikula spužve sredina gore, brojne cijele kućice foraminifera; C) Sprud 4-brojne cijele kućice foraminifera te fragmenti ljuštura školjkaša, nit plastičnog materijala gore lijevo; D) Profil 7-kućica foraminifere sredina gore desno, bodlja ježinca lijevo, fragment spikule spužve gore lijevo. ....	45
Slika 39. Frakcija 0,125–0,25 mm. A) Sprud 1-brojne kućice foraminifera, fragmenti ljuštura školjkaša i puževa, spikula spužve gore lijevo; B) Profil 1-nit plastičnog materijala dolje lijevo; C) Profil 4-kućica foraminifere lijevo, fragment spikule spužve sredina; D) Sprud 7- fragmenti spikula spužve sredina desno i dolje, nit plastičnog materijala dolje lijevo. ....	46
Slika 40. Frakcija 0,063–0,125 mm. A) Profil 1-brojni fragmenti spikula spužve, nit plastičnog materijala sredina gore; B) Sprud 1-brojni fragmenti spikula spužve, nit plastičnog materijala sredina gore, C) Sprud 7-brojni fragmenti spikula spužvi, nit plastičnog materijala sredina, fragmentirane kućice foraminifera; D) Profil 7-brojni fragmenti spikula spužve, bodlja ježinca lijevo, cijela kućica foraminifere iznad bolje ježinca.....	47



---

Slika 41. Inkrustirajuća forma mahovnjaka (gore) i serpulid (dolje) na otkinutom rizomu posidonije. ....	48
Slika 42. Serpulid pričvršćen za list posidonije.....	48
Slika 43. Histogrami uzoraka Pos 11/20 i Pos 01/21. ....	49
Slika 44. Trokomponentni dijagrami uzoraka Pos 10/20, Pos 11/20, Pos 12/20 te Pos 01/21. ....	50
Slika 45. Rentgenogram uzorka Sprud 1. ....	53
Slika 46. Mikrofotografija izbruska uzorka V4. Lijevo bioklastični floutston (strelica pokazuje bioklast ježinca), desno biokalkarenit (pelagičke čestice, zaokružena kalcisfera). ....	55
Slika 47. Uzorak II. Bioklastični pelagički pekston s planktonskim foraminiferama (u krugu desno), pitonelama. (u krugu gore), kalcisferama (strelica) i fragmentima bodljikaša (najčešće ježinaca).....	56
Slika 48. Razlike u profilu miješane šljunčano pješčane plaže s obzirom na sezonu (ljetni mjeseci označeni punom crnom crtom, zimski mjeseci označeni isprekidanom crnom crtom (ROBERTS i sur., 2013). ....	57

## 11. Popis tablica u tekstu

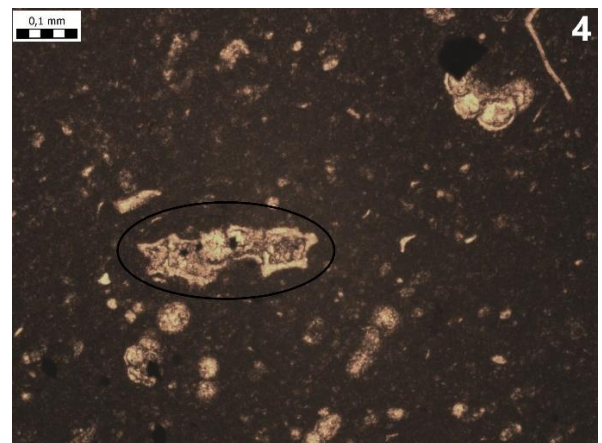
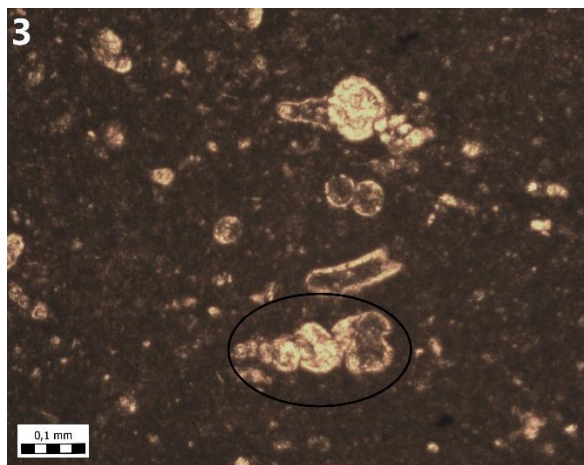
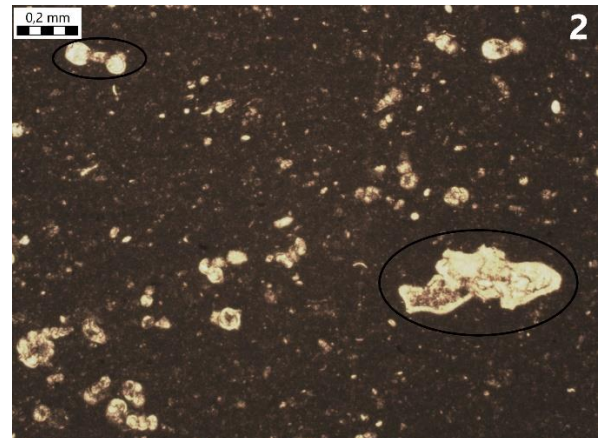
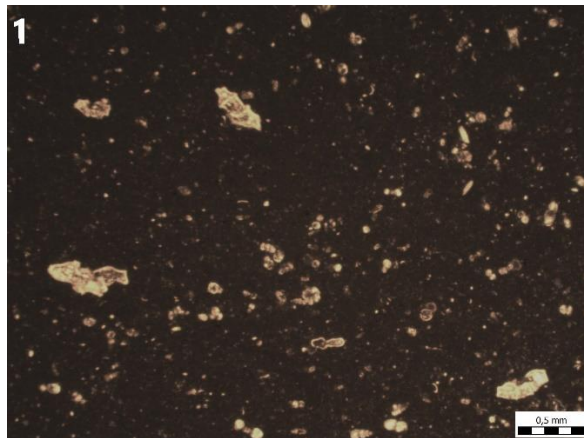
Tablica 1. Količina sedimenta odvojenog iz uzoraka posidonije svakog mjeseca uzorkovanja. ....	35
Tablica 2. Pripadajuće teksturalne grupe uzoraka. ....	35
Tablica 3. Tip sedimenta i osnovni granulometrijski parametri analiziranih uzoraka (crveno i plavo naglašeni uzorci detaljnije su opisani u nastavku).....	36
Tablica 4. Granulometrijski parametri za sediment iz posidonije. ....	49
Tablica 5. Udjeli karbonatne komponente u uzorcima standarda, pijeska, te sedimenta iz posidonije. ....	51
Tablica 6. Prikaz po uzorcima: dominantni, sporedni te minerali u tragovima.....	52

## **12. Table**

**TABLA 1**  
(UZORAK V1)

- 1: Bioklastični (pelagički) vekston s planktonskim foraminiferama i pelagičkim česticama, najčešće kalcisfera i bodljikaša
- 2: Bioklastični (pelagički) vekston s *Globigerinoides* sp. i *Marginotruncana* sp.
- 3: Bioklastični (pelagički) vekston s *Heterohelix reussi* (CUSHMAN) i kalcisferama
- 4: Bioklastični (pelagički) vekston s *Marginotruncana* sp.

