

Granulometrijske karakteristike i kalcimetrija sedimenata iz jezgre u delti rijeke Neretve

Frankol, Diana

Master's thesis / Diplomski rad

2015

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:189722>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET
GEOLOŠKI ODSJEK

DIANA FRANKOL

GRANULOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE I KALCIMETRIJA
SEDIMENTA IZ JEZGRE U DELTI RIJEKE NERETVE

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

Zagreb, 2015.

ZAHVALE

Zahvaljujem svome mentoru **prof. dr. sc. Mladenu Juračiću** na brojnim korisnim diskusijama i savjetima, te uloženom trudu, pomoći i strpljenju tijekom izrade ovog rada. Zahvaljujem mu i na sveukupno prenesenom znanju tijekom studija kroz vrlo ugodna i detaljna predavanja.

Također, zahvaljujem **izv. prof. dr. sc. Blanki Cvetko Tešović** na sasvim slučajnom, nadasve ugodnom ali ispred svega poticajnom razgovoru koji me je usmjerio na ovu tematiku diplomskoga rada. Veliko hvala i za poticajne razgovore o poslu, istraživanju, znanstvenom radu, kao i bezbrojnim životnim mudrostima i savjetima tijekom cijelog perioda studija kroz opuštene i nadasve šaljive razgovore koji su mi omogućili da ovaj fakultet doživim kao svoj drugi dom.

Zahvaljujem članovima komisijskog povjerenstva **prof. dr. sc. Vlasti Ćosović** i **izv. prof. dr. sc. Marijanu Kovačiću** na kritikama i nesebičnim savjetima u svrhu poboljšanja ovog diplomskog rada tijekom njegove izrade. Prof. Kovačiću, posebno hvala za sav uloženi trud, strpljenje, ukazano povjerenje i nesebične riječi hvale u svim mojim fakultetskim aktivnostima i projektima, kao i za bezbrojne rasprave i savjete, koji su me pratili tijekom cijelog mog studija.

Veliko hvala mom neposrednom voditelju, asistentu **dipl. ing. Igoru Felji** na nesebičnoj i nemjerljivoj pomoći i angažiranosti tijekom izrade ovog diplomskog rada. Hvala na velikoj pomoći prilikom obavljanja laboratorijskih analiza, te bezbrojnim savjetima, raspravama i prijedlozima tijekom uređivanja teksta i obrade podataka, a nadasve na podršci, smirenosti i vedrini u trenucima sumnje i malodušnosti.

Zahvaljujem **dipl. inž. Štefici Kampić**, asistentu **dipl. ing. Frani Markoviću** i **dipl. ing. Željku Ištuku** na nesebičnoj i uvijek dostupnoj pomoći pri laboratorijskim analizama, uvijek praćenim zabavnim razgovorima i ugodnom radnom atmosferom.

Zahvaljujem svima na ne tako beznačajnim sitnicama i pomoći bez kojih ovaj rad ne bi bio moguć niti ostvaren.

Veliko hvala **prof. dr. sc. Draženu Balenu** i **prof. dr. sc. Darku Tibljašu** što su me tijekom studija neprestano podsjećivali, te na posljatku i naučili kritičkom razmišljanju i važnosti razumijevanja detalja u znanstvenom i istraživačkom radu.

*Hvala našem **prof. Šimunu Aščiću** i izv. **prof.dr.sc. Nenadu Tomašiću** na 'borbama' protiv ISVU sustava i nesebičnim spašavanjima, u posljednji čas, kada je moja, studentska odgovornost zakazala.*

*Hvala **dipl. iur. Mariji Cindro** na susretljivosti i velikom razumijevanju prilikom svih studentskih pitanja i problema, koji su studentsku referadu napravili još jednom prostorijom sa ugodnom dobrodošlicom i uvijek nasmijanim licem.*

Svim kolegicama i kolegama, profesorima i suradnicima, pa i onima koji nažalost nisu više dio naše, usuđujem se reći, velike obitelji i tima, hvala što su me pratili i ispratili na ovom prekrasnom putovanju, jednom od najljepših u životu. Neizmjereno Vam zahvaljujem na potpori i razumijevanju, prenesenom znanju, savjetima i mudrostima, raspravama i svemu što je mjerljivo obogatilo moj život i mene kao osobu.

Najveću zahvalnost dugujem mojoj dragoj obitelji, posebice roditeljima na ljubavi, bezuvjetnoj podršci i neizmjerenoj vjeri u moj uspjeh, bez kojih sve ovo što sam dosada postigla nebi bilo moguće. Od srca Vam hvala na svemu što ste mi pružili tijekom mog studija, a ovaj diplomski rad poklanjam Vam kao znak zahvalnosti.

*Mojim najdražima: **Marinu, Petri, Martinu, Tamari** i **Slaveku** hvala na bezuvjetnoj ljubavi, potpori, brizi, strpljenju i razumijevanju, posebice tijekom proteklih mjeseci. Obećajem da ću pokušati nadoknaditi svo vrijeme koje nismo mogli provesti zajedno i popraviti svoje netrpljivo ponašanje.*

I am a thousand winds that blow.

I am the diamond glints on snow.

I am the sun on ripened grain.

I am the gentle autumn rain.

I am the stars that shine at night.

I am a thousand winds that never die...

HVALA TI...

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geološki odsjek

Diplomski rad

GRANULOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE I KALCIMETRIJA SEDIMENATA IZ JEZGRE U DELTI RIJEKE NERETVE

DIANA FRANKOL

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

Sažetak: Interpretacija rezultata provedenog istraživanja, prikazana u ovom radu, opisuje i objašnjava promjene u okolišima taloženja na području delte rijeke Neretve kroz mlađi pleistocen i holocen, kao i utjecaj promjene razine mora na sedimentaciju i oblikovanje same delte. Na 38 uzoraka sedimenata iz jezgre DP (dubina 119 m) izvađene u deltnoj ravnici rijeke Neretve, napravljene su granulometrijske analize, koje pokazuju jasnu podijeljenost jezgre na dva dijela: gornji (plići) (0 - 30 m) i donji (dublji) (30 - 119 m). U donjem dijelu jezgre, dominantno se nalaze pjeskovito-šljunkoviti sedimenti, taloženi u aluvijalnim okolišima mlađeg pleistocena, kada je razina mora bila znatno niža od današnje. U gornjem dijelu jezgre, od 30 m dubine pa do površine, prevladava muljeviti sediment, koji odgovara taloženju u uvjetima nakon razdoblja posljednjeg glacijala, kada je more preplavilo nekadašnju neretvansku dolinu i stvorilo duboki estuarij. Rezultati kalcimetrije, provedene na uzorcima iz plićeg dijela jezgre (0 - 30 m), kreću se u rasponu od 31% - 54% i pokazuju taloženje u uvjetima miješano karbonatno-siliciklastičnog šelfa, kakvi danas vladaju u području istočnog dijela Jadranskog mora. S obzirom na veliku ekološku i ekonomsku važnost najznačajnije delte na obali Hrvatske, sustavno istraživanje evolucije delte rijeke Neretve i procesa koji se odvijaju u njoj mogli bi značajno doprinijeti njenoj zaštiti i očuvanju.

Ključne riječi: delta, granulometrijske karakteristike, kalcimetrija, rijeka Neretva, taložni okoliši

Rad sadrži: 51 stranicu, 25 slika, 6 tablica, 51 literaturni navod

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je pohranjen u: Središnjoj geološkoj knjižnici, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb

Mentor: Mladen Juračić, prof. dr. sc.

