

# Sličnosti i razlike morskog sedimenta Jadranskog mora u ovisnosti o različitim taložnim okolišima

---

Čičak, Danijel

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:217:761865>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-25**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Danijel Čičak

**Sličnosti i razlike morskog sedimenta Jadranskog  
mora u ovisnosti o  
različitim taložnim okolišima**

Seminar III

Mentor:  
Doc. dr. sc. Kristina Pikelj

Zagreb, 2021.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Seminar III

### **Sličnosti i razlike morskog sedimenta Jadranskog mora u ovisnosti o različitim taložnim okolišima**

**Danijel Čičak**

**Rad je izrađen:** Prirodoslovno-matematički fakultet u Zagrebu, Geološki odsjek, Horvatovac 102a

#### **Sažetak:**

U građi istočne obale Jadrana dominiraju karbonatne stijene, mjestimice prekrivene flišem i drugim klastičnim stijenama. Sedimentacija u moru se stoga razlikuje obzirom na uglavnom lokalizirani transport materijala rijekama, erozije okolnih stijena i biogenu produkciju. Cilj ovog rada bio je povezati sličnosti i razlike sedimenta ovisno o taložnim okolišima. Glavne sedimentološke karakteristike sedimenta uzorkovanog na šest lokacija od Splita do Dubrovnika definirane su analizom veličine zrna, udjelom karbonatne komponente i vizualnim prepoznavanjem porijekla sedimenta. Sediment uzorkovan blizu ili ispred ušća rijeka karakteriziran je manjim udjelom karbonata i većim postotkom muljevite frakcije. Sediment sa sredine kanalskog područja sadrži oko 50% karbonatne komponente i značajnu količinu mulja, ukoliko postoji mogućnost dotoka siliciklastičnog materijala s kopna. Sediment izoliran od donosa s kopna bez obzira na dubinu uzorkovanja može biti visoko karbonatan i krupnozrnat, oboje kao posljedica biogene produkcije.

**Ključne riječi:** Jadransko more, morski sediment, mulj, karbonatna komponenta

**Rad sadrži:** 28+IV stranica, 14 slika, 3 tablice, 17 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. Andrea Čobić and doc. dr. sc. Karmen Fio Firi

**Datum završnog ispita:** 23. rujna, 2021.

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geology

### **Seminar III**

#### **Similarities and differences of the marine sediment of the Adriatic Sea depending on various sedimentary environments**

**Danijel Čičak**

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

**Abstract:** The Eastern Adriatic coast is built of carbonate rocks, with the occasional presence of flysch and other clastites. Marine sedimentation differs from place to place, depending on mainly local river input, coastal rock erosion, and marine biogenic production. The aim of this work was to relate the characteristics of marine sediments with sedimentary environment conditions. The main sedimentological characteristics were investigated for six samples of marine sediment, sampled on 6 locations between Split and Dubrovnik, using granulometric analysis, carbonate component analysis, and visual identification of sediment origin. Sediment sampled near the river mouth contains lower carbonate material and a high share of mud. Sediment sampled in middle channel areas contained about 50% of carbonates and significant mud content when terrigenous sediment supply is possible even at a longer distance. Sediment isolated from terrigenous input regardless of sedimentation depth may contain high carbonate content, dominated in coarse fractions as a result of marine biogenous sedimentation.

**Keywords:** Adriatic Sea, marine sediment, mud, carbonate component

**Seminar contains:** 28+IV pages, 14 figures, 3 tables, 17 references

**Original in:** Croatian

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

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

**Reviewers:** doc. dr. sc. Andrea Čobić and doc. dr. sc. Karmen Fio Firi

**Date of the final exam:** September 23, 2021

**Sadržaj**

<b>1.</b>	<b>Uvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>Geološka situacija .....</b>	<b>2</b>
<b>3.</b>	<b>Materijali i metode istraživanja .....</b>	<b>5</b>
<b>3.1.</b>	<b>Terenski rad .....</b>	<b>5</b>
<b>3.2.</b>	<b>Analiza veličine zrna.....</b>	<b>6</b>
<b>3.3.</b>	<b>Određivanje udjela karbonata .....</b>	<b>9</b>
<b>3.4.</b>	<b>Mikroskopska analiza.....</b>	<b>10</b>
<b>4.</b>	<b>Rezultati.....</b>	<b>11</b>
<b>4.1.</b>	<b>Rezultati analize veličine zrna .....</b>	<b>11</b>
<b>4.2.</b>	<b>Rezultati određivanja udjela karbonata.....</b>	<b>13</b>
<b>4.3</b>	<b>Rezultati mikroskopske analize.....</b>	<b>13</b>
<b>5.</b>	<b>Rasprava .....</b>	<b>17</b>
<b>6.</b>	<b>Zaključak.....</b>	<b>21</b>
<b>7.</b>	<b>Literatura .....</b>	<b>22</b>
<b>8.</b>	<b>Popis slika u tekstu .....</b>	<b>24</b>
<b>9.</b>	<b>Popis tablica u tekstu.....</b>	<b>25</b>
<b>10.</b>	<b>Prilozi .....</b>	<b>26</b>

## 1. Uvod

Dalmatinska obala obuhvaća jugo-istočni dio Jadranskog mora, koje se nadovezuje na Jonsko more kroz Otrantska vrata s južne strane. Ono s ostalim morima čini Sredozemno more. Specifičnost istraživanog područja kroz razdoblje kvartara (zadnjih 2,6 milijuna godina) je ne samo što se obalna granica pomicala s promjenom relativne razine mora, uvjetovana kontinentalnim rasporedom i količinom ledenog pokrova na polovima, nego su se izmjenjivali i različiti taložni okoliši, samim time i utječući na izmjenu marinskih i terigenih uvjeta taložnih procesa, koji su u konačnici formirali današnju situaciju u prostoru koji istražujemo. Površinski sediment podmorja je izravna posljedica litološkog sastava obale, kod kojih različite geomorfološke predispozicije i geološki procesi uvjetuju stvaranje i/ili donos sedimenta koji se taloži na dnu Jadranskog mora.

Prema generalnoj podjeli, sediment koji se taloži u prostoru šelfa može biti terigeni, biogeni i hidrogeni, ovisno o litološkim prilikama na obali, klimatskim uvjetima, gustoći riječne mreže i sl. Veliku ulogu na sastav sedimenta ima i dubina. Opće pravilo raspodjele veličine zrna sedimenta idući iz plićeg u dublje govori o positnjavanju sedimentnog materijala.

Istočnu stranu Jadranskog mora obilježava generalno karbonatni krupnozrnat (dominantno pjeskovit) površinski sediment. U njemu dominira karbonatna komponenta biogenog porijekla i to prvenstveno u krupnozrnatim frakcijama, a značajno je prisutna i u mulju (PIKELJ, 2010; PIKELJ i JURACIĆ, 2014, PIKELJ i sur., 2016).

U ovom radu bit će istražene karakteristike sedimenta na 6 lokacija duž južnog dijela hrvatskog Jadranskog šelfa i to na različitim dubinama, udaljenostima od obale i s različitim stijenama u zaleđu. Frakcije sedimenta bit će analizirane granulometrijskim i kemijskim metodama, te će biti pregledane i na mikroskopu radi vizualnog utvrđivanja porijekla sedimenta. Cilj rada je utvrditi karakteristike sedimenta u različitim okolišima hrvatskog dijela Jadranske obale, te ih dovesti u vezu s općim karakteristikama taložnih okoliša.

## 2. Geološka situacija

Istočni Jadran je danas karakteriziran izrazitom tektonskom poremećenošću potopljenim krškim okolišima koji su nekada predstavljali prostor Jadranske karbonatne platforme. Dominantne stijene na ovom prostoru su uglavnom mezozojski vapnenaci i dolomiti, prekrivenih paleogenskim karbonatima, te u manjoj mjeri prekriveni flišom i mlađim kvartarnim naslagama (VLAHOVIĆ i sur., 2005). Pleistocensko-holocenski porast morske razine pomogao je u formaciji jedne od najrazvedenijih obala u Europi, s drugim najvećim poluotokom u Sredozemlju, te sa specifično brojnim potopljenim krševitim formacijama (VLAHOVIĆ i sur., 2005; SURIĆ i JURAČIĆ, 2010; PIKELJ i JURAČIĆ, 2013).