**TABLA 1**

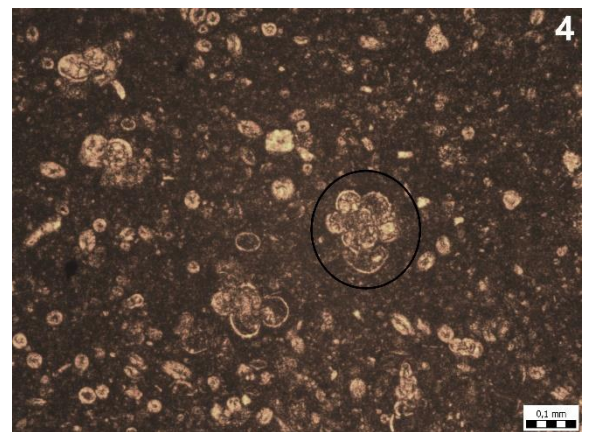
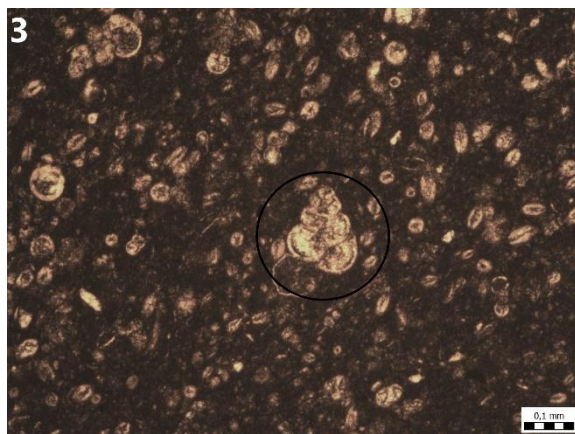
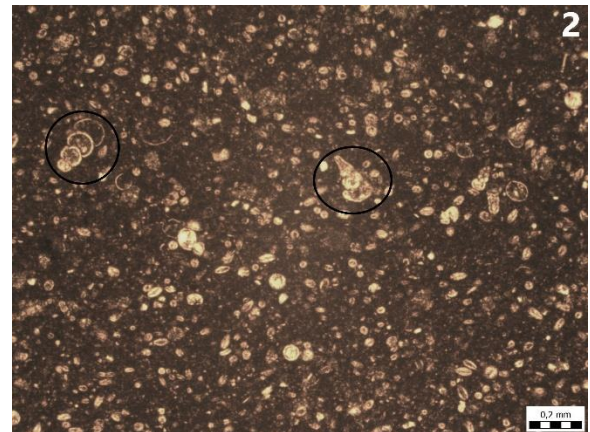
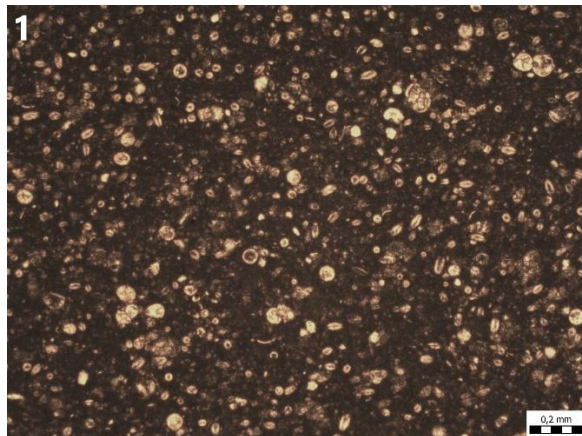


**TABLA 2**

(UZORAK V2)

- 1: Bioklastični (pelagički) vekston do pekston s mnogobrojnim kalcisferama i pitonelama (uglavnom *Pithonella ovalis* (KAUFMANN)).
- 2: Pelagički vekston do pekston s *Heterohelix* spp. (moguće *Heterohelix reussi* (CUSHMAN) )
- 3: Pelagički vekston do pekston s *Heterohelix globosa* (EHRENBERG)
- 4: Pelagički pekston s *Hedbergella* sp.

**TABLA 2**



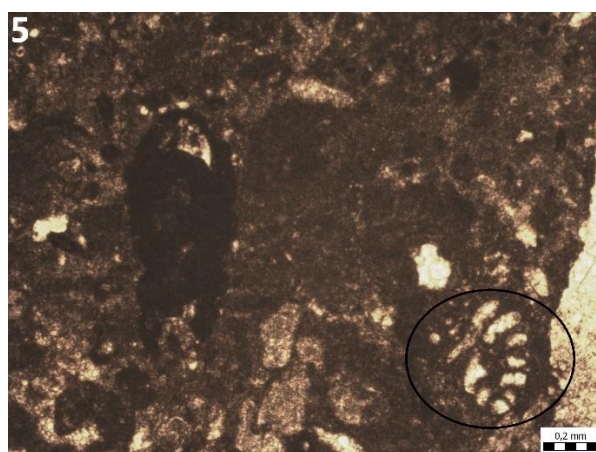
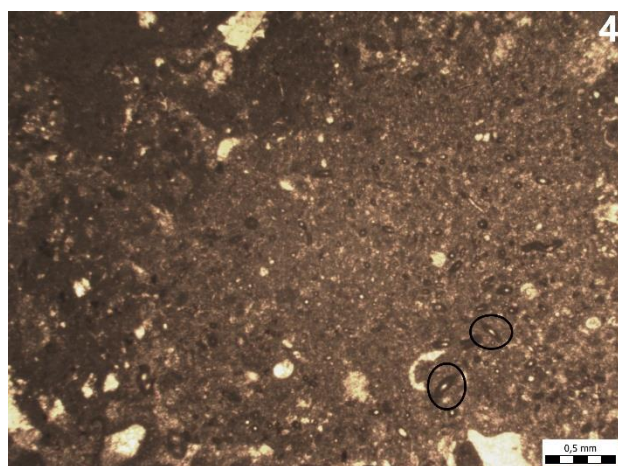
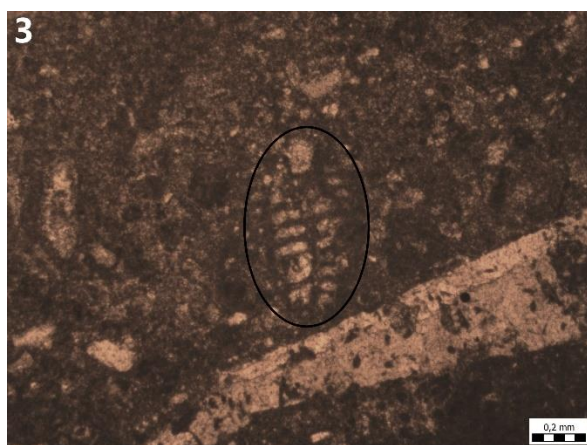
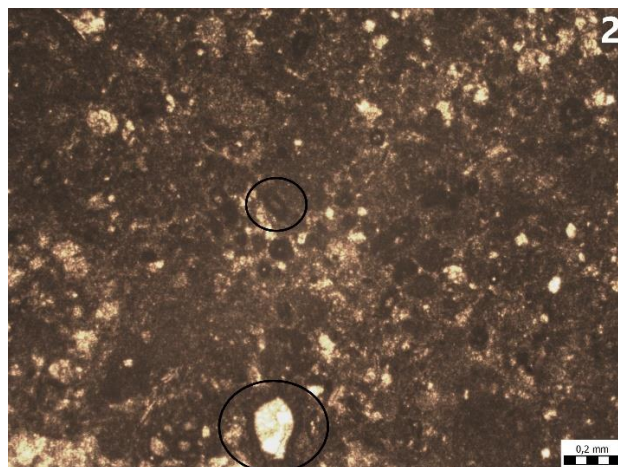
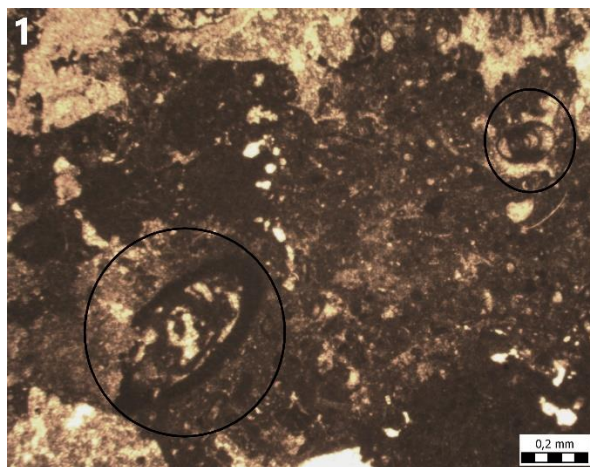
**TABLA 3**

