

# Porijeklo populacije pijeska na plaži Sakarun

---

Jagečić, Dina

Undergraduate thesis / Završni 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:217:189874>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Dina Jagečić

**Porijeklo populacije pijeska na plaži Sakarun**

**Origin of the sand population on the Sakarun Beach**

Seminar III  
Preddiplomski studij geologije

Mentor:  
Doc. dr. sc. Kristina Pikelj

Zagreb, 2021.

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Seminar III

## Porijeklo populacije pijeska na plaži Sakarun

Dina Jagečić

**Rad je izrađen:** Prirodoslovno-matematički fakultet, Geološko-paleontološki zavod, Horvatovac 102a; Mineraloško-petrografski zavod, Horvatovac 95, Zagreb

**Sažetak:** U sklopu ovog rada analiziran je sediment plimne zone plaže Sakarun na Dugom otoku. Plaža Sakarun popularna je turistička destinacija Dugog otoka. Budući da istočnu obalu Jadranskog mora dominantno grade okršene karbonatne stijene pješćane plaže nisu česta pojava. Plaža Sakarun iz godine u godinu trpi velike gubitke sedimenta čime joj se površina smanjuje. Kako bi se spriječio daljnji gubitak sedimenta i kako bi se plaža zaštitila od nestanka, u sklopu ovog rada utvrđeno je porijeklo sedimenta plaže Sakarun. Analiziran je sediment s tri profila plaže iz plimne zone. Rezultati granulometrijske analize pokazali su da plažu grade relativno dobro sortiran pijesak te relativno dobro sortiran slabo šljunkoviti pijesak. Pijesak se najvećim dijelom sastoji od karbonatne komponente dok je siliciklastična podređena. Difrakcijom rendgenskih zraka na prahu utvrđen je mineralni sastav u kojem dominiraju kalcit i magnezijски kalcit, a aragonit, kvarc i halit prisutni su u manjim količinama. Sediment plaže pregledan je pod mikroskopom, a mikroskopska analiza pokazala je da sediment grade ljuštore organizama. Određivanjem udjela karbonatne komponente utvrđeno je da pijesak koji gradi Sakarun sadrži iznadprosječan udio karbonatne komponente što odgovara sedimentu koji nastaje u blizini obala i otoka. Poznavanjem porijekla i karakteristika sedimenta dobivamo jasniju sliku o regulaciji plaže i njenom očuvanju, budžetu sedimenta te njegovom donošenju i odnošenju.

**Ključne riječi:** plaža Sakarun, pijesak, granulometrija, mineralni sastav, karbonatni minerali

**Rad sadrži:** 35+IV stranica, 25 slika, 2 tablice i 39 literaturnih navoda

**Jezik izvornika:** hrvatski

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

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

**Ocjenjivači:** doc. dr. sc. Kristina Pikelj, doc. dr. sc. Andrea Čobić, doc. dr. sc. Maja Martinuš

**Datum završnog ispita:** 30. 8. 2021.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geology

### Seminar III

#### Origin of the sand population on the Sakarun Beach

Dina Jagečić

**Thesis completed in:** Faculty of Science, Division of Geology and Paleontology, Horvatovac 102a; Division of Mineralogy and Petrology, Horvatovac 95, Zagreb

**Abstract:** As part of this study the intertidal sediment of the Sakarun beach on the Dugi Otok Island has been analysed. Sakarun beach is a very popular tourist destination of the Dugi Otok Island. Since the eastern coast of the Adriatic Sea is dominantly built of karstified carbonate rocks, sandy beaches are not very common. Sand population of the Sakarun beach is declining which may cause general loss of beach. To prevent further sediment loss and protect the beach from extinction, the origin of the sediment of Sakarun beach was determined as a part of this work. The intertidal sediment along three beach profiles has been analysed. Granulometric analysis showed that beach is composed of moderately well sorted sand and moderately well sorted slightly gravelly sand. The sand is mostly composed of carbonate component, while siliciclastic component is present in traces. X-ray diffraction showed the mineral composition where calcite and magnesium calcite are dominant, while aragonite, quartz and halite occur in smaller amount. The sediment is analysed under the microscope. Analysis showed that sand is mostly composed of fragmented organism shells. Carbonate component analysis showed that sand from Sakarun beach contains an extremely high percentage of the carbonate minerals, which is a typical characteristic of the sediment that deposits near shores and islands. By knowing the characteristics and sediment origin, we are getting a clearer picture of beach regulations and their preservations, sediment budget and its input and output.

**Keywords:** Sakarun beach, sand population, granulometry, mineral composition, carbonate minerals

**Seminar contains:** 35+IV pages, 25 figures, 2 tables and 39 references

**Original in:** Croatian

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

**Supervisor:** Kristina Pikelj, Phd, Assist. Prof.

**Reviewers:** Kristina Pikelj, Phd, Assist. Prof., Andrea Čobić, Phd, Assist. Prof., Maja Martinuš, Phd, Assist. Prof.

**Date of the final exam:** August 30, 2021

## Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Geološka situacija .....	2
3.	Pregled dosadašnjih istraživanja .....	7
3.1.	Tipovi obala i obalni sedimenti istočne strane Jadrana .....	7
3.2.	Sedimenti istočno-jadranskog šelfa .....	10
4.	Materijali i metode.....	14
4.1.	Uzorkovanje.....	14
4.2.	Laboratorijske metode .....	15
4.2.1.	Granulometrijska analiza mokrim sijanjem .....	15
4.2.2.	Udio karbonatne komponente .....	16
4.2.3.	Metoda difrakcije rendgenskih zraka na prahu (XRPD).....	16
4.2.4.	Mikroskopska analiza sedimenta .....	17
5.	Rezultati .....	18
5.1.	Rezultati granulometrijske analize .....	18
5.2.	Rezultati određivanja udjela karbonatne komponente.....	21
5.3.	Rezultati difrakcije rendgenskih zraka na prahu .....	21
5.4.	Rezultati mikroskopske analize sedimenta.....	23
5.4.1.	Frakcija vrlo sitnog šljunka (2-4 mm).....	23
5.4.2.	Frakcija vrlo krupnog pijeska (1-2 mm) .....	24
5.4.3.	Frakcija krupnog pijeska (0,5-1 mm).....	24
5.4.4.	Frakcija srednje-zrnastog pijeska (0,25-0,5 mm).....	25
5.4.5.	Frakcija sitnog pijeska (0,125-0,25 mm) .....	26
5.4.6.	Frakcija vrlo sitnog pijeska (0,063-0,125 mm) .....	27
6.	Rasprava.....	29
7.	Zaključak.....	32
8.	Literatura.....	33

## 1. Uvod

Obalne zone su, na globalnoj razini, najdinamičniji okoliši koji su konstantno izloženi raznim promjenama zbog stalne interakcije između kopna i mora [URL 1]. Erozija, klimatske promjene, promjene morske razine i razni drugi faktori svakodnevno mijenjaju izgled obalnih područja te raspored i tip sedimenta koje je moguće naći u obalnim zonama. Prema Pikelj i Juračić (2013) u današnje vrijeme iznimno velik i često negativan utjecaj na izgled obala ima ljudska aktivnost (turizam, urbanizacija, industrijalizacija i proizvodnja hrane samo su neki od razloga prilagođavanja obala vlastitim potrebama). Koliko će neka obala biti osjetljiva na promjene, bilo prirodne bilo one uzrokovane ljudskom aktivnošću, ovisit će na prvom mjestu o tipu obale i njoj litologiji, odnosno o porijeklu sedimenta koji gradi plaže. Plaže su tip obale koji je posebno osjetljiv na bilo kakve promjene. Odnosi i brzine između erozije i taloženja sedimenta na plažama znatno variraju na dnevnoj bazi [URL 1]. Ljudska aktivnost drastično mijenja obalu i same plaže zbog čega one postaju ugrožene te im se površine smanjuju. Kako bi se plaže zaštitile od gubitka sedimenta i potencijalnog nestanka te kako bi se lakše njima upravljalo, potrebno je znati kakav materijal čini sediment pojedine plaže. Poznavanjem sedimenta koji gradi plažu dobit ćemo uvid u to od kuda on dolazi, kojom se brzinom i da li se uopće obnavlja, koliko ga se odnosi, odnosno hoće li i kada nestati. Plaže su vrlo bitan faktor u turizmu. Pikelj i Juračić (2013) navode kako je istočna obala Jadranskog mora jedno od najbrže rastućih turističkih tržišta Sredozemnog mora na kojem plaže predstavljaju vodeći turistički resurs. Obala istočnog Jadrana najvećim je dijelom strma i stjenovita, a pjeskovitih i šljunkovitih plaža nema mnogo (oko 5-6 % ukupne duljine obale), stoga bi se posebna pažnja trebala posvetiti njihovom sustavnom upravljanju i očuvanju od gubitka sedimenta i nestanka (PIKELJ i JURAČIĆ, 2013; BABIĆ i dr. 2019).

Cilj ovog istraživanja bio je odrediti porijeklo pjeskovite frakcije sedimenta na plaži Sakarun koja se nalazi na sjeverozapadnom dijelu Dugog otoka, pa su u tu svrhu definirane osnovne sedimentološke karakteristike pijeska: granulometrijski sastav, mineralni sastav te udio karbonata u sedimentu. Sediment je također analiziran pod mikroskopom kako bi se vizualno potvrdilo njegovo porijeklo.

## 2. Geološka situacija

Jadransko more je poluzatvoreni morski bazen u sjevernom dijelu Sredozemnog mora. Pruža se u pravcu SZ-JI. Okružuju ga Alpe, Apeninski poluotok i Dinaridi. Istočna i zapadna obala Jadrana geomorfološki se razlikuju. Istočna obala Jadrana među najrazvedenijima je u svijetu, a mnoštvo otoka, poluotoka i zaljeva pruža se paralelno s kopnom [URL 2]. Takav tip obale specifičan je u svijetu i naziva se dalmatinski tip obale (KELLETTAT, 2005). Matijević i dr. (2008) opisali su istočnu obalu Jadrana kao strmu i stjenovitu s velikim brojem potopljenih krških formi. Grade je u najvećoj mjeri okršene karbonatne stijene mezozojske starosti, a izvor i donos terigenog materijala manjeg je i lokalnog značaja. Karbonati su mjestimice prekriveni tankim slojevima boksita i *terra rosse*. Manji dio obale gradi eocenski fliš: izmjena lapora, silita, pješčenjaka i karbonatnih breča (PIKELJ i JURACIĆ, 2013). Mezozojske i eocenske naslage mjestimice su prekrivene kvartarnim sedimentima. Zapadna je obala Jadrana, za razliku od istočne, niža te je u većoj mjeri izgrađena od pijeska koji je donesen rijekama. Današnji izgled obale istočnog Jadrana, njegova izrazita razvedenost, brojni otoci i zaljevi te potopljene krške forme rezultat su čestih boranja, rasjedanja, okršavanja i promjena morske razine tijekom geološke povijesti. Stijene koje danas izgrađuju istočnu obalu Jadranskog mora taložene su u najvećoj mjeri u plitkomorskim uvjetima na karbonatnoj platformi (na plitkomorskom šelfu), na kojoj je povremeno dolazilo do emerzije, odnosno uspostavljanja kopnenih uvjeta. Plitkovodni karbonati (vapnenci i dolomiti) nastali su tijekom mezozoika i paleogena (VLAHOVIĆ i dr., 2005). Zbog tektonskih pokreta tijekom miocena i ranog pliocena te su plitkomorske mezozojske karbonatne naslage rasjedane i borane, a izdignuti dijelovi podloženi su okršavanju (KORBAR, 2009). Ipak, današnji izgled obale istočnog Jadrana posljedica je zadnje transgresije koja je nastupila na prijelazu iz mlađeg pleistocena u holocen kada su borani, rasjedani i okršeni karbonati djelomično preplavljeni (BABIĆ i dr., 2019). Otoci istočnog Jadrana predstavljaju antiklinale, a zaljevi i kanali predstavljaju sinklinale čije je pružanje paralelno s kopnom (BENAC i dr., 2008).

Dugi otok najveći je otok Sjeverne Dalmacije [URL 3] i pripada zadarskoj skupini otoka (Slika 1). Kao i kod većine jadranskih otoka pružanje mu je paralelno s obalom i to u pravcu sjeverozapad-jugoistok. Drugi je najrazvedeniji otok u Jadranu (DŽAJA, 2003). Dužina mu iznosi 45 km, a širina do 4,6 km [URL 4]. Središnji i zapadni dio otoka prekriveni su makijom i šumom dok se u južnom dijelu nalaze kamenjari. Najviši vrh je Vela Straža

čija je visina 337 m. Zapadna je obala otoka pučinska. Stjenovita je i strma, a litica Grpašćak (166 m) najviša je u Jadranu (Slika 5a). Istočna je obala niža s mnogobrojnim uvalama i plažama [URL 4]. S istočne strane otoka nalaze se brojni otoci: Iž, Pašman, Sestrunj, Ugljan, Zverinac, itd. Na jugoistočnom dijelu Dugog otoka nalazi se park prirode Telašćica, gdje je uvala Telašćica ujedno i prirodna luka (Slika 2). Unutar parka prirode Telašćica ističe se slano jezero Mir (potopljeno krško polje) sa svojim ljekovitim svojstvima (Slika 2) te brojni otočići i hridi [URL 5].