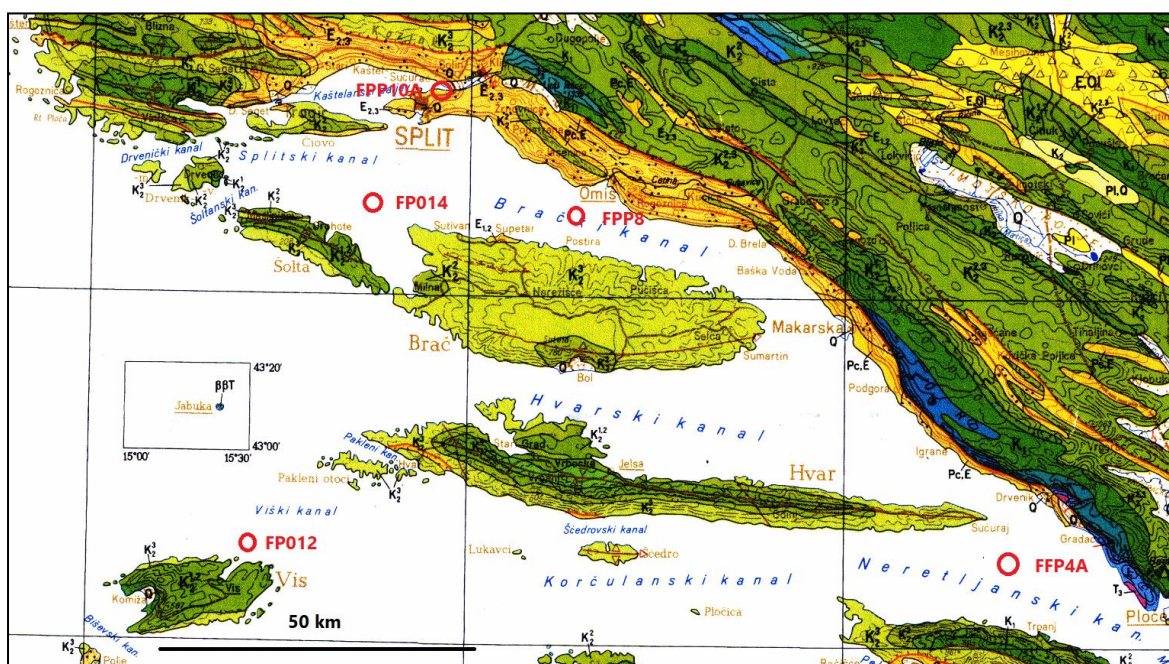
Jadranska karbonatna platforma je kroz svoj životni vijek prošla kroz brojne faze riftovanja i taložnih procesa. Karbonatne naslage taložene su tijekom mezozoika i manjim dijelom u paleogenu, a danas čine stijensku podlogu istočnog Jadrana, obale i otoke, te Dinaride. Dinaridi su radi daljnje kompresijske tektonike tijekom paleogena i kasnije neogena bili izdizani. Tijekom eocena su na području nekadašnje karbonatne platforme radi kompresijske tektonike nastali dublji bazeni u kojima se odvijalo taloženje karbonatne i siliciklastične komponente u obliku turbiditnih struja, a koje danas na manjim dijelovima obale i podmorja vidimo kao fliš (VLAHOVIĆ i sur. 2005). Fliš koji je danas u kontaktu s morem troši se lokalno i to uglavnom mehaničkim putem pod utjecajem valova (PIKELJ I JURAČIĆ, 2013; VLASTELICA I SUR, 2017). Na mnogim mjestima obale i otoka izdanjuju i kvartarni sedimenti kao što je to les (DURN i sur., 2011; BANAK i sur., 2021). S obzirom na dominaciju karbonatnih stijena na istočnoj obali Jadrana, donos terigenog materijala je vrlo malen i lokalnog karaktera (PIKELJ, 2010). Trošenje obalnih stijena koje nazivamo klastitima (fliš, kvartarni pješčenjaci i sl.) troši se mehanički, uglavnom površinskim otjecanjem (BENAC i sur., 2013), morskom abrazijom (PIKELJ i sur., 2014) i periodičnom denudacijom jakim kišama (PIKELJ i sur., 2016).

Prijašnja istraživanja su istočni Jadran opisala kao ne-tropski karbonatno-siliciklastični šelf sa pretežno krupnozrnatim sedimentima u kojem se dominantno odvija taloženje biogenog karbonatnog materijala (PIKELJ, 2010). To su uglavnom nisko-magnezijski kalcit, aragonit i dolomit. Kalcit je porijeklom od fragmenata ljušturica foraminiferskih vrsta, mahovnjaka, mnogočetinjača, školjaka, puževa, crvenih algi itd. Aragonitni udio većinski je porijeklom od ljušturica puževa, školjaka, foraminifera i

mногоčetinaša i brojnih drugih organizama. Dolomit je uglavnom terigenog porijekla (RAVAIOLI i sur., 2003). Taloženje siliciklastičnog materijala odvija se na utoku rijeke Neretve (JURINA i sur., 2013; FELJA i sur., 2016), u vrlo zaštićenim uvalama i zaljevima, a naročito u onima u kojima postoji donos materijala s kopna (PIKELJ, 2010). Pretpostavlja se da dio siliciklastičnog materijala potječe iz potopljenog fliša (BENAC i sur., 2008; PIKELJ i sur., 2009; PIKELJ i JURAČIĆ, 2013).

Iz ovog opisa proizlazi da područje istočnog dijela Jadranskog mora općenito karakterizira slab terigeni donos.

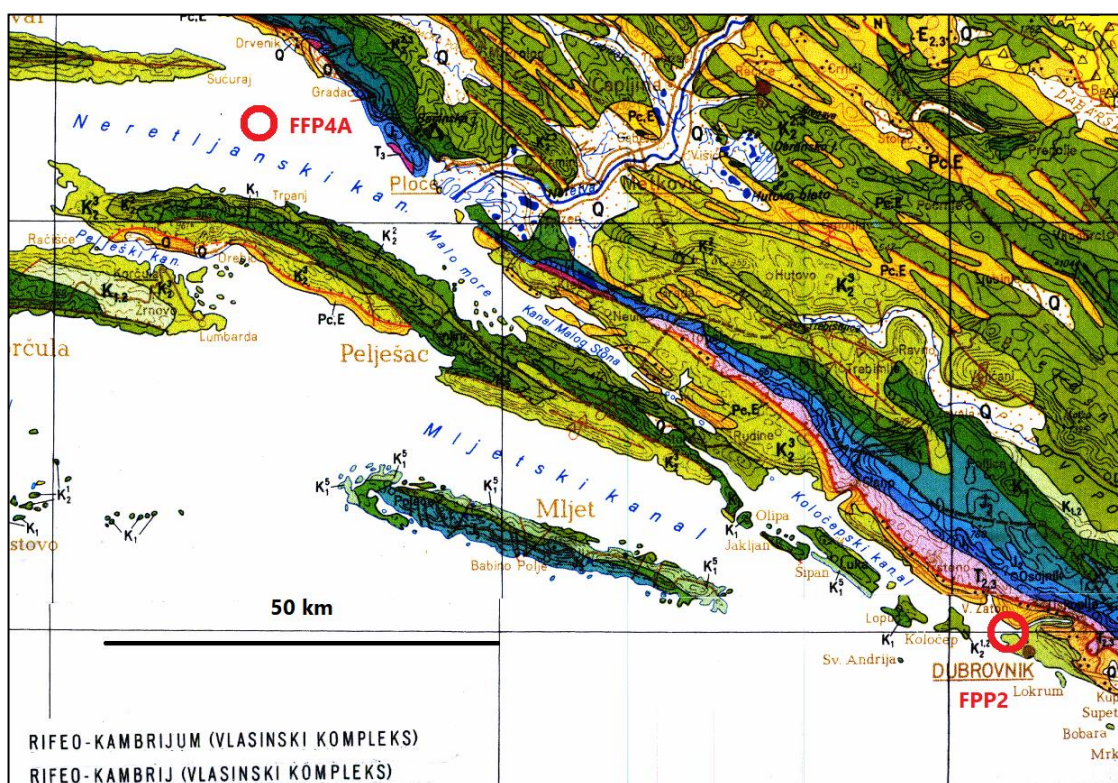
Koristeći preglednu geološku kartu RH 1 : 500 000 (slike 1 i 2), područja gdje su prikupljeni uzorci (detaljnije u metodama istraživanja) generalno prikazuju karbonatne stijene kredne i paleogenske starosti sa mjestimičnom pojavom fliša. Krenuvši od sjevera, uzorak FPP10A uzorkovan je na ušću rijeke Jadro unutar Kaštelanskog zaljeva i okružen je eocenskim vapnencima i flišem, s mjestimičnim kvartarnim pijescima. FP014 se nalazi u samom središtu Splitskog kanala omeđenog poluotokom Čiovo, većinski izgrađenom od krednih vapnenaca i dolomita, te s južne strane otocima Šolta i Brač, također dominantno karbonatne litologije, a manje eocenskim vapnencima i laporima. Točka uzorkovanja FPP8



Slika 1 - Isječak Geološke karte teritorija RH 1 : 500 000 (Split - Ploče), plavo: jura; tamnozeleno: starija kreda; svjetlozeleno: mlađa kreda; žuto: paleogen; bijelo: kvartar



uzorkovana je južno od Omiša u Bračkom kanalu, pri čemu na sjevernoj strani kopna dominira eocenski fliš i manje eocenski karbonati, a kredni vapnenci na jugu. Najzapadnija lokacija je FP012 u blizini otoka Visa unutar Viškog kanala. Sam otok Vis je izgrađen od dominantnih gornjo-krednih karbonata s manjim ulošcima rožnjaka, klasta, lapora i mjestimično flišem (slika 1). Uzorak FFP4A je uzorkovan u Neretvanskom kanalu u blizini delte Neretve, omeđenog jurskim karbonatima, klastitima i ugljenima, te trijaskim karbonatima, eocenskim karbonatima, eocenskim flišem, te u manjoj mjeri kvartarnim pijescima. Naposljetku najjužnije uzorkovan uzorak FPP2 uzorkovan je u estuariju rijeke Omble kod Dubrovnika, a okolni prostor je karakteriziran dominantno karbonatnim stijenama krede i paleogena (slika 2).



Slika 2 - Isječak Geološke karte teritorija RH 1 : 500 000 (Ploče - Dubrovnik), ružičasto: trijas, plavo: jura tamnozeleno: starija kreda; svjetlozeleno: mlađa kreda; žuto: paleogen; bijelo: kvartar

### 3. Materijali i metode istraživanja

#### 3.1. Terenski rad

Istraživanje se fokusira na priobalnu zonu Splitsko-dalmatinske i Dubrovačko-neretvanske županije, gdje su prikupljeni uzorci na odabranim lokacijama (slika 3).

FPP10A (dubina 10 m) Kaštelanski zaljev kod ušća rijeke Jadro,

FPO14 (dubina 50 m) središnji dio Splitskog kanala,

FPP8 (dubina 57 m) Brački kanal,

FP012 (dubina 85,4 m) ispred luke Vis kod otoka Visu,

FPP4A (dubina 18 m) Neretvanski kanal,

FPP2 (dubina 22 m) Rijeka Dubrovačka.