Ocjenjivači: Vlasta Ćosović, prof. dr. sc.

Mladen Juračić, prof. dr. sc.

Marijan Kovačić, izv. prof. dr. sc.

Rad prihvaćen: 25. studenog 2015.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geology

Graduated Engineer Thesis

GRANULOMETRIC CHARACTERISTICS AND CALCIMETRY OF THE CORE SEDIMENTS FROM THE NERETVA RIVER DELTA

DIANA FRANKOL

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

Abstract: Interpretation of results obtained by this research describes and explains changes of depositional environments in the area of the Neretva River delta during Younger Pleistocene and Holocene, as well as influence of the sea-level changes on sedimentation and development of delta. Granulometric analyses were done on 38 samples from the core DP (119 m depth) extracted from the deltaic plain of the Neretva River. Results showed that the core could be divided in two parts: upper (0 - 30 m) and lower (30 - 119 m) part. The lower part of the core contains dominantly gravely and sandy sediments, which were probably deposited in the alluvial environments in the Younger Pleistocene, when the sea-level was much lower than today. In the upper part of the core, muddy sediment is prevailing, and this was interpreted as deposition after last glacial period, when sea flooded former Neretva River valley and created deep estuary. Results of calcimetry in the upper (muddy) part of the core showed values between 31% - 54% which reflects deposition in the conditions of carbonate-siliciclastic shelf, which are present today in the eastern part of the Adriatic Sea. Neretva River delta is the most significant delta in Croatian coast, with huge ecological and economic importance, and systematic researches of the evolution of the delta and processes in the delta could significantly contribute to its protection.

Keywords: calcimetry, depositional environments, delta, granulometric characteristics, Neretva River

Thesis contains: 51 pages, 25 figures, 6 tables, 51 references

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Central geological library, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb

Supervisor: Mladen Juračić, prof. dr. sc.

Reviewers: Vlasta Čosović, prof. dr. sc.

Mladen Juračić, prof. dr. sc.

Marijan Kovačić, izv. prof. dr. sc.

Thesis accepted: 25th November 2015

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
2.	TEORETSKI DIO	3
2.1.	MORFOLOGIJA DELTI	3
2.2.	KLASIFIKACIJA DELTI	5
2.3.	STRUKTURA DELTI	7
2.4.	SEDIMENTACIJSKI PROCESI U DELTNIM UŠĆIMA	8
2.5.	EVOLUCIJA RECENTNIH DELTI I ČIMBENICI KOJI IH OBLIKUJU	9
3.	PODRUČJE ISTRAŽIVANJA I GEOLOŠKI PREGLED	13
4.	PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA U DELTI NERETVE	16
5.	METODE ISTRAŽIVANJA	18
5.1.	UZORKOVANJE	18
5.2.	LABORATORIJSKE METODE	19
5.2.1	GRANULOMETRIJSKA ANALIZA	19
5.2.2.	KALCIMETRIJA	21
5.2.3.	MORFOLOŠKA ANALIZA ZRNA	22
5.2.4.	MIKROSKOPIRANJE I FOTOGRAFIRANJE FOSILA	23
5.3.	STATISTIČKA OBRADA PODATAKA	23
6.	REZULTATI	26
6.1.	REZULTATI GRANULOMETRIJSKE ANALIZE	26
6.2.	REZULTATI ODREĐIVANJA UDJELA KARBONATA	35
6.3.	REZULTATI MORFOLOŠKE ANALIZE ZRNA	37
7.	RASPRAVA	39
8.	ZAKLJUČAK	42
9.	LITERATURA	43
10.	PRILOZI	48
10.1.	POPIS SLIKA U TEKSTU	48
10.2.	POPIS TABLICA U TEKSTU	50
10.3.	DODACI	51

1. UVOD

Deltne sustavi su dinamični, izrazito osjetljivi obalni okoliši pod stalnim utjecajem mora s jedne strane i kopna, odnosno rijeke s druge strane. Također, ta su područja zbog obilja plodnog tla, dostupnosti slatke vode i raznolikosti biljnog i životinjskog svijeta gusto naseljena što ih ujedno čini i ekonomski važnim i značajnim područjima za ljudsku civilizaciju. Kao i u dalekoj prošlosti, deltne ravnice i danas su područja intenzivnog poljoprivrednog uzgoja, a zbog svojih prirodnih ljepota i velike bioraznolikosti (bujna vegetacija, močvarne ptice, obilje slatkovodne i slane ribe) ekološki su važne, a često i turistički atraktivne lokacije. Riječna ušća također su i početak plovnih puteva prema unutrašnjosti zbog čega upravo u deltama nerijetko nalazimo luke i milijunske gradove, a dodatna važnost deltama pridodana je nakon otkrića ležišta fosilnih goriva u sedimentima starih deltnih sustava. Zbog svega navedenog iznimno je važno razumjeti procese koji utječu na razvoj i evoluciju deltnih sustava.

Na oblikovanje obale i ušća (delti) utječe niz morfoloških čimbenika. Najvažniji od njih upravo je promjena morske razine koja je kroz geološku prošlost varirala i neposredno određivala položaj obala. Dokaze nekadašnjih obala najlakše pronalazimo u stijenama iz geološkog perioda kvartara, koji je karakteriziran izrazitim klimatskim varijacijama i promjenama razine mora kao posljedica čestih izmjena glacijala i interglacijala. Tek prije otprilike 8 000 – 6 500 godina kada se klima stabilizirala, a brzina rasta morske razine znatno usporila dosežući približno današnju razinu, nastale su (i oblikovale se) recentne obale i riječna ušća, pa tako i delte (Stanley i Warne, 1994).

U području riječnih delti, koje zauzimaju tek 5% Zemljine površine, danas živi oko 500 milijuna ljudi (Overeem i Syvitski, 2009) zbog čega nikako ne smijemo zanemariti i izostaviti sudjelovanje ljudskog faktora u oblikovanju deltnih područja. Nažalost, utvrđeno je kako takva gusta naseljenost i ljudska aktivnost u tim područjima nerijetko sve više ugrožava resurse ovih okoliša i općenito uništava i degradira deltne sustave. Stoga zbog višestruke važnosti deltnih područja za ljudsku civilizaciju, ovakve činjenice ne smiju biti olako shvaćene te je praćenje promjena koje se odvijaju u tim izuzetno osjetljivim okolišima nužno kako bi se pravovremeno mogle utvrditi i primijeniti sve potrebne mjere za njihovo očuvanje.

Na istočnoj obali Jadranskog mora rijeka Neretva jedina je rijeka koja u svom ušću tvori značajniju deltu velike ekološke i ekonomske važnosti. Posljednjih nekoliko desetljeća veći dio deltne ravnice melioriran je i pretvoren u plodno poljoprivredno zemljište uglavnom namijenjeno za uzgoj agruma, dok je manji dio uspio ostati relativno netaknut i očuvan močvarni okoliš, zaštićen kao prirodni močvarni rezervat zbog svojih prirodnih ljepota i izuzetne raznolikosti riba, ptica i drugih močvarnih biljnih i životinjskih vrsta (Margeta i Fistanić, 2000). Kao i kod većine svjetskih delti, tako i u slučaju delte rijeke Neretve, razvoj poljoprivrede, gradnja hidroelektrana i gradova/luka u deltnom području direktno ugrožavaju

ovo područje. Ljudska aktivnost rezultira promjenama u opskrbi sedimentom i vodom zbog čega se u samoj delti rijeke Neretve sve više pojačava utjecaj mora, a smanjuje utjecaj kopna, a područje deltne ravnice podložno je salinizaciji i sve većoj eroziji (Vranješ i sur., 2007; Romić i sur., 2008). Sustavno istraživanje procesa koji se odvijaju u delti Neretve te sedimentološke, mineraloške i geokemijske analize sedimentnog materijala koji izgrađuje deltni sustav Neretve mogli bi doprinijeti zaštiti i očuvanju jedine značajne delte Hrvatske.