(UZORAK V3)

- 1: Bioklastični pekston do floutston s litoklastima; *Thaumatoporella parvovesiculifera* (RAINERI) (u krugu dolje), *Moncharmontia apenninica* (DE CASTRO) (u krugu gore), rijetkim *Decastronema kotori* (RADOČIĆ) te fragmentima bodljikaša
- 2: Peloidno-bioklastični vekston do pekston s mnogobrojnim presjecima *Decastronema kotori* (RADOIČIĆ) (u krugu gore) i rijetkim *Thaumatoporella parvovesiculifera* (RAINERI) (u krugu dolje)
- 3: *Cuneolina pavonia* (D'ORBIGNY) i fragment bodljikaša
- 4: Peloidno-bioklastični vekston do pekston s mnogobrojnim presjecima *Decastronema kotori* (RADOIČIĆ)
- 5: Peloidno-bioklastični vekston do pekston s *Pseudolituonella?* sp. i miliolidnom foraminiferom



**TABLA 3**

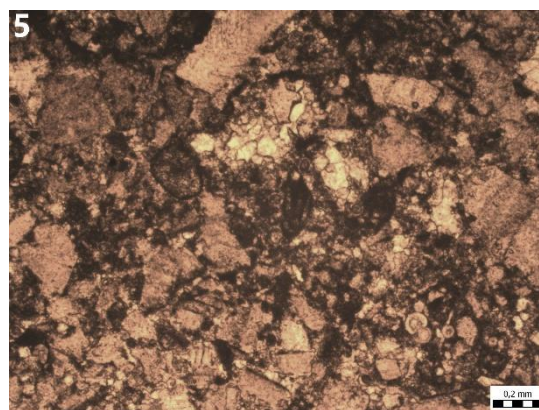
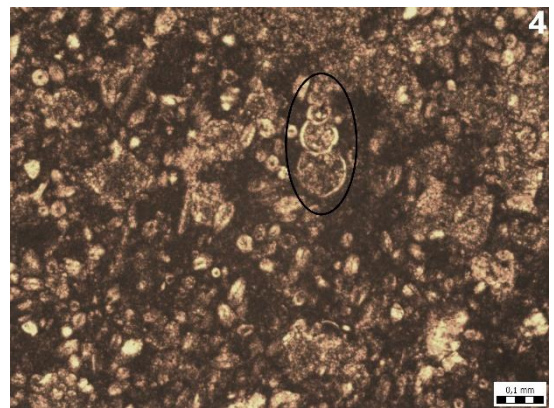
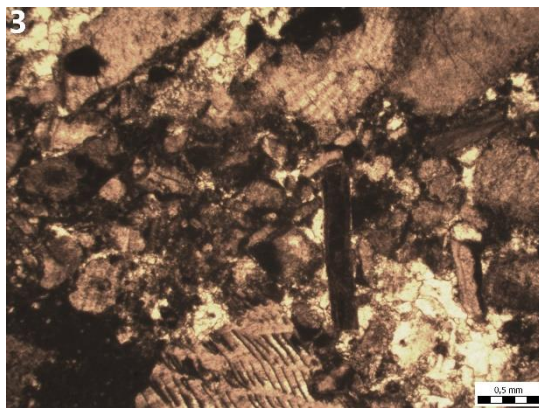
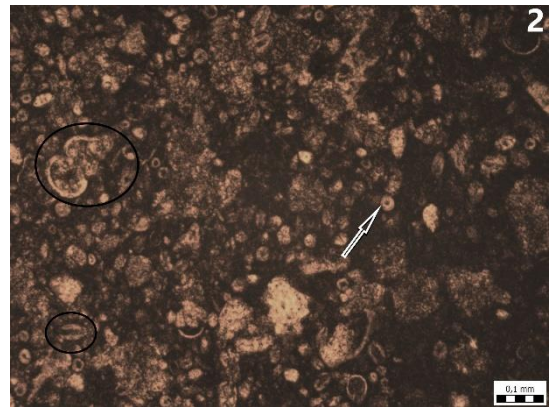
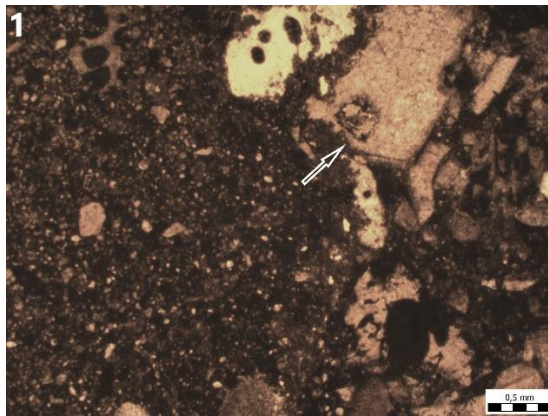


**TABLA 4**

(UZORAK I1)