Slika 3 - Lokacije prikupljanja uzoraka

Analizirani uzorci su prikupljeni Van Veenovim grabilom tijekom proljeća 2019. godine na istraživačkom brodu BIOS DVA. Uzorci su spremljeni u plastične vrećice i pohranjeni na temperaturu od  $-4^{\circ}\text{C}$  do dopremanja u laboratorij. Šest uzoraka uzorkovano je u relativno uskom geografskom području od Splita do Dubrovnika.

### 3.2. Analiza veličine zrna

Prije svega uzorci su stavljeni na sušenje. Mjerenje udjela frakcija veličina zrna uzoraka sedimenata obavljeno je kombiniranom metodom mokrog sisanja i analize sedigrafom. Od suhih uzoraka je odvagano 50 g, te su razmućeni miješanjem štapićem i u ultrazvučnoj kadi u čaši s destiliranom vodom. Uzorci su prosijani kroz set od sedam sita (od 4 mm do 0,063 mm) kako bi se definirao udio šljunkovite i pjeskovite frakcije (slika 4). Sadržaj čaše razmućenog uzorka je izliven preko seta sita na koji se zadržavaju samo one čestice koje nisu dovoljno sitne da prođu kroz metalnu rešetku. Sita su se intenzivno tresla, nagnjala i ispirala destiliranom vodom kako bi se svaka čestica odložila na odgovarajuće sito. Frakcije dimenzija manjih od 0.063 mm su skladištene u vodenim suspenzijama koje su naknadno analizirane koristeći sedigraf.

Nakon analize veličine zrna frakcija  $>0,063$  mm metodom mokrog sisanja i frakcije  $<0,063$  mm na sedigrafu, dobiveni podaci spojeni su s podacima dobivenim sisanjem.



Slika 4 - Set sita na tresilici

Tako spojeni set podataka za svaki uzorak obrađen je uz pomoć statističkog paketa Gradistat® (BLOTT i PYE, 2001).

Granulometrijski parametri su izračunati prema FOLK i WARD (1957):

Srednja veličina zrna (median) od koje je 50% čestica veće, a 50% manje:  $Md = \Phi 50$

Prosječna veličina zrna (mean size):

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

Sortiranje (sorting) koje pokazuje jednoličnost distribucije:

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

Kategorije sortiranosti sedimenta:

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

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

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

Kategorije asimetričnosti krivulje:

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

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

$$K_g = \frac{(\Phi_{95} - \Phi_5)}{2,44(\Phi_{75} - \Phi_{25})}$$

Kategorije zaoštrenost krivulje:

< 0,67.....	vrlo zaravnjena krivulja
0,67-0,90.....	zaravnjena krivulja
0,90-1,11.....	srednje zaoštrena krivulja
1,11-1,50.....	zaoštrena krivulja
1,50-3,00.....	vrlo zaoštrena krivulja

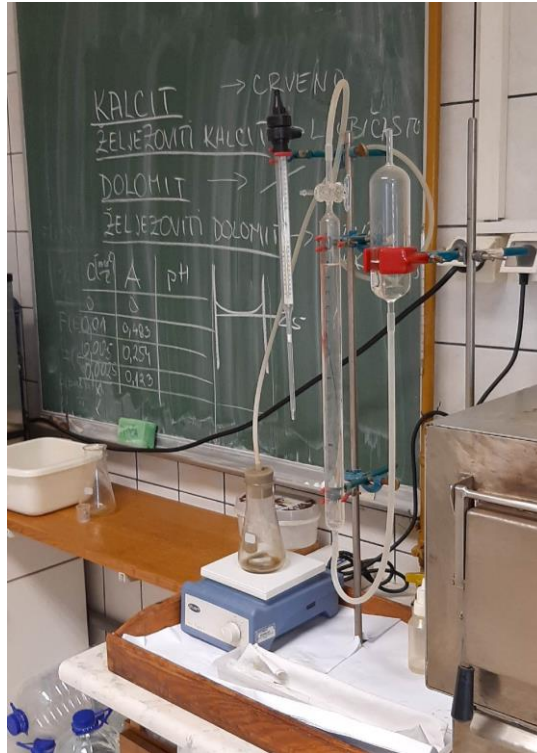
### 3.3. Određivanje udjela karbonata

Karbonatni sadržaj uzorka određen volumetrijom plina CO<sub>2</sub> koji je razvijen nakon otapanja karbonatne komponente određen je na Scheiblerovoj aparaturi (slika 5). Od svakog se uzorka odvagalo 300 mg kao i za standard (čisti CaCO<sub>3</sub>). Sediment je ubačen u Erlenmeyerovu tikvicu, sa čašicom razrijeđene klorovodične kiseline i magnetića za miješanje. Sustav je čvrsto zatvoren gumenim čepom tako da u trenutku početka miješanja ne dolazi do curenja plina uzrokovanog reakcijom. Izravnavanjem razine potisnute vode sa razinom na kraju sustava, balansira se tlak za preciznije očitavanje. Nakon 10-ak minuta očitana je nova razina vode u mL, što je zapravo volumen plina ugljikovog dioksida koji je nastao reakcijom karbonata (vapnenca) i klorovodične kiseline. Podatak se zapisuje, te se postupak ponavlja još jednom za drugu mjeru tok uzorka, i tako za sve preostale. F je faktor očitanih za to predviđenih tablica, a ovisi o tlaku i temperaturi u prostoriji za vrijeme rada.

Udio karbonata u uzorcima izračunat je preko formule:

$$\% \text{ CaCO}_3 = \frac{\text{mLCO}_2 * F * 2,274 * 100\%}{\text{mg}}$$

Naposljetku je uzeta aritmetička sredina dvaju analiza pojedinih uzoraka, te se matematičkim omjerom u odnosu na standard izračunati konačni rezultati.



Slika 5 - Aparatura za calcimetriju

### 3.4. Mikroskopska analiza

Kako bi bilo utvrđeno porijeklo krupnog dijela sedimenta, frakcije šljunka i pijeska su za svaki uzorak pregledane uz pomoć Zeiss-ovog mikroskopa opremljenog digitalnim fotoaparatom marke Canon. Svaka frakcija svakog uzorka fotografirana je nekoliko puta kako bi bio dobiven uvid u općeniti sastav krupnozrnate frakcije.



## 4. Rezultati

### 4.1. Rezultati analize veličine zrna

Šest uzoraka, od kojih FP012 jedino pripada granulometrijskoj klasifikaciji pijeska s medijanom 126,6  $\mu\text{m}$  (frakcija finog pijeska), klasificirani su kao muljevi s varirajućim omjerima pjeskovite i šljunčane frakcije, sa medijanom veličine praha čiji je raspon medijana od 5,291 do 6,778  $\mu\text{m}$  (bez uzorka klasificiranim kao pijesak, FP012) (tablica 1). Udjeli šljunčane frakcije ne prelaze iznos od 2,3%, te je većina uzoraka sadrži 0,6% ili manje (FPP4A, FPP8, FP014, FPP2). Pjeskovita komponenta varira između 1,8% i 15,8% među uzorcima klasificiranim kao mulj, dok je uzorak FP012 sačinjen od 88,2% pjeskovite frakcije (slika 6). Svi su uzorci loše do vrlo loše sortiranosti, gdje je najlošije sortiran uzorak FP014 sa koeficijentom sortiranosti 2,758, te uzorak sa najboljom sortiranosti uzorak FPP2 sa koeficijentom sortiranosti 2,056 (tablica 1). Asimetričnost raspodjele ukazuje na većinsku zastupljenosti sitnozrnatih frakcija, u ovim slučajevima su to uglavnom simetrične i pozitivne zakošenosti, osim uzorka FP014 koji ima negativnu