Cilj istraživanja, prikazanog u ovom radu, bio bi opisati i objasniti promjene u okolišima taloženja na području delte rijeke Neretve kroz mlađi pleistocen i holocen na temelju određivanja granulometrijskih karakteristika i udjela karbonatne komponente u jezgri (119 m) izbušenoj u deltnoj ravnici rijeke Neretve. Također će se pokušati objasniti utjecaj promjene razine mora na sedimentaciju i oblikovanje delte rijeke Neretve. Doprinos ovog istraživanja i rada bio bi povećati količinu informacija o razvoju delte rijeke Neretve kroz bližu geološku prošlost te pokušati procijeniti daljnju evoluciju (destrukciju?) cjelokupnog deltnog sustava zbog smanjenog donosa sedimenta u deltu i poraste morske razine kroz posljednjih nekoliko desetljeća.

2. TEORETSKI DIO

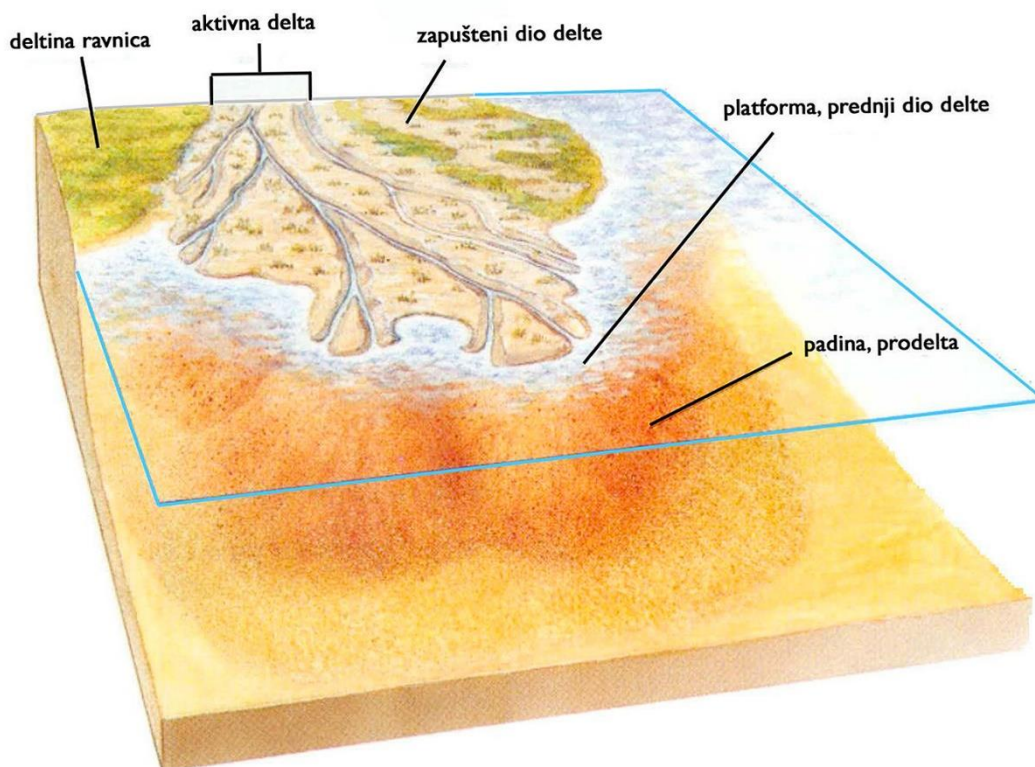
2.1. MORFOLOGIJA DELTI

Obalne akumulacije riječnog sedimenta u produžetku ili neposrednoj blizini izvornog toka, koji uključuju sedimente smještene ispod i iznad razine mora nazivamo deltama. Deltini sustav nastaje kada rijeka donese više sedimenta nego što struje u prihvatnom bazenu mogu preraditi i odnijeti dalje od ušća – u šelf pa čak i u duboko more. Delte nalazimo u svim klimatskim zonama, a kako je nastanak recentne obalne linije vezan uz oscilacije razine mora, koje su izazvane periodičkim glacijacijama tijekom pleistocena i holocena, većina recentnih delti geološki je mlada. Dakle, otprilike između 8 000 – 6 500 godina stabilizirala se klima i usporio porast razine mora što je pak dovelo do povećane akumulacije sedimenata donesenih rijekom na obale i uzrokovalo nastajanje delti po cijelome svijetu (Stanley i Warne, 1994).

Na oblikovanje delti, koji su dinamični i osjetljivi obalni sustavi, utječe niz čimbenika. Jedan od važnijih čimbenika je razina morske vode, koja određuje položaj obalne linije. Osim promjene razine mora, kao najznačajnijeg čimbenika, na obalnu morfologiju utjecali su i slijedeći geološki čimbenici: vrsta stijena/sedimenta od kojih je izgrađena obala i njeno zaleđe (jer o tome ovisi vrsta i količina materijala koja će biti transportirana do obalne linije); tektonika koja uzrokuje izdizanje, spuštanje, rasjedanje, boranje ili pak subsidenciju obalnih stijena; klima koja utječe na obalnu floru i faunu, odnosno nastajanje/nestajanje mangrova, slanih močvara, koraljnih grebena i sl.; režim valova i vjetrova, koji uvjetuju procese trošenja stijena i oblikovanje same obale.

Općenito gledano, delte mogu nastati na svakom obalnom području gdje je akumulacija sedimenta donesenog rijekom veća od brzine erozije strujama i valovima, no svejedno moguće je izdvojiti okoliše čiji će tektonski i morfološki uvjeti pogodovati nastanku velikih deltnih sustava. Takva područja uglavnom su tektonski stabilna, sa zaleđem dovoljno niskih nadmorskih visina za formiranje velikih drenažnih bazena i širokim kontinentskim šelfom pogodnim za akumulaciju sedimenta. Upravo iz tih razloga najveće deltne sustave nalazimo na pasivnim kontinentalnim rubovima ili u rubnim (marginalnim) morima (Penland i Kulp, 2005).

Unatoč različitom djelovanju niza navedenih čimbenika koji uvjetuju nastanak i morfologiju deltnog sustava, u svakoj delti moguće je prepoznati njene osnovne dijelove (Sl.1): riječne tokove koji donose sediment, deltnu ravnicu, čelo delte i prodeltu (deltnu padinu).



Slika 1: Osnovni geomorfološki dijelovi delte (modificirano i preuzeto iz Brown i sur., 2006).