- 1: Bioklastični (pelagički) pekston s kalcisferama, planktonskim foraminiferama i bioklastima bodljikaša (lijevo) u kontaktu s bioklastičnim floutstonom s fragmentima bodljikaša (strelica) (desno)
- 2: Bioklastični (pelagički) pekston s kalcisferama (strelica), pitonelama (*Pithonella ovalis* (KAUFMANN), u krugu dolje) i planktonskim foraminiferama (*Heterohelix* sp.; u krugu gore)
- 3: Bioklastični floutston s bioklastima bodljikaša i rudista
- 4: Bioklastični (pelagički) pekston s *Heterohelix* sp. brojnim kalcisferama, pitonelama te fragmentima bodljikaša
- 5: Bioklastični floutston s bioklastima bodljikaša, planktonskim foraminiferama, kalcisferama i drugim pelagičkim česticama

**TABLA 4**

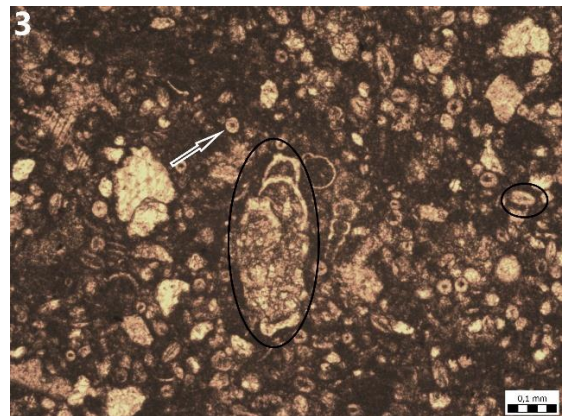
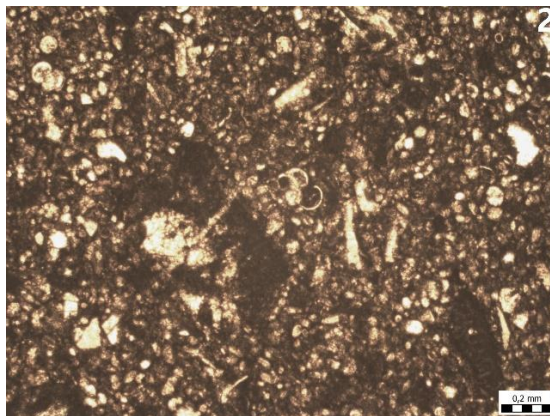
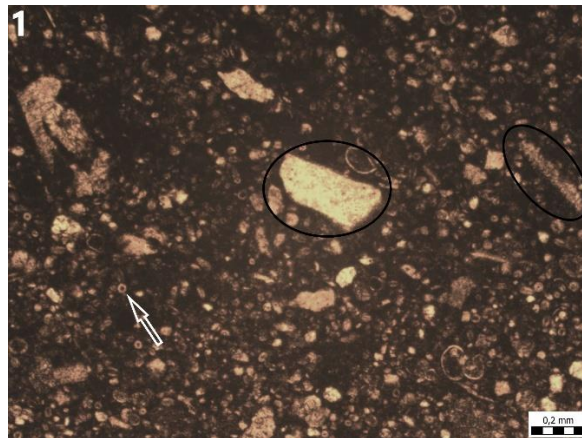


**TABLA 5**

(UZORAK I2)

- 1: Bioklastični (pelagički) pekston s bioklastima bodljikaša (u krugu), kalcisferama (strelica) i planktonskim foraminiferama
- 2: Bioklastični (pelagički) pekston fragmentima bodljikaša, planktonskim foraminiferama (primjerice *Heterohelix globosa* (EHRENBERG)) i kalcisferama
- 3: Bioklastični (pelagički) pekston planktonskim foraminiferama (*Marginotruncana* sp., u velikom krugu), kalcisferama (strelica) i pitonelama (u malom krugu)

**TABLA 5**

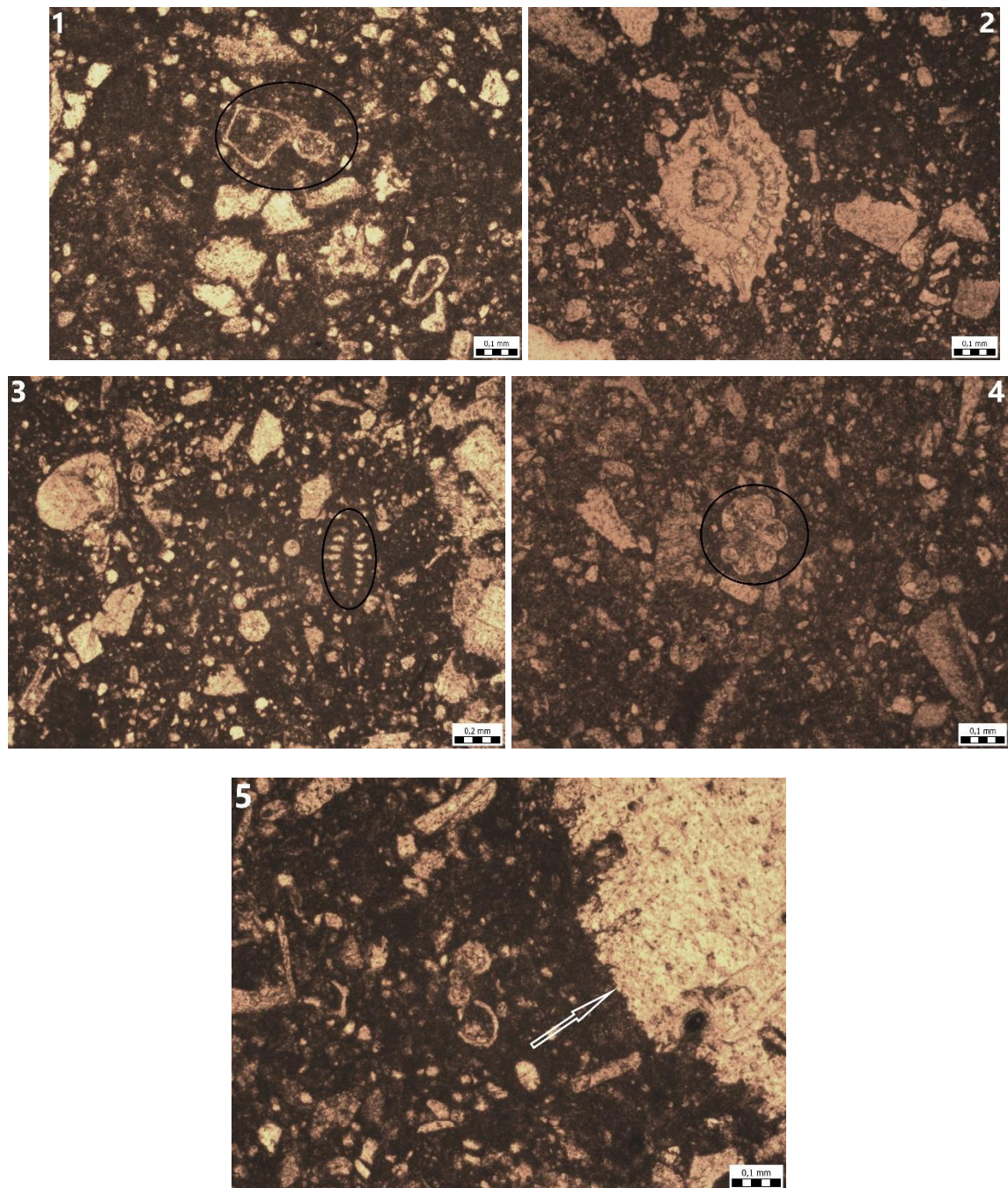


**TABLA 6**

(UZORAK I3)