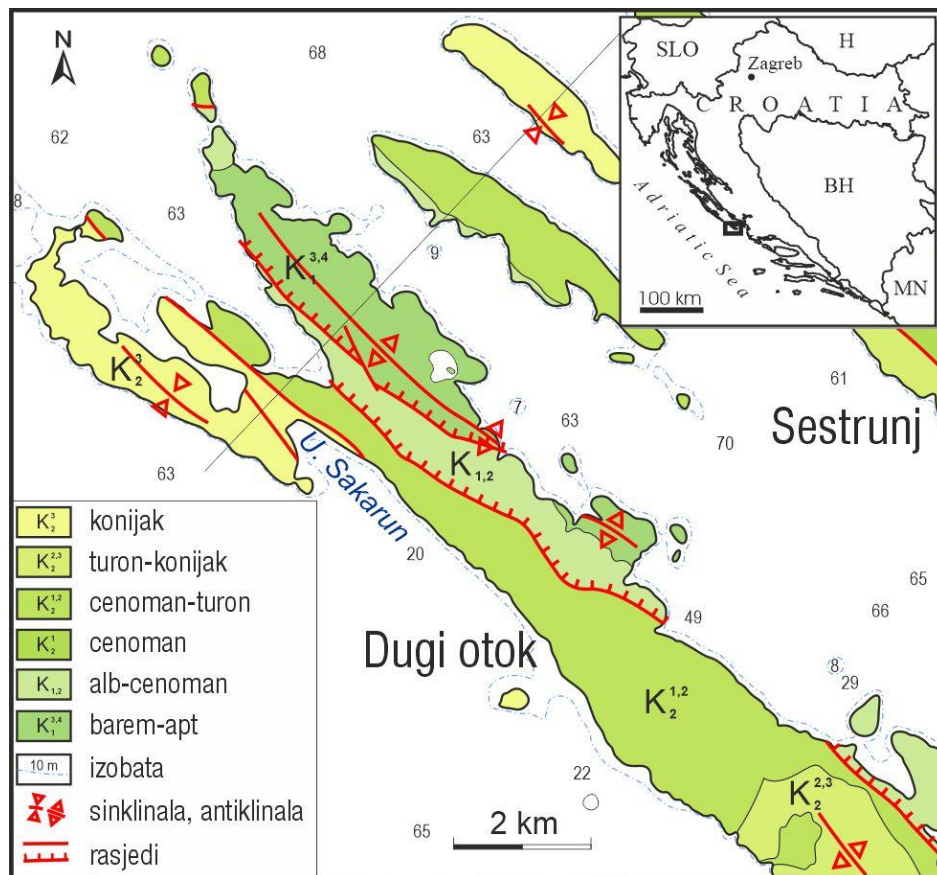
Slika 1: Satelitska snimka i položaj Dugog otoka (Izvor: Google Earth).



Slika 2: Park prirode Telašćica i jezero Mir [Izvor: URL 6].



Dugi otok u najvećoj mjeri izgrađuju karbonatne stijene kredne starosti (prevladavaju vapnenci, a prisutni su i dolomiti), a kvartarne naslage post tektonskog su karaktera te ispunjavaju morfološka udubljenja i prekrivaju kredne naslage. Razvijeni su brojni krški oblici: pećine, ponori, jame, klifovi, polja u kršu samo su neki od njih (MAGAŠ, 1988). Prema tumaču OGK za listove Molat i Silba opisana je geološka građa sjevernog dijela Dugog otoka koji ujedno obuhvaća prostor uvale i plaže Sakarun (MAMUŽIĆ i SOKAČ, 1973).



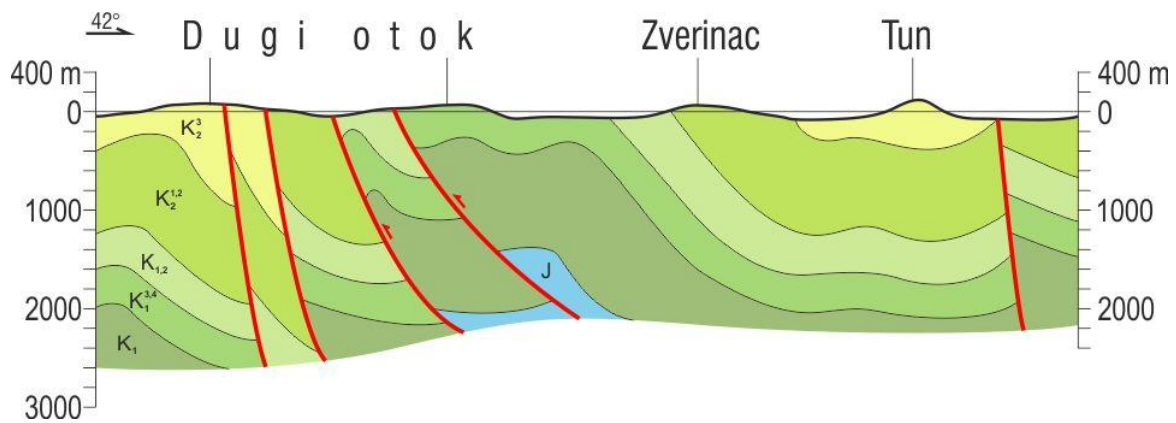
Slika 3: Geološka građa Dugog otoka (prema MAMUŽIĆ, 1970).

Najstarije naslage koje su otkrivene na Dugom otoku su tanko uslojeni do pločasti vapnenci starije krede (barem-apske starosti). Sedimentacija se tijekom starije krede odvijala u plitkomorskim mirnim uvjetima. Vapnenci sadrže fosile, a rijetko i lećaste uloške dolomita. Naslage su nastale nakupljanjem vapnenog materijala unutar taložnog bazena, a manjim je dijelom taj materijal organskog porijekla. Promjene temperature, redoks potencijala i koncentracije Mg-soli unutar taložnog bazena dovele su do procesa dolomitizacije (MAMUŽIĆ i SOKAČ, 1973). Dobro uslojeni dolomiti s ulošcima dolomitičnih vapnenaca kontinuirano slijede na vapnence barema i apta. Ove naslage ne

sadrže fosile, a taložile su se na prijelazu iz starije u mlađu kredu u plitkom i mirnom moru. Mjestimice se pojavljuju i sedimentne breče koje su nastale razaranjem dolomita.

Tijekom mlađe krede sedimentacija se odvija u promjenjivim uvjetima – u plitkoj i mirnoj sredini ili u blizini grebena gdje su naslage bile izložene djelovanju valova i jačim strujanjima vode. Talože se vapnenci koji se izmjenjuju s dolomitima ili vapnenci s ulošcima glinovitih vapnenaca. Naslage cenoman-turona u rasjednom su kontaktu s dolomitima koji su se taložili na prijelazu iz starije u mlađu kredu (Slika 3 i Slika 4). Naslage ovog razdoblja karakteriziraju vapnenci u izmjeni s dolomitima ili vapnenci s ulošcima dolomita. Sedimentacija se na prijelazu cenoman-turon odvijala u blizini grebena gdje je bilo izraženo djelovanje valova ili u plitkom i mirnom moru. Naslage turona i senona (po novijoj podijeli konijaka, santona, kampana i mastrihta) Dugog otoka rasjedima su odvojene od naslaga cenomana i turona. Naslage su građene od vapnenaca, a mjestimice se pojavljuju tanki ulošci dolomita. Sedimentacija se odvijala u plitkom i mirnom moru. Naslage senona se od ostalih naslaga gornje krede razlikuju po nalazima rudista. Ulošci dolomita izostaju, a pojavljuju se glinoviti vapnenci. Taloženje senonskih naslaga odvijalo se nešto udaljenije od obale u relativno plitkom moru, a naslage dominantno sadrže unutar-bazenski vapnenački materijal. Vrsta sedimentnog materijala, turbulentne struje i njihova jačina utjecali su na nastanak raznih varijeteta senonske serije vapnenaca (MAMUŽIĆ i SOKAČ, 1973). Naslage senona nalaze se u krilima antiklinala i vrlo često su u rasjednom kontaktu sa starijim naslagama (Slika 3 i Slika 4). Kvartarne naslage na Dugom otoku talože se preko krednih. *Terra rossa* ispunjava morfološka udubljenja u vidu tankih pokrova, a nalazimo je na sjeverozapadnom dijelu otoka. Ona je produkt trošenja karbonata djelovanjem hidrokemijskih procesa. Na sjeveroistočnom dijelu otoka, u području Velog Rata nalaze se i koštane breče koje su vezane kalcitom i crvenicom. Tektonska zbivanja početkom kvartara uzrokovala su nastanke normalnih i reversnih rasjeda na području Dugog otoka, djelomično prevrnutih struktura te tonjenje antiklinala i sinklinala (Slika 3). Svi stratigrafski članovi koji grade Dugi otok međusobno su u rasjednom kontaktu, a najveći reversan rasjed nastao je na kontaktu barem-aptskih vapnenaca i alb-cenomanskih dolomita. Vapnenci barem-apta koji se nalaze na sjeveroistočnom dijelu otoka su nagnuti (moguće i dijelom prebačeni) na naslage dolomita koji su se taložili na prijelazu iz starije u mlađu kredu (alb-cenoman). Cenoman-turonski i senonski vapnenci su najvećim dijelom ustrmljeni (Slika 4; MAMUŽIĆ i SOKAČ, 1973). U podlozi plaže Sakarun nalaze se dubokomorski vapnenci konijaka te su u rasjednom

kontakta s naslagama cenoman-turonske starosti (Slika 3). Plaža sadrži dvije vrste sedimenta: šljunak i prilično dobro sortiran pijesak.



Slika 4: Geološki profil Dugog otoka (prema MAMUŽIĆ, 1970). Položaj profila prikazan je na slici 3.

### 3. Pregled dosadašnjih istraživanja

#### 3.1. Tipovi obala i obalni sedimenti istočne strane Jadrana

Prema Pikelj i Juračić (2013) okršena, strma i vrlo razvedena karbonatna obala hrvatskog dijela Jadranskog mora razlog je uske obalne zone. Plaža razvijenih u strmim karbonatnim stijenama ima mnogo, ali su raštrkane, uske i malene i gradi ih uglavnom šljunak. Duge pjeskovite i pjeskovito-šljunkovite plaže razvijene su češće u flišu. Zaliha materijala koji kao sediment dolazi na plažu, kao i način taloženja sedimenta razlikuje se od plaže do plaže i upravo iz tog razloga svaka bi se plaža trebala razmatrati zasebno i na lokalnoj razini.

Kao što je već spomenuto, najveći dio hrvatske obale Jadrana izgrađuju karbonatne stijene (preko 90%). One su podložne okršavanju i djelovanju valovima. Pikelj i Juračić (2013) izdvajaju i opisuju tri karakteristična tipa obale koji se razvijaju u okršenim karbonatnim stijenama. Na kopnu i na otocima prisutne su strme i nepristupačne stjenovite obale – litice. Takve obale nastaju tektonskim pokretima, vertikalnim pomacima duž rasjeda čije pružanje prati pružanje Dinarida. Obale ovog tipa formiraju se na stranama otoka okrenutima prema kopnu, ali i na stranama otoka okrenutima prema otvorenom moru, te na kopnu u obalnoj zoni. Tipičan primjer ovog tipa obale je litica Grpašćak na Dugom otoku (Slika 5a). Takve obale podložne su okršavanju, djelovanju valova i bioeroziji (JURAČIĆ i dr., 2009). Drugi tip obale koji se razvija u strmim karbonatnim stijenama su otkrivene gornje slojne površine vapnenaca koje mogu biti horizontalne ili blago nagnute. Takav tip obale najčešći je na otocima sjeverne Dalmacije, ali nalazimo ga i na raznim drugim otocima (npr. Brijuni) te na kopnu uz more (Slika 5b). Treći tip obale koji se razvija u okršenim karbonatima su brojne, malene plaže koje su najvećim dijelom izgrađene od šljunka karbonatnog porijekla. Šljunkovite plaže mogu se formirati na područjima gdje su karbonati izloženi konstantnom djelovanju valova i koji su djelomice oslabljeni i istrošeni tektonskim pokretima (JURAČIĆ i dr., 2009). Plaža Sakarun ubraja se u takav tip plaže (Slika 5c). Najčešće se razvijaju na južnim stranama otoka koje su okrenute prema moru gdje su podložne konstantnom djelovanju valova koje stvara jugoistočni vjetar (jugo), no prisutne su i na kopnu u obalnom pojasu. Plaže s oblucima i šljunkom mogu se formirati i na mjestima gdje su se tekućice usijecale u karbonatne stijene za vrijeme niske razine mora i taložile sediment u vidu aluvijalnih lepeza (PIKELJ i dr., 2017), a takve plaže nalazimo na otoku Krku (Slika 5d). Uz materijal donesen rijekama ove su plaže prihranjivane i materijalom terigenog porijekla.



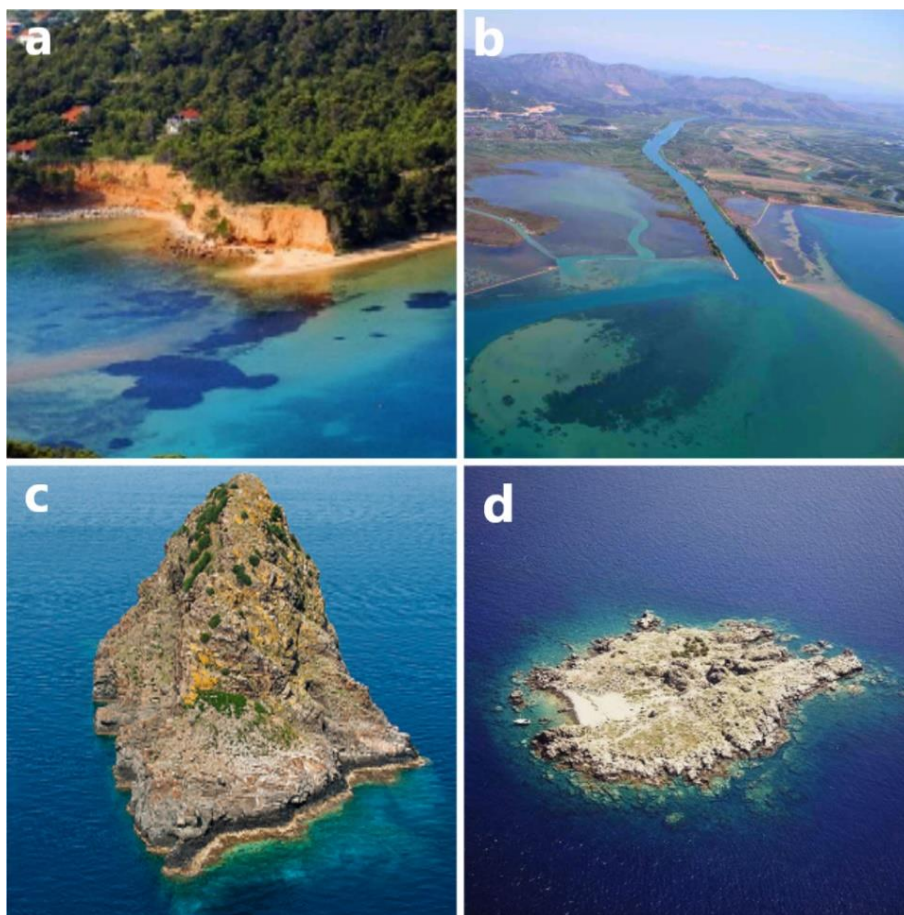
Slika 5: Obale razvijene u strmim karbonatima: a - litica Grpašćak, Dugi otok [URL 7]; b - otkrivene gornje slojne površine vapnenaca, Brijuni [URL 8]; c - plaža Sakarun nastala u tektonski oslabljenom području djelovanjem valova [URL 9]; d - plaža Zala (Krk) nastala fluvijalnim donosom [URL 10].

