

# Zajednica teških minerala u sedimentu Crvene plaže (otok Vrgada) - pokazatelj dužobalnog transporta

---

Furčić, Nina

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:156966>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-18**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Nina Furčić

**ZAJEDNICA TEŠKIH MINERALA U  
SEDIMENTU CRVENE PLAŽE (OTOK  
VRGADA) – POKAZATELJ DUŽOBALNOG  
TRANSPORTA**

Diplomski rad

Zagreb, 2022. godine.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOLOŠKI ODSJEK

Nina Furčić

**ZAJEDNICA TEŠKIH MINERALA U  
SEDIMENTU CRVENE PLAŽE (OTOK  
VRGADA) – POKAZATELJ DUŽOBALNOG  
TRANSPORTA**

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

Mentori:

doc. dr. sc. Kristina Pikelj  
doc. dr. sc. Frane Marković

Zagreb, 2022. godine.

## IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Ja, Nina Furčić, studentica Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu s prebivalištem na adresi Lokvice 1, 22202 Primošten, OIB: 51913226121, JMBAG: 0119039295, ovim putem izjavljujem pod materijalnom i kaznenom odgovornošću da je moj diplomski rad pod naslovom:

Zajednica teških minerala u sedimentu Crvene plaže (otok Vrgada) – pokazatelj dužobalnog transporta,

isključivo moje autorsko djelo, koje je u potpunosti samostalno napisano uz naznaku izvora drugih autora i dokumenata korištenih u radu.

U Zagrebu, 1.2.2022.

*Nina Furčić*

Potpis

## *Zahvale*

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. sc. Kristini Pikelj na predloženim temama za završni i diplomski rad, podršci i pomoći prilikom njihove izrade. I veliko hvala na prenesenom znanju.

Hvala mentoru doc. dr. sc. Frani Markoviću na pomoći i strpljenju tijekom laboratorijskog rada te konačnom oblikovanju diplomskog rada.

Hvala Cviti i Ivi te mojim geozima Dominiku, Doroteji, Ines, Karli i Vedranu na nezaboravnim godinama studiranja.

Hvala sestri Neri i bratu Mauru na podršci.

I najveće hvala roditeljima koji su mi omogućili odlazak na studij i vjerovali u mene.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Diplomski rad

### ZAJEDNICA TEŠKIH MINERALA U SEDIMENTU CRVENE PLAŽE (OTOK VRGADA) – POKAZATELJ DUŽOBALNOG TRANSPORTA

Nina Furčić

**Rad je izrađen u:** Horvatovac 102b, 10 000 Zagreb u sklopu diplomskog studija Geologija zaštite okoliša

**Sažetak:** Na sjevernom dijelu otoka Vrgade, koja je uglavnom izgrađena od krednih vapnenaca, izdanjuje pleistocenski sediment u kojem je oblikovan obalni klif. U njegovom podnožju se nalazi pretežito pješčana plaža izgrađena od materijala nastalog erodiranjem klifa, a pretpostavlja se da je taj sediment naknadno distribuiran dužobalnom strujom. Cilj ovog rada je potvrđivanje pretpostavljenog dominantnog dužobalnog transporta od istoka prema zapadu. Uzorkovano je devet uzoraka sedimenta, pet s istočnog i četiri sa sjeverozapadnog dijela plaže. Rezultati granulometrije, određivanja udjela karbonata, separacije teške i lake mineralne frakcije te mikroskopiranje teške mineralne frakcije ukazuju na pretpostavljeni dužobalni transport od istoka prema zapadu.

**Ključne riječi:** teški minerali, Jadransko more dužobalni transport, klif, pješčana plaža

**Rad sadrži:** 45 + IV stranica, 16 slika, 8 tablica, 41 literaturni navod

**Jezik izvornika:** hrvatski

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

**Mentor(i):**

doc. dr. sc. Kristina Pikelj, PMF, Zagreb

doc. dr. sc. Frane Marković, PMF, Zagreb

**Ocjenjivači:**

doc. dr. sc. Kristina Pikelj, PMF, Zagreb

doc. dr. sc. Frane Marković, PMF, Zagreb

doc. dr. sc. Borna Lužar-Oberiter, PMF, Zagreb

**Datum završnog ispita:** 23.2.2022.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geology

Graduate Thesis

### HEAVY MINERAL ASSEMBLAGE IN RED BEACH SEDIMENT (VRGADA ISLAND) – INDICATOR OF LONG-SHORE DRIFT

Nina Furčić

**Thesis completed in:** Horvatovac 102b, 10 000 Zagreb in the context of the graduate study of Environmental geology

**Abstract:** Vrgada Island is mostly composed of Cretaceous limestones, however, in the northern part of the island Pleistocene sediments crop out in which the coastal cliff was formed. At the foot of the cliff, there is a predominantly sandy beach built of material eroded from the cliff. It is assumed that this sediment was subsequently distributed by longshore drift. The aim of this study is to confirm the assumed dominant longshore drift from east to west. Nine sediment samples were collected along the eastern and northwestern parts of the beach. The results of granulometric analysis, determination of carbonate content, separation of heavy and light mineral fractions, and quantitative analysis of heavy mineral fraction indicate the assumed longshore drift from east to west.

**Keywords:** heavy minerals, Adriatic Sea, longshore drift, cliff, sandy beach

**Thesis contains:** 45 + IV pages, 16 figures, 8 tables, 41 references

**Original in:** Croatian

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

**Supervisor:**

Kristina Pikelj, Ph.D. Assistant professor

Frane Marković, Ph.D. Assistant professor

**Reviewers:**

Kristina Pikelj, Ph.D. Assistant professor

Frane Marković, Ph.D. Assistant professor

Borna Lužar-Oberiter, Ph.D. Assistant professor

**Date of the final exam:** 23.02.2022.

**Sadržaj**

1.	Uvod.....	1
2.	Dužobalni transport.....	3
3.	Teški minerali .....	5
4.	Geografski smještaj i geološke značajke .....	7
5.	Dosadašnja istraživanja otoka Vrgade .....	10
6.	Materijali i metode istraživanja .....	12
6.1.	Uzorkovanje.....	12
6.2.	Granulometrijska analiza.....	13
6.2.1.	Granulometrijski parametri.....	14
6.3.	Određivanje udjela karbonata.....	16
6.4.	Separacija teške i lake mineralne frakcije .....	18
6.5.	Mikroskopiranje uzoraka.....	20
7.	Rezultati .....	21
7.1.	Granulometrija.....	21
7.2.	Određivanje udjela karbonata.....	26
7.3.	Separacija teške i lake frakcije .....	27
7.4.	Sastav teške frakcije .....	29
8.	Rasprava.....	34
9.	Zaključak .....	40
10.	Literatura.....	42



## 1. Uvod

Istočna obala Jadranskog mora je primarna transgresivna obala koja spada pod Dalmatinski tip obale. Građena je pretežno od karbonata mezozojske i kenozojske starosti na kojima je razvijen krš, a koji zauzimaju preko 90% njezine duljine. Fliš eocenske starosti čini oko 6% duljine obale, dok su ostale, uglavnom mlađe i od karbonata manje otporne sedimentne stijene kvartarni klastiti. Mali dio obale je izgrađen od magmatskih stijena i piroklastita (otoci Jabuka i Brusnik, uvala Komiža na otoku Visu) (PIKELJ i JURAČIĆ, 2013).

Obala je prostor između dosega najviše točke utjecaja plime i najniže točke utjecaja oseke. Taj okoliš je dinamičan i promjenjiv, pod utjecajem je raznih fizičkih, bioloških, geoloških i kemijskih procesa. Obalni se okoliši uglavnom oblikuju pod utjecajem valova, morskih struja, mijena i vjetra, koji neprekidno erodiraju, transportiraju i talože sediment.

S obzirom na njenu duljinu može se reći da na istočnoj obali Jadrana manjka klasičnih obalnih formi, tipičnih plaža i klifova i sl. Umjesto toga uvelike su zastupljene morfološke pojave tipične za krš koje nastaju kemijskim otapanjem karbonata (PIKELJ i JURAČIĆ, 2013). Osim najbrojnijih tipičnih karbonatnih obala (poput strmih tektonski nastalih klifova i brojnih, malih šljunčanih plaža), postoje i obale u flišu koje su karakterizirane mekanim, lako trošivim laporima, prahovnjacima i pješčenjacima. Plaže su češće na takvim obalama u odnosu na karbonatne, a ovisno o litološkom sastavu fliša mogu se razviti i klifovi. Pod ostale obale spadaju rijetki primjeri pješčanih plaža u paleogenskim i pleistocenskim pješčenjacima i pijescima (LUŽAR-OBERITER i sur., 2008; PIKELJ i JURAČIĆ, 2013).

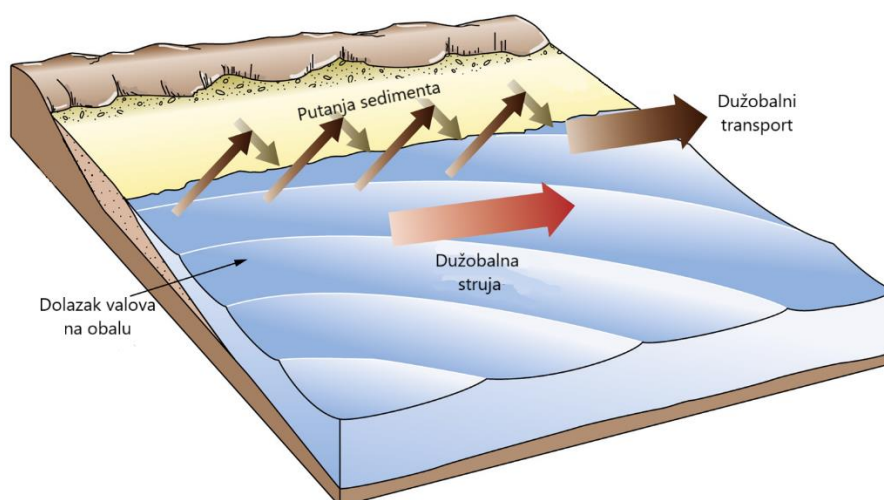
Primjer vrste obala izgrađene od pleistocenskog sedimenta se nalazi na otoku Vrgadi, koja je područje istraživanja ovog rada. Na sjevernom dijelu otoka, na maloj uvali okrenutoj prema istoku, pleistocenski sediment pojavljuje se u obliku obalnog klifa (BANAK i sur., 2021). U njegovom podnožju se nalazi pretežito pješčana plaža (Crvena plaža) izgrađena od materijala nastalog erodiranjem klifa pod utjecajem valova i oborina, a pretpostavlja se da je taj sediment naknadno distribuiran dužobalnom strujom. Istočna, skoro vertikalna strana klifa je izložena valovima koji nastaju radi dva najčešća vjetra: bure (puše sa sjeveroistoka) i juga (puše s jugoistoka). Sjeverni dio je manje strm i obrastao borovom šumom te je to područje rjeđe pod utjecajem blažeg vjetra: maestrala koji puše sa sjeverozapada tijekom ljetnih mjeseci. Istraživanje utjecaja erozije klifa na sastav plitkomorskog sedimenta je ukazao na mogući transport sedimenta dominantnim valovima i nastalim dužobalnim strujama od istoka prema zapadu (FURČIĆ, 2019).

Cilj ovog rada je potvrđivanje pretpostavljenog dominantnog dužobalnog transporta analizom sastava i rasporeda teške mineralne frakcije u devet uzoraka koji su uzorkovani na istočnom i sjeverozapadnom dijelu plaže. Uzorci su podvrgnuti granulometrijskoj analizi, određivanju udjela karbonata, separaciji teške i lake mineralne frakcije te mikroskopiranju teške frakcije kako bi se odredio njen modalni sastav po uzorcima.

## 2. Dužobalni transport

Dužobalni transport nastaje kao rezultat dužobalne struje koja prenosi sediment u suspenziji ili povlačenjem po morskom dnu (SEYMOUR, 2005). Valovi dolaze na obalu pod kutom što znači da jedan dio fronte vala počinje osjećati dno prije njenog ostatka te se taj kut s vremenom smanjuje. Kako nadiru na obalu, valovi guraju vodenu masu duž obale stvarajući struju koja se naziva dužobalna struja koja nastaje u *surf* zoni. *Surf* zona je uska, dinamična zona između kopna i mora gdje dolazi do loma valova i raspršenja njihove energije (GALLOP i sur., 2020).