Tablica 1 - Parametri dobiveni granulometrijskom analizom

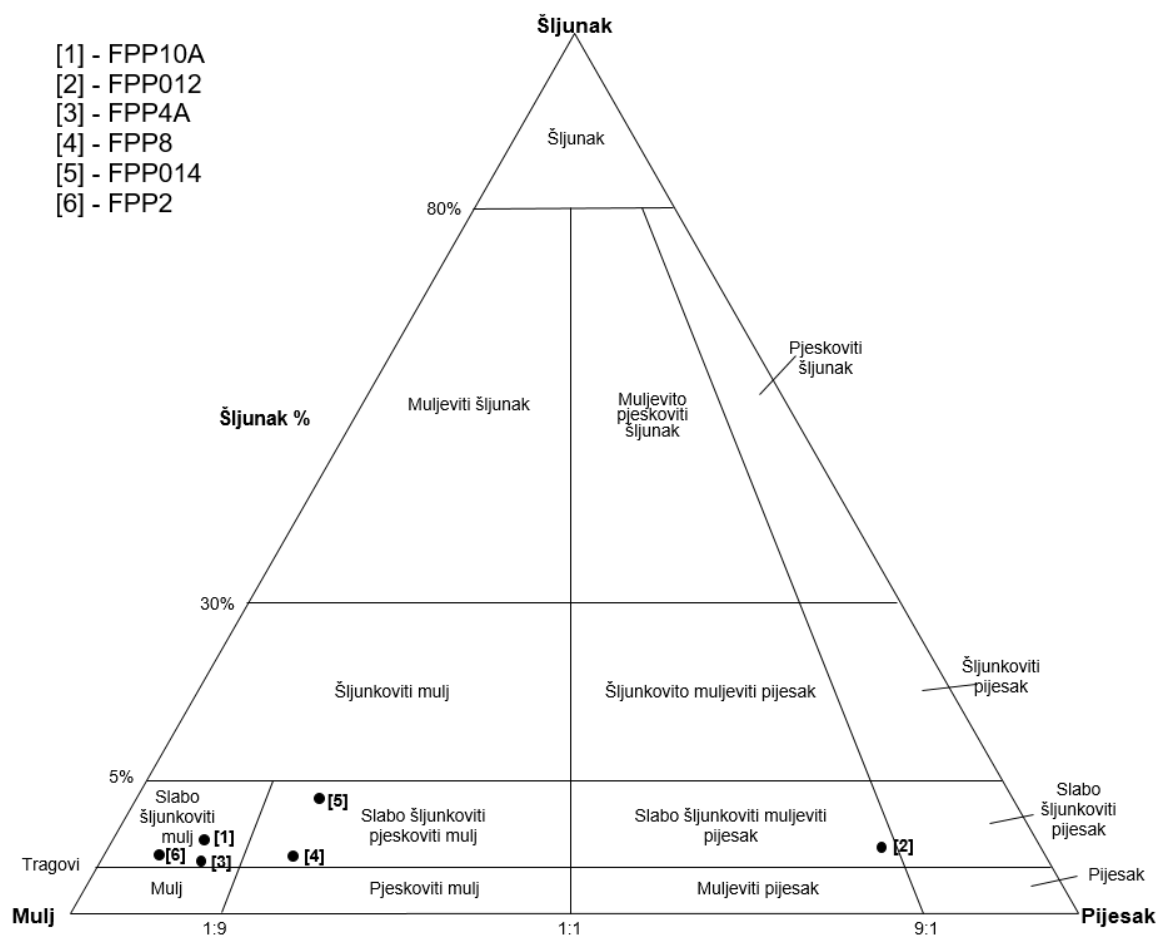
	Tip sedimenta	D <sub>50</sub> ( $\mu\text{m}$ )	Mz ( $\mu\text{m}$ )	So ( $\phi$ )	Sk ( $\phi$ )	Kg ( $\phi$ )
FPP10A	Slabo šljunkoviti mulj	6,687	5,357 (Sitni prah)	2,200 (Vrlo loše sortirano)	-0,034 (Simetrično)	1,127 (Zaoštrojeno)
FP012	Muljeviti pijesak sa šljunkom	125,9	126,6 (Sitni pijesak)	1,517 (Loše sortirano)	0,206 (Pozitivno zakošeno)	2,323 (Vrlo zaoštrojeno)
FPP4A	Slabo šljunkoviti mulj	8,748	6,778 (Sitni prah)	2,178 (Vrlo loše sortirano)	0,195 (Pozitivno zakošeno)	0,826 (Zaravnjeno)
FPP8	Pjeskoviti mulj sa šljunkom	6,298	5,864 (Sitni prah)	2,509 (Vrlo loše sortirano)	-0,026 (Simetrično)	0,819 (Zaravnjeno)
FP014	Pjeskoviti mulj sa šljunkom	5,691	6,600 (Sitni prah)	2,758 (Vrlo loše sortirano)	-0,123 (Negativno zakošeno)	0,656 (Vrlo zaravnjeno)
FPP2	Slabo šljunkoviti mulj	7,380	5,291 (Sitni prah)	2,056 (Loše sortirano)	0,261 (Pozitivno zakošeno)	0,805 (Zaravnjeno)
	Prosjeci	26,284	30,698	2,203	0,080	1,093



zakošenost. Većina uzoraka ima zaravnjenu krivulju: uzorci FPP4A, FPP8, FP014 i FPP2 pokazuju zaravnjenu do vrlo zaravnjenu krivulju, dok FPP10A i FP012 imaju zaoštrenu do vrlo zaoštrenu krivulju (Vidi prilog).

Tablica 2 - Udjeli frakcija po uzorku, sa dubinom uzorkovanja

Uzorci/Frakcije	FPP10A	FP012	FPP4A	FPP8	FP014	FPP2
Šljunak	2.3%	1.5%	0.1%	0.1%	0.6%	0.1%
Pijesak	5.3%	88.2%	4%	12%	15.8%	1.8%
Mulj	92.4%	10.3%	95.9%	87.9%	83.6%	98.1%
Dubina uzorkovanja	10 m	85.4 m	18 m	57 m	50 m	22 m



Slika 6 - Trokomponentni dijagram granulometrijskog sastava uzoraka šljunak-pijesak-mulj

## 4.2. Rezultati određivanja udjela karbonata

Određivanjem udjela karbonata je dobivena maksimalna vrijednost od 76,10% za uzorak FP012, te minimalna vrijednost od 29,31 za uzorak FPP2. Ostale vrijednosti udjela  $\text{CaCO}_3$  za uzorke FPP10A, FPP4A, FPP8 i FP014 kreću se između 47,34% i 39,26% sa razlikom od 8,08% sa prosjekom na 44,21%. Ukupni prosjek svih analiziranih uzoraka iznosi 47,04% (Tablica 3).

Tablica 3 - Udjeli karbonatne komponente po uzorcima

	FPP10A	FP012	FPP4A	FPP8	FP014	FPP2	Prosjek
Udio $\text{CaCO}_3$ (%)	47.34	76.10	39.26	44.04	46.19	29.31	47.04

## 4.3 Rezultati mikroskopske analize

### FPP10A

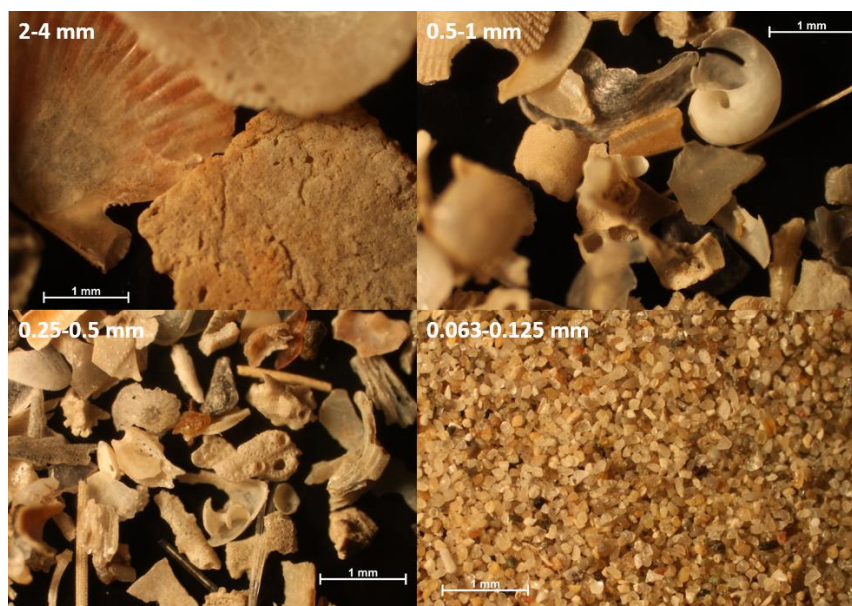
U najkрупnijim frakcijama opažene su brojne ljušturice puževa, školjaka, mahovnjaka i koralja među frakcijama od 4 do 1 mm. U sitnijim frakcijama pronađeni su fragmenti algi i ljušturice bentičkih foraminifera u frakciji 0,25-0,5 mm (slika 7).



Slika 7 - Mikroskopski prikaz frakcija uzorka FPP10A

**FP012**

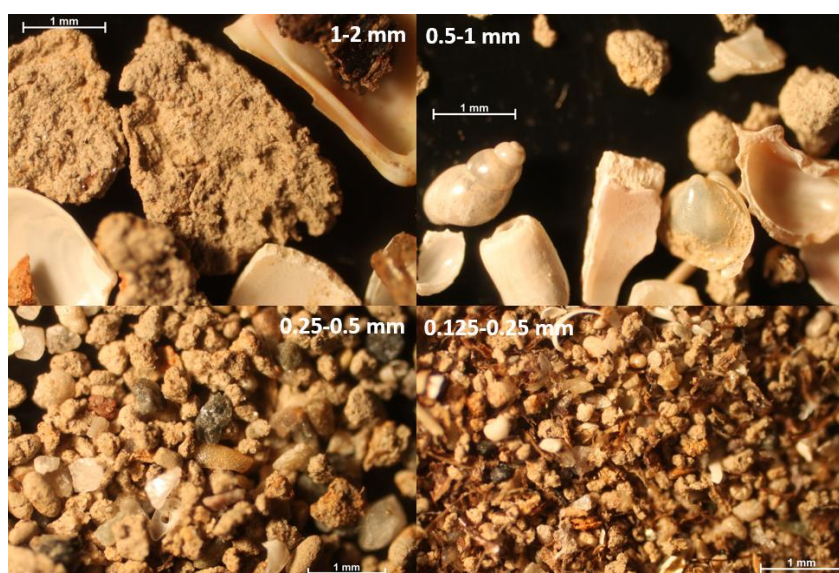
Među najkrupnijim zrnima frakcija 4 do 1 mm izdvajaju se ljuštore školjaka i puževa te brojni fragmenti raznih organizama, ali i zrna usitnjene stijene (slika 8). U sitnijim frakcijama između ostalog se nalaze i fragmenti izlomljenih ljušturica foraminifera (frakcija 0,25 do 0,5).



Slika 8 - Mikroskopski prikaz frakcija uzorka FP012

**FPP4A**

U ovom uzorku u najkrupnije čestice se ubrajaju fragmenti ljušturica raznih mekušaca, ali i fragmenata stijena  $>2$  mm. U sitnijim frakcijama pojavljuju se minerali tamnijih boji, zatim komadići usitjenih stijena veličina srednjezrnatog do sitnozrnatog pijeska. (slika 9).