- 1: Bioklastični (pelagički) floutston s bioklastima bodljikaša i rijetkim planktonskim foraminiferama, *Marginotruncana* sp.
- 2: Bioklastični (pelagički) floutston s bentičkom rotalidnom foraminiferom
- 3: Bioklastični (pelagički) vekston do floutston s bioklastima bodljikaša, rijetkim kalcisferama i bentičkim foraminiferama (*Cuneolina?* sp., zaokružena)
- 4: Bioklastični (pelagički) vekston do floutston s planktonskom foraminiferom *Hedbergella* sp.
- 5: Bioklastični (pelagički) vekston do floutston s bioklastima bodljikaša (strelica) i planktonskim foraminiferama (*Hedbergella?* sp.).

**TABLA 6**



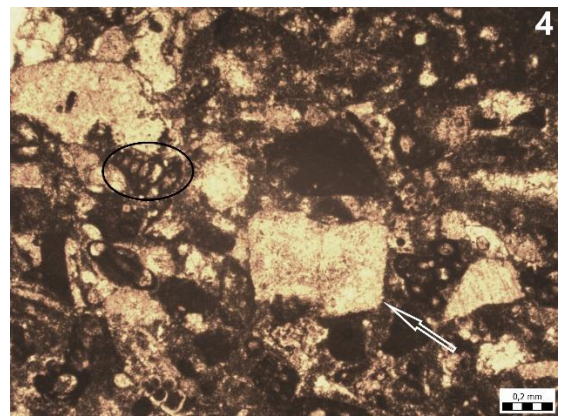
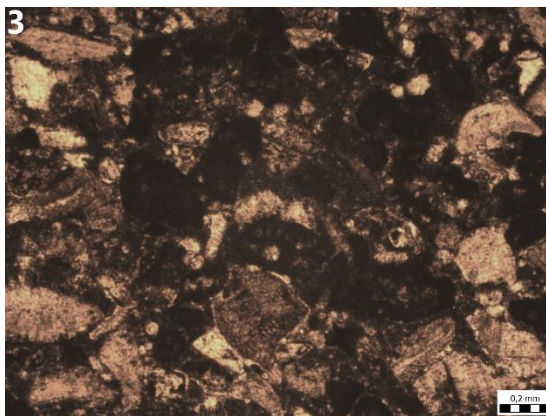
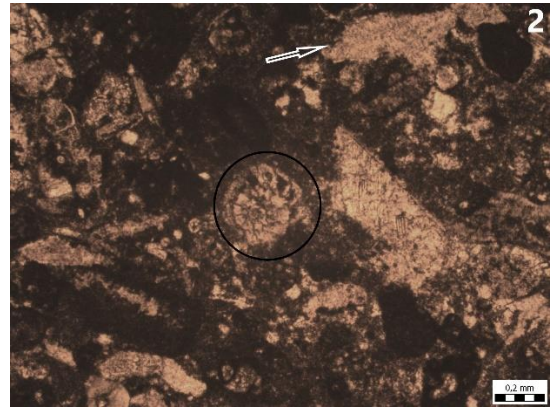
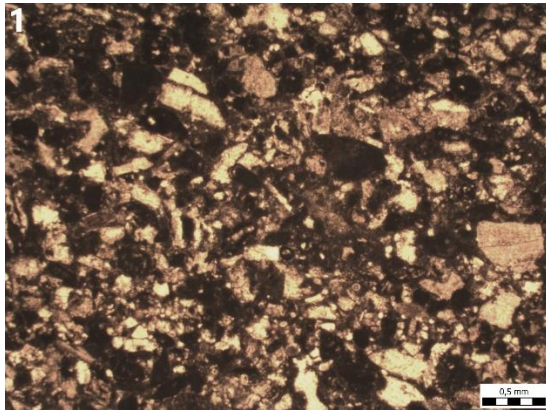
**TABLA 7**

(UZORAK I4)

- 1: Bioklastični (pelagički) pekston do floutston – biokalkarenit s bioklastima bodljikaša i drugim pelagičkim česticama (kalcisfere), rjeđe rudista i bentičkih foraminifera
- 2: Bioklastični (pelagički) pekston do floutston s bentičkom rotalidnom foraminiferom (u krugu) i bioklastima bodljikaša (strelica)
- 3: Bioklastični (pelagički) pekston do floutston
- 4: Bioklastični (pelagički) pekston do floutston s bentičkom foraminiferom (*Pseudolituonella?* sp. u krugu) i bioklastima bodljikaša (strelica)



**TABLA 7**

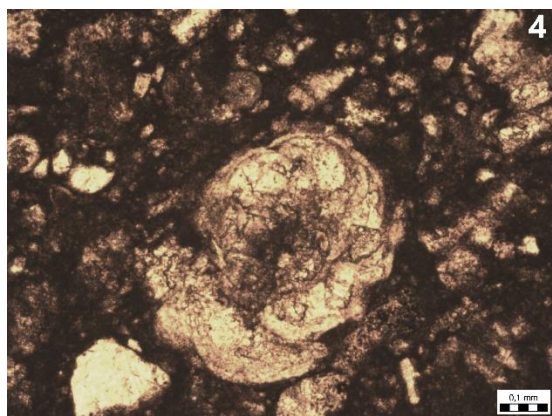
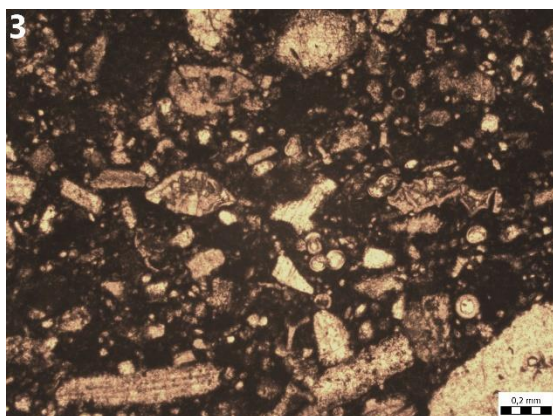
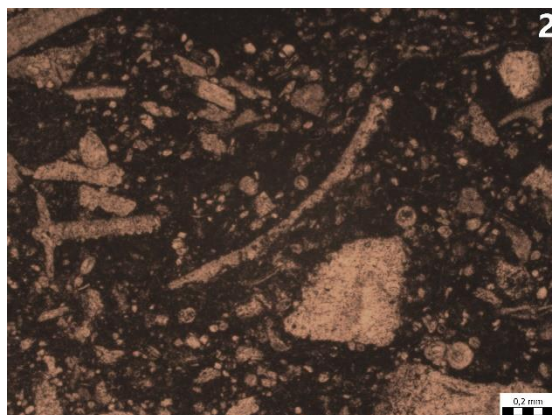
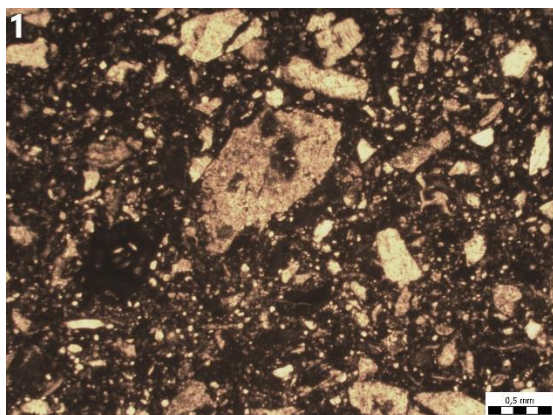