Brzina dužobalne struje varira od nekoliko cm/s do oko 1 m/s i može se povećati tijekom puhanja vjetra u istom smjeru toka. Valovi na obalu dolaze pod kutom, ali kad se taj isti val vraća niz plažu prema moru kreće se u skladu s gravitacijom, odnosno okomito na pružanje obale. Dolazak vala na obalu, tzv. *swash*, gura sediment u smjeru kopna, dok vraćanje vode, tzv. *backwash* ga vraća nazad u more. Sediment se na taj način pomiče u cik – cak uzorku. Efekt transporta sedimenta koji nastaje kombinacijom *swash-a* i *backwash-a* te dužobalne struje se naziva dužobalni transport (EARLE, 2019; SECAIRA FAJARDO i sur., 2017) (Slika 1.). Veći i jači valovi pokreću više sedimenta i stvaraju jače dužobalne struje, tako da je magnituda dužobalnog transporta direktno vezana uz energiju i kut upadnog vala.



Slika 1. Grafički prikaz dužobalnog transporta, izvor: SECAIRA FAJARDO i sur. (2017)

Dužobalnim transportom se transportiraju velike količine sedimenta duž obala oceana, mora i jezera te je on odgovoran za stvaranje raznih taložnih oblika na obalama. Taložni oblici koji nastaju na plažama nastaju pod utjecajem valova i struja. Jedan od takvih oblika je spit, izduženo sedimentno tijelo koje se pruža u more u smjeru dužobalne struje. Jedan takav mali spit je sezonski (tijekom toplijeg dijela godine) formiran na Crvenoj plaži istraživanoj u ovom radu (FURČIĆ, 2019). Također, može nastati i tombolo, sedimentni prud koji spaja kopno sa obližnjim otokom te ga na taj način čini poluotokom (DAVIDSON-ARNOTT i sur., 2019). Daljnjim prenošenjem materijala dužobalnim strujama mogu nastati i barijerni otoci koji ponekad mogu zatvarati lagune koje se nalaze između njih i kopna.

### 3. Teški minerali

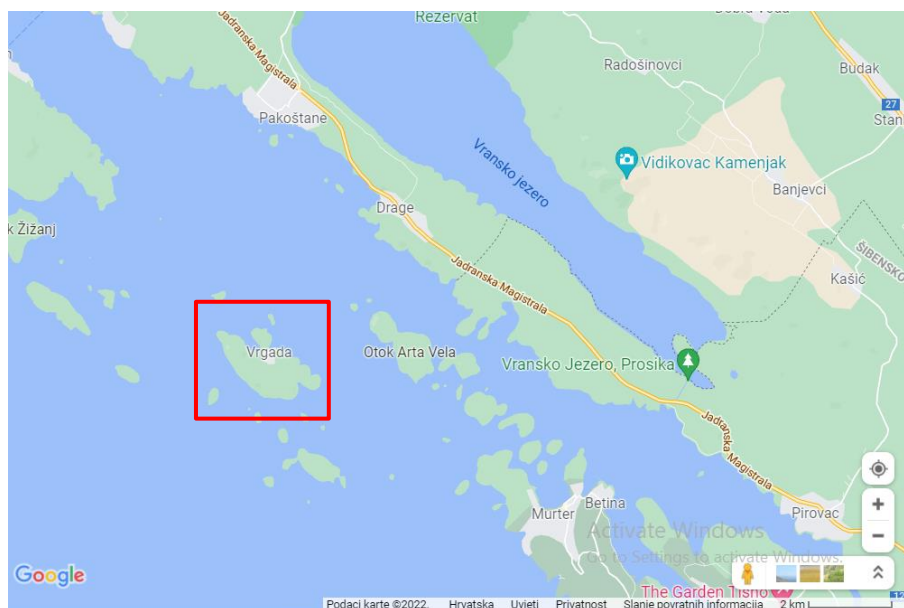
Emery i Noakes (1968) su podijelili minerale u tri grupe na temelju gustoće: vrlo teški minerali – oni koji imaju prilično velike gustoće (pr. zlato  $18 \text{ g/cm}^3$ ), „lakši“ teški minerali – oni sa umjereno velikom gustoćom (od 3 do  $7 \text{ g/cm}^3$ ), koja spada pod kategoriju teških minerala i lake minerale – kvarc i feldspati. U izvorišnim stijenama se teški minerali mogu nalaziti kao primarni minerali (amfiboli, pirokseni, tinjci) ili kao akcesorni, kao što su cirkon, apatit, turmalin, itd. Nazivaju se teškima, jer se pri istraživanju moraju separirati od lakših minerala u teškim tekućinama (npr. bromoform,  $\rho=2,89 \text{ g/cm}^3$ ) u kojima potonu na dno, dok lakši minerali ostanu na površini teške tekućine. U pješčenjacima, pijescima i ostalim sedimentima se može susresti velik broj različitih vrsta teških minerala (MANGE i MAURER, 1992). Teški minerali su uglavnom alohtonog ili terigenog porijekla, a otporniji su na mehaničke i kemijske alteracijske procese. Koncentracija i raspodjela teških minerala u sedimentu je uglavnom kontrolirana količinom i izvorom opskrbe sedimentom, hidrauličkim procesima, veličinom zrna i gustoćom (ACHAB i GUTIERREZ, 2009). Teška frakcija je uglavnom zastupljena manje od 5% u ukupnoj količini klastičnog sedimenta, ali to nije pravilo, pogotovo za pješčane plaže na kojima se mogu pojavljivati u većim koncentracijama i tvoriti placere (KOMAR, 1998). U istraživanjima se teški minerali najčešće koriste za utvrđivanje provenijencije, lociranje potencijalnih ekonomskih ležišta, kartiranje načina disperzije sedimenta, definiranje hidrauličkih režima, praćenje transporta sedimenta, razjašnjavanje dijagenetskih procesa itd. (MANGE i MAURER, 1992).

Zajednice minerala na plažama ovise o području u kojem se nalaze te o brojnim faktorima poput izvorišnih stijena u blizini, prevladavajućim klimatskim uvjetima, mehanizmu transporta i hidrauličkim uvjetima tijekom taloženja (BEHERA, 2003). Stoga koncentracija teških minerala ovisi o donosu sedimenta iz zaleđa, energiji i brzini valova, vjetrovima i dužobalnom transportu. Teški minerali imaju različita hidrodinamička svojstva u usporedbi s lakim mineralima, a ona ovise o njihovoj gustoći, veličini i obliku. Oni doživljavaju niže stope transporta, u odnosu na lake minerale, zbog veće gustoće i generalno manje veličine zrna što ih čini otpornijima na pokretanje tijekom transporta vodom. Teški minerali se zbog svoje gustoće teže podižu u stupac vode i tijekom transporta ostaju pri dnu. (KOMAR, 2007). Transport sedimenta se može odvijati na način da se materijal nalazi u suspenziji (lakša i manja zrna) ili se kreće povlačenjem pri dnu i saltacijom (teža i veća).

Bitna za sediment u suspenziji je i brzina taloženja, gdje gustoća i veličina zrna dovode do selektivnog transporta i sortiranja materijala (KOMAR, 2007). Izloženost sedimenta toku vode je također jedan od bitnih aspekata transporta. Ako je zrno veće, samim time ima veću površinu koja je izložena strujanju vode i lakše se pokreće u transport. Također, zrno je izloženo jačim strujanjima jer se ona povećavaju udaljavanjem od podloge (KOMAR i WANG, 1984). Teška mineralna frakcija se uglavnom nalazi u sitnijim frakcijama sedimenta, što znači da ih je teže pokrenuti u transport zbog njihove veće gustoće, ali i manje veličine (MAY, 1973; FRIHY i KOMAR, 1991). Kao što je prethodno rečeno, transport teških minerala prvenstveno ovisi o njihovoj gustoći i veličini. To znači da će se primjerice na području na kojem se događa erozija sedimenta nalaziti veća koncentracija teških minerala veće gustoće koja će se smanjivati idući niz obalu u smjeru dominantnog transporta. Rezultati istraživanja teške mineralne frakcije na delti Nila Frihya i Komara (1991) su pokazali da se teški opaki minerali, granati i cirkon, koncentriraju u područjima veće erozije, dok su minerali teške frakcije, ali manje gustoće od prethodno navedenih minerala, poput hornblende i augita transportirani dalje na područja akrecije. U istraživanju načina sortiranja na pješćanoj plaži jezera Ontario, gdje je dominantan dužobalni transport u smjeru sjevera, rezultati su pokazali kako se koncentracija teških minerala smanjuje u smjeru transporta (TRASK i HAND, 1985). Način sortiranja materijala na plažama i na šelfu je pod velikim utjecajem valova i struja. Teški minerali se koriste kao dokaz za sortiranje i transport dužobalno i okomito na obalu i na taj način pomažu razumijevanju obalne hidrodinamike (FRIHY, 2007).

## 4. Geografski smještaj i geološke značajke

Vrgada je naseljeni otok koji pripada zadarskoj grupi sjevernodalmatinskih otoka, smješten u središnjem dijelu Hrvatske obale duž istočne strane Jadranskog mora. Geografski je smješten između dva regionalna središta, Šibenika i Zadra, preciznije nalazi se nasuprot Pakoštanu (Slika 2.).

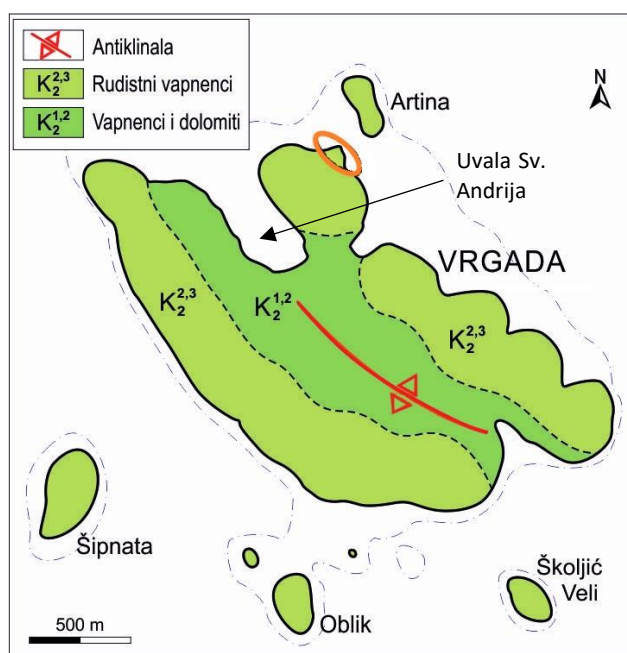


Slika 2 Geografski smještaj otoka Vrgade [1].

U geološkom smislu Vrgada je dio Vanjskih Dinarida s borano navlačnom i ljuskavom strukturnom genetskom građom. Vrgada predstavlja konformnu morfostrukturu, jer dolazi do poklapanja reljefa i geološke građe što znači da je otok uzvišenje – antiklinala brdskih osobina (BOGNAR i sur., 1990). Tjeme antiklinale, cenomanske i turonske starosti, se sastoji od dobro uslojenih naslaga plitkomorskih vapnenaca s ulošcima dolomita, dok se krila antiklinale sastoje od rudistnih vapnenca turonske i senonske starosti (MAMUŽIĆ, 1975; MAMUŽIĆ i NEDĚLA – DEVIDÉ, 1973). Karbonatne naslage su taložene u uvjetima karbonatne platforme na Jadranskoj mikroploči (VLAHOVIĆ i sur., 2005).

Otok Vrgada je prikazan na dva lista OKG karte SFRJ, Biograd i Šibenik. Karte prikazuju geološku građu Vrgade kao otok koji je u potpunosti karbonatan, građen od

vapnenaca i dolomita ( $K_2^{1,2}$ ) te rudistnih vapnenaca ( $K_2^{2,3}$ ) (Slika 3.). No ti podaci nisu u potpunosti točni, jer postoje dijelovi otoka koji su građeni od mekših stijena pleistocenske starosti (BANAK i sur., 2017, 2021; KOVAČIĆ i sur., 2018). Većina obale otoka je strma i stjenovita, što je tipično za obalu istočnog Jadrana (PIKELJ i JURAČIĆ, 2013), ali kao što je već spomenuto na nekoliko mjesta se pojavljuju izdanci pleistocenske starosti.



Slika 3. Geološka karta Vrgade (Pojednostavljeno prema MAMUŽIĆ i NEDĚLA – DEVIDÉ, 1968; MAMUŽIĆ, 1982). Jedan od položaja izdanjivanja pleistocenskih naslaga i ujedno dio istraženog prostora označen je elipsom, preuzeto iz Furčić (2019).