Slika 9 - Mikroskopski prikaz frakcija uzorka FPP4A



**FPP8**

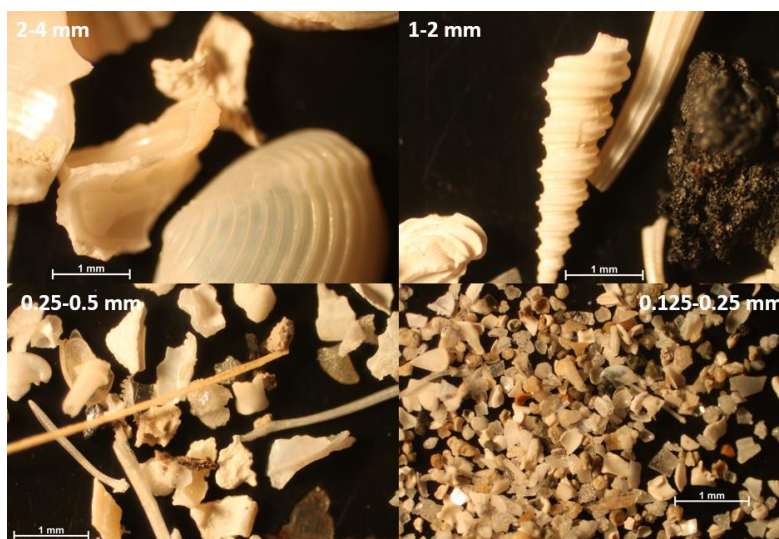
U ovom se uzorku može izdvojiti velika raznolikost krupnijeznatijih čestica koje variraju od fragmenata ljušturica, školjkica, koralja, algi, mahovnjaka, ali i fragmenata stijena u frakcijama većim od 1 mm. Slični nalazi čestica stijenskog i biogenog porijekla nalaze se i u sitnijim frakcijama (Slika 10), uglavnom foraminifere, alge, puževi, školjke, koralji itd.



Slika 10 - Mikroskopski prikaz frakcija uzorka FPP8

**FP014**

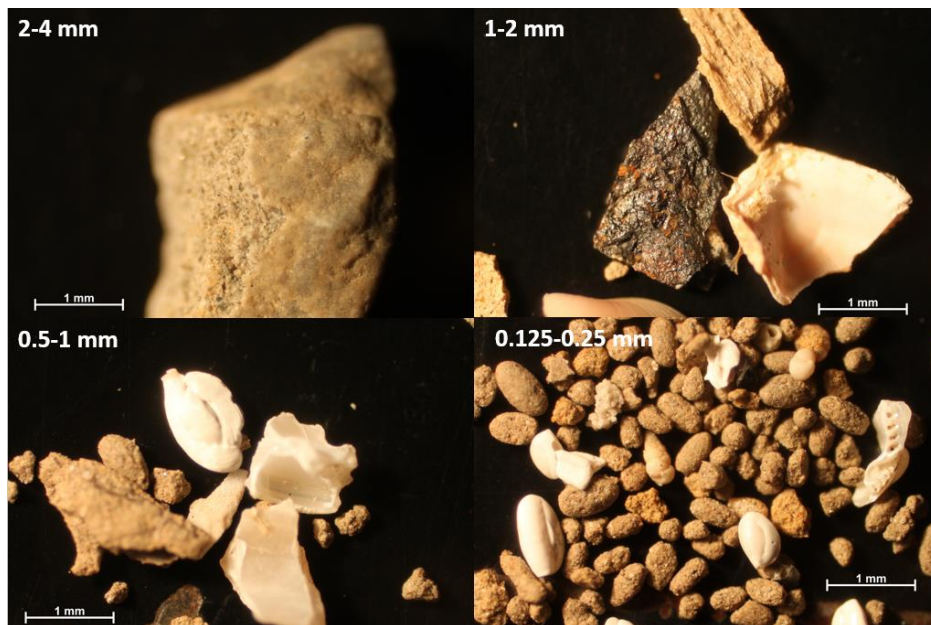
Opažena je fragmentiranost fragmenata ljušturica mekušaca, koralja, algi, spužvi, foraminifera u sitnijeznatijim frakcijama sa fragmentima stijena (slika 11). I pijesak i sitni šljunak se dominantno sastoje od biogenih čestica.



Slika 11 - Mikroskopski prikaz frakcija uzorka FP014

**FPP2**

U ovom uzorku opažen je veći udio detritičnih čestica u odnosu na organske ostatke i ljuštore. Česta pojava bentičkih miliolidnih foraminifera u frakcijama 1 do 0,125 mm. Ostali rijetki fragmenti predstavljaju skeletne ostatke i dijelove ljuštura, a moguće i fragmente morskih trava, komadića drva i sl. (slika 12).

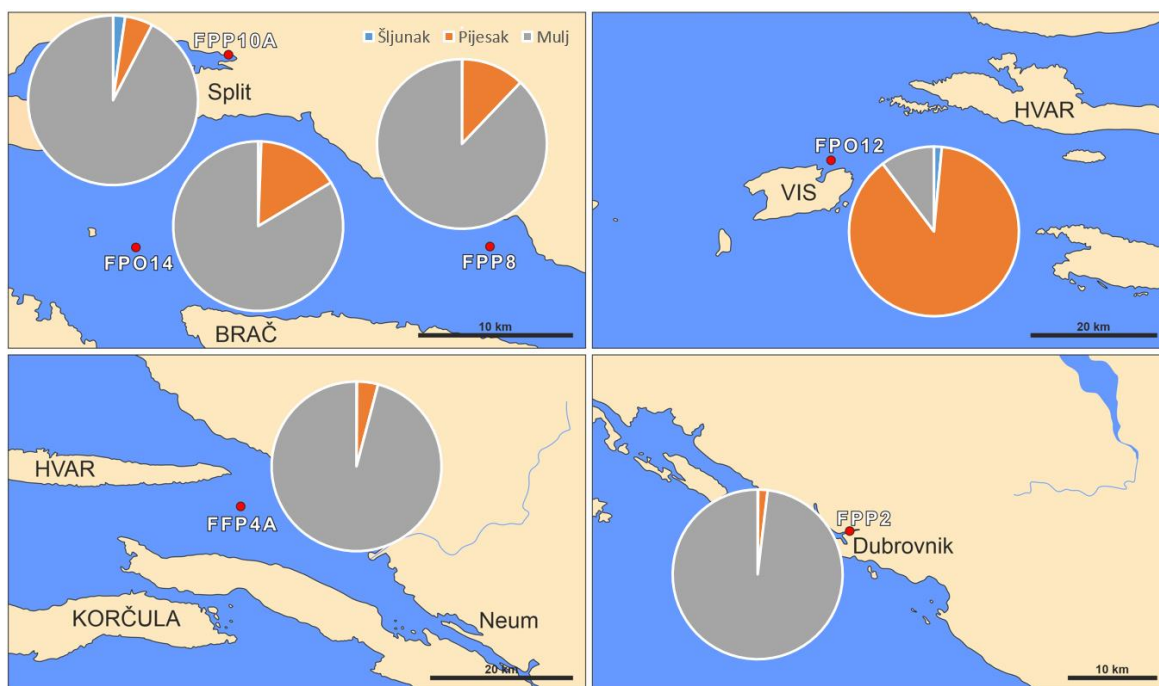


Slika 12 - Mikroskopski prikaz frakcija uzorka FPP2

## 5. Rasprava

Iz trokomponentnog dijagrama šljunak-pijesak-mulj (slika 6) može se uočiti sličnost uzoraka FPP10A, FPP4A, FPP8, FPO14 i FPP2 sa predominantnom muljevitom frakcijom. Uzorci FPP4A, FPP10 i FPP2 sadrže najveće količine čestica mulja. Njihova geografska raspodjela (slika 13) pokazuje zajedničke taložne režime, u ovom slučaju blizina ušća rijeka: Jadro kod Splita (FPP10A), ušća rijeke Neretve (FPP4A) i rijeka Ombla (FPP2). Na tim se lokacijama najbolje može vidjeti terigeni utjecaj, odnosno stalni neprekinuti izvor materijala (slika 13). Navedene rijeke donose značajne količine sitnozrnatog materijala: rijeka Jadro drenira prostor fliša, rijeka Neretva je alogena rijeka sa značajnim terigenim donosom, dok se kod krške rijeke Omble ne može u potpunosti objasniti velika zamuljenost uzorka, no kako je riječ o estuariju, miran okoliš može pogodovati nakupljanju sitnozrnatog materijala. U primjeru FPP4A kod slučaja rijeke Neretve, taj riječni sitnozrnati materijal je nanošen sa većih daljina iz suspenzije.

U uzorcima FPP10A i FPO12 postoji najveći udio šljunkovite frakcije među analiziranim uzorcima. Taj krupnozrnati sediment je uglavnom biogenog porijekla predstavljenim fragmentiranim ljušturicama raznih marinskih organizama (slike 7 i 8).