Obale razvijene u flišu zauzimaju oko 6% obale (PIKELJ i JURACIĆ, 2013). Naslage fliša izmjenjane su lapora, siltita, pješčenjaka i breča, a naslage su male čvrstoće i podložne su trošenju. Većina fliških zona duž obale nalazi se u kanalima koji su potopljeni tijekom posljednje transgresije, a fliške zone na kopnu u obalnom pojasu i na otocima su samo djelomično potopljene. Zbog svog raznolikog sastava naslage fliša troše se nejednoliko. Za razliku od karbonatnih obala, u gotovo svim dijelovima obale koji su izgrađeni u flišu razvijene su plaže. Litice, rtovi i strme obale razvijaju se u pješčenjacima budući da nisu podložni trošenju kao lapori i siltiti u kojima se pojavljuju tokovi sitnozrnatog materijala niz padinu (JURACIĆ i dr., 2009). Vrlo poznati primjer takve obale u Jadranu je litica Strunjan u Sloveniji (Slika 6a). Nastanak zaljeva, kao što je Lopar na Rabu (Slika 6b), pjskovitih, muljevitih i šljunkovitih plaža u naslagama fliša (siltita i lapora), kontroliran je samim sastavom fliša, veličinom zrna i izloženosti obali erozivnom djelovanju valova. Takve izdužene obale pojavljuju se okomito na pružanje Dinarida. Za nastanak šljunkovitih obala važan izvor materijala su breče i konglomerati koje prerađuju valovi (PIKELJ i JURACIĆ, 2014).



Slika 6: Fliške obale: a - litica Strunjan, Slovenija [URL 11]; b - zaljev Lopar razvijen u flišu [URL 12].

Uz karbonatne stijene i fliš duž obale Jadrana razvijeni su i razni manje zastupljeni oblici obala. Pjeskovite ili šljunkovite plaže formiraju se na mjestima gdje izdanjuju naslage pliocenske i pleistocenske starosti. Te naslage mogu biti izgrađene od breča, pijeska, šljunka, pjeskovitog praha ili sedimenta nalik lesu, a materijal je donesen rijekama ili eolskim putem (BANAK i dr., 2021). Takav primjer obale nalazi se na otoku Vrgadi gdje na njegovom sjevernom dijelu u vidu litica izdanjuju pleistocenske naslage (BANAK i dr., 2021). Trošenjem litice u njenom podnožju formirala se pješčana plaža (Slika 7a). Recentne pjeskovite obale nastaju na mjestima gdje rijeke talože pijesak i silt (BABIĆ i dr., 2019). Rijeke iz zaleđa donose i mulj te se njegovo taloženje odvija u estuarijima čime nastaju muljevite i močvarne obale. Krških rijeka koje donose značajne količine sedimenta nema mnogo, a materijal se najčešće zadržava na ušću rijeke. Iznimka je rijeka Neretva (Slika 7b) koja u usporedbi s ostalim krškim rijekama donosi značajne količine sedimenta koji se taloži dalje od ušća (PIKELJ i FURČIĆ, 2020). Najrjeđi oblik obale grade magmatske stijene, a njih možemo pronaći samo na dva otočića u Jadranu – Jabuci (Slika 7c) i Brusniku (Slika 7d). Na otoku Visu razvijene su uvale s pjeskovitim plažama unutar piroklastita (PIKELJ i JURAČIĆ, 2013).



Slika 7: Manje zastupljeni oblici obala: a – otok Vrgada [URL 13]; b - ušće Neretve s kvartarnim pijescima [URL 14]; c – Jabuka [URL 15] i d - Brusnik [URL 16] kao primjeri magmatskih obala.

S obzirom na to da je najveći dio istočne obale Jadrana strm i stjenovit plaže su najvećim dijelom malenih dimenzija i vrlo su raštrkane te će one najčešće biti građene od šljunka. Dakle, pjeskovite plaže na istočnoj strani Jadrana nisu česte, a građene su uglavnom od pijeska terigenog porijekla (trošenjem naslaga fliša ili taloženjem sedimenta donesenog rijekama).

### 3.2. Sedimenti istočno-jadranskog šelfa

Prema Pikelj (2010) izrazita razvedenost i velik broj otoka razlog su velikog broja taložnih okoliša na istočno-jadranskom šelfu. Sedimenti koji se talože na dnu mješavina su više granulometrijskih frakcija. Istočno-jadranski šelf okarakteriziran je kao neravnotežni miješani karbonatno-siliciklastični šelf u kojem se miješa materijal različitog porijekla (biogen ili terigen materijal), sastava (karbonatan ili siliciklastičan materijal) i starosti

(recentan ili subrecentan materijal). Sediment koji se taloži uglavnom je mješavina pijeska sa šljunkom i muljem u različitim omjerima. Brzina sedimentacije, bioturbacija te slab terigen donos materijala uzrok su izmiješanosti sedimenata istočno-jadranskog šelfa. Pijesak i šljunak u najvećoj se mjeri sastoje od biogenih karbonatnih čestica dok u sastavu muljeva prevladava siliciklastičan terigeni materijal. Raspored sedimenta u najvećoj se mjeri uvjetovan djelovanjem valova dok su utjecaji morskih struja i struja plime i oseke od manjeg značaja. Krupno-zrnaste frakcije koje izgrađuju biogeni karbonatni materijal talože se na svim dubinama ispod i iznad valne baze. Sitno-zrnaste frakcije koje gradi siliciklastičan materijal uglavnom je resuspendiran i istaložen u dubljem moru ispod valne baze (PIKELJ, 2010; PIKELJ i dr., 2016).

Karbonatna komponenta u najvećoj se mjeri biogenog porijekla, a zastupljena je u šljuncima i pijescima. Udio karbonata u sedimentima kreće se u rasponu od 6 do 99,8 %, a prosjek iznosi 61,4 %. Njen udio u sedimentima povećava se od otvorenog mora prema kopnu, a najveći je u dijelovima gdje nema donosa terigenog materijala. Karbonatna komponenta dominantno se sastoji od niskomagnezijskog kalcita, a u manjoj mjeri od aragonita i visikomagnezijskog kalcita. Biogena karbonatna komponenta recentnog je postanka dok su abradirani i obojeni bioklasti relikti. U sedimentima prevladavaju ljuštore školjkaša, puževa, mahovnjaka, crvenih algi i foraminifera, dok su u manjoj mjeri prisutni ostatci bodljikaša, člankonožaca, spužvi i kolutićavaca. S obzirom na to tri su skeletne zajednice koje nalazimo u sedimentima istočno-jadranskog šelfa: foramol, briomol i rodalgal zajednica. One su karakteristične za karbonate koji nastaju izvan tropskog pojasa. Foramol zajednica prevladava u sitno-zrnastim frakcijama u obalnim područjima. Briomol zajednicu nalazimo u krupnijim frakcijama, a rodalgal zajednicu u području otvorenog mora (PIKELJ, 2010).

Siliciklastična komponenta koja se taloži na istočno-jadranskom šelfu terigenog je porijekla, a sastavljena je dominantno od kvarca, no uz kvarc prisutni su i muskovit i klorit dok su minerali serije plagioklasa te grupe amfibola i piroksena podređeni. Njen udio u sedimentima kreće se u rasponu od 0,19 do 94,04 %. Siliciklastičnu komponentu dominantno nalazimo u sitno-zrnastim frakcijama u otvorenom moru (PIKELJ, 2010). Fliške naslage priobalja i otoka izvor su siliciklastičnog materijala. Recentne naslage siliciklastičnog materijala nastaju donosom krških rijeka i od lokalnog su značaja ili su rezultat priobalne erozije, abrazije i denudacije fliških i asociranih kvartrnih naslaga (PIKELJ, 2010; BANAK i dr., 2021; PIKELJ i FURČIĆ, 2020). Dio siliciklastične komponente sedimenta je,

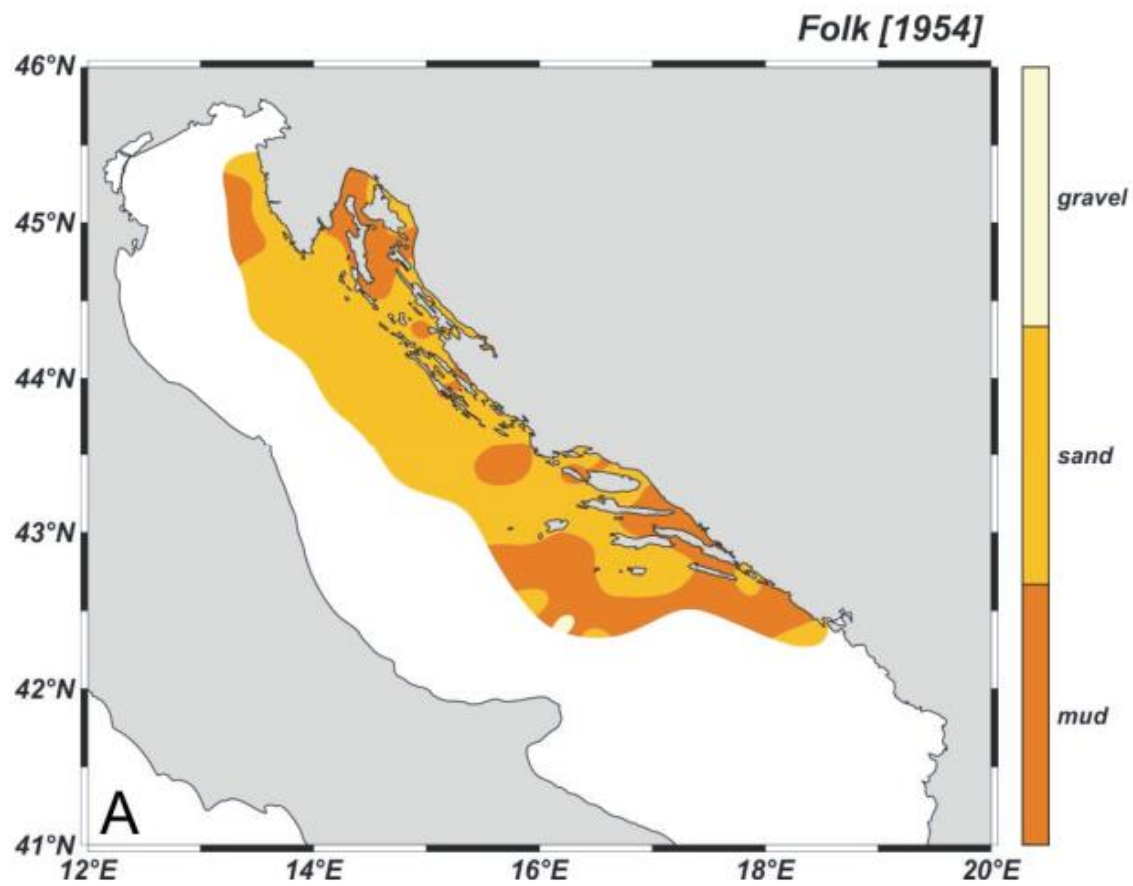


pretpostavlja se, mogao nastati erozijom danas potopljenih fliških naslaga rijekama za vrijeme niske razine mora, tijekom posljednjeg glacijala. U krupno-zrnastoj frakciji nalazimo samo mali dio siliciklastičnog materijala, a radi se najčešće o reliktnom kvarcnom pijesku.

U najvećoj mjeri dno istočnog dijela Jadrana prekrivaju pijesci (čak 60 %), a najviše se talože u otvorenom moru jugozapadno od Kvarnera i otoka sjeverne, srednje i južne Dalmacije (Slika 8). Pijesak u najvećoj mjeri čine bioklasti. U krupnijim frakcijama nalaze se ljušture i fragmenti mekušaca i mahovnjaka, dok se u sitnijim povećava udio foraminifera i fragmentiranost ljuštura i skeleta raznih organizama (fragmentiranost je posljedica bioerozije). Uz bioklaste u frakcijama pijeska prisutni su i karbonatni litoklasti te nekarbonatna zrna (kvarc) čiji oblik i boja variraju. Kvarc potječe od terigenih reliktnih pijesaka koji su taloženi tijekom niže razine mora na aluvijalnim ravninama te su rijekama doneseni u Jadransko more i tamo naposljetku i istaloženi. Valovi nemaju veliku ulogu u transportu pijeska već oni doprinose vrlo dobroj sortiranosti – oni odnose sitno-zrnaste čestice prema dubokovodnom području (PIKELJ, 2010).

Muljevi čine 38,9 % sedimenta, a talože se ispred obale Istre i u dubokovodnom području, daleko od obale (Slika 8). U muljevima je najzastupljeniji prah. Muljevi su uglavnom terigenog porijekla, a nastaju trošenjem fliških naslaga ili su doneseni rijekama (PIKELJ, 2010; BANAK i dr., 2021; PIKELJ i FURČIĆ, 2020). Taloženje muljeva odvija se iz suspenzije.

Gotovo u potpunosti šljunkoviti morski sediment se taloži primjerice u blizini Palagruže, a njegov je udio u ukupnom površinskom sedimentu Jadrana tek 1,1 % (Slika 8). Dominantno je biogenog porijekla, a prisutni su i reliktni litoklasti (karbonatne valutice pločastog ili zaobljenog oblika). Šljunak se obično nalazi u pijesku ili mulju, a njegov udio ovisi o rasprostranjenosti organizama koji ga grade (PIKELJ, 2010; PIKELJ i JURAČIĆ, 2014).



Slika 8: Sedimenti morskog dna istočnog Jadrana (PIKELJ i JURAČIĆ, 2014). Tamno narančasta boja na karti označava mulj, svijetlo narančasta pijesak, a svijetlo žuta šljunak.