Pleistocenske naslage koje leže na mezozojskim i paleogenskim karbonatima se mogu naći na mnogo otoka duž istočne strane Jadranskog mora. Građene su od različitih tipova sedimenta poput šljunka, pijeska, lesu sličnog sedimenta i praha koji su taloženi u podvodnom i subaeralnom okolišu. Ove naslage obično prekrivaju male površine otočnih krških dolina ili tvore vertikalne izdanke duž obale gdje njihova debljina rijetko prelazi 10 metara (BABIĆ i sur., 2013).

Vrgada je posebna po tome što je smještena na sredini, odnosno između otoka sjevernog i južnog Jadrana, te zbog toga predstavlja prijelaznu zonu u geografskom smislu, ali i u području izvora sedimenta. Tijekom zadnjeg glacijalnog maksimuma, kada je globalna razina mora bila -135 m uspoređujući s današnjom (CLARK i sur., 2009), sjeverni dio



istočne obale Jadranskog mora bilo je pogodno područje za nakupljanje eolskog sedimenta. Sediment je dolazio s aluvijalne ravnice (odnosno današnjeg šelfa) sjevernog Jadrana čiji su izvor sedimenti Alpa i Apenina transportirani rijekom Po (BANAK i sur., 2021). Najpoznatiji primjer značajnog taloženja eolskog materijala je otok Susak. Na južnom dijelu Jadranske obale glavni izvor sedimenta su bili Dinaridi, a materijal je pretaloživan snažnim južnim vjetrovima. Sediment je uglavnom taložen u krškim depresijama, s iznimkom otoka Lopuda, na kojem se eolski sediment nalazi na obali (KOVAČIĆ i sur., 2018).

## 5. Dosadašnja istraživanja otoka Vrgade

Pleistocenski sediment otoka Vrgade izdanjuje na sjevernom dijelu otoka. Dio pleistocenskih naslaga oblikovan je obalnom erozijom i rezultat tog oblikovanja je obalni klif (istočna strana). U nastavku klifa sa sjeverne strane nalazi se manje strm i vegetacijom obrastao dio pleistocenskih naslaga (Slika 4.). Drugi (ovdje neistražen dio) pleistocenskih naslaga nalazi se u uvali Sv. Andrija okrenutoj prema sjeverozapadu. Prema rezultatima istraživanja karakteristika naslaga klifa, Banak i sur. (2017, 2021) ukazuju na dvije moguće taložne sile: eolsku i aluvijalnu. Eolski sedimenti su istaloženi tijekom glacijala ili stadijala, odnosno suših klimatskih intervala, dok su se aluvijalni sedimenti taložili tijekom interglacijala ili općenito toplijih i vlažnijih klimatskih prilika. To bi značilo da je njihovo taloženje uvjetovano promjenama klime koje navode i Kovačić i sur. (2018).



Slika 4. Fotografija istočnog i sjevernog dijela pleistocenskih izdanaka; žute strelice označavaju pretpostavljeni dužobalni transport

Bočno pružanje klifa je oko 60 metara, a debljine naslaga su visoke oko 12,5 metara, te su istaložene na vapnenačkoj podlozi (starosti gornje krede). Dno izdanka se nalazi na 0,5 m iznad morske razine, a vrh klifa na oko 13 m iznad morske razine. U najgornjem dijelu

izdanka prevladava pijesak, zatim slijedi izmjena pijeska i šljunka te se u najdonjem dijelu nalaze velike količine praha i gline (BANAK i sur., 2017, 2021).

Istraživanjem sastava klifa izdvojena su tri facijesa. Najdonji facijes A – u kojem prevladava prah istaložen pod eolskim utjecajem za vrijeme hladnije klime; facijes B – pijesak i šljunak istaložen potocima hladne vode koja je nastala otapanjem snijega i leda sa obližnjih Dinaridskih planina; najgornji facijes C – bioturbirani pijesak koji je vjerojatno formiran tijekom toplije klime. Analizom teških minerala u naslagama s klifa identificirano je nekoliko mineralnih vrsta: cirkon, turmalin, rutil, granat, augit, kromit, titanit, staurolit, kijanit i epidot. Rezultati pokazuju da su jedan od izvora materijala s klifa eocenski pješčenjaci fliških bazena iz Dalmacije koji su bogati granatima. Također, neobično visok postotak augita u najdonjem facijesu A ukazuje da je dio materijala i vulkanskog porijekla, vjerojatno vulkana s područja Italije. Sediment klifa otoka Vrgade predstavlja tranzicijsku zonu između sjeverno jadranskih otoka, gdje dominira eolski sediment i jugoistočnog arhipelaga gdje su primijećene izmjene aluvijalnih i eolskih naslaga (BANAK i sur., 2021).

U podnožju klifa se nalazi pretežno pješčana plaža koja se proteže do oko 8 m u širinu. Izgrađena je od materijala koji je nastao gotovo u potpunosti erodiranjem klifa, vjerojatno uslijed utjecaja valova i djelovanjem oborina. Sediment plaže je uglavnom prerađeni materijal s klifa koji je naknadno distribuiran dužobalnim strujom. Sa sjeverne strane klifa nalazi se produžetak plaže, a klif nije razvijen na isti način kao s istočne strane, već je strmina obale ublažena i većim je dijelom zarasla borovom šumom (Slika 4.). S klifa je primijećeno trošenje, transport i taloženje materijala na plažu i zatim dalje prema moru (FURČIĆ, 2019; PIKELJ i FURČIĆ, 2020). Provedeno je istraživanje utjecaja trošenja klifa na sastav morskog sedimenta koji su uzorkovani duž dva profila na različitim dubinama sjeverozapadno i jugoistočno od klifa. S obzirom na rezultate granulometrijske analize, mikroskopiranja i određivanja udjela karbonata te različitog sastava materijala koji se nakuplja na podmorskom dijelu plaže i u moru sa sjeverne (pijesak, uglavnom sitniji) i istočne strane ispod klifa (šljunak i krupniji pijesak), zaključeno je da erozija klifa više pridonosi nakupljanju krupnijeg terigenog materijala na istočnoj strani. Sediment uzorkovan sa sjeverne strane sadrži upola manji udio karbonata i više sitnog pijeska, koji je mogao doći s pješčane plaže dužobalnim transportom. Pijesak na plaži sa sjeverne strane je vrlo vjerojatno pod djelovanjem valova dominantnih vjetrova s istočnom komponentom (juga i bure), te je njima nastalim dužobalnim prijenosom transportiran s prostora ispod klifa i pri tome sortiran (Slika 4.) (PIKELJ i FURČIĆ, 2020).

## 6. Materijali i metode istraživanja

### 6.1. Uzorkovanje

Sediment je uzorkovan na devet lokacija na obje strane plaže: 5 uzoraka (PLV1-PLV5) uzorkovano je na istočnom dijelu na plaži ispod klifa, a 4 uzorka (PLV6-PLV9) na sjevernoj strani u podnožju borom obraslog izdanka (Slika 5.). Uzorkovanje je provedeno na način da je lopaticom označen kvadrat dimenzija 40 x 40 cm na površini plaže. Pri uzorkovanju pozornost je posvećena tome da veličina zrna ukupnog uzorkovanog sedimenta bude čim sličnija dominantnoj veličini zrna taložnog prostora, te da bude čim prikladnija za analizu teške mineralne frakcije, odnosno blizu frakcije sitnog pijeska (GARZANTI i ANDÒ, 2019). Sediment iscrtanog kvadrata na površini mjesta uzorkovanja pomiješan na površini i u potpunosti uzorkovan do dubine od oko 3 cm. Miješanjem se nastojalo izbjeći uzorkovanje s mjesta s vidljivim nakupinama teške mineralne frakcije, odnosno uzorkovanje s mjesta na kojima teška mineralna frakcija nedostaje, kako preporučuju Garzanti i Andò (2019).



Slika 5. Lokacije uzorkovanja sedimenta na Crvenoj plaži otoka Vrgade.

## 6.2. Granulometrijska analiza

Granulometrijski sastav svih uzoraka je određen metodom mokrog sisanja za čestice veće od 0,063 mm. Od početne količine svakog uzorka je uzeto 100 g reprezentativnog poduzorka. Zatim su uzorci prosijani kroz niz od sedam sita promjera otvora: 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 i 0,063 mm (od šljunka do vrlo sitnog pijeska) (Slika 6.). Zaostale frakcije sedimentata sa svakog sita su premještene u staklene posude i ostavljene da se osuše tijekom nekoliko dana. Nakon toga svaka frakcija je izvagana i pospremljena u papirnatu vrećice s oznakom uzorka. Ostatak sedimenta, čestice < 0.063 mm, koji se nakon ispiranja kroz sva sita nalazi u obliku suspenzije u staklenim posudama, nije dalje analiziran sedigrafom zbog izrazito malih količina sedimenta u muljevitoj frakciji.



Slika 6. Sita na tresilici (Fotografija: Šušnjar, S.)

### 6.2.1. Granulometrijski parametri

Nakon obrade podataka u programu GRADISTAT (BLOTT i PYE, 2001) dobiveni su podaci o količini pojedine frakcije u uzorku, srednja i prosječna veličina čestica, sortiranost uzorka, koeficijent asimetričnosti i zaoštrenost krivulje. Prema Folkovoj (1954) klasifikaciji određen je tip sedimenta te su analizirani uzorci prikazani pomoću trokomponentnog dijagrama.

Za svaki uzorak su izračunati granulometrijski parametri prema Folk i Ward (1957):

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

$$M_d = \Phi 50$$

**Prosječna veličina zrna (*mean*):** aritmetički izračunata prosječna veličina čestica

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

**Koeficijent sortiranosti (*sorting*):** pokazatelj distribucije veličine čestica

$$S_0 = \frac{(\Phi 84 - \Phi 16)}{4} + \frac{(\Phi 95 - \Phi 5)}{6,6}$$

Kategorije sortiranosti sedimenta:

< 0,35 - vrlo dobro sortirano

0,35-0,50 - dobro sortirano

0,5-0,70 – umjereno dobro sortirano

0,70 – 1,00 – umjereno sortirano

1,00 – 2,00 – loše sortirano

2,00 – 4,00 – vrlo loše sortirano

> 4,00 – izrazito loše sortirano

**Koeficijent asimetričnosti (*skewness*):** pokazatelj simetričnosti distribucije čestica. Pozitivne vrijednosti ukazuju na prevladavanje krupnije frakcije, a negativne vrijednosti da prevladava sitnija frakcija.

$$Sk = \frac{\Phi 16 + \Phi 84 - 2\Phi 50}{2(\Phi 84 - \Phi 16)} + \frac{\phi 5 + \phi 95 - 2\phi 50}{5(\phi 95 - \phi 5)}$$

Kategorije koeficijenta asimetričnosti:

-1,00 do -0,30 – vrlo negativno zakošena krivulja

-0,30 do -0,10 – negativno zakošena krivulja

-0,10 do 0,10 – gotovo simetrična krivulja

0,10 do 0,29 – pozitivno zakošena krivulja

0,30 do 1,00 – vrlo pozitivno zakošena krivulja

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

$$Kg = \frac{(\Phi 95 - \Phi 5)}{2,44(\Phi 75 - \Phi 25)}$$

Kategorije zaoštrenosti krivulje:

<0,67 – vrlo zaravnjena krivulja

0,67 – 0,90 – zaravnjena krivulja

0,90 – 1,11 – srednje zaoštrena krivulja

1,11 – 1,50 – zaoštrena krivulja

1,50 – 3,00 – vrlo zaoštrena krivulja

>3,00 – izuzetno zaoštrena krivulja

### 6.3. Određivanje udjela karbonata

Za određivanje udjela karbonata prvo je trebalo usitniti uzorke u drobilici do veličine vrlo sitnog praha te su potom izvagana po dva poduzorka od oko 300 mg. Uzorci za analizu udjela karbonata su poduzorkovani iz frakcije veličine 0,125 - 0,063 mm.

Udio karbonata u uzorcima sedimenta određen je volumetrijom plina Scheiblerovom metodom na Scheiblerovoj aparaturi (Slika 7.). Metoda se temelji na određivanju volumnog udjela ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>) koji nastaje pri reakciji otapanja karbonata u klorovodičnoj kiselini (HCl). Prije određivanja udjela karbonata u uzorcima sedimenta, napravljeno je mjerenje standarda, odnosno čistog kalcijevog karbonata (CaCO<sub>3</sub>). Najprije je dva puta odvagano po 300 mg standarda u male staklene čašice. Sadržaj tih čašica je stavljen u Erlenmeyerovu tikvicu, a 18%-tna HCl je stavljena u plastičnoj čašici u tikvicu, koju je magnet kasnije prevrnuo (kad smo zatvorili sustav i namjestili sve za mjerenje). Prilikom reakcije razvijao se ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>) čiji je volumen na kraju reakcije izmjeren i očitao, te je pomoću formule za izračun dobiven maseni udio karbonata koji je (morao) iznositi 100 % ± 3 %. Određivanje udjela karbonata u svakom uzorku sedimenta proveden je na identičan način kao i kod standarda. Pri svakom mjerenju osim očitavanja volumena ugljikovog dioksida, potrebno je bilo očitati još i temperaturu i tlak zraka u prostoriji, pomoću kojih je determiniran faktor *f* koji se očitava iz tablice [2] a koji je kasnije bio potreban za izračun masenog udjela karbonata prema formuli:

$$\%CaCO_3 = \frac{mlCO_2 \cdot faktor\ f \cdot 2,274 \cdot 100}{masa\ uzorka\ (mg)}$$

Za standard i za svaki uzorak su napravljena dva mjerenja te je za konačan udio karbonatne komponente uzeta aritmetička sredina dobivenih rezultata.