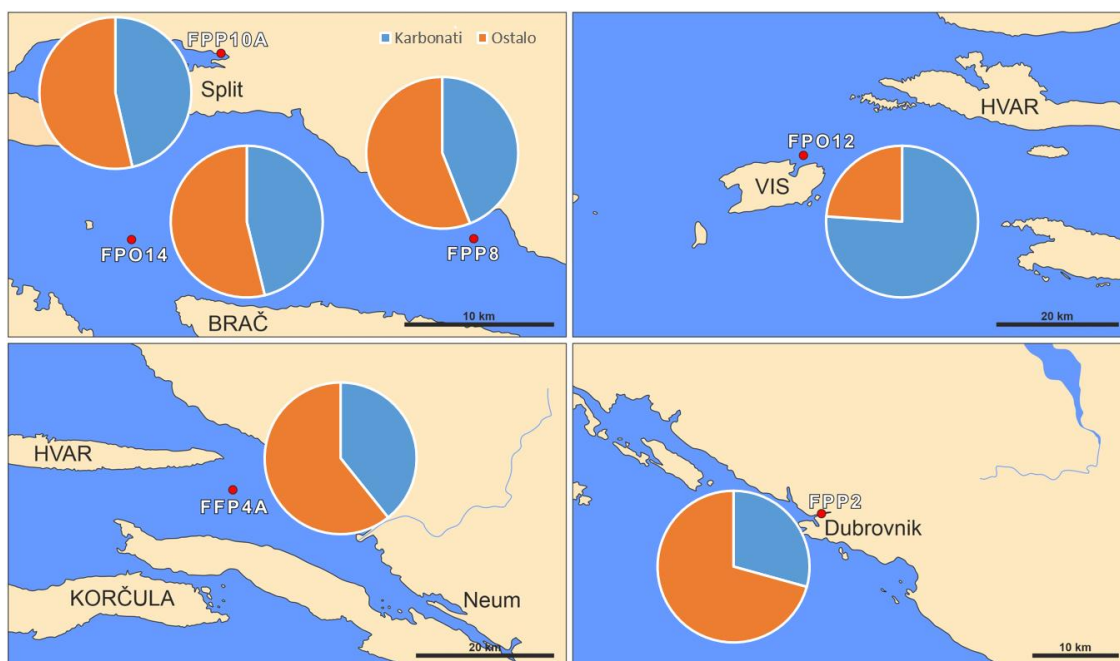


Slika 13 - Odnos granulometrijskih frakcija pojedinih uzoraka na geografskom prikazu

Izražena produkcija proizašla je iz povoljnih uvjeta za rast i razvoj tih organizama gdje ispada da je većina krupnozrnatog materijala zapravo biogenog porijekla.

Zaoštrenosti krivulja uzoraka FP012 i FPP10A pripadaju klasifikaciji velike zaoštrenosti, što nam pokazuje izrazitu jednolikost zrna sedimenta.

Prema PIKELJ (2010), većinu sedimenata na području istočnog Jadrana čini materijal sa karbonatnim udjelom  $> 60\%$ , što je više od rezultata dobivenim u analizi karbonatnog udjela za uzorke ovog rada (tablica 2). Samo uzorak FP012 ima udio karbonatne komponente usporedive s prosjekom istočnog dijela jadranskog podmorja, što nije čudno, jer su drugi uzorci uzorkovani blizu izvora terigenog materijala. Što se tiče uzorka FP012 sa najvećim udjelom karbonatne komponente, većina karbonatnog materijala mu potječe od skeletnih ostataka organizama kao što su ljušturice mekušaca, foraminifera, ostrakoda školjaka. (slike 14, 7 i 1). Nasuprot navedenom, najmanje udjele karbonata imaju uzorci FPP2 i FPP4A, koji sadrže najveći udio siliciklastičnog materijala (slika 14).



Slika 14 - Odnos udjela karbonata pojedinih uzoraka na geografskom prikazu

Krenuvši od sjevera i od uzorka FPP10A uzorkovanog u Kaštelanskom zaljevu na dubini 10 m, može se zaključiti da ovaj taložni prostor prima značajne količine siliciklastične komponente (tablica 3) rijekom Jadro koja troši obližnji fliš (slika 1). Uzorak također sadrži najveći udio šljunkovite frakcije, no i dalje je klasificiran kao vrlo loše sortirani, slabo šljunkoviti mulj (tablica 1). Šljunak je pretežito karbonatan porijeklom ostataka bogate faune evidentirane u pronalascima brojnih ostataka ljušturica mekušaca, ali i malih bentičkih foraminifera (slika 7).

Uzorak FP014 uzorkovan je južnije u Splitskom kanalu. Sadrži značajnu količinu mulja i oko 46% karbonatne komponente. To upućuje na značajan udio karbonatne komponente i u muljevitoj frakciji, što odgovara podacima koje su dali PIKELJ i su. (2016). Prema PIKELJ (2010), blizina obale utječe na granulometrijski sastav, pa je značajna količina mulja najvjerojatnije uvjetovanog velikom dubinom uzorkovanja (50 m) odnosno mirnim taložnim okolišem (tablica 2) gdje je materijal taloženo iz suspenzije (slika 11).

Uzorak FPP8 uzorkovan unutar Bračkog kanala daje rezultat sličnog omjera karbonata i siliciklastične komponente, kao i uzorak iz FP014 Splitskog kanala, pa se može pretpostaviti da je taložni okoliš sličan, jer je i dubina uzorkovanja slična (tablica 2). Klasificiran je kao vrlo loše sortirani pjeskoviti mulj sa šljunkom (tablica 1). Biogeni karbonati u obliku ostataka mahovnjaka, školjaka, puževa, koralja, algi, ali i fragmenata stijena veličina pijeska i mulja mogu se pronaći u uzorku, no posljedica veće dubine (kao kod uzorka FP014) je veći udio krupnozrnatog sedimenta u odnosu na ostale uzorke.

Uzorak FP012 iz Viškog kanala sadrži najveći udio karbonatne komponente predstavljen brojnim fragmentima ljuštura i skeletnih ostataka marinskih organizama kao što su puževi, školjke, foraminifere itd. Iako najudaljenija točka od kontinentalnog kopna, njena izoliranost od terigenog donosa s kopna i pretežito karbonatnih stijena otoka Visa uzrok su dominaciji biogenog karbonatnog materijala (slike 8 i 14). Najveći udio biogenog karbonata je u pjeskovitoj frakciji, pa ovaj sediment najbolje odgovara prosječnom sedimentu istočne strane Jadranskog mora (PIKELJ, 2010).

Sediment FFP4A uzorkovan u Neretvanskom kanalu kao posljedicu blizine ušća rijeke Neretve sadrži značajan udio siliciklastičnog materijala, specifično crnih opakih fragmenata transportiranih rijekom (slika 4). Zastupljenost sitnijih frakcija stijenskog



porijekla upućuje na taloženje iz suspenzije (tablica 2). Karbonatni materijal je uglavnom sačinjen od fragmenata ljušturica i kućica mekušaca.

Najjužniji uzorak FPP2 uzorkovan u estuariju rijeke Omble sadrži najveći udio sitnozrnate komponente (tablica 2), te je klasificiran kao loše soritrani slabošljunkoviti mulj (tablica 1). Kao dominantna pjeskovita frakcija, izdvajaju se česti foraminiferski ostaci sa vrlo zastupljenim fragmentima stijena (slika 12). S obzirom na krška obilježja rijeke Omble, značajan udio mulja pripisuje se dubini uzorkovanja, odnosno mirnom okolišu.

## 6. Zaključak

Analizom prikupljenih šest uzoraka s različitih udaljenosti od kopna i različitim dubinama prikazale su raznolikost i varijabilnost geneze i sastava sedimenta s relativno uskog područja srednjeg i južnog Jadrana. Blizina stalnih izvora siliciklastičnog materijala u obliku rijeka rezultira materijalom koji sadrži manje karbonatne komponente i značajnu količinu mulja, kao što je to kod uzoraka FPP10A, FPP4A i FPP2. Na povišen udio muljevite frakcije utječe i dubina na kojoj se sediment taloži, što je slučaj kod uzoraka FP012, FP014 i FPP8. Kod uzorka FP012 s velike dubine (>80 m) siliciklastična komponenta je slabo zastupljena, a karbonatna komponenta vrlo prisutna, što je odraz velike udaljenosti od terigenih izvora materijala. Do uzoraka iz Splitkog i Bračkog kanala mogao je doći materijal s kopna iz područja gdje se troši obalni fliš, jer sitnozrnati materijal odlazi na najveće dubine i na udaljenije dijelove morskog dna. Sastav biogene komponente odgovara ostavcima organizama koje navodi i PIKELJ (2010), a čine ih školjkaši, puževi, mahovnjaci, mnogočetinjaši, alge i foraminifere.

Razlike u taložnim okolišima ovog relativno uskog područja posljedica su različite litologije stijena na obali i kopnu, kao i različitih dubina taloženja. Dobiveni rezultati su uvelike potvrdili prethodna istraživanja, ali dali i nove informacije taložnim prostorima u smislu popunjavanja mreže mjesta uzorkovanja sedimenta s hrvatske strane Jadrana.

## 7. Literatura

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.

BENAC, Č., JURAČIĆ, M., BLAŠKOVIĆ, I. (2008): Tidal notches in Vinodol Channel and Bakar Bay, NE Adriatic Sea: Indicators of recent tectonics. *Mar. Geol.*, 248, 151-160.

BENAC, Č., JURAČIĆ, M., MATIČEC, D., RUŽIĆ, I., PIKELJ, K. (2013): Fluviokarst and classical karst: Examples from the Dinarics (Krk Island, Northern Adriatic, Croatia). *Geomorphology*, 184, 64-73.

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.

DURN, G., OTTNER, F., SLOVENEK, F. (1999): Mineralogical and geochemical indicators of the polygenetic nature of terra rossa in Istria, Croatia. *Geoderma*, 91, 125-150.

FELJA, I., ROMIĆ, M., ROMIĆ, D., BAKIĆ, H., PIKELJ, K., JURAČIĆ, M. (2016): Application of empirical model to predict background metal concentration in mixed carbonate-alumosilicate sediment (Adriatic Sea, Croatia). *Mar. Pollut. Bull.*, 106 (1-2), 190-199.

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, R., CRMARIĆ, Č. (1999): Seabed and Surface Sediment Map of the Kvarner Region, Adriatic Sea, Croatia (Lithological Map, 1:500,000). *Geol. Croat.*, 52 (2), 131-140.

JURINA, I., IVANIĆ, M., TROSKOT-ČORBIĆ, T., BARIŠIĆ, D., VIDOVIĆ, N. (2013): Activity concentrations and distribution of radionuclides in surface and core sediments of the Neretva Channel (Adriatic Sea, Croatia). *Geol. Croat.*, 66 (2), 143-150.