## 4. Materijali i metode

### 4.1. Uzorkovanje

Uzorci SAH 1, SAH 4 i SAH 7 koji su analizirani u sklopu ovog završnog rada uzorkovani su na plaži Sakarun na Dugom otoku u okviru znanstvenog istraživanja unutar projekta POSBEMED2 koje se provodi na plaži Sakarun, kako bi se zaštitila od prevelikog gubitka sedimenta uslijed uklanjanja naslaga morske cvjetnice posidonije. Uzorci su uzeti s tri profila u plimnoj zoni, a ustupila ih je doc. dr. sc. Kristina Pikelj (Slika 9). Sediment je uzorkovan metalnom lopaticom do dubine od 10 cm direktno u posudu za čuvanje sedimenta. Sediment je osušen na zraku, nakon čega je podvrgnut analizama.



Slika 9: Lokacije uzorkovanja pjeskovite frakcije na plaži Sakarun.

## 4.2. Laboratorijske metode

### 4.2.1. Granulometrijska analiza mokrim sijanjem

Granulometrijski sastav triju uzoraka određen je metodom mokrog sijanja u laboratoriju Geološko-paleontološkog zavoda Geološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu. Metoda mokrog sijanja pogodna je za sve čestice čiji je promjer zrna veći od 0,063 mm, dok se za sitnije čestice koristi sedigraf. Prije sijanja izvagano je 150 g suhog uzorka koji je zatim razmućen u destiliranoj vodi. Razmućeni uzorak prosijan je kroz set od 7 Retsch® ASTM laboratorijskih sita uz pomoć tresilice Fritsch Analysette® (Slika 10). Korištena su sita s promjerima otvora od 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm te 0,063 mm (granice od sitnog šljunka do vrlo sitnog pijeska). Tijekom sijanja, za postizanje čim boljih i točnijih rezultata, sita je potrebno često i temeljito ispirati destiliranom vodom kako sitnije frakcije ne bi zaostajale u otvorima sita i u krupnijim frakcijama. Nakon sijanja na svakom situ zaostaje frakcija određene veličine. Svaka frakcija zaostala na situ ispiranjem destiliranom vodom premještena je u staklene posudice za kristalizaciju. Dekantiranjem je izdvojen višak vode iz staklenih posudica, a sediment je stavljen na sušenje. Postupak je ponovljen za svaku frakciju zaostalu na sitima. Nakon sušenja svaka frakcija je izvagana kako bi se izračunao maseni udio svake frakcije u uzorku, a izvagani i osušeni uzorci svake frakcije spremljeni su u papirnate vrećice te su kasnije pregledani pod mikroskopom.



Slika 10: Tresilica i set sita za mokro sijanje

### 4.2.2. Udio karbonatne komponente

Udio karbonatne komponente u uzorcima određen je na Scheiblerovoj aparaturi u laboratoriju Mineraloško-petrografskog zavoda Geološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu. Ovom metodom određuje se volumni udio ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>) koji nastaje pri otapanju karbonata u klorovodičnoj kiselini (HCl).

Uzorak svakog profila u drobilici Fritsch Pulverisette® usitnjeni je u prah u intervalima od 15 minuta. Prije određivanja udjela karbonatne komponente u samim uzorcima izmjeren je standard (čisti CaCO<sub>3</sub>, Pro analysis, Kemika). Na analitičkoj vagi odvagano je 300 mg standarda u malenim plastičnim posudicama. Odvagani standard iz plastične čašice usipan je u Erlenmeyerovu tikvicu (uz minimalnu količinu destilirane vode koja je bila potrebna za ispiranje čašice od uzorka). U Erlenmeyerovu tikvicu dodano je 5 ml 37%-tne HCl razrijeđene destiliranom vodom u omjeru 1:1 u posebnoj plastičnoj čašici kako ne bi došlo do miješanja kiseline sa standardom. Nakon kiseline u tikvicu se ubacio maleni magnetić, a tikvica je čvrsto zatvorena gumenim čepom i stavljena na magnetnu mješalicu. Uz pomoć magnetne mješalice, u Erlenmeyerovoj tikvici, tijekom 5 minuta 300 mg standarda reagiralo je s HCl-om. Za vrijeme reakcije razvijao se plin CO<sub>2</sub>. Nakon 5 minuta njegov se volumen izmjerio i očitao (u ml). Maseni udio karbonata izračunao se prema formuli:

$$\%CaCO_3 = \frac{ml\ CO_2 \cdot F_{T,P} \cdot 2,274 \cdot 100}{mg\ standarda}$$

gdje je  $F_{T,P}$  vrijednost koja se očitala iz tablice (ÖNORM L 1084, 1989), a ovisi o tlaku i temperaturi prostora u kojem se mjerenje provodilo. Na isti način određivao se i računao udio karbonata u uzorcima sedimenta. Za standard i svaki uzorak mjerenje se radilo dva puta, a odstupanje rezultata dvaju mjerenja nije prelazilo 3 %. Kao konačna vrijednost udjela karbonatne komponente u uzorcima uzeta je aritmetička sredina dobivenih rezultata.

### 4.2.3. Metoda difrakcije rendgenskih zraka na prahu (XRPD)

Ova metoda temelji se na činjenici da se rendgenske zrake raspršuju u interakciji s pravilnom strukturom (kristalnom rešetkom minerala). Ravnine kristalne rešetke ponavljaju se na udaljenostima koje odgovaraju valnoj duljini rendgenskih zraka, a pritom ne dolazi do promjene valne duljine primarnog zračenja. Difrakcija je interferencijsko pojačanje

raspršenog zračenja, a do nje dolazi ako je razlika u hodu između raspršenih zraka susjednih mrežnih ravnina jednaka cijelom broju valnih duljina. Uvjet za rendgensku difrakciju izražen je Braggovim zakonom:

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

gdje vrijedi:

$n$  – 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

Mineralni sastav određivao se na 3 uzorka (SAH 1, SAH 4 i SAH 7) koji su prethodno zdrobljeni u prah u drobilici Fritsch Pulverisette®. Dobiveni praškasti uzorak je polikristaliničan zbog mnogo sitnih čestica orijentiranih u svim smjerovima, zbog čega je vjerojatnost zadovoljavanja Braggovog zakona veća. Usitnjeni sediment stavio se na aluminijski nosač, a zatim se tako pripremljen uzorak stavio u difraktometar. Svaki uzorak sniman je 10 minuta. Difrakcijski su podaci prikupljeni difraktometrom za prah Philips PW 3040/60 X'Pert Pro, a analiza rendgenograma napravljena je u programu X'Pert HighScore Plus.

#### 4.2.4. Mikroskopska analiza sedimenta

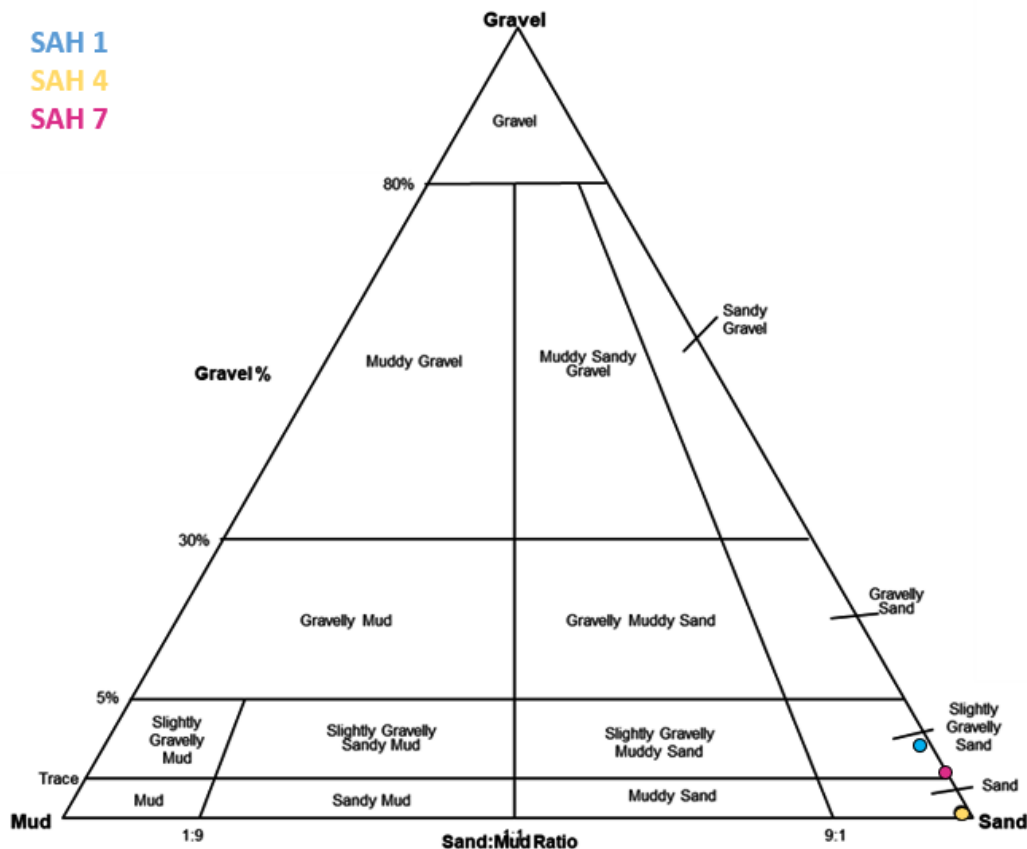
Fracije svih uzoraka u rasponu od vrlo sitnog pijeska do sitnog šljunka koje su izdvojene mokrim sijanjem pregledane su pod mikroskopom te fotografirane. Cilj je bio prepoznati okvirni udio, odnosno dominaciju skeletnih i neskeletnih zrna (bioklasta i litoklasta) te njihov oblik i očuvanost kako bi se odredilo porijeklo sedimenta. Bioklasti su, ukoliko je to bilo moguće, taksonomski određeni na razini koljena ili razreda. Mikroskopiranje je odrađeno na Mineraloško-petrografskom zavodu Geološkog odsjeka na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu.

## 5. Rezultati

### 5.1. Rezultati granulometrijske analize

Granulometrijskom analizom triju uzoraka (SAH 1, SAH 4 i SAH 7) dobiveni su podaci o vrsti sedimenta, srednjoj i prosječnoj veličini zrna te sortiranost sedimenta koji su sumirani u Tablici 1 na kraju ovog potpoglavlja. Rezultati su obrađeni u statističkom paketu Gradistat (BLOTT i PYE, 2001) i prikazani su grafički: Folkovim (1954) trokomponentnim dijagramom šljunak-pijesak-mulj, histogramima te krivuljom učestalosti.

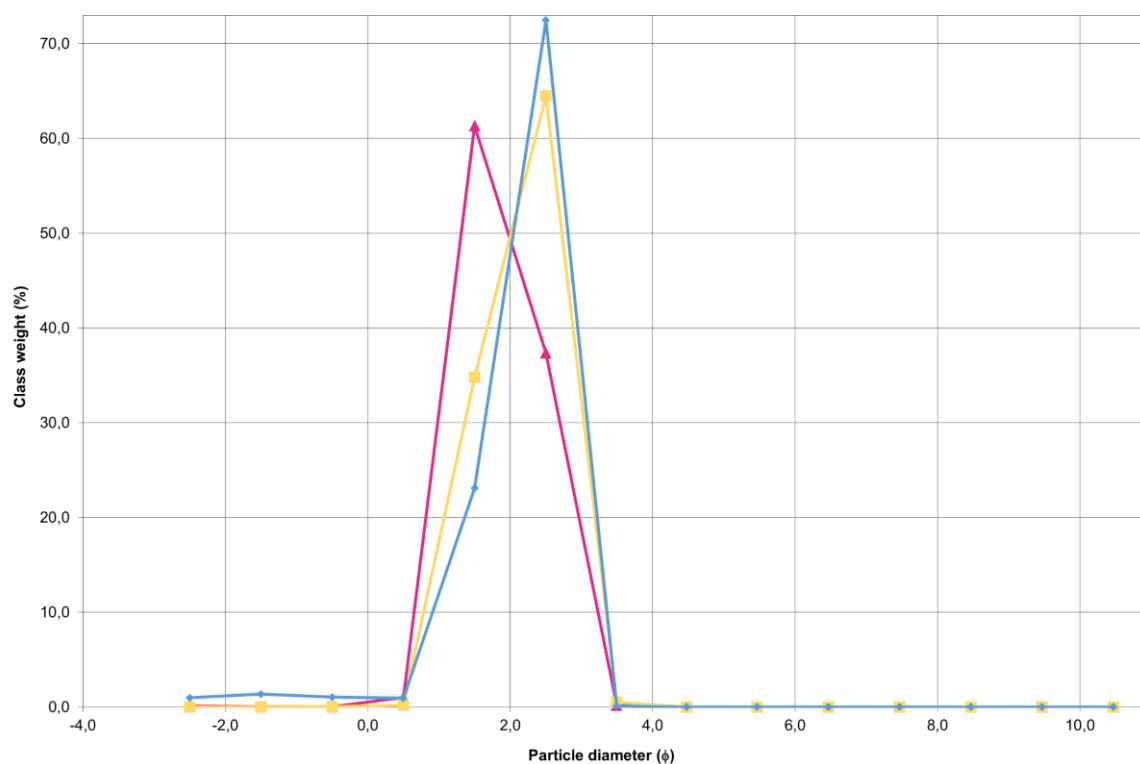
Svi analizirani uzorci određeni su kao pijesak. Muljevita frakcija u potpunosti izostaje iz svih uzoraka dok je šljunak prisutan u vrlo maloj količini u dva uzorka: SAH 1 i SAH 7. U frakciji pijeska u sva tri uzorka najzastupljeniji su sitno-zrnasti i srednje-zrnasti pijesak. Uzorci SAH 1 i SAH 7 određeni su kao slabo šljunkoviti pijesci, a SAH 4 kao pijesak. Navedeni podaci za svaki uzorak prikazani su u Folkovom (1954) trokomponentnom dijagramu šljunak-pijesak-mulj (Slika 11), dok Folkov (1954) trokomponentni dijagram pijesak-prah-glina nije korišten zbog toga što frakcije praha i gline u potpunosti izostaju iz uzoraka.



Slika 11: Folkov trokomponentni dijagram za uzorke SAH 1, SAH 4 i SAH 7.