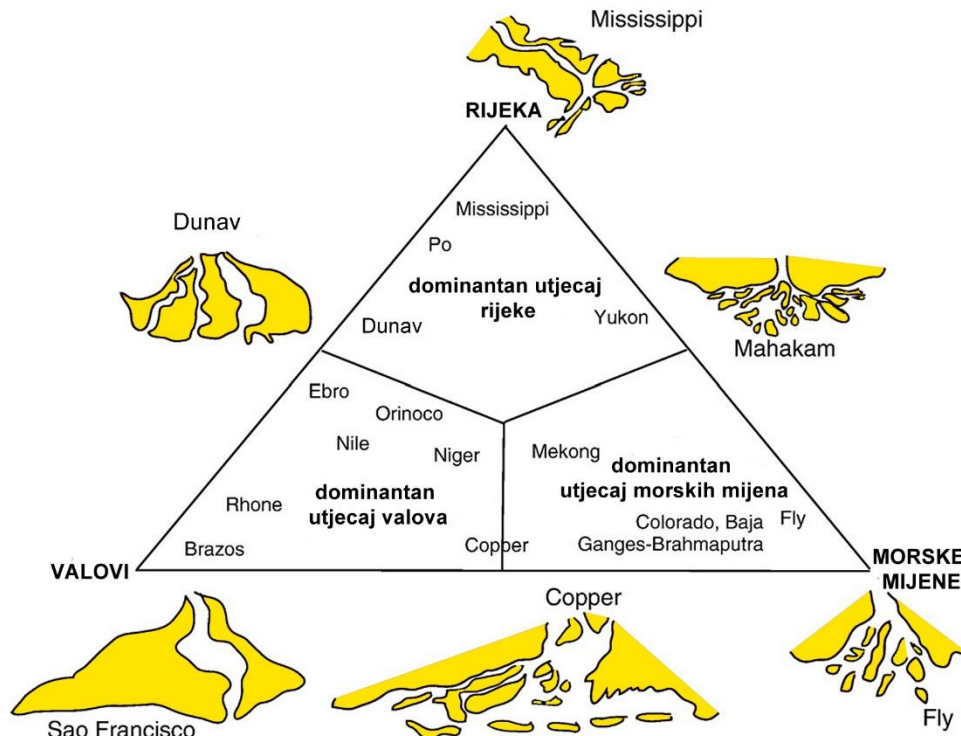
Na mjestu gdje rijeka napušta bočno ograničenu riječnu dolinu i ulazi u široki poplavni prostor počinje deltna ravnica, koja pripada nadmorskom dijelu delte (iznad morske razine), a dijeli se na gornju i donju deltnu ravnicu. Područje gornje deltne ravnice nalazi se iznad razine najviše plime, a izgrađeno je taloženjem aluvijalnog sedimenta tijekom epizoda riječnih poplava, oluja ili pak iznimno visokih plima. U tom području mogu se nalaziti prirodni kanali u kojima se nakupljaju različiti sedimenti kao što su npr. slatkovodni močvarni, jezerski ili sedimenti poplavne ravnice, a ponekad čak i treset. U području donje deltne ravnice riječno korito nalazi se pod utjecajem plime, tj. mora, zbog čega ovdje nalazimo slane močvare, mangrove, lagune, plaže ili barijerne otoke. Uobičajeno je da se u deltnoj ravnicu riječni tok podijeli u više manjih kanala ili rukavaca, a čiji broj može značajno varirati ovisno o duljini rijeke i/ili nagibu delte. Važnost distribucijskih kanala najveća je za procese sedimentacije (Syvitski i sur., 2005). Također, distribucijski kanali mogu djelovati i kao prirodni obrambeni mehanizmi deltne ravnice od poplava u periodima visokih vodostaja, te rasipati snagu i volumen izvornog (primarnog) toka, zbog čega će se u deltnim sustavima s većim brojem distribucijskih kanala sedimenti taložiti bliže obali.

Nastavak deltne ravnice ispod morske razine prelazi u prednji dio delte, tzv. deltnu frontu. Naglo opadanje brzine i širenje riječnog toka prilikom ulaska u morski prostor uzrokuje naglo taloženje većine sedimenta donesenog rijekom. Vrsta sedimenta koja će se istaložiti u ovom

području ovisi o energiji valova, morskim mijenama i priobalnim strujanjima, no najčešće ćemo ovdje nalaziti krupno do srednje zrnate sedimente poput šljunka ili pijeska, dok će oni sitnozrnatiji (uglavnom silt i glina) biti taloženi dalje u morskom bazenu, području iza deltna fronte koje nazivamo prodelta ili deltna padina. U području prodelte još se uvijek osjeća utjecaj kopna, odnosno rijeke, sve do određene linije čija udaljenost ovisi o nizu čimbenika kao što su: donos sedimenta riječnim tokom, energija vode u bazenu, broj distribucijskih kanala i sl.

2.2. KLASIFIKACIJA DELTI

Klasifikacija deltnih sustava razvijena je kroz sedamdesete godine prošlog stoljeća. Razvijeno je nekoliko različitih klasifikacija, no kao najčešće korištena pokazala se klasifikacija delti prema dominirajućim utjecajima koju je uveo Galloway (1975) (Sl.2 i Sl.3). Ta se klasifikacija temelji na podjelama delti prema dominantnom utjecaju rijeke za koje je tipičan oblik ptičjeg stopala (delta rijeke Mississippi, Sl.3), zatim delte pod dominantnim utjecajem valova gdje sedimenti delte ulaze u bazen u obliku zuba (delta rijeke Sao Francisco, Sl.3) i delte pod dominantnim utjecajem plime i oseke karakterizirana djelomično potopljenim ušćem s otocima koje tvore sedimenti (delta rijeke Fly, Sl.3).



Slika 2: Klasifikacija delti prema dominantnom utjecaju rijeke, valova i struja morskih mijena (Syvitski i Saito, 2007, prema Galloway, 1975).



Slika 3: Tipovi riječnih delti: a) delta pod dominantnim utjecajem rijeke (Mississippi), b) delta pod utjecajem rijeke i valova - prijelazni tip (Dunav), c) delta pod utjecajem rijeke i struja morskih mijena - prijelazni tip (Mahakam), d) delta pod utjecajem valova (Sao Francisco), e) delta pod utjecajem valova i struja morskih mijena - prijelazni tip (Copper), f) delta pod utjecajem struja morskih mijena (Fly).

Važno je napomenuti kako je gotovo nemoguće odrediti deltu prema samo jednoj klasifikaciji i zato pri klasifikaciji delte treba uzeti u obzir sve procese koji se u njoj odvijaju, jednako kao i vanjske čimbenike koji utječu na njenu morfologiju.

Za razliku od delte, estuarij je poluotvoreno riječno ušće gdje dio mora prodire u riječnu dolinu sve do mjesta gdje se osjeća utjecaj plime (Fairbridge, 1980). Geološki gledano to je kratkoživući dinamični okoliš, koji prolazi faze usijecanja doline riječnom ili ledenjačkom aktivnošću, potapanja doline prodorom mora te naposljetku zatrpavanje estuarija sedimentom. Današnji estuariji nastali su naglim dizanjem razine mora, nakon razdoblja glacijalnog maksimuma prije oko 18 000 godina, potapanjem usječene riječne i/ili ledenjačke doline. Prije otprilike 8 000 - 6 500 godina usporen je nagli rast razine mora i stvoreni su stabilniji uvjeti, slični današnjima, u kojima je započela akumulacija materijala u estuarijima i njihovo postupno zapunjavanje koje traje i danas.