PIKELJ, K., ŽIGIĆ, V., JURAČIĆ, M. (2009): Origin and distribution of surface sediments in the Grgur Channel, Adriatic Sea, Croatia. *Geol. Croat.*, 62 (2), 95-105.

PIKELJ, K. (2010): *Sastav i porijeklo površinskih sedimenata dna istočne strane Jadranskog mora* (Composition and origin of seabed sediments of the eastern part of the Adriatic Sea (in Croatian). Ph. D. Thesis, University of Zagreb, 239 str.

PIKELJ K., M. JURAČIĆ (2013): Eastern Adriatic Coast (EAC): geomorphology and coastal vulnerability of a karstic coast. *J. Coast. Res.*, 29 (4), 944-957.

PIKELJ K., M. JURAČIĆ (2014): Coastal typology and related seabed sediments along the eastern Adriatic coast (Croatia), CNR-IBIMET Florence, 697-703.

PIKELJ, K., JAKŠIĆ L., AŠČIĆ Š., JURAČIĆ M. (2016): Characterization of the fine-grained fraction in the surface sediment of the Eastern Adriatic channel areas. *Results and discussion*, 57 (2), 195-208.

RAVAIOLI, M., ALVISIA, F., MENEGAZZO VITTURI, L. (2003): Dolomite as a tracer for sediment transport and deposition on the northwestern Adriatic continental shelf (Adriatic Sea, Italy). *Continental Shelf Research*, 23, 1359–1377.

STECKLER, M. S., RIDENTE, D., TRINCARDI, F. (2007): Modelling of sequence geometry north of Gargano Peninsula by changing sediment pathways in the Adriatic Sea. *Cont. Shelf Res.*, 27, 526-541.

VLAHOVIĆ, I., TIŠLJAR, J., VELIĆ, I., MATIČEC, D. (2005): Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: Palaeogeography, main events and depositional dynamics. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 220, 333-360.

## 8. Popis slika u tekstu

Slika 1 - Isječak Geološke karte teritorija RH 1 : 500 000 (Split - Ploče)

Slika 2 - Isječak Geološke karte teritorija RH 1 : 500 000 (Ploče - Dubrovnik)

Slika 3 - Lokacije prikupljanja uzoraka: generirani geografski prikaz lokacija prikupljenih sedimenta sa površinskog sloja dna Jadranskog mora

Slika 4 - Stog sita na tresilici: prikaz laboratorijskog postupka mokrog sijanja

Slika 5 - Aparatura za kalcimetriju: prikaz laboratorijskog postupka kalcimetrijske analize

Slika 6 - Trofazni dijagram granulometrijskog sastava uzoraka Šljunak-Pijesak-Mulj: generirani trofazni dijagram sa prikazom omjera triju frakcija

Slika 7 - Mikroskopski prikaz frakcija uzorka FPP10A

Slika 8 - Mikroskopski prikaz frakcija uzorka FP012

Slika 9 - Mikroskopski prikaz frakcija uzorka FPP4A

Slika 10 - Mikroskopski prikaz frakcija uzorka FPP8

Slika 11 - Mikroskopski prikaz frakcija uzorka FP014

Slika 12 - Mikroskopski prikaz frakcija uzorka FPP2

Slika 13 - Odnos granulometrijskih frakcija pojedinih uzoraka na geografskom prikazu: generirani geografski prikaz lokacija uzorkovanja sa odgovarajućim udjelima frakcija

Slika 14 - Odnos udjela karbonata pojedinih uzoraka na geografskom prikazu: generirani geografski prikaz lokacija uzorkovanja sa odgovarajućim udjelima karbonatnog sadržaja

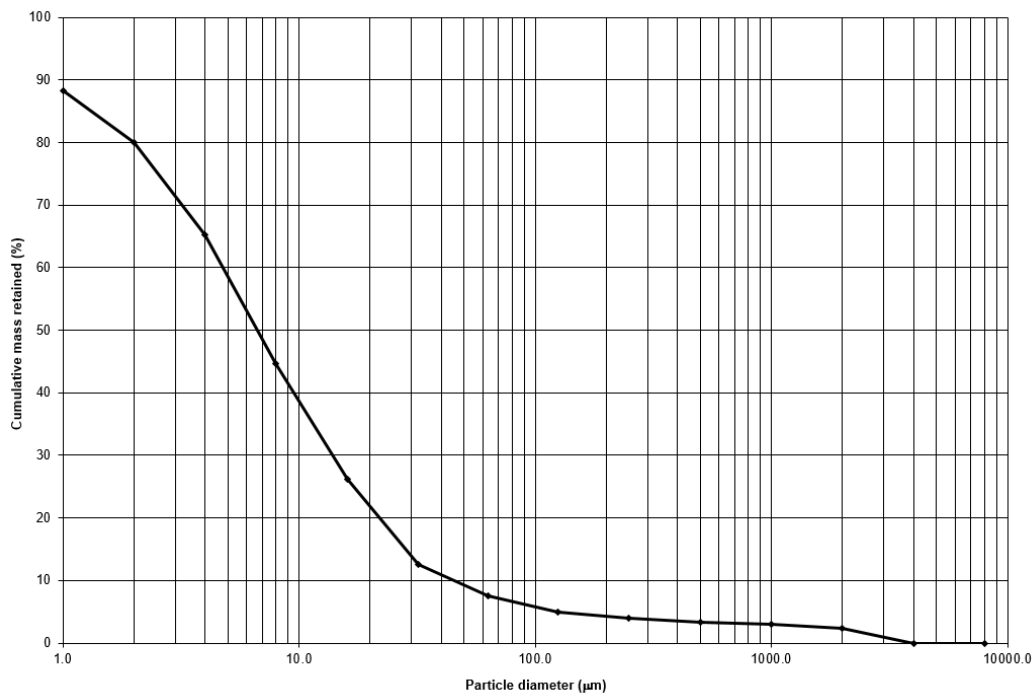
## **9. Popis tablica u tekstu**

Tablica 1 - Parametri dobiveni granulometrijskom analizom (str. 11)

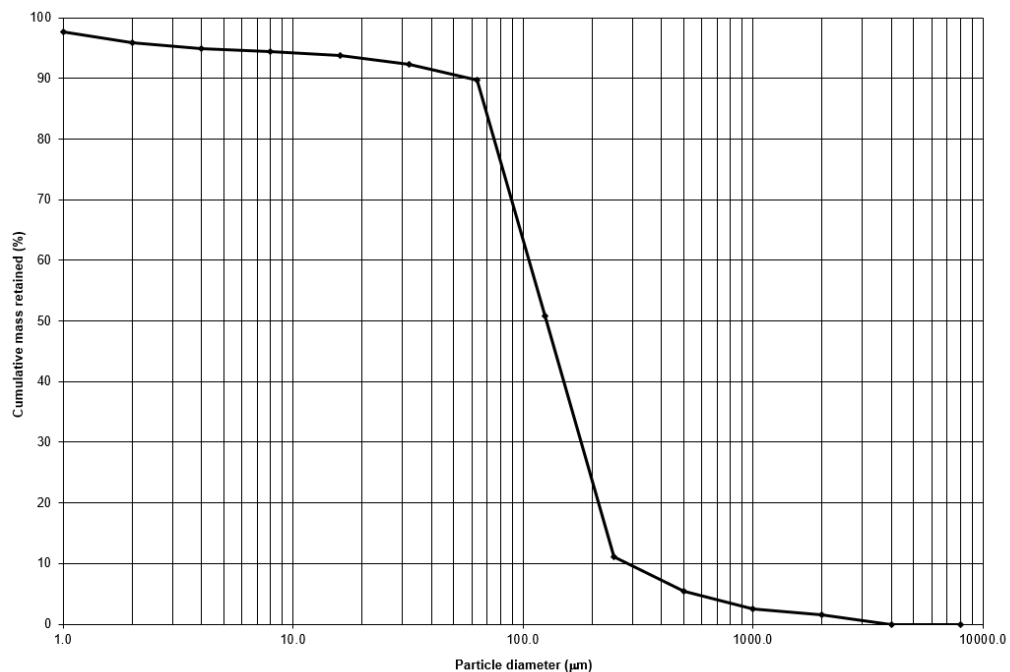
Tablica 2 - Udjeli frakcija po uzorku, sa dubinom uzorkovanja (str. 12)

Tablica 3 - Udjeli karbonatne komponente po uzorcima (str. 13)