Srednja veličina zrna ( $D_{50}$ ) za uzorak SAH 1 iznosi 2,312  $\phi$ , za uzorak SAH 4 iznosi 2,232  $\phi$ , a za uzorak SAH 7 iznosi 1,797  $\phi$ . Prema Folku i Wardu (1957), prosječna veličina zrna ( $\bar{\chi}$ ) uzoraka SAH 1 (2,199  $\phi$ ) i SAH 4 (2,149  $\phi$ ) odgovara sitno-zrnastom pijesku dok prosječna veličina zrna uzorka SAH 7 (1,872  $\phi$ ) odgovara srednje-zrnastom pijesku.

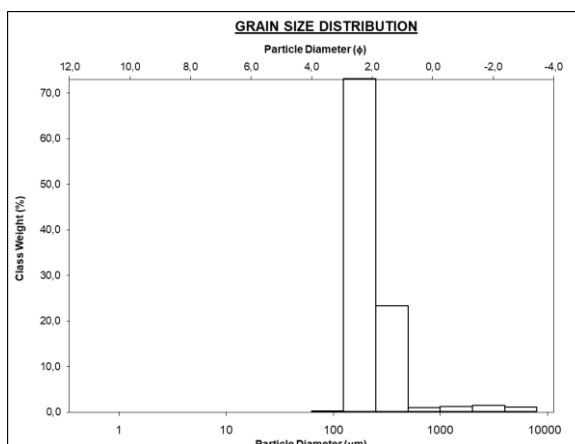
Sortiranost ( $\sigma$ ) sva tri analizirana sedimenta je jednaka, a vrijednosti su brojčano vrlo slične. Prema Folku i Wardu (1957) sve tri brojčane vrijednosti nalaze se u rasponu od 0,50 do 0,70  $\phi$  pa su prema tome sva tri uzorka umjereno dobro sortirana. Sortiranost svakog uzorka grafički je prikazana krivuljama učestalosti (Slika 12). Na ordinati se nalazi udio pojedine frakcije u uzorku (%), a na apscisi se nalazi veličina zrna ( $\phi$ ).



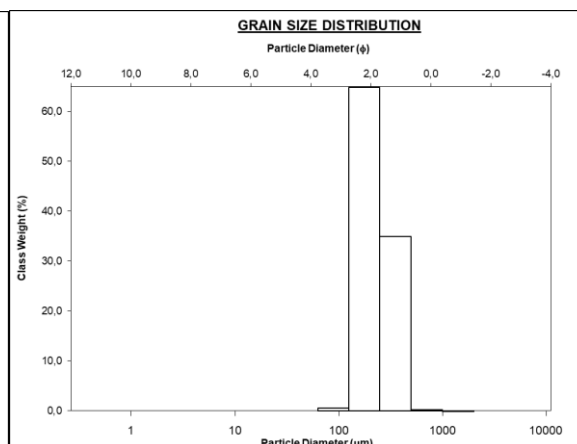
Slika 12: Krivulje učestalosti za uzorke SAH 1, SAH 4 i SAH 7. Uzorak SAH 1 označen je plavom bojom, SAH 4 žutom bojom, a SAH 7 ružičastom bojom.



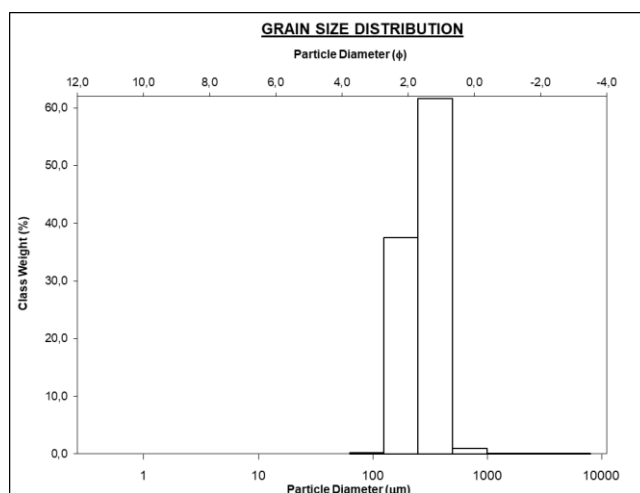
Histogramima je također prikazan udio pojedinih frakcija u ispitanim uzorcima (Slike 13, 14 i 15). Na ordinati se nalazi maseni udio frakcije u uzorku (%), a na apscisi se nalazi veličina čestica ( $\phi$ ).



Slika 13: Histogram uzorka SAH 1.



Slika 14: Histogram uzorka SAH 4.



Slika 15: Histogram uzorka SAH 7.

Tablica 1: Granulometrijske karakteristike svih uzoraka (Š - šljunak, P - pijesak,  $D_{50}$  - srednja veličina zrna,  $\bar{\chi}$  - prosječna veličina zrna,  $\sigma$  - sortiranost).

Uzorak	Š (%)	P (%)	$D_{50}$ ( $\phi$ )	$\bar{\chi}$ ( $\phi$ )	$\sigma$ ( $\phi$ )	Vrsta sedimenta
SAH 1	2,4	97,7	2,312	2,199	0,607	Slabo šljunkoviti pijesak
SAH 4	/	100	2,232	2,149	0,598	Pijesak
SAH 7	0,1	99,9	1,797	1,872	0,608	Slabo šljunkoviti pijesak

## 5.2. Rezultati određivanja udjela karbonatne komponente

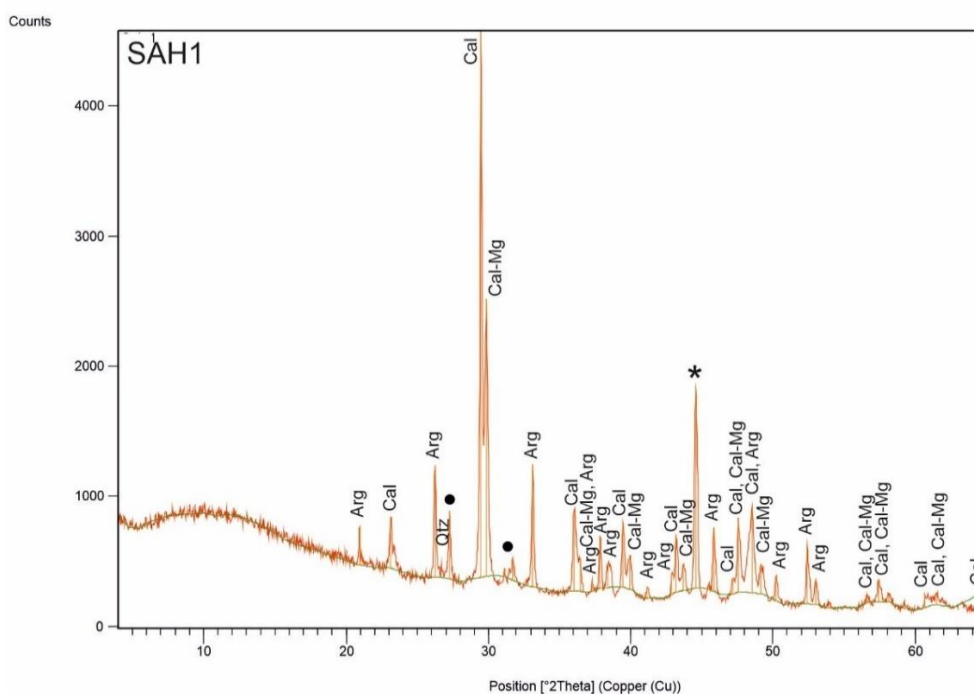
Rezultati određivanja udjela karbonatne komponente pokazali su da su sva tri uzorka iznimno bogata karbonatnom komponentom (tablica 2). Prosječan udio karbonatne komponente u ispitanim uzorcima iznosi 98,42 %.

Tablica 2: Udio karbonatne komponente pojedinog uzorka.

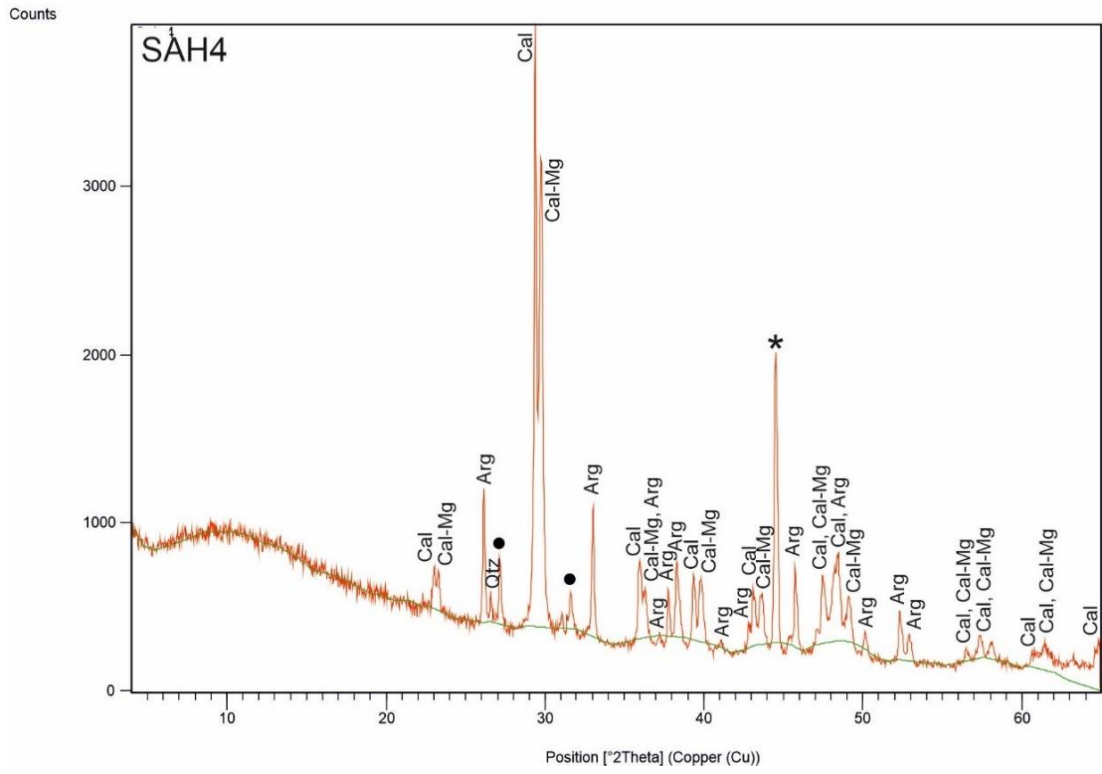
Uzorak	CaCO <sub>3</sub> (%)
SAH 1	96,34
SAH 4	99,63
SAH 7	99,28

## 5.3. Rezultati difrakcije rendgenskih zraka na prahu

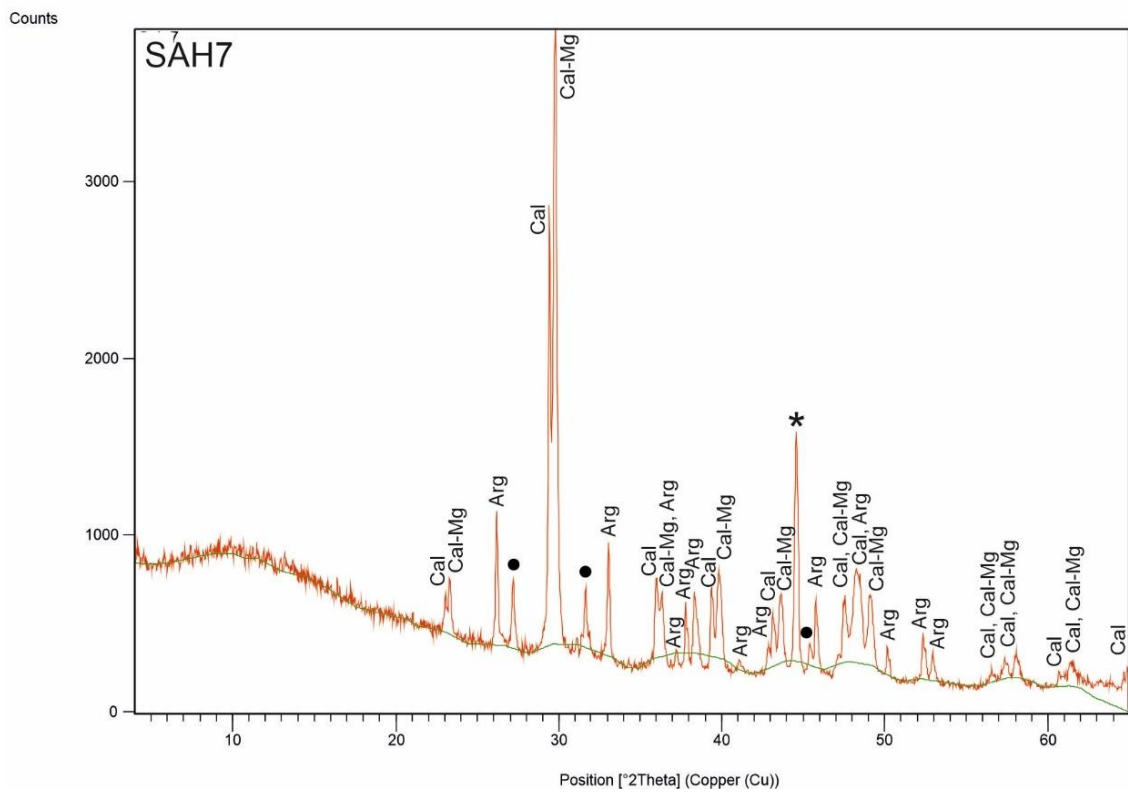
Difrakcija rendgenskih zraka na prahu pokazala je prisutne minerale u analiziranim uzorcima sedimenta (Slike 16, 17 i 18). Ustanovljeno je da su prisutni minerali kalcit (Cal), magnezijски kalcit (Cal-Mg), aragonit (Arg) i kvarc (Qtz), a detektiran je i halit (koji je označen crnom točkom). Detektirani aluminijski nosač u rendgenogramu je označen zvjezdicom. Svi uzorci sadrže navedene minerale s iznimkom uzorka SAH 7 u kojem nije detektiran kvarc.



Slika 16: Rendgenogram uzorka SAH 1.



Slika 17: Rendgenogram uzorka SAH 4.