Klimatsko-geomorfološka povijest područja estuarija kroz razdoblje kvartara i vertikalna gibanja zemljine kore, uvjetuju nastajanje različitih tipova estuarija (rias, fjord, deltni estuarij, tektonski estuarij itd.). Također, prema Fairbridge-u (1980), estuariji se mogu podijeliti i na ravnotežne i neravnotežne:

Ravnotežni estuariji čiji se oblik s vremenom neće znatno mijenjati, zbog dinamičke ravnoteže između donosa sedimenta, sedimentacije i odnošenje sedimenta;

Neravnotežni estuariji koji se s vremenom zatrpavaju sedimentom, a najčešće nastali kao posljedica holocenskog podizanja mora u području tektonskog uzdizanja.

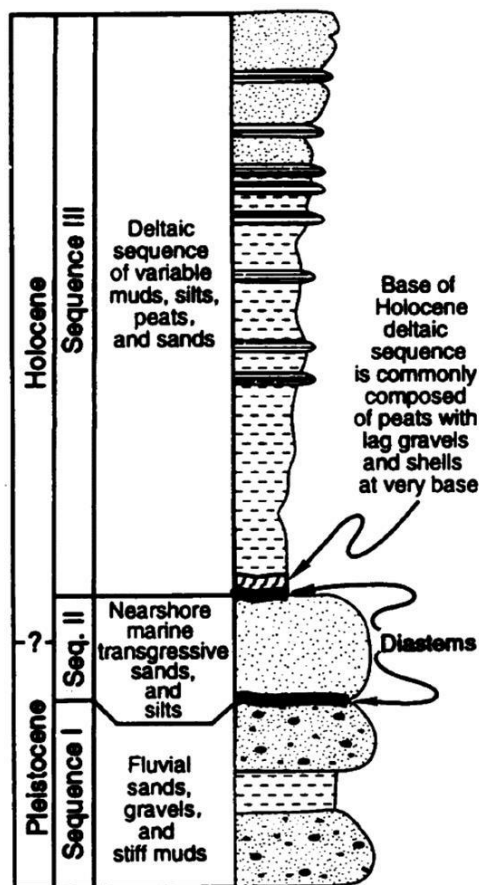
2.3. STRUKTURA DELTI

Strukturom delte upravljaju četiri osnovna čimbenika (Syvitski i sur., 2005): opskrba vučenim i suspendiranim sedimentom, razlika u gustoći ulaznog toka i stajaćeg vodenog tijela, te energija i morfološke karakteristike prihvatnog bazena.

Tokovi koji hrane deltu sedimentom uglavnom odražavaju karakteristike drenažnog bazena, a čime ujedno i definiraju granulometrijski sastav sedimenta (Postma, 1990). Orton i Reading (1993) uočili su kako granulometrijski sastav sedimenta direktno utječe na niz značajki deltnih sustava kao što su: nagib deltne ravnice, miješanje ulaznog toka i vode u prihvatnom bazenu, te procese deformacije i preraspodjele sedimenata u deltnoj fronti. Rijeke čiji drenažni bazeni imaju veći nagib terena uglavnom će prenositi krupnozrnati sediment, što će ujedno rezultirati i formiranjem krupnozrnatijih delti s velikim nagibom distribucijskog kanala. Doneseni materijal bit će ravnomjerno raspoređen duž cijele deltne fronte tvoreći deltu lepezastog oblika. Rijeke čiji drenažni bazen ima nizak, odnosno blagi nagib terena uglavnom će prenositi veće količine suspendiranog materijala, dok će distribucijski kanali, također blagog nagiba, često migrirati preko deltne ravnice.

Na primjeru delti Sredozemlja moguće je izvesti karakteristični litostratigrafski slijed sastavljen od tri sekvencije (Stanley i Warne, 1994) (Sl.4).

Bazalna sekvencija I sastavljena je od riječnih naslaga kasnog pleistocena. Na nju naliže se sekvencija II sastavljena od pješčanih plitkomorskih transgresivnih naslaga kasnog pleistocena i ranog holocena, prekrivena posljednjom sekvencijom III sastavljenom od naslaga različite litologije (treset, pijesak, prah, mulj), nastalih agradacijom i progradacijom delti u holocenu. S obzirom na veliku količinu organske tvari u sekvenciji III, koja je pogodna za određivanje starosti ^{14}C metodom, moguće je dokazati rano holocensku starost koja se kreće u rasponu između 8000 – 6500 godina i na taj način potvrditi teoriju o mladim (recentnim) deltama.



Slika 4: Pojednostavljeni litostratigrafski slijed kasno-pleistocenske do holocenske sukcesije sedimenata delte (Stanley i Warne, 1994).

2.4. SEDIMENTACIJSKI PROCESI U DELTNIM UŠĆIMA

Raspodjela sedimentnog materijala koji rijeka donese u morski (prihvatni) bazen i procesi njegova raspršenja ovise o energiji valova, struja i morskih mijena koji u njemu vladaju (Wright, 1977). Stoga sedimentacijske procese u deltama prema Wrightu i Nittroueru (1995) možemo podijeliti u četiri faze.

U prvoj fazi dolazi do raspršenja čestica donesenih riječnim tokom u morski okoliš. U ovoj fazi najveću ulogu odigrat će razlika u gustoći između riječne i morske ili jezerske vode (Wright, 1977) o kojoj će ovisiti daljnji tok riječnog sedimenta. Tako će se u niskoenergetskim okolišima, ukoliko je razlika u gustoći zanemariva, riječni tok nakon ulaska u prihvatni bazen nastaviti gibati u smjeru progradacije bazena no nedaleko ispred ušća i to u obliku polumjeseca. Veličina čestica pokazivat će dobru sortiranost, a smanjivat će se s udaljavanjem od ušća. Takav slijed događaja nazivamo homopikni tok, a u prirodi je njegova pojava, osim kod jezera, izuzetno rijetka. Suprotno homopiknom toku, u većini slučajeva slatka riječna voda biti će rjeđa od morske vode zbog čega će se u prihvatnom bazenu nastaviti širiti u vidu površinskog toka smanjenog saliniteta, tzv. hipopikni tok. U drugoj fazi

sedimentaciji dolazi do inicijalnog taloženja čestica na morsko dno. U ranije spomenutim niskoenergetskim okolišima to će ujedno biti i posljednja, završna faza sedimentacije, dok će se u visokoenergetskim okolišima sedimentacija nastaviti dalje, kroz treću fazu - resuspenziju sedimenta do koje dolazi zbog izraženih strujanja u prihvatnim bazenima. Tako resuspendirane čestice sada se dalje prenose u udaljene dijelove prihvatnog bazena gdje dolazi i do konačne/dugoročne sedimentacije, a što označava četvrtu fazu sedimentacijskog procesa. S obzirom na kompleksnost deltnih sustava, nije neuobičajeno da se sedimentacijski procesi odvijaju pod utjecajem više različitih čimbenika, te da se sve četiri faze sedimentacije međusobno isprepliću pa čak i istovremeno odvijaju (Sondi i sur. 1995).