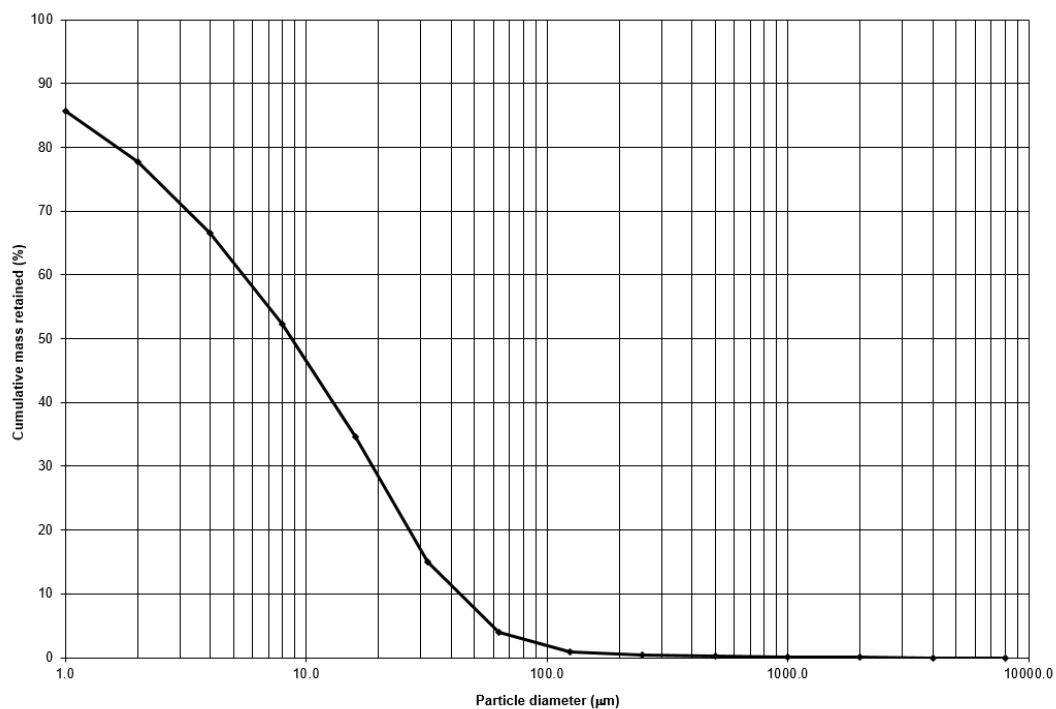
### 10. Prilozi



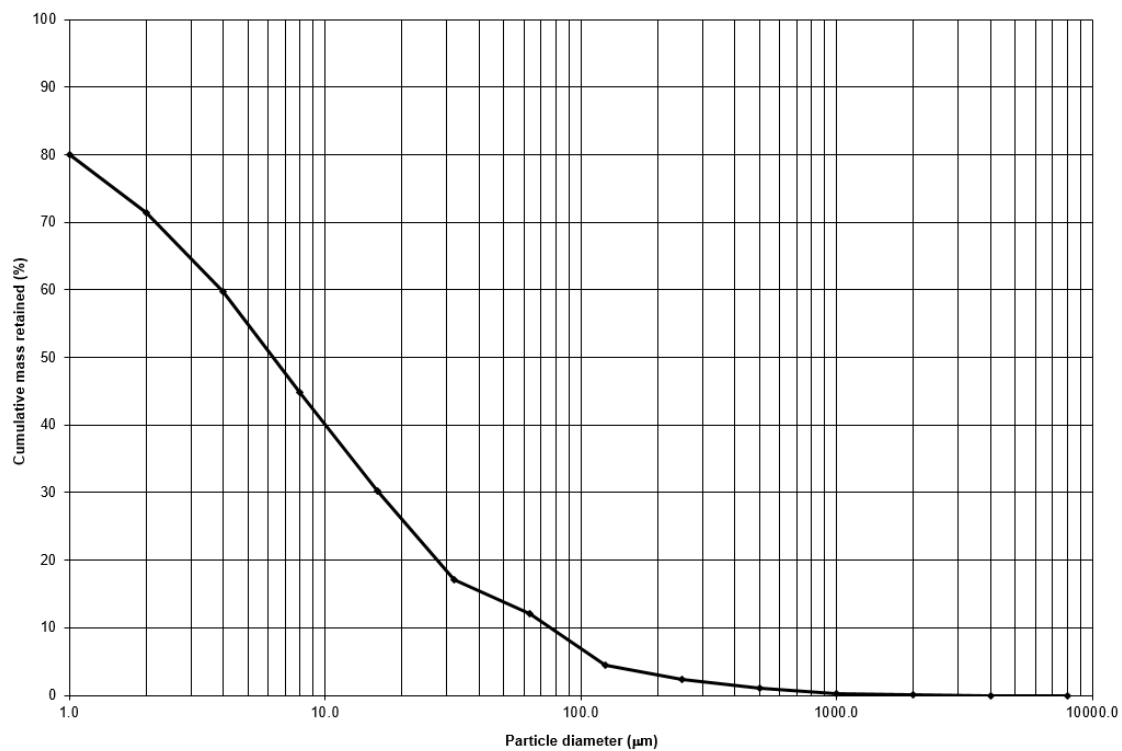
Prilog 1 - Kumulativna granulometrijska krivulja uzorka FPP10A



Prilog 2 - Kumulativna granulometrijska krivulja uzorka FP012

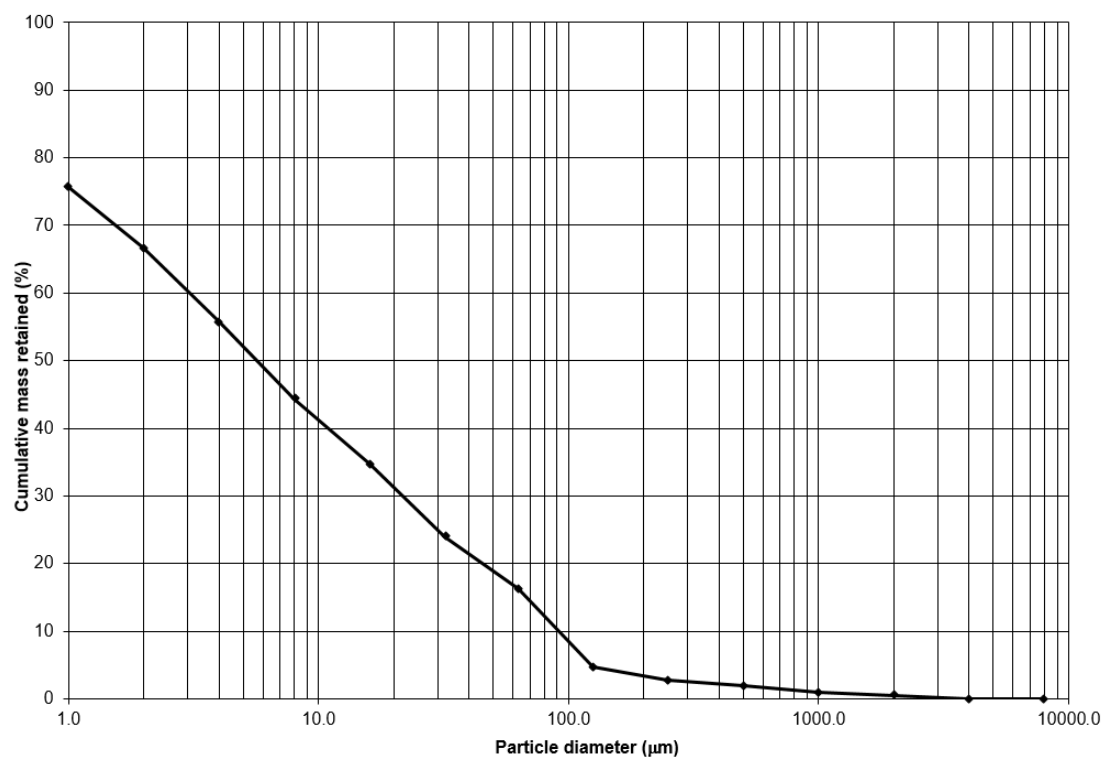


Prilog 3 - Kumulativna granulometrijska krivulja uzorka FPP4A

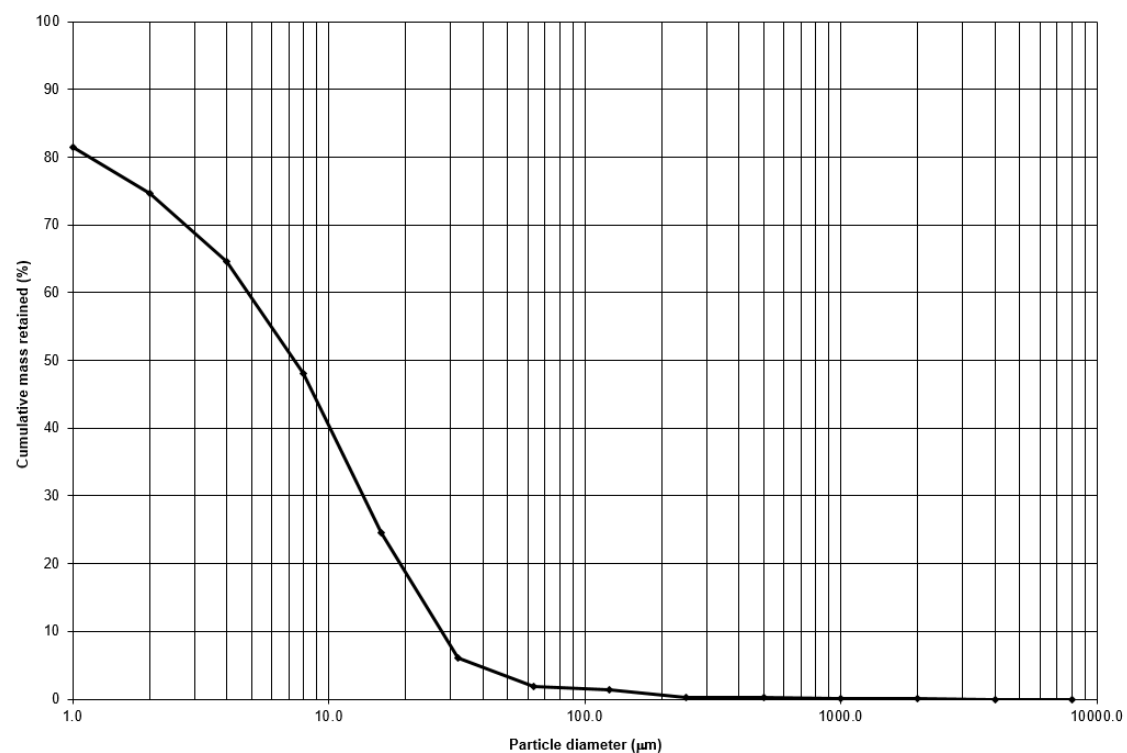


Prilog 4 - Kumulativna granulometrijska krivulja uzorka FPP8





Prilog 5 - Kumulativna granulometrijska krivulja uzorka FP014



Prilog 6 - Kumulativna granulometrijska krivulja uzorka FPP2