Slika 7. Scheiblerova aparatura za određivanje udjela karbonata

## 6.4. Separacija teške i lake mineralne frakcije

Prije separacije svi uzorci su prosijani kroz dva sita veličina 0,125 mm i 0,063 mm. Frakcija zaostala na situ 0,063 mm se koristila za daljnju analizu. U prosjeku je izdvojeno desetak grama svakog uzorka koji su izvagani na tehničkoj vagi.

Separacija teške i lake mineralne frakcije je metoda kojom se odvajaju minerali na temelju njihovih razlika u gustoći. Uzorci su najprije uronjeni u 5%-tnu octenu kiselinu kako bi se otopili karbonati i zatim u 15%-tnu otopinu vodikovog peroksida kako bi se uklonila organska tvar. Zatim je provedeno odglinjavanje pomoću ultrazvučne kadice. Uzorci su stavljeni u keramičke posudice i ostavljeni na zraku da se suše par dana. Nakon sušenja svaki uzorak se homogenizirao i uzeti su poduzorci od oko 3 grama izvagani na analitičkoj vagi.

Separacija se vrši pomoću teške tekućine, u ovom slučaju je korišten natrijev polivolframat (eng. *sodium polytungstate* - SPT) koji je razrijeđen destiliranom vodom do željene gustoće koja iznosi 2,90 g/cm<sup>3</sup>. Gustoća je provjerena areometrom. Potom je uzorak stavljen u plastičnu kivetu i na njega je dolivena tekućina poznate gustoće. Takve kivete su stavljene na centrifugiranje 5 minuta pri brzini od 2500 okretaja u minuti kako bi došlo do brže separacije teške od lake mineralne frakcije (Slika 8.). Teška frakcija je otišla na dno, dok laka ostaje pri vrhu tekućine u plastičnoj kiveti, a između njih se nalazi tekućina poznate gustoće. Nakon tog procesa kivete su stavljene u zamrzivač dok se tekućina ne zamrzne u potpunosti.



Slika 8. Razdvojena teška i laka frakcija nakon centrifugiranja

Nakon zaleđivanja slijedi postupak odvajanja teške od lake frakcije minerala. Postavi se aparatura za filtraciju koja se sastoji od stalka na koji se stavi lijevak, a u lijevak označeni filter papir kako bi se uzorak zadržao. Ispod lijevka se nalazi staklena čaša u koju će se filtrirati natrijev polivolframata i destilirana voda. Destiliranom vodom je pažljivo odleđen gornji dio uzorka koji sadržava samo laku mineralnu frakciju te je izliven na filter papir. Talog na filter papiru je ispran nekoliko puta destiliranom vodom kako ne bi zaostala sol natrijevog polivolframata. Na taj način je izdvojena samo laka mineralna frakcija. Istim postupkom se izdvaja teška mineralna frakcija. Uzorci teške i lake frakcije u filter papirima su stavljeni na satno staklo i ostavljeni da se osuše par dana na zraku. Nakon sušenja svi uzorci su izvagani na analitičkoj vagi kako bi se dobile točne mase teške i lake frakcije.

## 6.5. Mikroskopiranje uzoraka

Prije mikroskopiranja teške mineralne frakcije potrebno je izraditi mikroskopske preparate. U ovom slučaju se koriste zrnati mikroskopski preparati. Uzorak teške frakcije koji se nalazi u keramičkoj posudici je promiješan drvenim štapićem i zatim je mokrim kistom prenesena odgovarajuća količina uzorka na predmetno stakalce. Nakon toga je dodan kanadski balzam ( $n = 1,538$ ) u krutom stanju koji je zagrijavanjem prešao u tekuće. Uzorak je prekriven pokrovnim stakalcem u trenutku kada je postupnim zagrijavanjem kanadski balzam bio na prijelazu iz plastičnog u krto stanje.

Izrađeni preparati su analizirani na polarizacijskom mikroskopu Zeiss AxioLab. Mikroskopiranjem se određuje udio pojedine mineralne vrste u uzorku. Od svakog uzorka izrađena su po dva mikroskopska preparata teške mineralne frakcije (označeni kao pr. PLV1 i PLV1\*) u slučaju da na jednom od preparata nema dovoljan broj prozirnih teških minerala. Prilikom brojanja zrna je korištena metoda trake (eng. *ribbon counting method*) (GALEHOUSE, 1969). Ta metoda uključuje nasumično odabiranje traka unutar vidnog polja na mikroskopu i brojanje zrna koja se nalaze u vidnom polju. Trake se moraju odrediti na dovoljnoj međusobnoj udaljenosti kako ne bi došlo do brojanja istih zrna više puta. Odredilo se i brojalo 300 zrna prozirnih teških minerala na preparatu te zatim izračunao udio svake mineralne vrste. Za identifikaciju zrna minerala korištena je priručna literatura (MANGE i MAURER, 1992).

## 7. Rezultati

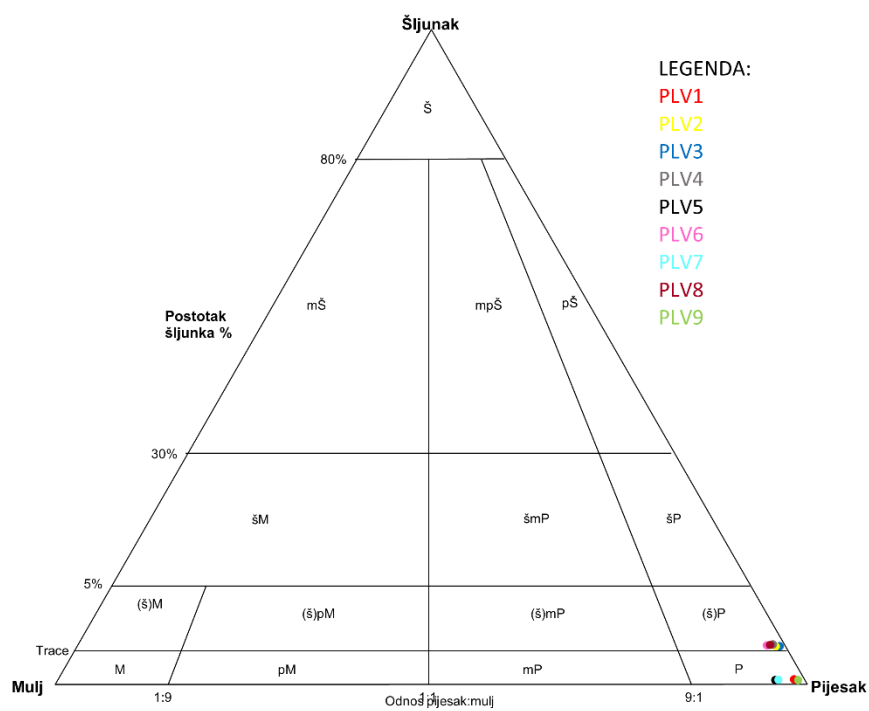
### 7.1. Granulometrija

Granulometrijska analiza je provedena na ukupno devet uzoraka metodom mokrog sijanjanja te je na temelju toga svaki uzorak klasificiran s obzirom na količinu šljunka, pijeska i mulja (FOLK, 1954). Podaci su prikazani u Tablici 1., Tablici 2. te grafički trokomponentnim dijagramom (Slika 9.). Također su dobiveni granulometrijski parametri: srednja veličina zrna, koeficijent asimetričnosti, sortiranost i zaoštrenost krivulje. Podaci su prikazani u Tablici 3.

U dobivenim rezultatima granulometrijske analize svi uzorci su okarakterizirani kao pijesci. Od uzoraka uzetih na istočnoj strani plaže, uzorci PLV1 i PLV5 su pijesci, dok ostatak uzoraka spada pod slabo šljunkoviti pijesak. Sa sjeverozapadne strane plaže uzorci PLV7 i PLV9 su pijesci, a ostatak uzoraka su slabo šljunkoviti pijesci.

Tablica 1. Udio veličinskih frakcija u sedimentima i vrsta sedimenta

Uzorak	Šljunak (%)	Pijesak (%)	Mulj (%)	Vrsta sedimenta
PLV1	0,0	98,4	1,6	Pijesak
PLV2	0,2	98,4	1,4	Slabo šljunkoviti pijesak
PLV3	0,1	99,3	0,6	Slabo šljunkoviti pijesak
PLV4	0,4	98,6	1,0	Slabo šljunkoviti pijesak
PLV5	0,0	97,1	2,9	Pijesak
PLV6	0,1	97,6	2,1	Slabo šljunkoviti pijesak
PLV7	0,0	97,4	2,6	Pijesak
PLV8	0,4	98,3	1,3	Slabo šljunkoviti pijesak
PLV9	0,0	98,9	1,1	Pijesak



Slika 9. Trokomponentni dijagram po FOLK (1954)

Tablica 2. Udjeli svih frakcija dobivenih granulometrijom

Uzorak	Vrlo sitni šljunak (%)	Vrlo krupni pijesak (%)	Krupni pijesak (%)	Pijesak srednje veličine (%)	Sitni pijesak (%)	Vrlo sitni pijesak (%)	Mulj (%)
PLV 1	0	0,3	2,3	14,1	77,1	4,8	1,6
PLV 2	0,2	0,2	1,6	40,2	54,1	2,3	1,4
PLV 3	0,1	0,3	5,8	44,1	47,7	1,4	0,6
PLV 4	0,4	0,4	1,9	34,4	59,7	2,3	1
PLV 5	0	0	0,5	33,2	58	5,4	2,9
PLV 6	0,1	1,2	10,2	32,2	52,2	1,9	2,1
PLV 7	0	0,2	1,5	24	67,2	4,5	2,6
PLV 8	0,4	2,9	12,3	29	50,8	3,4	1,3
PLV 9	0	0	5,4	65,6	26,8	1,2	1,1

Izračunati granulometrijski parametri za sve uzorke brojčano su prikazani u Tablici 3.

*Srednja veličina zrna (median)* se kreće u rasponu od 185,1  $\mu\text{m}$  do 312,2  $\mu\text{m}$ .

*Prosječna veličina zrna (mean)* se kreće u rasponu od 186,6  $\mu\text{m}$  do 292,1  $\mu\text{m}$ .

Graf na Slici 10. prikazuje blagi uzlazni trend povećanja srednje (Md) i prosječne (Mz) veličine zrna idući od uzoraka uzetih sa istočne prema sjeverozapadnoj strani plaže. Prosjek srednje veličine zrna sa istočne strane plaže iznosi 210,7  $\mu\text{m}$ , dok je na sjeverozapadnoj 242,2  $\mu\text{m}$ . Prosjek prosječne veličine zrna sa istočne strane plaže je 216,0  $\mu\text{m}$ , a na sjeverozapadnoj 250,8  $\mu\text{m}$ .

*Sortiranost sedimenta* je slična kod svih uzoraka. Šest uzoraka je umjereno dobro sortirano (PLV1, PLV2, PLV3, PLV4, PLV7 i PLV9) te su tri uzorka umjereno sortirana (PLV5, PLV6 i PLV8). Sortiranost se brojčano kreće od 0,547 do 0,872 s prosjekom 0,6814.