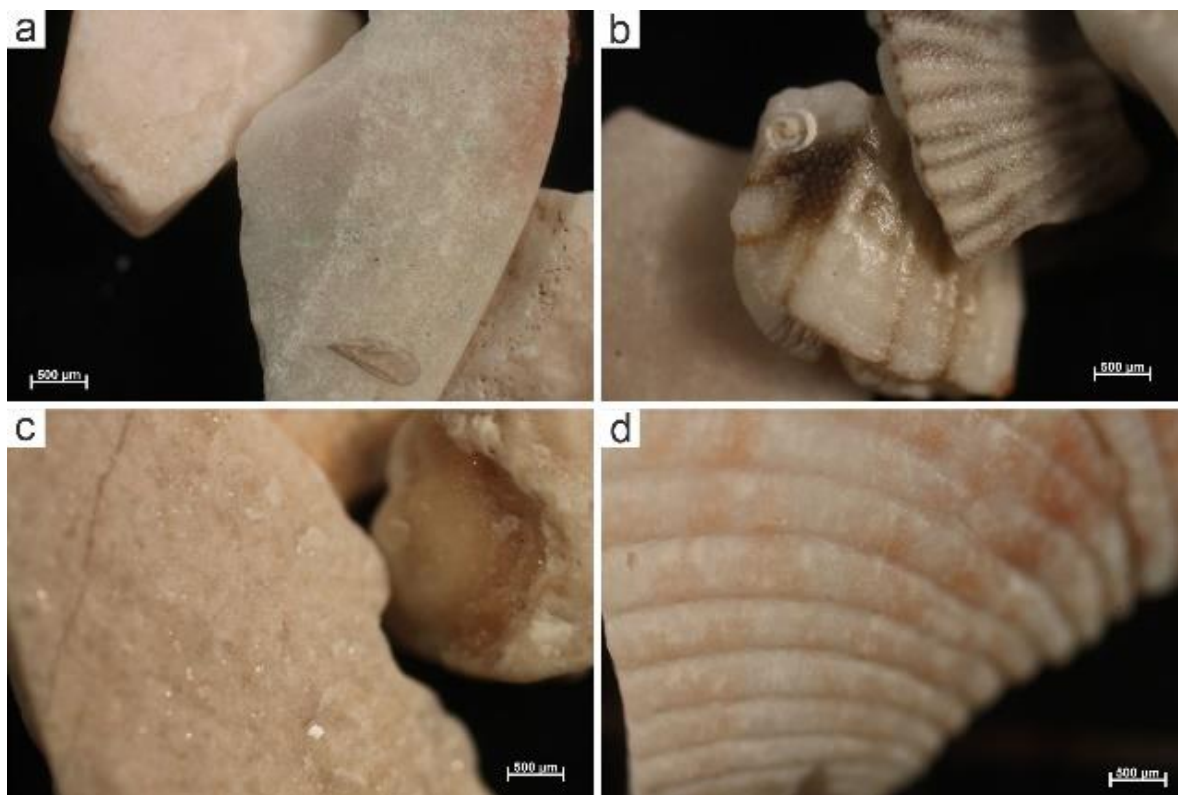
Slika 18: Rendgenogram uzorka SAH 7.

## 5.4. Rezultati mikroskopske analize sedimenta

Mikroskopskom analizom utvrđeno je da sediment uzoraka u najvećoj mjeri grade bioklasti dok su litoklasti rjeđe prisutni. Skeleti organizama uglavnom su fragmentirani te nije bilo moguće uvijek točno odrediti kojim organizmima pripadaju, a samo neke su ljušturice očuvane u potpunosti. Na temelju prepoznatih očuvanih ljušturica zaključeno je da frakciju pijeska gradi foramol zajednica organizama (dominiraju foraminifere i mekušci uz prisutnost mahovnjaka).

### 5.4.1. Frakcija vrlo sitnog šljunka (2-4 mm)

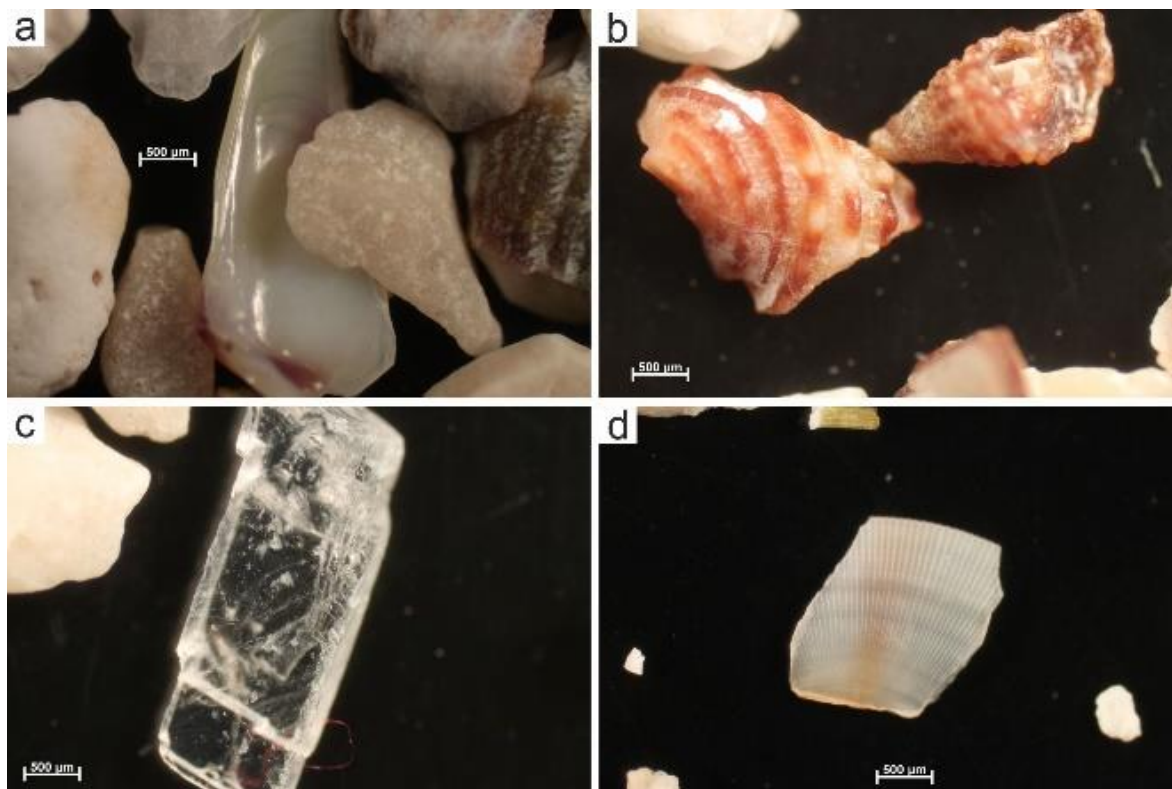
Frakcije šljunka javljaju se u uzorcima SAH 1 i SAH 7, dok u uzorku SAH 4 one izostaju. U najkrupnijim česticama analiziranih uzoraka pojavljuju se fragmentirane ljušture školjkaša (slika 19b i 19d) te fragmenti stijena (slika 19a i 19b).



Slika 19: Frakcija vrlo sitnog šljunka (2-4 mm); a i b - fragmenti stijena; b i d - fragmenti ljuštura školjkaša (na b vidljiv serpulid na fragmentu ljušture školjkaša).

### 5.4.2. Frakcija vrlo krupnog pijeska (1-2 mm)

Frakcija vrlo krupnog pijeska gotovo je identična frakciji sitnog šljunka. Također su uočeni fragmenti stijena terigenog porijekla (slika 20a), fragmentirani ostatci puževa (Slika 20b) i školjkaša (20a i 20d), a uočeno je i zrno čistoga kalcita (Slika 20c). Također su pronađene niti mikroplastike (Slika 20c).

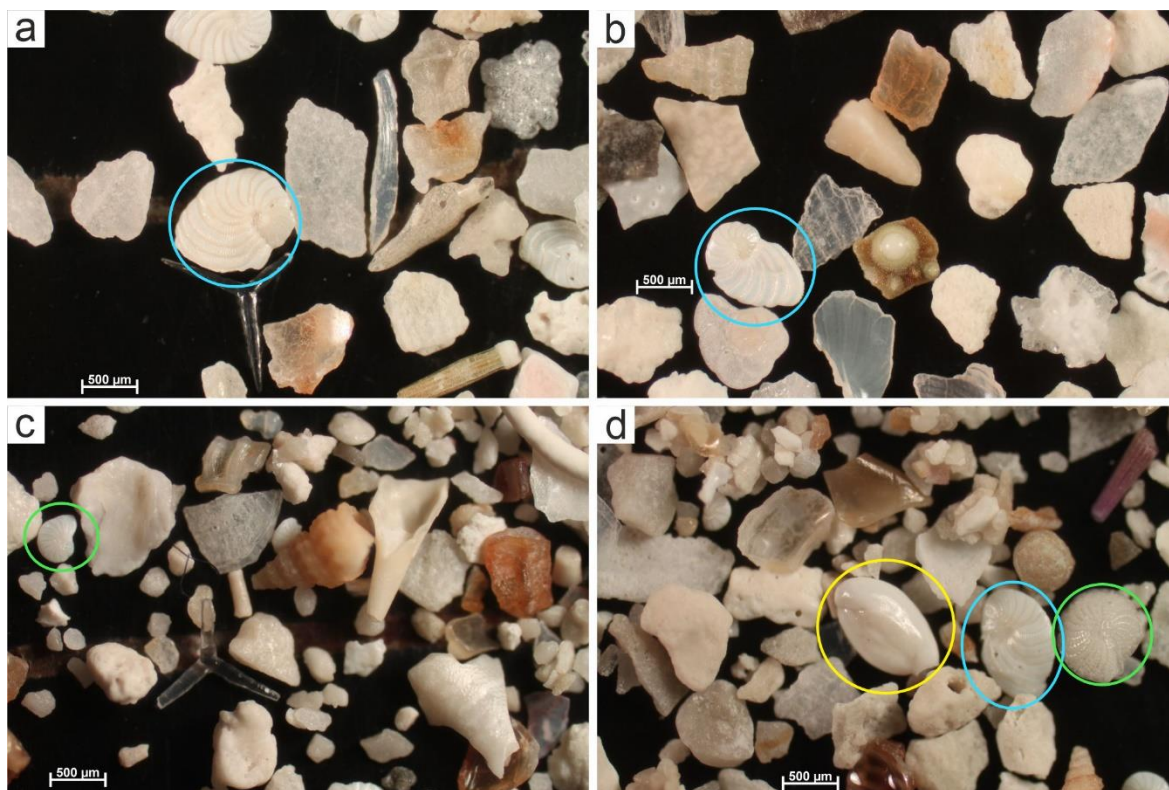


Slika 20: Frakcija vrlo krupnog pijeska (1-2 mm): a - fragment ljuštore školjkaša u sredini i fragmentirane stijene; b - fragmenti kućica puževa; c - zrno kalcita (pretpostavljeno) i nit mikroplastike; d – fragment ljuštore školjkaša.

### 5.4.3. Frakcija krupnog pijeska (0,5-1 mm)

U frakciji krupnog pijeska prevladavaju bioklasti. Uočava se prva pojava foraminifera koje su dobro očuvane ili fragmentirane. Identificirani su rodovi *Elphidium* (slika 25c i 25d) i *Peneroplis* (slika 21a, 21b i 21d) te miliolide (slika 21d). Također su prisutni fragmenti ljuštura školjkaša i kućica puževa, a neke kućice puževa dobro su očuvane. U sedimentu su pronađeni i fragmenti ježinaca i njihove bodlje koje su fragmentirane ili dobro očuvane. U ovoj frakciji pronađeni su i fragmenti serpulida, mahovnjaka te spikule organizama. Litoklasti se pojavljuju u manjoj mjeri, a uočena su i aglutinirana zrna sagrađena od sitnijih

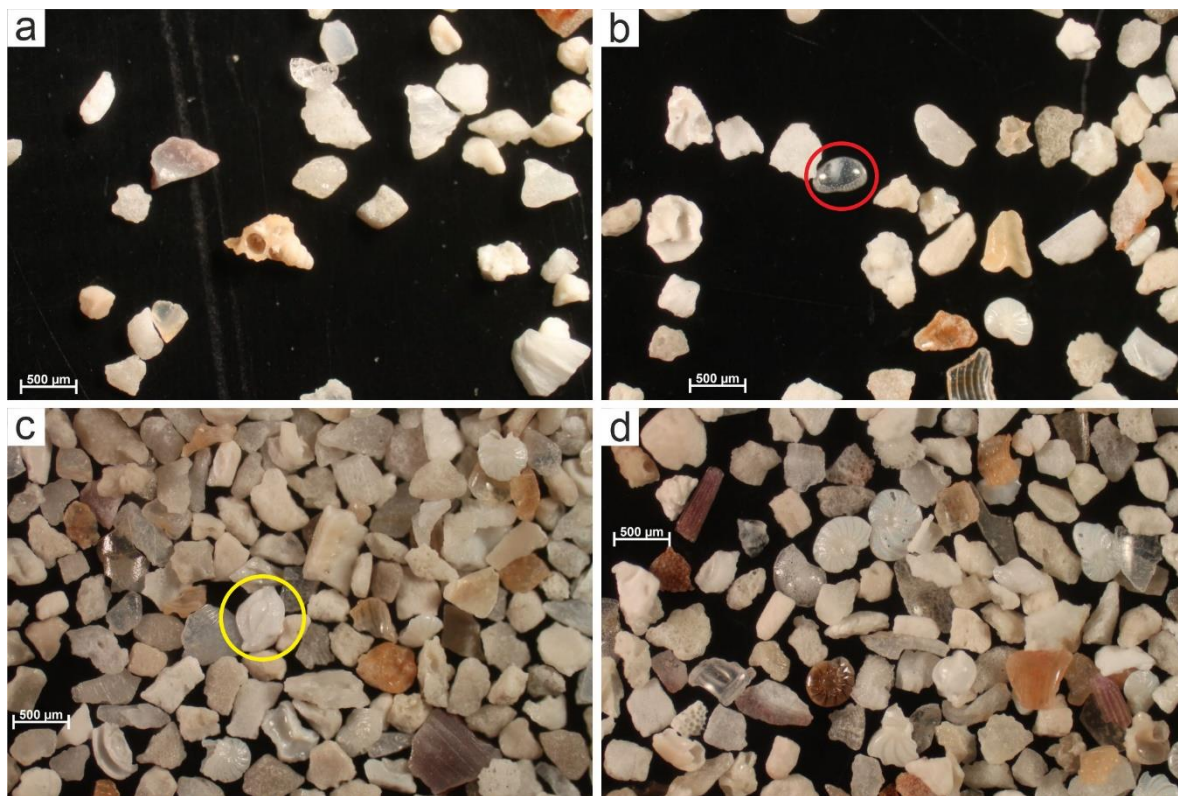
zrna pijeska (Slika 21c i 21d). Tijekom prosijavanja aglutinirana su zrna demontirana, nakon čega su sitnija zrna fotografirana zasebno.