**TABLA 8**

(UZORAK I5)

- 1: Bioklastični (pelagički) pekston do floutston s bioklastima bodljikaša i mnogobrojnim sitnim pelagičkim česticama te miliolidnom foraminiferom (*Pseudonummoloculina* sp.)
- 2: Bioklastični (pelagički) pekston do floutston do floutston s kalcisferama, i pitonelama te bioklastima bodljikaša
- 3: Bioklastični (pelagički) pekston do floutston s pelagičkim bioklastima; fragmenti bodljikaša (strelica), kalcisfere, fragmenti planktonskih foraminifera (primjerice *Marginotruncana* sp.) (zaokruženo)
- 4: Bioklastični (pelagički) pekston do floutston s planktonskom foraminiferom *Marginotruncana* sp.

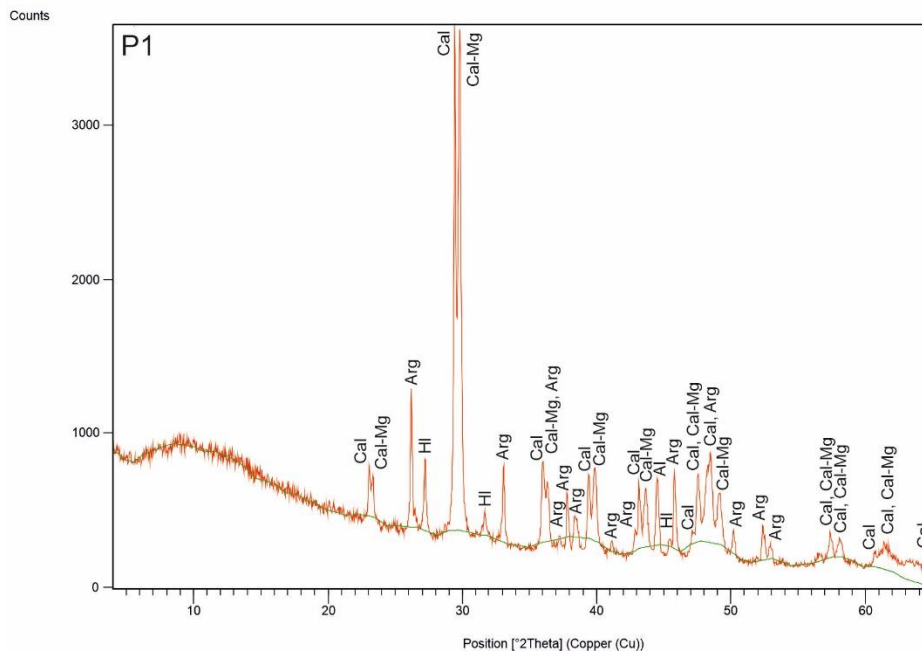
**TABLA 8**



### 13. Prilozi

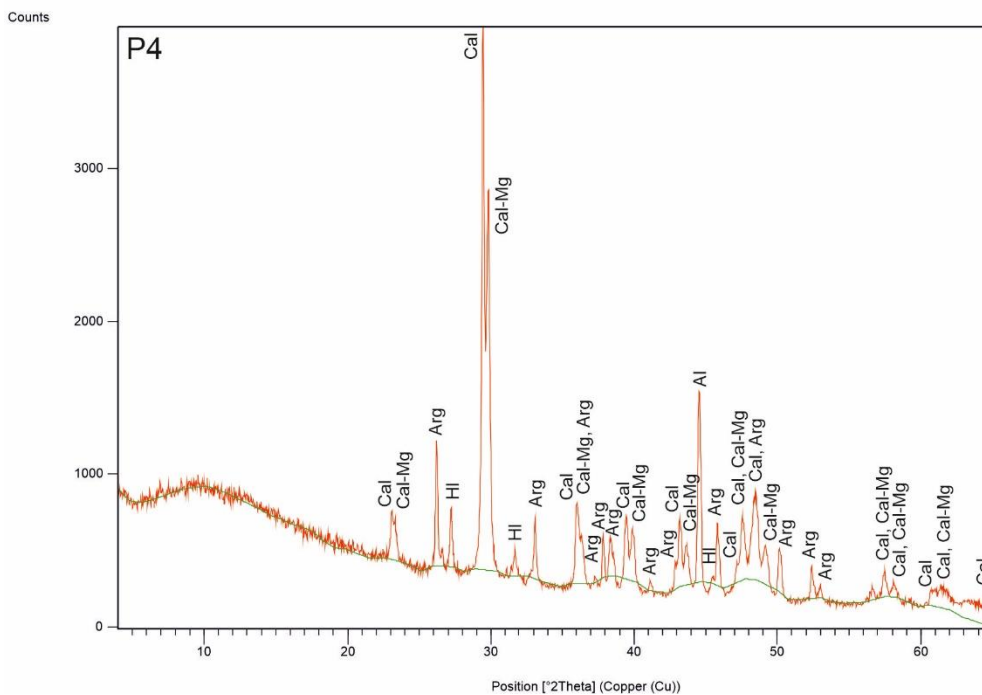
#### PRILOG 1

Rentgenogram uzorka Profil 1



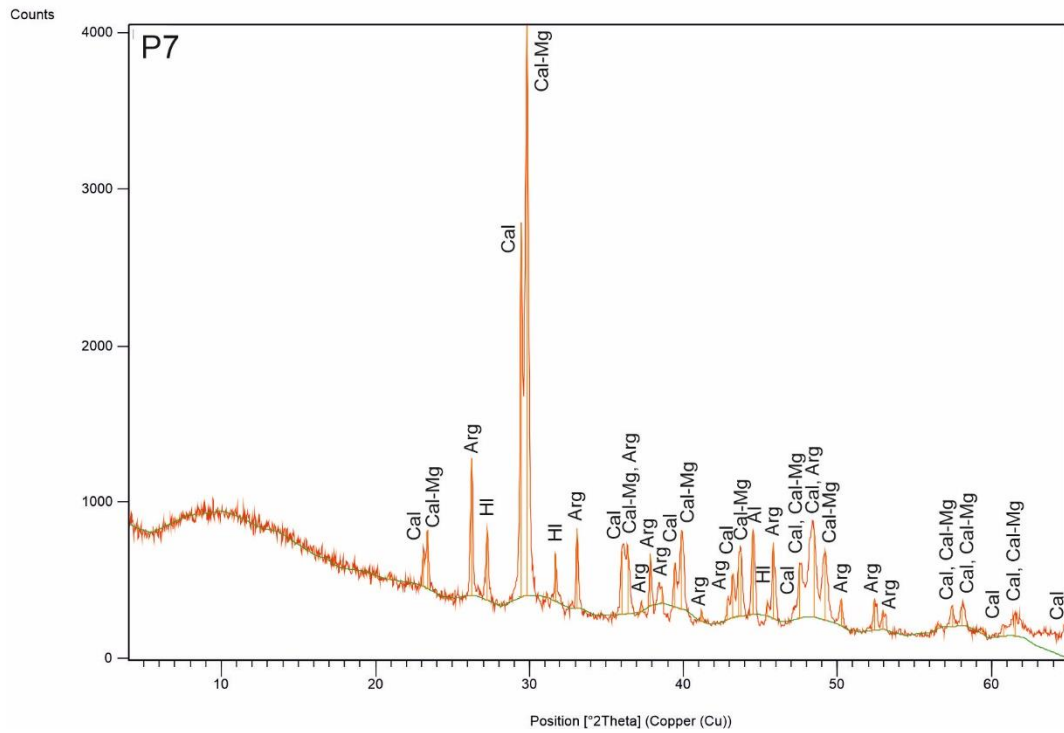
#### PRILOG 2

Rentgenogram uzorka Profil 4



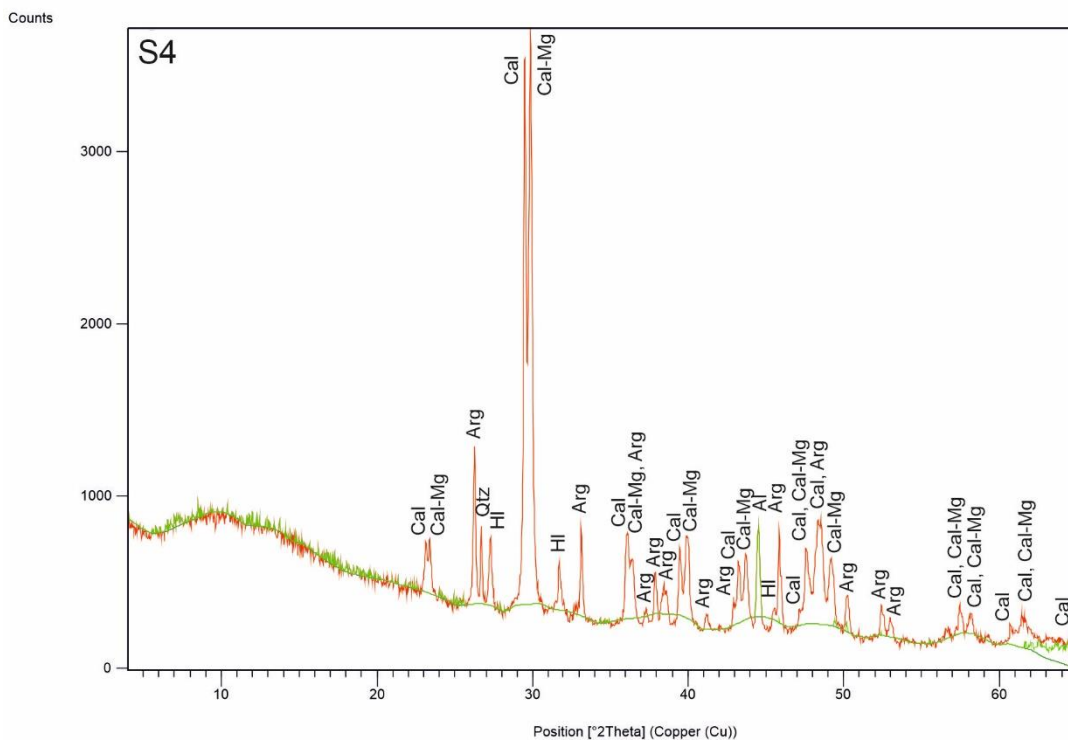