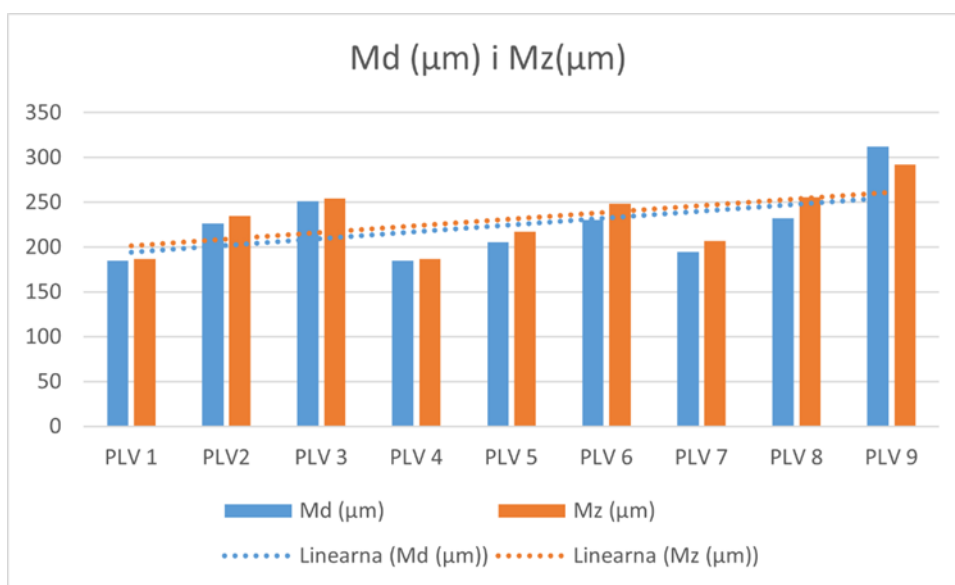
*Koeficijent asimetričnosti* se u uzorcima kreće od -0,309 do 0,227 s prosjekom od -0,107 što spada pod negativno zakošenu krivulju. Uzorak PLV8 ima vrlo negativno zakošenu krivulju; uzorci PLV1, PLV2, PLV4, PLV6, PLV7 imaju negativno zakošenu krivulju; gotovo simetričnu krivulju imaju uzorci PLV3 i PLV5, dok uzorak PLV9 ima pozitivno zakošenu krivulju.

*Zaoštrenost krivulje* u uzorcima je raspona od 0,754 do 1,327, u prosjeku 1,030 što spada pod srednje zaoštrenu krivulju. Zaravnjenu krivulju imaju uzorci PLV2, PLV3, PLV4, srednje zaoštrenu krivulju PLV5, PLV6, PLV8 i PLV9, dok zaoštrenu krivulju imaju PLV1 i PLV7.



Tablica 3. Granulometrijski parametri analiziranih uzoraka (FOLK i WARD, 1957)

Uzorak	Md ( $\mu\text{m}$ )	Mz ( $\mu\text{m}$ )	So ( $\Phi$ )	Sk ( $\Phi$ )	K ( $\Phi$ )
PLV 1	185,1	186,6	0,547	-0,117	1,327
PLV 2	226,2	235,1	0,644	-0,121	0,754
PLV 3	251,2	254,5	0,695	-0,078	0,803
PLV 4	185,1	186,6	0,547	-0,117	1,327
PLV 5	205,9	217,1	0,724	-0,046	1,036
PLV 6	230,1	248,4	0,805	-0,272	0,91
PLV 7	194,6	206,7	0,670	-0,13	1,248
PLV 8	232,0	255,8	0,872	-0,309	0,917
PLV 9	312,2	292,1	0,629	0,227	0,949



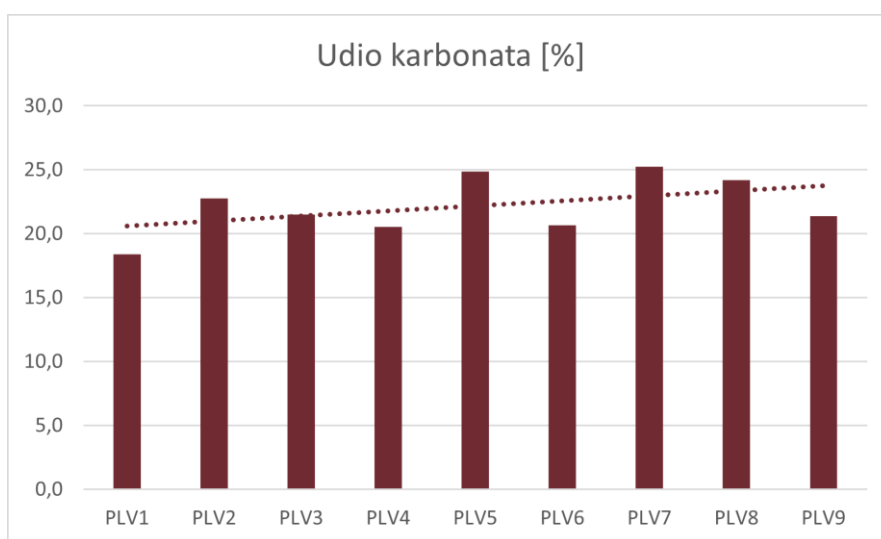
Slika 10. Srednja (Md) i prosječna (Mz) veličina zrna u uzorcima

## 7.2. Određivanje udjela karbonata

U Tablici 4. su prikazani rezultati udjela karbonatne komponente dobiveni metodom volumetrije plina. Udjeli karbonata u sedimentu plaže su u rasponu od 18,40 do 25,23% s prosjekom od 22,18%. Prosječni udio karbonata uzoraka istočne strane plaže iznosi 21,62%, a sa sjeverozapadne strane plaže 22,87%. Prisutan je blagi trend povećavanja koncentracije karbonata idući od istočne strane plaže prema sjeverozapadnoj (Slika 11.).

Tablica 4. Udjeli karbonatne komponente u uzorcima

Uzorak	Udio karbonata [%]
PLV1	18,4
PLV2	22,8
PLV3	21,5
PLV4	20,5
PLV5	24,9
PLV6	20,7
PLV7	25,2
PLV8	24,2
PLV9	21,4



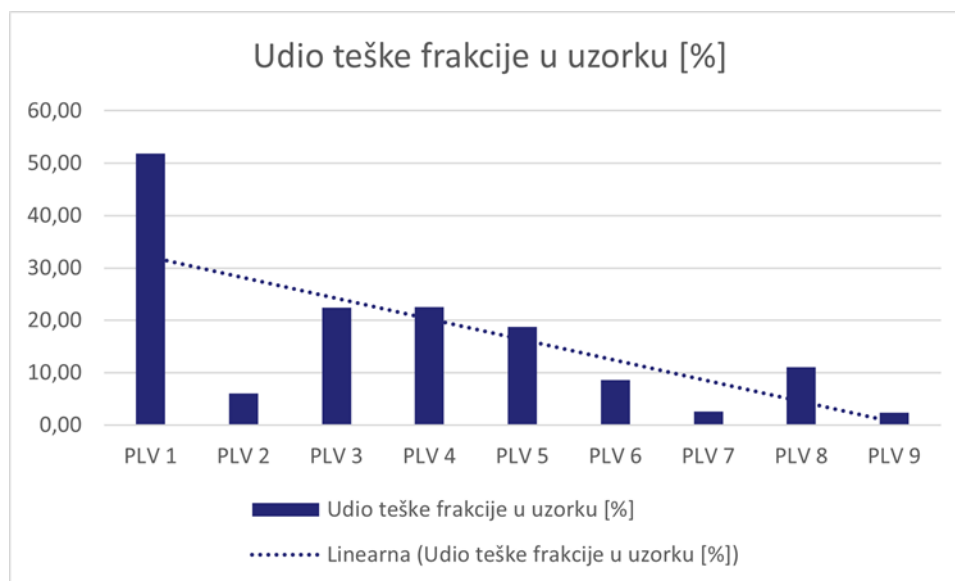
Slika 11. Grafički prikaz udjela karbonata

### 7.3. Separacija teške i lake frakcije

Separacijom teške i lake frakcije dobivene su mase pojedinih frakcija. U Tablici 5. prikazana je početna masa poduzoraka koji su bili separirani te masa i izračunati udio teške frakcije. Udio teške frakcije u uzorcima sa istočne strane plaže varira od 6,03 do 51,86% s prosjekom od 24,35%. Sa sjeverozapadne strane plaže udio teške frakcije je manji i kreće se od 2,43 do 11,03%. Prosjek udjela teške frakcije je oko 4x manji nego sa istočnog dijela plaže i iznosi 6,17%. Također, rezultati su grafički prikazani u obliku stupčastog dijagrama (Slika 12.) na kojem se vidi uzlazni trend od istočnog prema sjeverozapadnom dijelu plaže. U ovom radu nije detaljno analiziran sastav lake frakcije.

Tablica 5. Rezultati separacije teške i lake frakcije

Uzorak	Početna masa (g)	Teška frakcija (g)	Udio teške frakcije (%)
PLV1	3,0296	1,5667	51,86
PLV2	3,0173	0,1813	6,03
PLV3	3,0119	0,6752	22,49
PLV4	3,1155	0,7010	22,57
PLV5	3,0110	0,5645	18,78
PLV6	3,0470	0,2607	8,58
PLV7	3,0174	0,0789	2,62
PLV8	3,0373	0,3343	11,03
PLV9	3,2293	0,0784	2,43



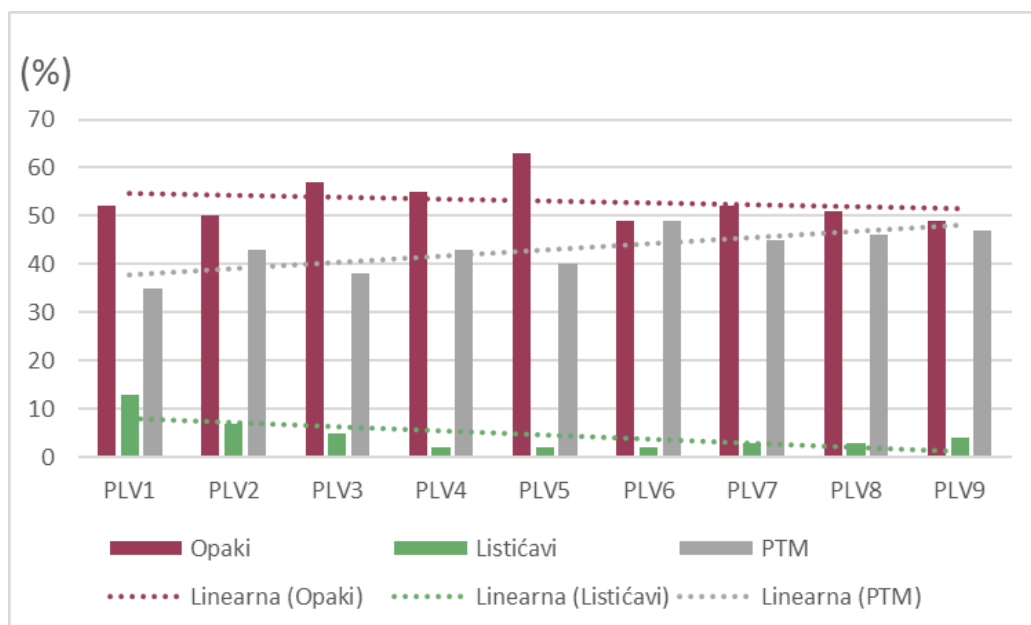
Slika 12. Udio teške frakcije u uzorcima

## 7.4. Sastav teške frakcije

Modalni sastav je određen na svih devet uzoraka, a rezultati su prikazani u Tablici 6., dok se njihov grafički prikaz se nalazi na Slici 13. U uzorcima prevladavaju opak minerali, zatim po zastupljenosti slijede prozirni teški te listićavi minerali. U uzorcima uzorkovanim sa istočne strane plaže postoci opakih minerala se kreću od 50 do 63% s prosjekom od 55,4%, listićavih od 2 do 13% s prosjekom od 5,8, a prozirnih teških minerala od 35 do 43% s prosjekom od 39,8 %. Sa sjeverozapadne strane plaže postoci opakih minerala su u rasponu od 49 do 52% s prosjekom od 50,25% , listićavih od 2 do 4% s prosjekom od 3%, a prozirnih teških minerala od 45 do 49% s prosjekom od 46,75%. Na grafu (Slika 13.) se može uočiti lagani silazni trend opakih minerala od uzorka PLV1 prema PLV9. Iako u svakom uzorku opak minerali prevladavaju, udio prozirnih teških minerala se postupno povećava idući od PLV1 prema PLV9. Listićavi minerali pokazuju silazni trend od uzorka PLV1 prema PLV9.