Većina materijala nošenog rijekom uglavnom su čestice u suspenziji (72%) (Syvitski, 2003). Dio tih čestica pod utjecajem je procesa poput koagulacije i flokulacije koji rezultiraju stvaranjem agregata. Proces koagulacije dugo je vremena smatran dominantnim mehanizmom nastanka agregata u uvjetima povišenog saliniteta, npr. nakon ulaska suspendiranog materijala iz slatkovodnog u morski okoliš, odnosno iz otopine manje u otopinu veće ionske jakosti. Održivost čestica u obliku agregata i u slatkoj vodi (Leppard i Droppo, 2005; Fox i sur., 2004) pokazala je da koagulacija nije jedini mehanizam nastanka agregata. Proces povezivanja organskih ovojnica (organske makromolekule/polimeri) na površini čestica i anorganskih čestica u veće nakupine – flokule, naziva se flokulacija. Sedimentacija flokuliranog materijala nekoliko je puta brža od sedimentacije individualnih čestica pa stoga prisutnost organske tvari u riječnim ušćima ima važnu ulogu u procesima sedimentacije sitnozrnatog materijala. Ovi procesi su također primjećeni u estuariju rijeke Raše u kojem je flokulacija dominantan proces sedimentacije sitnozrnatog materijala koji se pretežno taloži na samom ušću estuarija u more (Sondi i sur., 1995).

2.5. EVOLUCIJA RECENTNIH DELTI I ČIMBENICI KOJI IH OBLIKUJU

Kao što je već ranije spomenuto, nastajanje većine recentnih delti započelo je u razdoblju donjeg holocena, prije oko 8000 – 6500 godina, nakon značajnog izdizanja globalne morske razine. No najznačajniji period za evoluciju recentnih delti počeo je prije oko 2000 godina i to najvećim dijelom zbog znatno povećane ljudske aktivnosti upravo u tim područjima. Naime, u posljednje 2000 godina većina svjetskih delti ubrzano je progradirala prema moru i to zbog povećanog donosa sedimentnog materijala rijekama u prihvatne bazene, a što je izravna posljedica povećanja ljudske aktivnosti sječom šuma i sve intenzivnijom poljoprivredom (McManus, 2002). Ipak, nakon kratkog ubrzanja rasta i progradacije delti, posljednjih nekoliko desetljeća ljudski faktor ima sve negativniji utjecaj na pozitivnu evoluciju deltnih sustava i uspijeva pomaknuti mnoge delte iz faze aktivnog rasta prema destruktivnoj fazi. (McManus, 2002; Day i sur., 1995). Ubrzane gradnje brana, nasipa

i kanala na rijekama, melioracije i pretvaranja deltnih ravnica u poljoprivredna zemljišta, korištenja vode za ljudske potrebe, iskorištavanje energetskeg potencijala rijeka za izgradnju hidroelektrana itd., doveli su do značajnog smanjenja ukupnog sedimentnog donosa rijekama (Dynesius i Nillson, 1994; Walling i Fang, 2003; Vörösmarty i sur., 2003; Syvitski i sur., 2005). Pa tako melioracija i pretvaranje deltnih ravnica u poljoprivredna zemljišta uništava prirodne obrambene mehanizme obale protiv erozivne snage valova i prodora mora; izgradnja brana, nasipa i hidroelektrana na rijekama utječe na prirodnu opskrbu delti sedimentom i vodom (Walling, 2006); crpljenje vode i fosilnih goriva uzrokuje subsidenciju deltnih sedimenata (Shi i sur., 2007; Syvitski, 2008).

Efektivni porast razine mora je mjerljiva brzina promjene razine mora u odnosu na površinu delte (Ericson i sur., 2006). Upravo je ta promjena za pojedinu deltu određene kroz kombinaciju triju čimbenika, a to su redom:

1) Porast razine mora

Globalna razina mora je mjera udaljenosti između površine mora i fiksne točke, obično središta Zemlje. Ona se mijenja promjenom volumena morske vode i volumena bazena. Kroz slijedećih nekoliko desetljeća očekuje se ubrzani globalni porast razine mora kao posljedica globalnog zatopljenja, a time i termalnog širenja oceanske vode i topljenja ledenih pokrova. Takav slijed događaja dovest će i do klimatskih promjena koje, s obzirom na izuzetnu osjetljivost deltnih okoliša, predstavljaju potencijalnu prijetnju evoluciji deltnih sustava. Porast razine mora dovodi do tonjenja i erozije ušća, a time i destrukcije samih delti, intruzija slane vode u obalne vodonosnike, ubrzane obalne erozije, a time i gubitaka obalnih područja i povećanoj izloženosti udarima oluja. Osim na život ljudi u područjima delte, ovi će procesi imati i negativan utjecaj na ekološki osjetljive i važne obalne močvare i šume mangrova. Nicholls i sur. (1999) u svome istraživanju pokazali su kako bi samo eustatički porast razine mora, nastavi li ovim tempom, do 2080. godine mogao dovesti do gubitka 22% svjetskih obalnih močvarnih područja, a ako tome priključimo i utjecaj ljudskog faktora, postotak gubitaka mogao bi porasti čak i na 70%. U trenutačnim uvjetima brzina efektivnog porasta razine mora na području delti variraju od 0,5 – 12,5 mm/god i procjenjuje se da bi do 2050. godine mogao uzrokovati 4,8 % gubitka deltnih područja (Ericson i sur., 2006).

2) Sedimentni donos

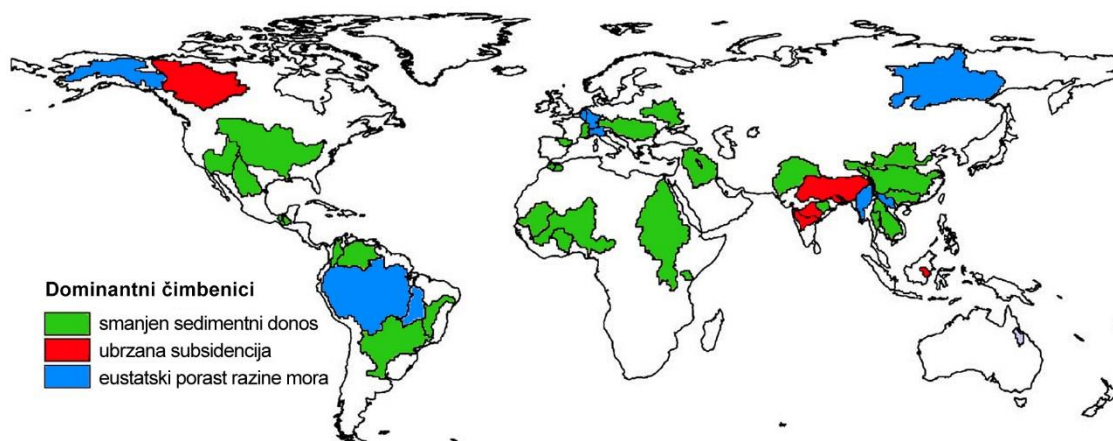
U posljednjih 100-tinjak godina dogodile su se značajne promijene u količini i brzini donosa sedimentnog materijala rijekama u obalne zone. Najveći uzrok tome bila je, naravno, prije svega ljudska djelatnost koja je gotovo istovremeno povećala, a zatim ubrzo i smanjila donos sedimenta rijekama. Dakle, sječa šuma, rudarenje, urbanizacija i ubrzani razvitak

poljoprivrede povećali su donos sedimenta, dok su gradnje brana, nasipa, kanala, eksploatacija šljunka i pijeska iz riječnih tokova, gubitak vode zbog korištenja za ljudske potrebe i sl., smanjili donos sedimenata rijekom (Meybeck i Vörösmarty, 2003). To je potvrdilo i istraživanje provedeno na 145 svjetskih rijeka, čiji su rezultati pokazali da oko 50% svjetskih rijeka pokazuje statistički značajan trend povećanja ili smanjenja sedimentnog donosa, pri čemu je uglavnom zastupljen silazni trend (Walling i Fang, 2003). Stoga, generalno gledajući, sedimentni donos rijekama u obalne zone većinom je bez promjene ili smanjen.