Slika 21: Frakcija krupnog pijeska (0,5-1 mm): *Peneroplis* (a, b, d) je zaokružen plavom bojom, miliolida (d) zaokružena žutom bojom, *Elphidium* (c,d) zaokružen zelenom bojom, spikule (a, c), fragmenti skeleta i bodlje ježinaca (a, b, d), mahovnjaci (a), kućice puževa (c), aglutinirana zrna (c i d), bioklasti, litoklasti.

#### 5.4.4. Frakcija srednje-zrnastog pijeska (0,25-0,5 mm)

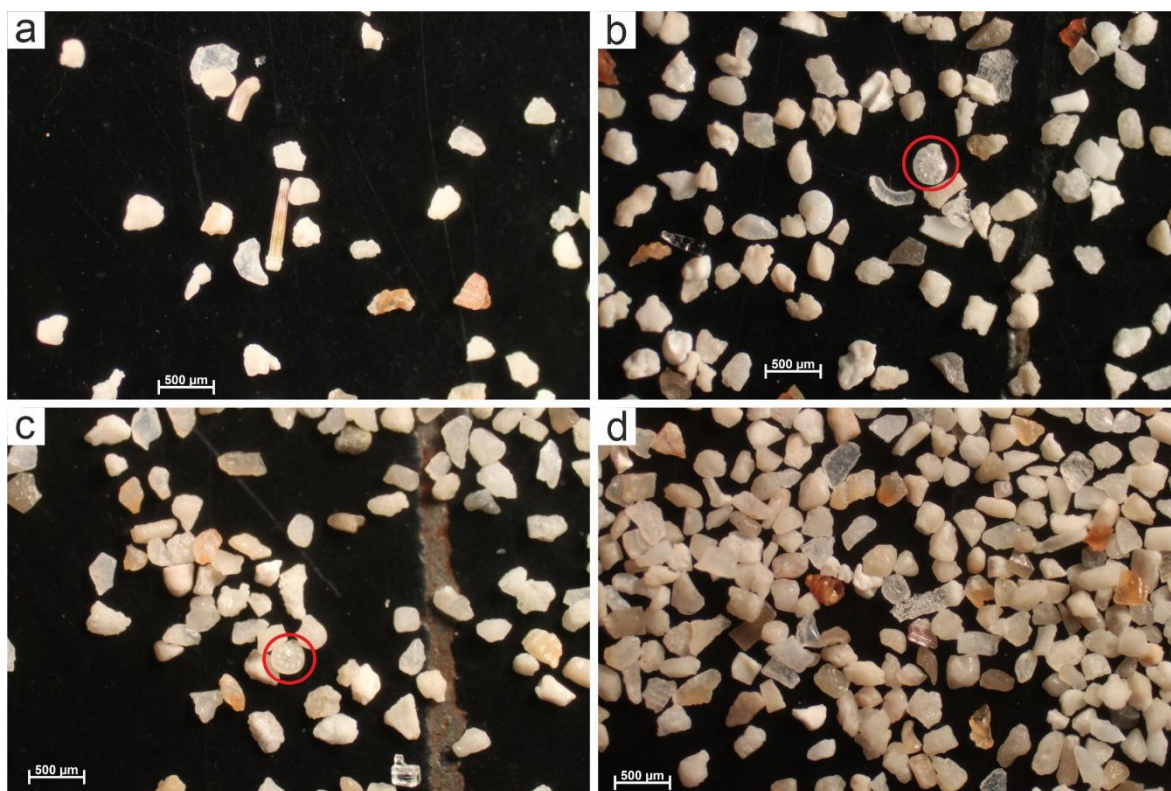
Čestice koje grade frakciju srednje-zrnastog pijeska vrlo su fragmentirane. Uglavnom su to bioklasti. Identificirani su fragmentirani skeleti puževa i školjkaša (Slika 22a i 22b), mahovnjaka te bodlje ježinaca i spikule organizama. Od foraminifera prepoznate su miliolide (Slika 22c) i one roda *Peneroplis*, a uočeni su i ostatci ostrakoda (Slika 22b) i mnogočetinaša iz roda *Spirorbis*. Frakcija srednje-zrnastog pijeska prikazana je na slici 22.



Slika 22: Frakcija srednje-zrnastog pijeska (0,25-0,5 mm); a - kućica puža; b - skelet ostrakoda zaokružen crvenom bojom; c – miliolida zaokružena žutom bojom; d - ostatci foraminifera i mahovnjaka.

#### 5.4.5. Frakcija sitnog pijeska (0,125-0,25 mm)

U frakciji sitnog pijeska dominiraju fragmentirane ljuštore raznih organizama te ih nije bilo moguće točno odrediti. Prepoznate su razne foraminifere roda *Rosalina* (Slika 23b i 23c), kućice puževa (Slika 23d) te njihovi fragmenti, fragmenti školjkaša i mahovnjaka (Slika 23d), bijeli štapićasti ostatci serpulida, spikule i bodlje drugih organizama (Slika 23a).

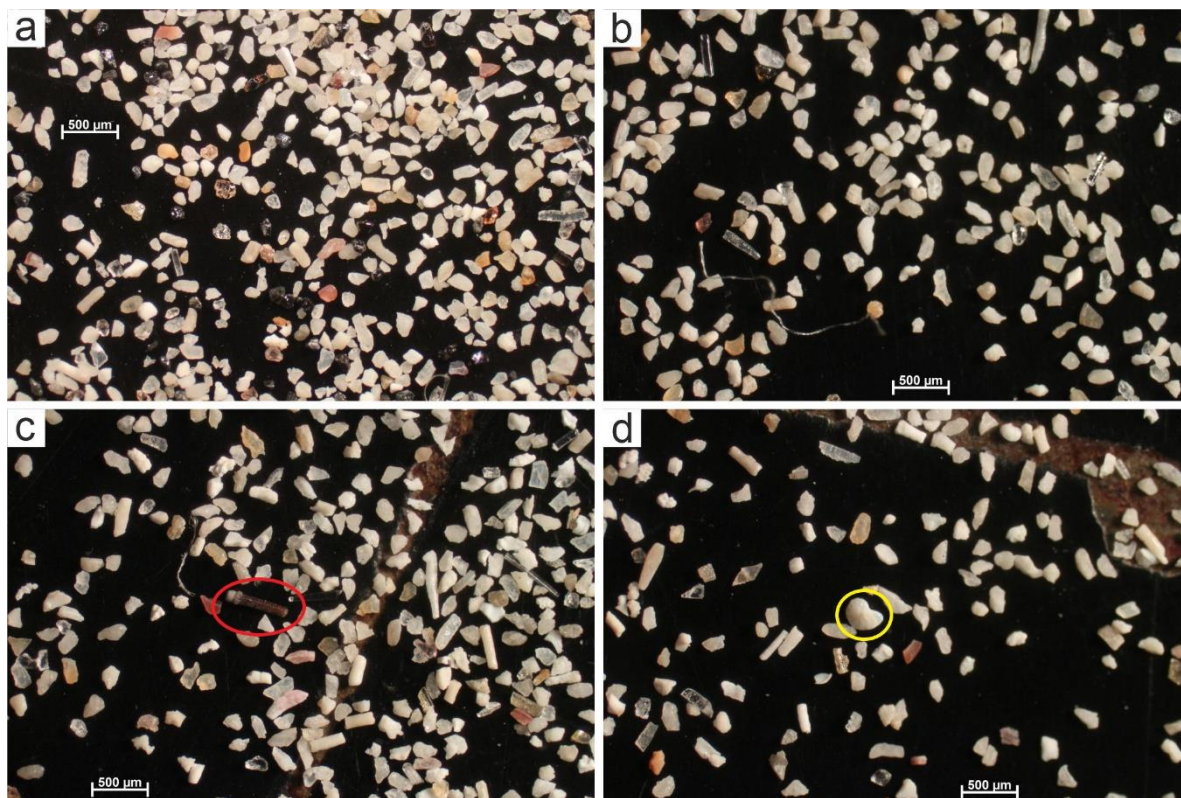


Slika 23: Frakcija sitnog pijeska (0,125-0,25): a - bodlja organizma; b i c - očuvani skeleti foraminifera (*Rosaline* zaokružene crvenom bojom); d - ostatci kućica puževa i mahovnjaka.

#### 5.4.6. Frakcija vrlo sitnog pijeska (0,063-0,125 mm)

U najsitnijoj frakciji dominiraju spikule organizama. Pokoja foraminifera je očuvana, ali većina ih je fragmentirana. Prepoznati su i ostatci kućica puževa. Frakcija vrlo sitnog pijeska uglavnom se sastoji od usitjenih skeleta i ljuštura organizama (Slika 24).





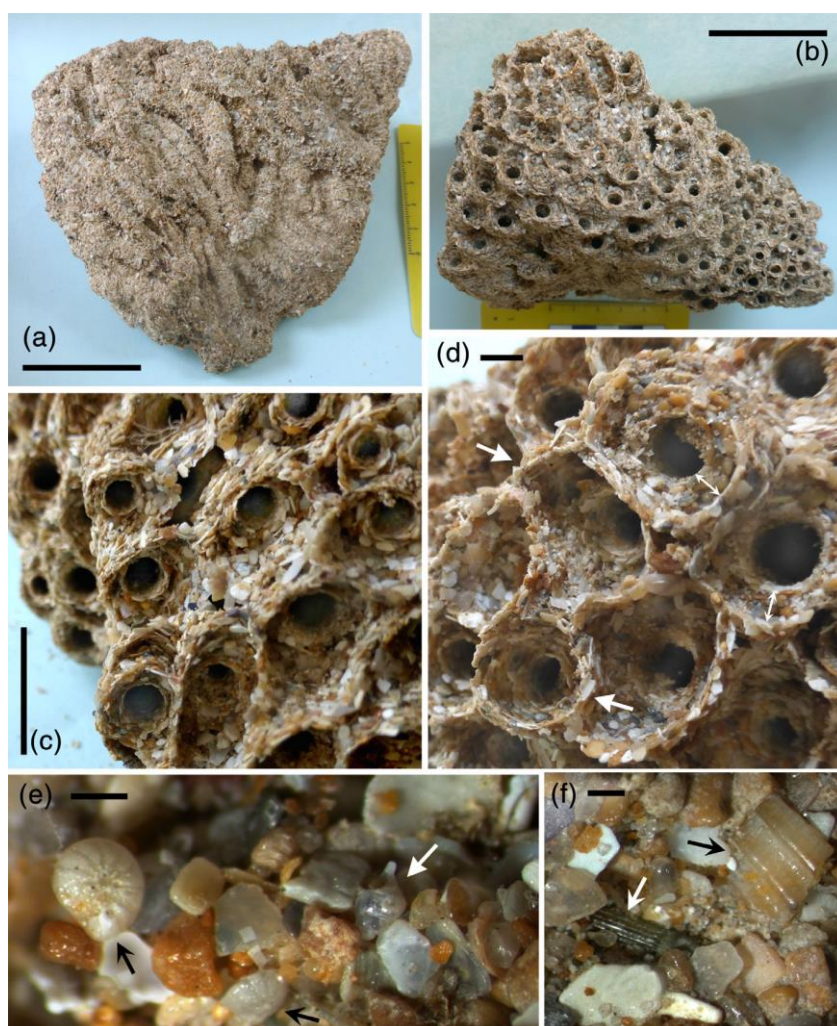
Slika 24: Frakcija vrlo sitnog pijeska (0,163-0,125 mm); dominiraju spikule spužvi; c - bodlja organizma zaokružena crvenom bojom; d - očuvani skelet foraminifere zaokružen žutom bojom.

## 6. Rasprava

Analizom rezultata svih provedenih metoda utvrđeno je da pjeskovitu frakciju u plimnoj zoni plaže Sakarun dominantno grade pijesak i slabo šljunkoviti pijesak (Tablica 1), a obje vrste pijeska dominantno su biogenog porijekla. Prema Pikelj i Juračić (2013) plaža Sakarun svrstana je u tip šljunkovitih plaža koje nastaju u područjima s tektonski oslabljenim i usitnjenim karbonatnim stijenama izloženim konstantnom djelovanju valova. Ipak, značajan dio plaže sastoji se od pijeska, a pješčane plaže nisu uobičajena pojava u okršenim karbonatima. Pješčane plaže se na istočnoj strani Jadrana obično razvijaju u područjima s izraženim trošenjem naslaga fliša i asociраних mlаđih naslaga te u područjima s izraženim riječnim donosom (PIKELJ i JURAČIĆ, 2013) ili kao što je to u primjerice slučaju otoka Vrgade: trošenjem pleistocenskog sedimentnog materijala s klifa koji je u kontaktu s morem (PIKELJ i FURČIĆ, 2020; BANAK i dr., 2021). S obzirom na to pijesak koji gradi plaže istočnog Jadrana najčešće je terigenog porijekla.