Tablica 6. Postotni udjeli opakih, listićavih i prozirnih teških minerala (PTM)

Uzorak	Opaki (%)	Listićavi (%)	PTM (%)
PLV1	52	13	35
PLV2	50	7	43
PLV3	57	5	38
PLV4	55	2	43
PLV5	63	2	40
PLV6	49	2	49
PLV7	52	3	45
PLV8	51	3	46
PLV9	49	4	47



Slika 13. Grafički prikaz Postotnih udjela opakih, listićavih i prozirnih teških minerala (PTM)

Tablica 7. prikazuje udjele različitih mineralnih vrsta teške frakcije izražene u postocima za svaki uzorak. Identificirani prozirni teški minerali uključuju sljedeće vrste: granate, cirkon, rutil, titanit, turmalin, kromit, epidot, piroksene, amfibole, klinozoisit, klorit i kijanit. U svim uzorcima su zastupljeni granati, cirkon, rutil, titanit, turmalin i kromit, dok se ostatak mineralnih vrsta pojavljuje samo u pojedinim uzorcima. Na Slici 14. se nalazi grafički prikaz rezultata koji pokazuje postotne udjele pojedinih mineralnih vrsta u svim uzorcima, a svaka mineralna vrsta je obojena različito.

Najzastupljeniji prozirni teški mineral u svim uzorcima je granat čiji se sadržaj kreće od 40 do 59%, s ukupnim prosjekom od 51,74%. Prosječan broj granata iz uzoraka uzetih sa istočnog profila plaže je 49,6% dok sa sjeverozapadne strane iznosi 54,42%. Sljedeći mineral po zastupljenosti u uzorcima je cirkon čija je najmanja vrijednost 8,33%, a najveća 30,67% s prosjekom od 16,93%. Prosječan broj cirkona s profila istočne plaže je 20,40%, a na sjeverozapadnom profilu je 12,58%. Zastupljenost rutila u uzorcima varira od 4,67% do 14% s prosjekom od 9,33% u svim uzorcima. U uzorcima istočnog dijela plaže prosjek iznosi 10,07%, a sa sjeverozapadnog profila 8,42%. Titanit u uzorcima varira od 3,67% do 12,33%. Prosjek titanita u svim uzorcima je 7,48%, u uzorcima uzorkovanim sa istočnog profila plaže je 6,27%, dok je u onima sa sjeverozapadnog dijela 9%. Turmalin se u uzorcima kreće od 2,33% do 9,67% s ukupnim prosjekom od 5,96%. Prosjek turmalina sa istočnog profila plaže iznosi 4,80%, a na sjeverozapadnom dijelu plaže 7,42%. Posljednji mineral zastupljen u

svim uzorcima je kromit čije se vrijednosti kreću od 1,33% do 8,33% s prosjekom od 5,22%. U uzorcima istočnog dijela plaže prosjek iznosi 6,60%, dok je na sjeverozapadnom 3,50%. Epidot je mineral koji nije zastupljen u svim uzorcima, pojavljuje se u PLV1, PLV2, PLV3, PLV5 i PLV6. Zastupljenost u uzorcima mu se kreće od 0,33% do 1,67% s prosjekom od 0,37%. Na istočnom dijelu plaže prosjek mu iznosi 0,60%, a na sjeverozapadnom se pojavljuje u samo jednom uzorku s 0,33%. Piroksen (augit) je zastupljen u svim uzorcima osim u PLV6, sa vrijednostima koje se kreću od 0,33% do 4% s prosjekom od 1,44%. Uzorci s istočnog dijela plaže su prosječne vrijednosti 1,13%, dok onima sa sjeverozapadne strane iznosi 1,83%. Amfiboli su prisutni samo u uzorcima PLV5, PLV7 i PLV8. Postoci im se kreću od 0,33% do 0,67% s prosjekom 0,15%. Na istočnom dijelu plaže nalazi se u samo jednom uzorku u kojem čini 0,33%, a na sjeverozapadnom prosjek je 0,50%. Klinozoisit je prisutan u uzorcima PLV4, PLV5, PLV6, PLV8 i PLV9 u rasponu od 0,33% do 1% s prosjekom od 0,26%. Prosjek uzoraka sa istočnog dijela plaže iznosi 0,13%, sa sjeverozapadne je 0,42%. Klorit se pojavljuje u samo dva uzorka PLV5 i PLV6 sa zastupljenošću od 0,33% u svakom uzorku. Kijanit se nalazi u uzorcima PLV2, PLV6, PLV7, PLV8 i PLV9, vrijednosti mu se kreću od 0,33% do 3%. Na istočnom dijelu plaže se nalazi u jednom uzorku (0,33%), dok je sa sjeverozapadne strane profila zastupljen u svim uzorcima s prosjekom od 1,92%. U uzorcima PLV1, PLV4 i PLV9 se nalaze minerali koji se nisu mogli determinirati (označeni su oznakom X). U PLV1 ih je 0,67%, dok ih je u ostalim uzorcima 0,33%.

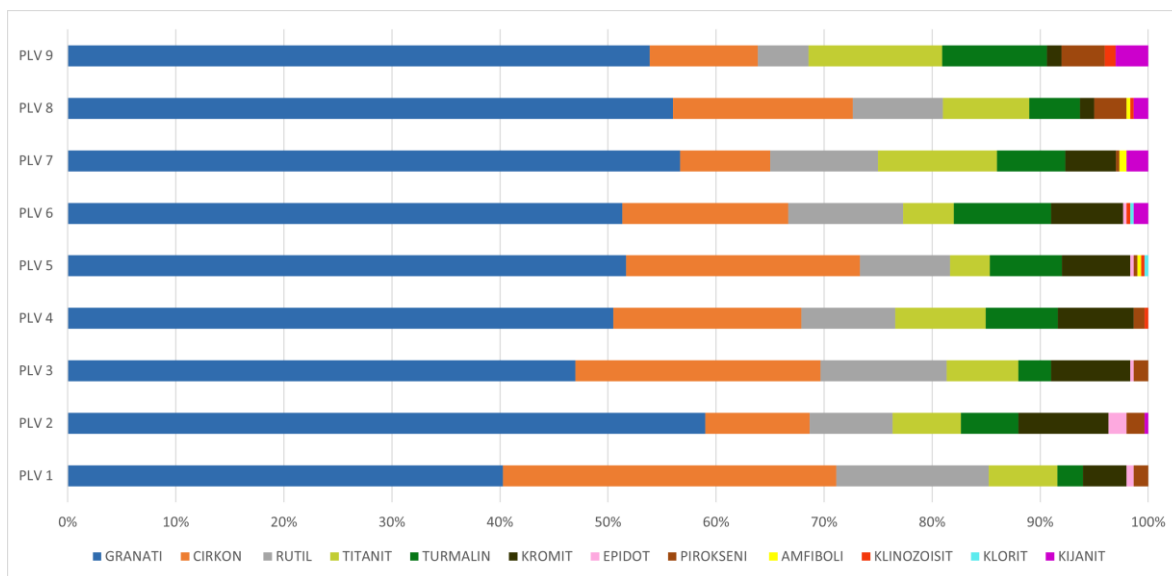
Minerali rutil, kromit, cirkon i epidot pokazuju silazni trend, u smjeru od uzorka PLV1 prema PLV9. Granati, turmalin, titanit, pirokseni, amfiboli, kijanit i klinozoist pokazuju uzlazni trend idući od uzorka PLV1 do PLV9.

U daljnjoj analizi trendova će se isključiti epidot, amfiboli, klinozoisit i klorit jer se ne pojavljuju u svim uzorcima i ako se pojavljuju to je u jako malim postocima, najčešće manjima od 1%.

Tablica 7. Postotni udjeli svih mineralnih vrsta prozirnih teških minerala u uzorcima

Uzorak	Mineralne vrste (%)												
	Granati	Cirkon	Rutil	Titanit	Turmalin	Kromit	Epidot	Pirokseni	Amfiboli	Klinozoisit	Klorit	Kijanit	X
PLV1	40,00	30,67	14,00	6,3	2,33	4,00	0,67	1,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67
PLV2	59,00	9,67	7,67	6,33	5,33	8,33	1,67	1,67	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00
PLV3	47,00	22,67	11,67	6,67	3,00	7,33	0,33	1,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PLV4	50,33	17,33	8,67	8,33	6,67	7,00	0,00	1,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,33
PLV5	51,67	21,67	8,33	3,67	6,67	6,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,00	0,0
PLV6	51,33	15,33	10,67	4,6	9,00	6,67	0,33	0,00	0,00	0,33	0,33	1,33	0,00
PLV7	56,67	8,33	10,00	11,00	6,33	4,67	0,00	0,33	0,67	0,00	0,0	2,00	0,0
PLV8	56,00	16,67	8,33	8,00	4,67	1,33	0,00	3,00	0,33	0,33	0,00	1,33	0,0
PLV9	53,67	10,00	4,67	12,33	9,67	1,33	0,00	4,00	0,00	1,00	0,00	3,00	0,33





Slika 14. Grafički prikaz postotnih udjela svih mineralnih vrsta prozirnih teških minerala

## 8. Rasprava

Područje istraživanja je sjeverni dio otoka Vrgade, preciznije klif i pripadajuća plaža smještena u njegovom podnožju. Klif je istaložen na vapnenačkoj podlozi kredne starosti, a materijal koji ga gradi su naslage siliciklastičnog sedimenta, transportiranog s erodiranih stijena u zaleđu, u većoj mjeri porijeklom iz eocenskih pješčenjaka. Transport se odvijao tijekom pleistocena kada je razina mora bila niža i to putem dvije taložne sile: aluvijalne i eolske (BANAK i sur., 2021). U podnožju klifa, kao što je već spomenuto, se nalazi pretežito pješčana plaža koja je izgrađena od materijala koji je većim dijelom nastao erodiranjem klifa. Erozijska klifa se odvija uslijed utjecaja valova i djelovanjem oborina, a prema izjavama mještana, erozija je dodatno olakšana tijekom udara bure: kako puše u mahovima, olujna bura periodički udara okomito na lice klifa, uzrokujući udarce koji se ponekad zvukom manifestiraju poput eksplozije. Sjeverna strana klifa je manje strma i obrasla borovom šumom i pod utjecajem je maestrala, blagog ljetnog vjetrova koji na Jadranu puše sa sjeverozapada. Istočna strana klifa je gotovo vertikalna i gola te izložena puhanju vjetrova: juga kojem je smjer puhanja na Jadranu s jugoistoka i bure koja na Jadranu puše sa sjeveroistoka. Oba vjetrova prevladavaju u zimskim mjesecima, a juga se javlja i u toplijem dijelu godine. U ljetnom dijelu godine dominantan vjetar u poslijepodnevnim satima je maestral koji puše sa sjeverozapada. Bura i juga su najdominantniji vjetrovi koji stvaraju veće valove od spomenutog maestrala, stoga se može pretpostaviti da zbog istočne komponente oba vjetrova, dominantna dužobalna struja nastaje dolaskom njihovih valova na plažu i prenosi materijal s istočne strane klifa prema zapadu, odnosno u smjeru sjevernog dijela plaže. Na ovakvu pretpostavku ukazalo je prethodno istraživanje utjecaja erozije klifa na sastav plitkomorskog sedimenta i pretpostavljen je transport materijala s klifa na plaži od istoka prema zapadu (FURČIĆ, 2019; PIKELJ i FURČIĆ, 2020).

Uzorkovano je devet uzoraka, od kojih je pet uzorkovano sa istočnog dijela plaže (PLV1, PLV2, PLV3, PLV4 i PLV5), a ostala četiri (PLV6, PLV7, PLV8 i PLV9) su uzorkovana sa sjeverozapadnog dijela plaže (Slika 5.).

Granulometrijskom analizom je potvrđeno da je Crvena plaža zaista pješčana plaža jer su PLV1, PLV5, PLV7 i PLV9 pijesci, dok je ostatak uzoraka slabo šljunkoviti pijesak (Tablica 1.). Granulometrijski parametri, točnije srednja (Md) i prosječna veličina zrna (Mz) se povećavaju idući od istoka prema zapadu (Slika 10.). Na istočnoj strani plaže prosjek

prosječne veličine zrna je 216  $\mu\text{m}$  što spada pod sitni pijesak, a na sjeverozapadnoj plaži prosjek je 250  $\mu\text{m}$  što je granica između srednjeg i krupnog pijeska (FOLK, 1954).