3) Prirodna i ubrzana subsidencija

Subsidencija je prirodan proces koji se konstanto odvija u deltama. Manifestira se kroz slijeganje nekonsolidiranog deltnog sedimenta kao posljedica kompakcije zbog težine krovinskog sedimenta, gubljenja vode iz sedimenta i/ili postupnog tonjenja velikog sedimentnog bazena. Prosječne brzine prirodne subsidencije u većini delta kreću se oko 1 – 10 mm/god (Stanley i Warne, 1998). Kao i kod prethodna dva čimbenika, i u ovom slučaju ljudski faktor može ubrzati prirodni proces. Stoga crpljenje ugljikovodika i podzemne vode iz vodonosnika unutar delte uzrokuje kompakciju sedimenta uslijed smanjenja pritiska vode u vodonosniku i okolnom glinenom materijalu, što direktno dovodi do povećanja brzine subsidencije. Takva ubrzana subsidencija primijećena je na mnogim svjetskim deltama i lokalno može doseći i do 300 mm/god (Pont i sur., 2002).

Zaključak o dominantnim čimbenicima koji utječu na oblikovanje recentnih delti vidljiv je na slici 5 (Ericson i sur., 2006).



Slika 5: Dominantni čimbenici odgovorni za efektivni porast razine mora za 40 delti (preuzeto iz Ericson i sur., 2006).

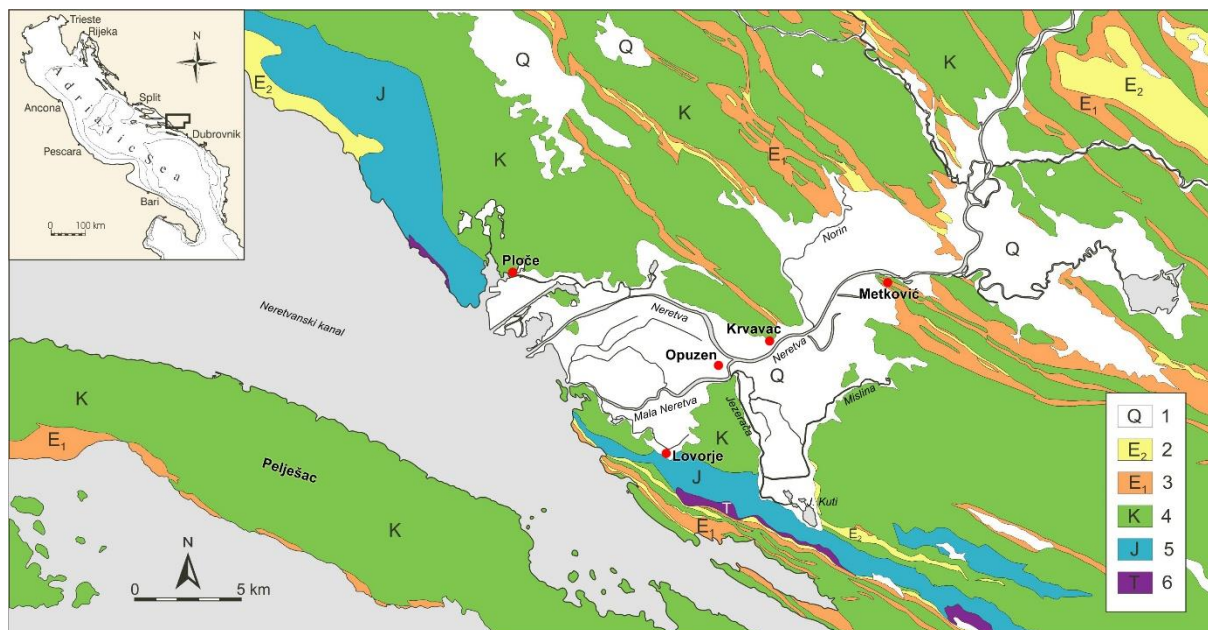
Aproksimacija se temelji na procjenama gubitaka sedimenta zbog promjena tokova i taloženja u rezervoarima, prirodne i ubrzane subsidencije i eustatičkog porasta razine mora. Napravljene procjene ekstrapolirane su za vremensko razdoblje 2000. - 2050. god. kako bi se procijenilo područje delti i ljudska populacija koji će biti zahvaćeni rizikom ukoliko se djelovanje ranije navedenih čimbenika nastavi istom brzinom. Dobivene vrijednosti govore da će biti izgubljeno oko 4,9% deltnih područja, a 8,7 milijuna ljudske populacije ugroženo (oko 2% svjetske populacije), odnosno ako se brzine i povećaju, a što je vrlo vjerojatno, moguće posljedice imat će značajno veće razmjere.

3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA I GEOLOŠKI PREGLED

Neretva, najduža rijeka u istočno jadranskom slivu, izvire u podnožju planine Zelengore u istočnom dijelu Bosne i Hercegovine na nadmorskoj visini od 1095 m. Ukupna duljina njenog toka iznosi 225 km, od čega posljednja 22 km protječu kroz prostor Republike Hrvatske. Tok rijeke Neretve podijeljen je u tri dijela: gornji tok koji obuhvaća područje od izvora do Konjica, zatim srednji tok od Konjica do Počitelja i donji tok od Počitelja do ušća u Jadransko more u blizini Ploča.

U svom gornjem i srednjem toku, sve do Počitelja, Neretva protječe kroz kanjone, klisure i kotline Vanjskih Dinarida, zbog čega je dolina rijeke u ovom području uska i kanjonskog karaktera, te ima bujične erozivne karakteristike. Za razliku od drugih hrvatskih rijeka jadranskog sliva čije je zaleđe pretežito krškog karaktera, Neretva u svom planinskom dijelu protječe kroz litološki heterogeno područje (Juračić, 1998), odnosno terene građene od različitih sedimentnih, metamorfnih i magmatskih stijena. Uz mezozojsku karbonatnu sukcesiju (plitkomorski fosiliferni, algalni i foraminiferski vapnenci i ranodijagenetski dolomiti) nalazimo i trijasko klastite, trijasko vulkanske stijene i vulkansko-sedimentnu seriju, te kredni fliš (lapori, pješčenjaci, konglomerati) s fosilifernim (uglavnom rudistnim) vapnencima (Mojićević i Laušević, 1973a; Mojićević i Laušević, 1973b; Sofilj i Živanović, 1980; Mojićević i Tomić, 1982; Sokač, 2009). Zbog velikog energetskog potencijala rijeke Neretve u njenom gornjem i srednjem toku sagrađeno je nekoliko hidroelektrana: Jablanica, Grabovica, Salakovac i Mostar, kako bi se iskoristio njezin hidropotencijal. Donji, nizinski tok Neretve počinje iza Počitelja, gdje ulazi u prostranu močvarnu dolinu, počinje meandrirati i stvarati nepravilnu deltu koja se nastavlja u Jadransko more. Područje donjeg toka Neretve protječe uglavnom kroz karbonatnu podlogu. SI od Počitelja nalazi se sinklinala čija je jezgra izgrađena od eocenskog fliša i alveolinsko-numulitnih vapnenaca, a krila od liburnijskih slojeva. Od Cerna na SZ, preko Počitelja pa dalje na JI nalazi se sinklinala, koja u jezgri sadrži klastične naslage eocena, a na krilima eocenske vapnenice. Od Ljubuškog na SZ preko Počitelja do Svitave na JI, proteže se „klobučka navlaka“ gornjokrednih vapnenaca na eocenske klastite i vapnenice. Južno od te navlake nalazi se sinklinalan čija je jezgra izgrađena od eocenskih vapnenaca i klastita. Južnije prema Metkoviću, preko Čapljine, nalaze se naslage gornjokrednih i eocenskih vapnenaca, te eocenskih fliševa, koje u svojim donjim (starijim) dijelovima sadrže obilje rudista, a u gornjim (mlađim) dijelovima tankouslojene i pločaste vapnenice uz rijetke nalaze rudista. SI od Metkovića, između Bijača i Svitava, nalazimo sinklinalu izgrađenu od eocenskih klastičnih sedimenata, te alveolinsko-numulitnih vapnenaca i liburnijskih slojeva u jezgri sinklinale. Sjeverozapadni dio sinklinale do Metkovića, prevrnut je i poremećen brojnim poprečnim rasjedima približnog smjera S-J. Od Novih Sela, preko Metkovića, do Kolojana, može se pratiti prevrnuti sinklinala izgrađena