Difrakcijom rendgenskih zraka na prahu pokazano je da u sedimentu prevladavaju karbonatni minerali, dok su siliciklastični puno manje zastupljeni (mineralni sastav vidljiv je iz rendgenograma pojedinog uzorka na slikama 16, 17 i 18). Od karbonatnih minerala vidno prevladavaju kalcit, magnezijски kalcit, a detektiran je i aragonit. Od siliciklastične komponente detektiran je samo kvarc, u tragovima i to u dva uzorka (SAH 1 i SAH 4). U uzorcima sedimenta detektiran je i halit koji potječe iz morske vode budući da je sediment iz plimne zone te je povremeno zapljuskivan morem. Poznato je da je siliciklastična komponenta (kvarc) terigenog porijekla, dok karbonatna može biti terigenog i/ili biogenog porijekla. Prema Pikelj (2010) magnezijски kalcit (i visoko- i nisko-magnezijски kalcit) i aragonit u Jadranskom moru biogenog su porijekla, dok kalcit može biti i biogenog i terigenog porijekla. Mikroskopskom analizom utvrđeno je da većinu sedimenta grade ljuštore raznih organizama koje su u manjoj mjeri potpuno ili djelomično očuvane ili su pak u sedimentu prisutni njihovi fragmenti, što je češći slučaj. U sedimentu su uočene razne foraminifere koje grade skelete od obje vrste kalcita te aragonita, ostatci skeleta školjkaša i kućica puževa koji grade skelete od nisko-magnezijskog kalcita i aragonita, fragmenti mahovnjaka kojima skelet gradi bilo koja vrsta kalcita te ostatci bodljikaša čije skelete gradi visoko-magnezijски kalcit (PIKELJ, 2010). U sitnijim frakcijama prevladavaju i spikule organizama čiji sastav može biti karbonatan ili nekarbonatan. Uz bioklaste uočeni su i rijetki litoklasti koji su također karbonatnog porijekla, a njih nalazimo u najkrupnijim frakcijama

dok se u sitnijima gube. Oni su nastali trošenjem šljunka koji gradi plažu, a šljunak potječe od krednog karbonata koji se nalazi u podlozi plaže. Mikroskopskom analizom u sedimentu uočena je neobična pojava. U frakciji krupnog pijeska (0,5-1 mm) uočena su aglutinirana zrna pijeska, odnosno zrna koja se sastoje se od slijepljenih zrna pijeska sitnijih frakcija (slika 25). Moguće da su takva zrna nastala razaranjem struktura koje grade polihetni crvi. Prema Sanfilippo i dr. (2019) vrsta *Sabellaria alveolata* u plitkomorskim uzburkanim okolišima gradi cjevaste strukture koje udružene nalikuju grebenima. *Sabellaria alveolata* izlučuje biocement koji u doticaju s morskom vodom sljepljuje sitna zrna pijeska i stvara strukture koje nalikuju grebenima, a koje ujedno čine i životni prostor organizma (Slika 25). Ova vrsta vrlo je raširena u zapadnom Mediteranu oko Španjolske i Italije, a registrirana je i u Jadranskom moru.



Slika 25: Strukture nalik grebenima koje gradi vrsta *Sabellaria alveolata* (a-d); e i f: slijepljeni sediment koji izgrađuje strukture - uglavnom bioklasti i ljušturice foraminifera i fragmenti školjkaša (preuzeto iz Sanfilippo i dr., 2019).

Na temelju mikroskopske analize ustanovljeno je da je pijesak koji gradi Sakarun biogenog porijekla, a nastao je na morskom dnu pri dubinama koje ne premašuju 20 m. S obzirom da je nađen na plaži, očito je da je pijesak valovima donesen i istaložen na kopnu. Sediment je umjereno dobro sortirano što znači da je konstantno izložen djelovanju valova u plimnoj zoni (sortiranost je jasno vidljiva iz krivulja učestalosti na slici 12). Velika fragmentiranost organizama i zaglađeni rubovi zrna također su pokazatelj konstantnog djelovanja valova na sediment. Udio karbonata u ispitanim uzorcima iznimno je visok. Prema Pikelj (2010) prosječni udio karbonatne komponente u sedimentima istočno-jadranskog šelfa iznosi 61,4 % dok iznadprosječan udio karbonatne komponente sadrže sedimenti uz obale kopna i otoka gdje nema donosa terigenog materijala. Upravo takav slučaj je u uvali Sakarun. Iz tablice 2 vidljivo je da svaki uzorak sadrži više od 95 % karbonatne komponente, što daje prosjek od 98,42 %. Siliciklastična komponenta vrlo je niska u ispitanim uzorcima što također odgovara priobalnom okolišu taloženja bez terigenog donosa (udio siliciklastične komponente se s hrvatske strane Jadranskog mora u pravilu povećava od obale prema dubokom moru). Da je sediment nastao u priobalnoj zoni i u moru bez donosa terigenog materijala pokazuju bioklasti prepoznati mikroskopiranjem. Ustanovljeno je da se radi o foramol zajednici (dominiraju foraminifere i mekušci uz prisutnost mahovnjaka). Prema Pikelj (2010) foramol zajednica najčešće je prisutna u površinskom sedimentu hrvatskog dijela Jadrana, a često je karakteristična za karbonatne sedimente koji nastaju izvan tropskog pojasa.

## 7. Zaključak

Uvala Sakarun s istoimenom plažom nalazi se na sjeverozapadnoj obali Dugog otoka. Plaža Sakarun jedna je od najpoznatijih i najpopularnijih plaža Zadarske županije. Posljednjih nekoliko godina količina sedimenta (prvenstveno pijeska) na plaži se sve više smanjuje, a s gubitkom sedimenta smanjuje se i površina plaže. Kako bi se plažom lakše upravljalo i kako bi se zaštitila od pretjerane erozije i gubitka sedimenta, potrebno je znati porijeklo sedimenta koji gradi samu plažu. Cilj ovog istraživanja bio je odrediti porijeklo frakcije pijeska koja gradi plažu Sakarun. Iz plimne zone uzet je sediment s tri profila plaže. Na uzorcima je odrađena granulometrijska analiza mokrim sijanjem sedimenta, difrakcija rendgenskih zraka na prahu, određivanje udjela karbonata te mikroskopiranje svake frakcije sedimenta dobivenog mokrim sijanjem. Granulometrijskom analizom utvrđeno je da plažu gradi relativno dobro sortirani pijesak te relativno dobro sortirani slabo šljunkoviti pijesak. Relativno dobra sortiranost sedimenta pokazatelj je izloženosti sedimenta konstantnom djelovanju valova. Mikroskopskom analizom utvrđeno je da sediment Sakaruna gotovo u potpunosti biogenog porijekla. Neke ljušture organizama su dobro očuvane, dok je većina fragmentirana što je također pokazatelj djelovanja valova u priobalnoj zoni. U analiziranom sedimentu utvrđene su razne foraminifere, ostatci mahovnjaka, puževa i školjkaša, ostatci bodljikaša, a u sitnijim frakcijama prevladavaju spikule organizama. Dominira foramol zajednica koja je karakteristična i tipična za priobalne okoliše hrvatskog dijela dna Jadranskog mora u kojima nema značajnijeg terigenog donosa materijala. Difrakcijom rendgenskih zraka na prahu utvrđeno je da u ispitanom sedimentu uvelike prevladava karbonatna komponenta u kojoj prevladavaju kalcit i magnezijски kalcit dok je aragonit manje zastupljen. Siliciklastična komponenta znatno je manje zastupljena u ispitanim uzorcima. Njeno je porijeklo vjerojatno terigeno, a radi se o kvarcu koji potječe iz crvenice ili je donesen eolskim putem s okolnog kopna. Određivanjem udjela karbonata ustanovljeno je da sediment sadrži iznimno veliki udio karbonatne komponente (veći od prosjeka) što je odlika sedimenta koji nastaje bliže obalnom području odnosno bliže otocima. Svim provedenim analizama postignut je cilj ovog istraživanja, odnosno određeno je porijeklo pijeska koji gradi plažu Sakarun. Pijesak koji gradi plažu biogenog je porijekla s iznimno visokim udjelom karbonatne komponente, a nastao je u plitkomorskom okolišu te je valovima izbačen i kontinuirano pretaložen u plimnoj zoni.

## 8. Literatura

BABIĆ, L., RAZUM, I., LUŽAR-OBERITER, B., ZUPANIČ, J. (2019) Sand beaches on highly indented karstic coasts: Where the sands come from and what should be protected (SE Adriatic, Croatia). *Estuarine, coastal and shelf science*, 226, 106294, 12 doi:10.1016/j.ecss.2019.106294.

BANAK, A., PIKELJ, K., LUŽAR-OBERITER, B. i KORDIĆ, B. (2021). The Sedimentary record of Pleistocene aeolian – alluvial deposits on Vrgada Island (eastern Adriatic coast, Croatia). *Geologia Croatica*, 74 (2), 127-137.

BENAC, C.; JURAČIĆ, M., BLAŠKOVIĆ, I. (2008): Tidal notches in Vinodol Channel and Bakar Bay, NE Adriatic Sea: indicators of recent tectonics. *Marine Geology*, 248(3–4), 151–160.

BLOTT, S. J. & PYE, K. (2001): GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms* 26, 1237-1248.

DŽAJA, K. (2003): Geomorfološke značajke Dugog otoka. *Geoadria*, 8(2), 5-44.

FOLK, R. L. (1954): The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. *Journal Geology* 62, 344-356.

FOLK, R. L. & WARD, W. C. (1957): Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27, 3-26.

JURAČIĆ, M., BENAC, Č., PIKELJ, K., ILIĆ, S. (2009): Comparison of the vulnerability of limestone (karst) and siliciclastic coasts (example from the Kvarner area, NE Adriatic, Croatia), *Geomorphology*, Volume 107, Issues 1–2, 2009, Pages 90-99.

KELLETTAT, D.H. (2005): Dalmatian coasts. In: Schwartz, M. (ed.), *Encyclopedia of Coastal Science*. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Dordrecht, The Netherlands: Springer, pp. 355–356.

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.

MAGAŠ, D. (1999): Zemljopisno-povijesna obilježja Dugog otoka. *Zbornik Dugi otok*. Batović, Šime (ur.). Zadar: Matica Hrvatska, ogranak u Zadru, 1999. str. 11-44.

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): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za listove Silba L33–126 i Molat L 33–138. – Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1967); Savezni geološki institut, Beograd.

MATIJEVIĆ, S., BOGNER, D., MOROVIĆ, M., TIČINA, V., GRBEC, B. (2008). Characteristics of the sediment along the eastern Adriatic coast (Croatia). *Fresenius Environ. Bull*, 17, 1763-1772.

ÖNORM L 1084 (1989): Chemical analyses of soils — Determination of carbonate, Österreichisches Normungsinstitut, Beč.

PIKELJ, K. (2010): Sastav i porijeklo površinskih sedimenata dna istočne strane Jadranskog mora. Doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

PIKELJ, K.; FURČIĆ, N. (2020): Impact of cliff erosion on marine sediment composition - indication of local coastline evolution (Vrgada Island, Croatia) // *Proceedings of the Eighth International Symposium Monitoring of Mediterranean Coastal Areas. Problems and Measurement Techniques* / Bonora, Laura ; Carboni, Donatella ; De Vicenzi, Matteo (ur.). Livorno: FUP- Florence University Press, 2020. str. 462-468 doi:10.36253/978-88-5518147-1.46 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni).

PIKELJ, K., JAKŠIĆ, L., AŠČIĆ, Š. i JURAČIĆ, M. (2016). Characterization of the fine-grained fraction in the surface sediment of the eastern Adriatic channel areas. *Acta Adriatica*, 57 (2), 195-207.

PIKELJ, K., JURAČIĆ, D. (2013): Eastern Adriatic coast (EAC): Geomorphology and coastal vulnerability of a karstic coast. *Journal of Coastal Research*, 29(4), 944–957. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.

PIKELJ, K., JURAČIĆ, D. (2014): Coastal typology and related seabed sediments along the Eastern Adriatic coast (Croatia). Livorno conference paper.

PIKELJ, K., RUŽIĆ, I., ILIĆ, S., JAMES, M. R., KORDIĆ, B. (2017): Implementing an efficient beach erosion monitoring system for coastal management in Croatia, *Ocean & Coastal Management*, Volume 156, 2018, Pages 223-238.

SANFILIPPO, R., ROSSO, A., MASTANDREA, A., VIOLA, A., DEIAS, C., GUIDO, A. (2019): *Sabellaria alveolata* sandcastle worm from the Mediterranean Sea: new insights on tube architecture and biocement. *Journal of Morphology*. 2019;1–11.

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 (2005) 333– 360.

[URL 1] [https://www.tulane.edu/~sanelson/Natural\\_Disasters/coastalzones.htm](https://www.tulane.edu/~sanelson/Natural_Disasters/coastalzones.htm) (pristupljeno 9. 6. 2021.)

[URL 2] <http://prirodahrvatske.com/obala/> (pristupljeno 10. 6. 2021.)

[URL 3] <https://www.ferrycroatia.com/hr/dugi-otok/> (pristupljeno 10. 6. 2021.)

[URL 4] <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=16498> (pristupljeno 10. 6. 2021.)

[URL 5] <http://pp-telascica.hr/o-parku/> (pristupljeno 10. 6. 2021.)

[URL 6] <https://www.parkovihrvatske.hr/park-prirode-telascica> (pristupljeno 16. 7. 2021.)

[URL 7] <https://www.sanantonio.hr/telascica-dragulj-dugog-otoka/> (pristupljeno 16. 7. 2021.)

[URL 8] <http://brijuni.aventin.hr/index.php?cmd=f&s=23&f=4&lang=en> (pristupljeno 16. 7. 2021.)

[URL 9] <https://crodestinations.com/saharun-beach-dugi-otok-secret-seaside/> (pristupljeno 16. 7. 2021.)

[URL 10] <https://enavtika.si/sl/sidrisce-zala-draga-krk> (pristupljeno 16. 7. 2021.)

[URL 11] <https://noestatanlejos.wordpress.com/2018/02/22/roadtrip-2013-eslovenia-8-dia-7-la-costa-de-eslovenia/> (pristupljeno 16. 7. 2021.)

[URL 12] <https://bellevue-lopar.com/hr/plaze-u-loparu/> (pristupljeno 16. 7. 2021.)

[URL 13] <https://www.adriagate.com/Hrvatska-hr/Plaza-Vrgada-Biograd-Hrvatska> (pristupljeno 17. 7. 2021.)

[URL 14] <https://www.apartments-zivogosce.com/s4-dolina-rijeke-neretve.php> (pristupljeno 16. 7. 2021.)

[URL 15] <http://www.moreikrs.hr/spomenik-prirode/otok-jabuka> (pristupljeno 16. 7. 2021.)

[URL 16] <https://gorgonija.com/2017/07/14/otok-brusnik/> (pristupljeno 16. 7. 2021.)