Prema Komar i Wang (1984), u krupnijim frakcijama pijeska prevladavaju laki minerali (poput kvarca) koje je lakše pokrenuti u transport. Razlog njihovoj lakšoj pokretljivosti je niža gustoća i veća veličina zrna, čija je površina izloženija sili koja vrši transport. Sitnije frakcije pijeska su koncentriranije u područjima izražene erozije, dok su krupnije frakcije vezane uz područja obale na kojima se odvija taloženje, odnosno akrecija (FRIHY, 2007). U ovom slučaju zbog trenda povećavanja prosječne veličine zrna prema zapadu, istočna strana plaže bi bila ona erozivna, a sjeverozapadna je područje akrecije. Nadalje, blagi porast srednje i prosječne veličine zrna idući u smjeru pretpostavljene dužobalne struje nije bio očekivan. Gledajući plažu u globalu, materijal koji se nalazi na njenom istočnom segmentu u podnožju klifa u značajnoj mjeri sadrži i veće komade sedimenta veličine šljunka. Pregledom takvih zrna ustanovljeno je da se radi o karbonatnim komadima rizokrecija koje je na klifu moguće naći u najgornjem facijesu C (BANAK i sur., 2021). Ipak, blagi porast obiju veličina od istoka prema zapadu zrna može se objasniti načinom uzorkovanja, kod kojeg se izbjegavalo uzorkovanje materijala koji sadrži značajne količine karbonatnih rizokrecija veličine šljunka, a sve kako bi uzorkovani materijal bio čim adekvatniji za analizu teške mineralne frakcije (GARZANTI i ANDÒ, 2019). Osim toga, Banak i sur. (2021) navode da je u dnu klifa s istočne strane u facijesu A pronađen vrlo sitnozrnasti (muljeviti) materijal. On će djelovanjem valova prije biti odnesen u more, nego transportiran dužobalnom strujom prema zapadu, pa je njegov izostanak sa sjeverozapadnog dijela plaže djelomičan razlog povećanja prosječne i srednje veličine zrna u uzorcima od PLV1 do PLV9.

Rezultati određivanja udjela karbonata se kreću od 18,4% do 25,2% te pokazuju lagani trend povećanja prema zapadu (Slika 11.). Takav rezultat bi također mogao ukazivati na smjer dominantnog dužobalnog transporta od istoka prema zapadu, slijedeći isti obrazac zaostajanja težih minerala veće gustoće na istočnoj strani (strani erozije), te transport lakših minerala manje gustoće prema zapadu na područje taloženja (akrecije). Još k tome karbonati imaju nižu gustoću, oko 2,8  $\text{g/cm}^3$  (MANGE i MAURER, 1992) što znači da lakše ulaze u transport u odnosu na tešku frakciju.

Tijekom kvantitativne analize teške mineralne frakcije, u uzorcima su određeni udjeli opakih, listićavih i prozirnih teških minerala. Sličan omjer, s nešto malo višim udjelima opakih i nižim udjelima listićavih, se nalazi u uzorcima uzetim s klifa na istočnoj strani (BANAK i sur., 2021). Rezultati određivanja udjela opakih, listićavih i prozirnih teških

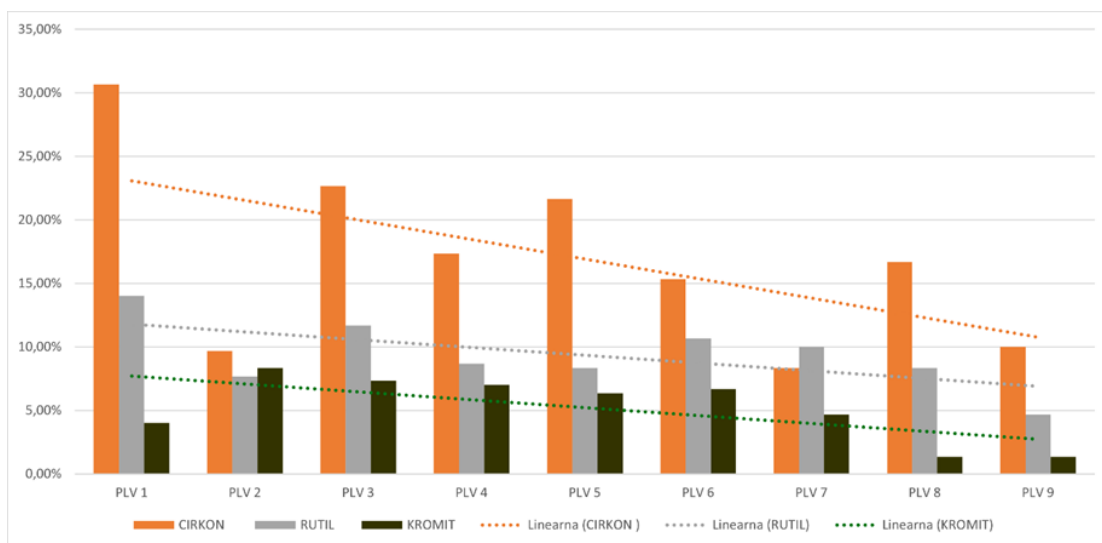
minerala u uzorcima pokazuju najveću zastupljenost opakih, za kojima slijede prozirni teški te listićavi (Tablica 6.). Unatoč tome što opaki minerali prevladavaju u svim uzorcima (od 49 do 63%), njihovi udjeli pokazuju trend snižavanja idući od istoka prema zapadu. Drugi zastupljeni u uzorcima su prozirni teški minerali (od 35 do 49%) čiji se udjeli povećavaju od istoka prema zapadu (Slika 13.). Razlog zbog kojeg opaki minerali prevladavaju u uzorcima je vjerojatno taj što su također najzastupljeniji unutar teške mineralne frakcije u svim uzorcima uzetih sa istočnog klifa (BANAK i sur., 2021). Silazni trend opakih minerala prema zapadu se pojavljuje zbog mogućnosti da ih čine minerali čije su gustoće velike, tj. veće od determiniranih prozirnih teških minerala. Udjeli prozirnih teških minerala se povećavaju prema zapadu zbog njihovih gustoća koje su manje od opakih minerala. Takav trend smanjivanje postotaka opakih minerala u uzorku, a povećanje prozirnih teških minerala, u njihovom slučaju amfibola i piroksena, je uočen na plažama delte Nila (HASSAN, 1976). Listićavi minerali su najzastupljeniji u uzorku PLV1 sa 13%, zatim u PLV2 sa 7%, dok su u ostalim uzorcima znatno manje prisutni u prosjeku oko 3% i pokazuju silazni trend od istoka prema zapadu (Tablica 6., Slika 13.). Izraženija erozija klifa na istočnom dijelu izdanka pleistocenskih naslaga u odnosu na manju stopu erozije šumom prekrivenog dijela pleistocenskih naslaga na sjeverozapadnoj strani je također mogući razlog veće zastupljenosti listićavih minerala među prvim uzorcima s istočne strane plaže. Silazni trend i znatno niži udjeli u uzorcima u smjeru zapada su vjerojatno nastali zbog toga što se listićavi minerali lakše pokrenu u transport koji se odvija u suspenziji, teže se zaustavljaju i na taj način su transportirani na veće udaljenosti (STANLEY i CLEMENTE, 2014), a u ovom slučaju možda čak i dalje u more.

Daljnjom mikroskopskom analizom uzoraka brojali su se samo prozirni teški minerali. Determinirano je 12 mineralnih vrsta (granati, cirkon, rutil, titanit, turmalin, kromit, epidot, klinozoisit, pirokseni - pretežito augit, amfiboli, klorit i kijanit) (Tablica 7.). Takav sastav teške frakcije se uglavnom poklapa sa sastavom određenim u uzorcima klifa (BANAK i sur., 2021).

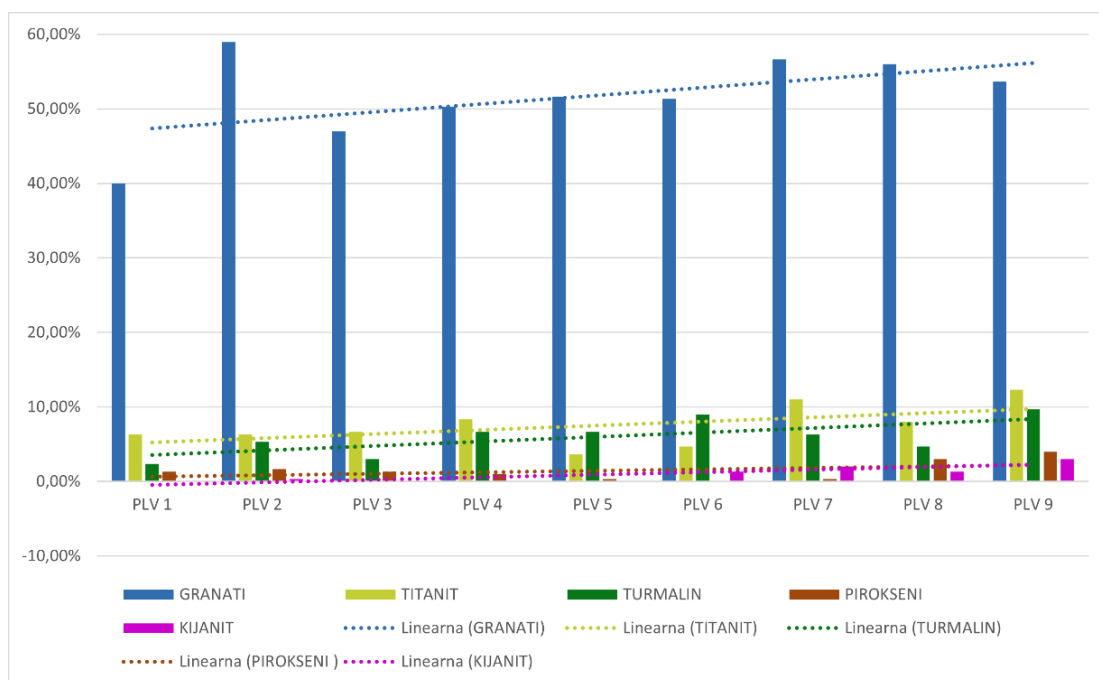
Udio teške frakcije se od PLV1 prema PLV9 smanjuje (Slika 12.). Na istočnom dijelu plaže prosječan udio teške frakcije iznosi 24,35%, dok je na sjevernoj strani plaže prosječan udio oko 4x manji i iznosi 6,17%. Razlog tome može biti već spomenuta jača erozija istočnog dijela klifa nastala jačim i većim, već spomenutim valovima bure i juga. Li i Komar (1991) su također primijetili kako se udaljavanjem od izvora donosa sedimenta na obalu smanjuje udio teških minerala duž obale, a povećava se udio lakih minerala. Razlog tome je

veća zastupljenost teških minerala u sitnijim frakcijama. Takva zrna je teže pokrenuti u transport, jer zahtijevaju veće sile za pokretanje. Težem pokretanju, odnosno lakšem zaostajanju u odnosu na druge minerale pridonosi njihova velika gustoća (MAY, 1973). Slika 10. pokazuje uzlazni trend prosječne veličine zrna ( $M_z$ ) od PLV1 prema PLV9, a teška frakcija kao što je već rečeno pokazuje silazni trend prema PLV9. Uspoređujući trend prosječne veličine zrna ( $M_z$ ) i udjele teške frakcije zamjećuju se suprotni trendovi. Prosječna veličina zrna pokazuje uzlazni trend od PLV1 do PLV9, dok udjeli teške frakcije pokazuju u istom smjeru silazni trend. S obzirom da je laka mineralna frakcija obično zastupljenija u krupnijim frakcijama pijeska (FRIHY, 2007) čiji se udjeli povećavaju prema PLV9, dobiveni rezultat je u skladu s očekivanjima: teški minerali zaostaju u sitnijim frakcijama pijeska, a možda čak i praha.

Rezultati udjela prozirnih teških minerala u uzorku (Tablica 7.) pokazuju kako su najzastupljeniji minerali u svim uzorcima granati čiji se sadržaj kreće od 40 do 59%. Razlog tome je vrlo vjerojatno velika zastupljenost granata i u uzorcima uzorkovanih s klifa u kojima je zastupljen u prosjeku oko 45% (BANAK i sur., 2021) s kojima su ovdje dobiveni rezultati u skladu. Na Slikama 15. i 16. se može primijetiti kako tri minerala imaju silazni trend, dok ostali imaju uzlazni trend u smjeru PLV1 prema PLV9. Rutil, cirkon i kromit pokazuju silazni trend, a to su ujedno i minerali čije su gustoće najveće i kreću se od 4,65 do 4,87 g/cm<sup>3</sup> (Tablica 8.). Gustoće ostalih minerala se kreću od 2,95 g/cm<sup>3</sup> (klorit) do 3,9 g/cm<sup>3</sup> (granat). U nekim istraživanjima (pr. FRIHY i KOMAR, 1991) primijećen je silazni trend za cirkon i granate, što nije slučaj na Crvenoj plaži na Vrgadi. Razlog tome može biti, kao što je prethodno rečeno, velika zastupljenost granata u klifu i prisutnost drugačije mineralne vrste unutar serija granata koje se razlikuju u gustoći (MANGE i MAUER, 1992). Silazni trend rutila, kromita i cirkona od istoka prema zapadu se pojavljuje zbog njihovih najvećih gustoća od svih prisutnih minerala, a uzlazni trend kod svih ostalih minerala čije su gustoće manje od 4 g/cm<sup>3</sup>. S takvim rezultatima se može pretpostaviti dominantan smjer dužobalnog transporta od istoka prema zapadu. U istraživanju plaže na kojoj je dominantan dužobalni transport u smjeru sjevera, Trask i Hand (1985) su uočili kako se koncentracija teških minerala smanjuje u smjeru dominantnog transporta prema sjeveru.