### PRILOG 3

Rentgenogram uzorka Profil 7



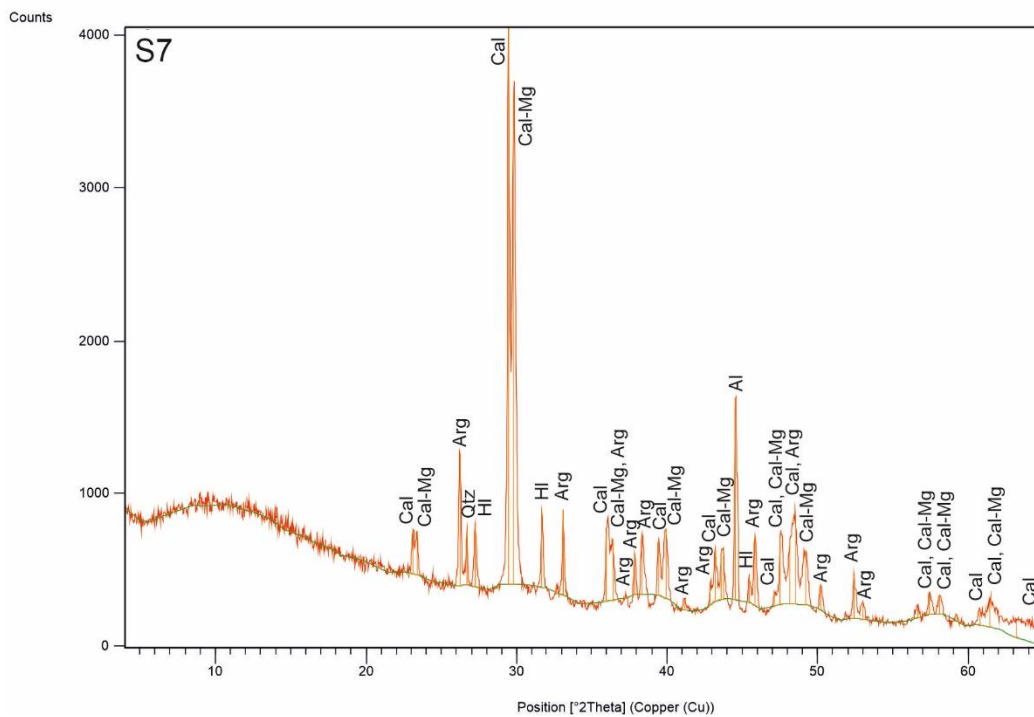
### PRILOG 4

Rentgenogram uzorka Sprud 4



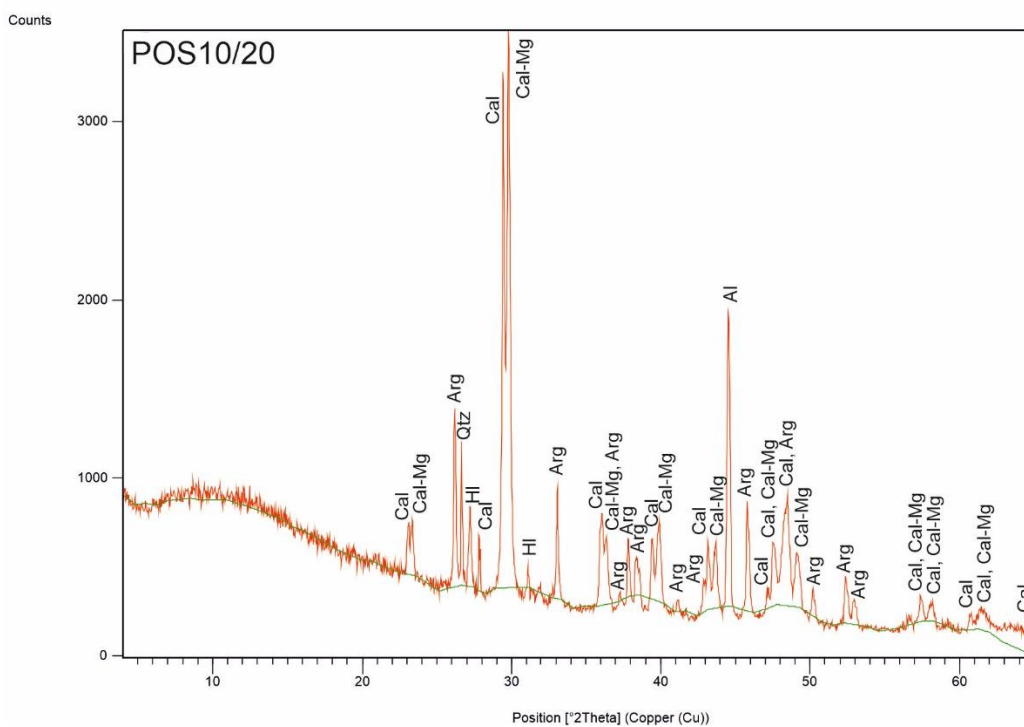
### PRILOG 5

Rentgenogram uzorka Sprud 7



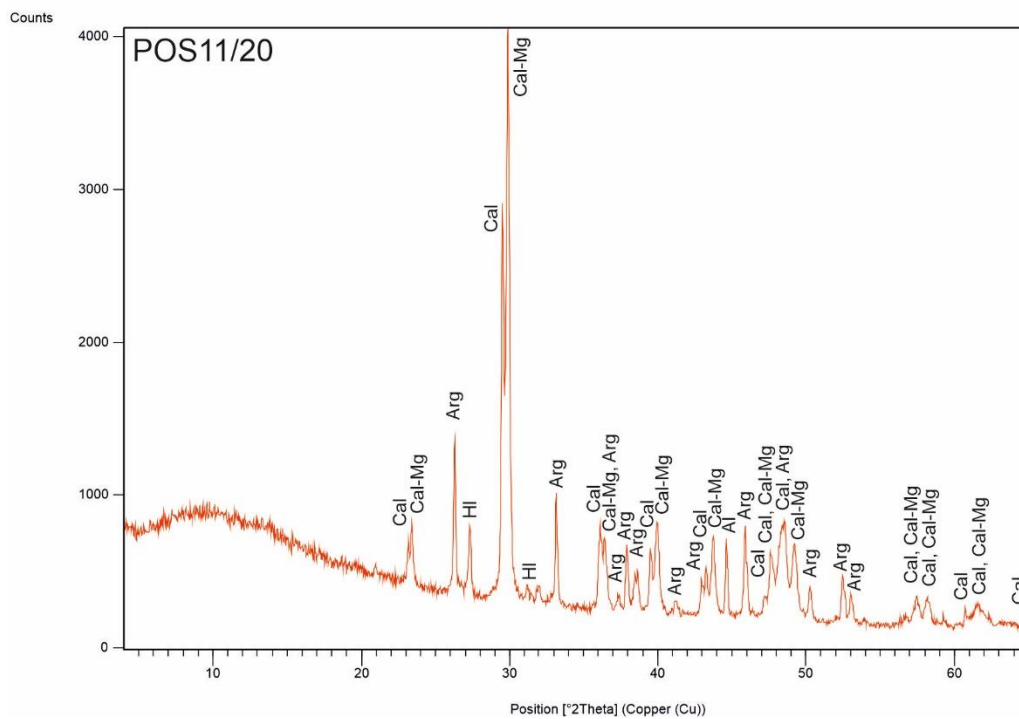
### PRILOG 6

Rentgenogram uzorka Pos 10/20



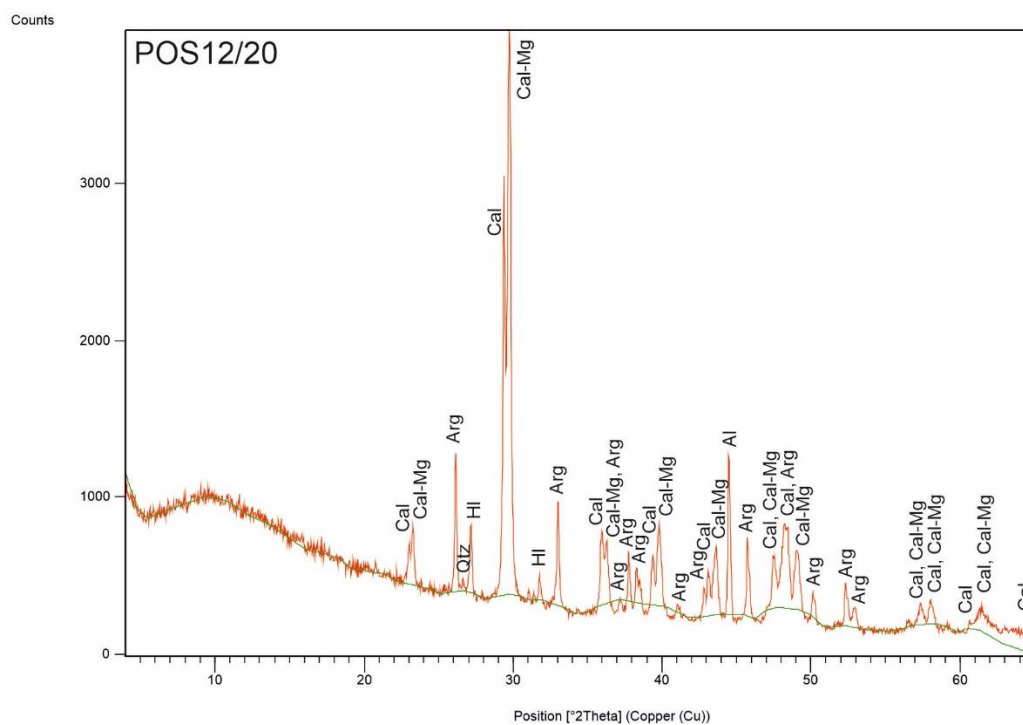
**PRILOG 7**

Rentgenogram uzorka Pos 11/20



**PRILOG 8**

Rentgenogram uzorka Pos 12/20



### PRILOG 9

#### Rentgenogram uzorka Pos 01/21