Slika 15. Grafički prikaz (stupčasti dijagram) minerala sa silaznim trendom



Slika 16 Grafički prikaz (stupčasti dijagram) minerala sa uzlaznim trendom

Tablica 8. Teški minerali poredani po gustoći, od najmanje prema najvećoj (MANGE i MAURER, 1992)

Mineral	Gustoća (g/cm <sup>3</sup> )
Klorit	2,95
Turmalin	3,14
Pirokseni	3,24
Klinozoisit	3,25
Amfiboli	3,26
Epidot	3,44
Titanit	3,5
Kijanit	3,59
Granati	3,9
Cirkon	4,65
Kromit	4,76
Rutil	4,87

## 9. Zaključak

Cilj ovog rada je bio potvrditi pretpostavljeni dominantni dužobalni transport na Crvenoj plaži otoka Vrgade. Rezultati prethodnog istraživanja u kojem je istraživana utjecaj erozije klifa na sastav morskog sedimenta ukazao na mogući dominantni smjer transporta materijala erodiranog s klifa na plaži u smjeru od istoka prema zapadu (FURČIĆ, 2019). Kako bi se to dokazalo, uzorkovano je devet uzoraka sedimenta, pet sa istočnog i četiri sa sjeverozapadnog dijela plaže. Granulometrijska analiza pokazuje kako su četiri uzorka pijesci (PLV1, PLV5, PLV7 i PLV9), a ostatak uzoraka su slabo šljunkoviti pijesci. Srednja i prosječna veličina zrna pokazuju uzlazni trend idući od istoka prema zapadu. Rezultati određivanja udjela karbonata su u prosjeku sa istočne strane 21,62%, a na sjeverozapadnoj 22,87% te pokazuju lagani uzlazni trend. Uzlazni trend prosječne veličine zrna i udjela karbonata bi mogao upućivati na smjer dužobalne struje prema zapadu, no to je detaljnije analizirano mikroskopiranjem teške frakcije.

Separacijom teške i lake mineralne frakcije dobiveni su udjeli teške frakcije u uzorcima. Udjeli teške frakcije se smanjuju od istoka prema zapadu. Uzorci uzorkovani na istočnoj plaži sadrže u prosjeku 24,35% teške frakcije, dok na sjevernoj 6,17%. Razlog tome može biti jača erozija istočnog klifa koja je izložena utjecaju jačih valova i vjetrova bure i juga i predstavlja direktan izvor teških minerala. Udjeli opakih, listićavih i prozirnih teških minerala se također mijenjaju u smjeru od istoka prema zapadu. Iako opaki minerali prevladavaju u svim uzorcima, njihovi udjeli imaju lagani silazni trend prema zapadu, a prozirni teški minerali pokazuju uzlazni trend prema zapadu. Listićavi minerali su u najvećim postocima zastupljeni u prva dva uzorka sa istočne strane, a idući prema zapadu znatno ih je manje. Takav odnos minerala također može ukazivati na smjer pretpostavljenog dominantnog dužobalnog transporta.

Determinirano je 12 različitih mineralnih vrsta prozirnih teških minerala (granati, cirkon, rutil, titanit, turmalin, kromit, epidot, klinozoisit, pirokseni - pretežito augit, amfiboli, klorit i kijanit). Silazni trend udjela od istoka prema zapadu pokazuju minerali čije gustoće prelaze  $4,5 \text{ g/cm}^3$ , a to su rutil, cirkon i kromit. Uzlazni trend pokazuje ostatak minerala, a njihove gustoće se kreću od  $2,95$  do  $3,9 \text{ g/cm}^3$ . Takvi rezultati odraz su transporta teških minerala koji direktno ovisi o njihovoj gustoći i veličini: što je im je veća gustoća i što su zrna manja teže će biti pokrenuti u transport i zaostajati će na mjestima erozije. Prema svemu



navedenome, može se zaključiti da je u ovom radu potvrđen prethodno pretpostavljen dužobalni transport s dominantnim smjerom od istoka prema zapadu.

## 10. Literatura

- ACHAB, M. i GUTIERREZ-MAS, J. M. (2009): Heavy Mineral sin Modern Sediments of the Bay of Cadiz and the Adjacent Continental Shelf (Southwestern Spain): Nature and Origin. *An International Journal of Marine Sciences*, 25 (2), 27–40.
- BABIĆ, LJ., ZUPANIĆ, J., VIDOVIĆ, J., RAZUM, I., LUŽAR-OBERITER, B., CRNJAKOVIĆ, M. (2013): Preservation of hanging aeolian deposits in insular karst depressions: Sediment sources and implications for the Pleistocene palaeogeography of the SE Adriatic archipelago. *Aeolian Research*, 11, 171–189.
- BANAK, A., PIKELJ, K., LUŽAR-OBERITER, B., KORDIĆ, B. (2017): Characteristics of Pleistocene aeolian – alluvial sediments of the northern cliff of Vrgada island (Adriatic sea, Croatia). *Revue Paralia*, 4, 17–22.
- BANAK, A., PIKELJ, K., LUŽAR-OBERITER, B., KORDIĆ, B. (2021): The Sedimentary record of Pleistocene aeolian – alluvial deposits on Vrgada Island (eastern Adriatic coast. Croatia). *Geologia Croatica*, 74/2, 127–137.
- BEHERA, P. (2003): Heavy mineral sin beach sands of Gopalpur and Paradeep along Orissa coastline, east cost of India. *Indian Journal of Marine Sciences*, 32 (2), 172–174.
- BLOTT, S. J. i 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.
- BOGNAR, A., CRKVENČIĆ, I., MALIĆ, A., POČAKAL, M., RIĐANOVIĆ, J. (1990): Geografske značajke i suvremeni procesi na otoku Vrgadi. *Geografski glasnik*, 52, 91–110.
- CLARK, P.U., DYKE, A.S., SHAKUN, J.D., CARLSON, A.E., CLARK, J., WOHLFAHRT, B., MITROVICA, J.X., HOESTETLER, S.W. & MCCABE, A.M. (2009): The Last Glacial Maximum - *Science*, 325, 710–714.
- DAVIDSON-ARNOTT, R., BAUER, B., HOUSER, C. (2019): Coastal sediment transport. U: *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*. Cambridge University, 183–228 str.
- EARLE, S (2019): *Physical Geology – 2nd Edition* Victoria, B. C. (ur.). BCampus, 827 str.

- EMERY, K.O. i NOAKES, L.C. (1968): Economic Placer Deposits on the Continental Shelf. U.N. Committee to Coordinate Joint Prospecting for Mineral Resources in Asian Offshore Areas, Technical Bulletin, 1, 95.
- FOLK, R. L. (1954): The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. *Journal Geology*, 62, 344–356.
- FOLK, R.L. i WARD, W.C. (1957): A Study in the Significance of Grain-Size Parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3–26.
- FRIHY, O. E. (2007): The Nile delta: Processes of heavy mineral sorting and depositional patterns. *Developments in Sedimentology*, 58, 49–74.
- FRIHY, O. E. i KOMAR, P.D. (1991): Patterns of beach-sand sorting and shoreline erosion on the Nile Delta. *Journal of Sedimentary Petrology*, 61, 544–550.
- FURČIĆ, N. (2019): Utjecaj erozije obalnog klifa na sastav morskog sedimenta (otok Vrgada). Završni rad, preddiplomski, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 21 str.
- GALEHOUSE, J. S. (1969): Counting grain mounts: number percentage vs. number frequency. *Journal of Sedimentary Petrology*, 39, 812-15.
- GALLOP, S. L., BRYAN, K. R., WINTER, G. (2020): The surf zone. U: *Sandy Beach Morphodynamics*, Jackson, D. W. T., Short, A. D. (ur.) Elsevier, 131–153 str.
- GARZANTI, E. i ANDÒ, S. (2019): Heavy Minerals for Junior Woodchucks. *Minerals*, 9/148, 1-25.
- HASSAN, F.A. (1976): Heavy minerals and the evolution of the modern Nile. *Journal of Quaternary Research*, 6, 425–444 str.
- KOMAR, P.D. (1998): *Beach Processes and Sedimentation*. Prentice-Hall, 544 str.
- KOMAR, P.D. (2007): The Entrainment, Transport and Sorting of Heavy Minerals by Waves and Currents. *Developments in Sedimentology*, 58, 3–48.
- KOMAR, P.D. i WANG, C. (1984): Processes of selective grain transport and the formation of placers on beaches. *Journal of Geology* 92, 637–655.
- KOVAČIĆ, M., PAVELIĆ D., VLAHOVIĆ, I., MARKOVIĆ, F., WACHA, L., KAMPIĆ, Š., RONČEVIĆ, S., DREMPETIĆ, D. (2018): Pleistocene alluvial and aeolian deposits with tephra on the island of Lopud (eastern mid- Adriatic, Croatia):

- Provenance, wind regime, and climate controls. *Quaternary international*, 494, 92–104.
- LI, M. Z. i KOMAR, P. D. (1991): Longshore grain sorting and beach placer formation adjacent to the Columbia river. *Journal of Sedimentary Petrology*, 62,3, 429–441.
- LUŽAR-OBERITER, B., PAVLAKOVIĆ, S. M., CRNJAKOVIĆ, M., BABIĆ, L. (2008): Variable sources of beach sands of north Adriatic islands: Examples from Rab and Susak. *Geologia Croatica*, Volume 61, 2-3, 379 – 384.
- MAMUŽIĆ P. (1982.): Osnovna geološka karta 1:100 000, K 33-8 Šibenik, Tumač za list Šibenik, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 30 str.
- MAMUŽIĆ, P. (1975): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Šibenik K33-8. Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1966); Savezni geološki institut, Beograd, 37 str.
- MAMUŽIĆ P. i NEDĚLA – DEVIDÉ D. (1968): Osnovna geološka karta 1:100 000, K 33-7 Biograd, Tumač za list Biograd, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 25 str.
- MAMUŽIĆ, P. i NEDĚLA – DEVIDÉ, D. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Biograd K 33-7. Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1963); Savezni geološki zavod, Beograd, 27 str.
- MANGE, M.A. i MAURER, H.F.W. (1992): *Heavy Minerals in Colour.*– Chapman & Hall, London, 151 str.
- MAY, J. P. (1973): Selective transport of heavy minerals by shoaling waves. *Sedimentology*, 20, 203–211.
- PIKELJ, K. i JURAČIĆ, M. (2013): Eastern Adriatic Coast (EAC): Geomorphology and Coastal Vulnerability of a Karstic Coast. *Journal of Coastal Research*, 29/4, 944–957.
- PIKELJ, K. i FURČIĆ, N. (2020): Impact of cliff erosion on marine sediment composition - indication of local coastline evolution (Vrgada Island, Croatia). *FUP Best Practice in Scholarly Publishing*, 462–468.
- SECAIRA FAJARDO, F., REGUERO, B. G., RAMIREZ C. A. A. (2017): The Importance of Reefs and Dune sin Coastal Protection in the Mexican Caribbean – Document

- Summary. Technical Series: The role of natural system sin coastal dynamics in the Mexican Caribbean. The Nature Conservancy, Mexico, 31 str.
- SEYMOUR, R. J. (2005): Longshore Sediment Transport. U: Encyclopedia of Coastal Science, Schwartz, M. L. (ur.).Encyclopedia of Earth Science Series. Springer, 600-600.
- STANLEY, J. D. i CLEMENTE, P. L. (2014): Mica and Heavy Minerals as Markers to Map Nile Delta Coastline Displacements during the Holocene. Journal of Coastal Research, 30/5, 904–921.
- TRASK, C.B. i HAND, B.M. (1985): Differential transport of fall-equivalent sand grains, Lake Ontario, New York. Journal of Sedimentary Petrology, 55, 226–234.
- 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.
- [1] Google Maps. Dostupno na:  
<https://www.google.com/maps/@43.8971503,15.4351638,12z> (pristupljeno 27.1.2022.)
- [2]: Kvaliteta tla - Određivanje sadržaja karbonata - Volumetrijska metoda. Dostupno na:  
<https://repositorij.hzn.hr/norm/HRN+EN+ISO+10693%3A2014> (pristupljeno, 15.1.2022.)