od eocenskih vapnenaca, na koju su sa SI strane navučeni gornjokredni sedimenti. JZ od Metkovića, iznad Krvavca, od Desne do Norinske Kule, preko Neretve do Bijelog Vira, nalazi se prevrnuti sinklinala izgrađena od eocenskih sedimenata, na čija su krila sa SI strane navučeni gornjokredni sedimenti. U području Donje Gore proteže se antiklinala izgrađena od rudistnih vapnenaca. Strukturno gledano ovo područje karakteriziraju brojne prevrnuti bore čija krila padaju na SI (Raić i sur., 1977) (Sl.6).



Slika 6: Geološka karta deltne ravnice rijeke Neretve (preuzeto i modificirano iz Jurina i sur., 2015, prema OGKJ 1: 100 000, listovi Metković (Raić i sur., 1976), Ploče (Marinčić i sur., 1978), Ston (Raić i sur., 1982) i Imotski (Raić i sur., 1977). (Legenda: 1 – kvartarne aluvijalne naslage, 2 – eocenski fliš, 3 – eocenski vapnenci, 4 – kredni vapnenci i dolomiti, 5 – jurski vapnenci i dolomiti, 6 – trijaski vapnenci)

Dolina donjeg toka Neretve tektonski je predisponirana (Juračić, 1998). Gotovo sve opisane bore imaju SI krila razorena reversnim rasjedima Dinarskog pružanja - SZ-JI, duž kojih dolazi do prebacivanja i navlačenja kompletnih ili pojedinih dijelova krila sinklinala i antiklinala, što je uzrokovalo naizmjenično ponavljanje stratigrafskih članova razvijenih u ovom dijelu terena. (Raić i sur., 1977). Osim reversnih rasjeda, vrlo česti su i rasjedi gotovo okomiti na Dinarsko pružanje – SZ-JI, koji se zbog njihova smanjenog intenziteta teško prate na većim dužinama. Ti su rasjedi formirani neotektonskim pokretima za vrijeme posljednje orogeneze, koja je formirala stijenski okvir s četiri proširenja čiji su rubovi karakterizirani naglom promjenom nagiba i vrste stijena (Juračić, 1998). Unutar tog stijenskog okvira nalazimo recentnu deltu Neretve definiranu kao zaravnjeno područje uz donji riječni tok koje se nalazi u kvartarnim rastresitim, nekonsolidiranim sedimentima (šljunci, pijesci, gline) (Juračić, 1998). Ti su sedimenti taloženi u različitim močvarnim, jezerskim, riječnim i morskim okolišima. Stijene u samoj podlozi delte uglavnom su vapnenci, koji čine karakteristična izbočenja u vidu tzv. humova koji izbijaju iz kvartarnih deltnih sedimenata.

Morfologija neretvanske delte karakterizirana je s četiri veća proširenja generalno Dinarskog pružanja u smjeru SZ-JI (Juračić, 1998). Najznačajnije je posljednje, završno proširenje koje obuhvaća područje Ploče-Krvavac-Lovorje i čini prostor danas aktivne delte, a čija ukupna površina iznosi oko 170 km², od čega se 120 km² nalazi na području Republike Hrvatske.

U ne tako davnoj prošlosti, prije nešto više od 100-tinjak godina, delta rijeke Neretve bila je znatno veća i to iz nekoliko razloga: zbog činjenice da je Jadransko more niskoenergetski okoliš znamo kako je u prošlosti sedimentacijom u ušću dominirao utjecaj rijeke, a sama Neretva stvarala je razgranatu deltu s izduženim lobovima. Nadalje, pojačana ljudska aktivnost, ponajviše u vidu iskorištavanja rijeke i okolnog područja, dovela je do smanjenja dotoka vode, a time i donosa sedimenta u deltu (Vranješ i sur., 2007). Na taj je način od nekadašnjih 12 rukavaca koji su isporučivali sedimentni materijal u Neretvanski kanal, danas preostalo tek dva rukavca - Velika i Mala Neretva, koja dominiraju neretvanskom deltnom ravnicom. U deltnoj ravnici rijeke Neretve, osim distribucijskih kanala, nalazimo i manje, lokalne pritoke (Norin, Jezerača i Mislina), dva slatkovodna jezera: Deransko jezero (Hercegovina) i jezero Kuti (Hrvatska), te niz slatkovodnih i boćatih izvora.

4. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA U DELTI NERETVE

Istraživanja na području rijeke Neretve i njezine delte započela su već početkom prošlog stoljeća, no unatoč tome ta su istraživanja, a posebice ona geološka, vrlo oskudna. Daneš (1906) opisuje donji tok rijeke Neretve i piše o oblikovanju tadašnjih oblika dolina. Dedijer (1907) objavljuje podatke o geološkoj povijesti rijeke Neretve, smatrajući da Neretva od Čapljine do ušća prolazi kroz polja, koja su nastala mnogo ranije od same rijeke. Grupa geologa na čelu s Brunnackerom (1969) opisala je kvartarne naslage uz tok rijeke Neretve s posebnim osvrtom na les. Nešto detaljnije strukturne karakteristike i građu terena oko samog toka rijeke Neretve nalazimo u tumaču Osnovne geološke karte, list Metković (Raić i sur., 1977) i list Ploče (Marinčić, 1978). Prema tom tumaču ovo područje izgrađuju sedimenti: kredne starosti (vapnenci i dolomiti), vapnenci i klastične naslage paleocenske i eocenske starosti, dok su velika područja prekrivena kvartarnim naslagama. Južni dio područja oko rijeke Neretve uglavnom čine velike močvarne površine ili manja jezera, gdje su istaložene debele naslage šljunka i pijeska, pjeskovite gline i jezerski karbonatni mulj. U području ušća istaložen je debeli i prostrani slijed naslaga delte u kojem su izdvojeni fluvioglacialni sedimenti, aluvijum (pijesci, šljunci i ilovača), te jezerski i močvarni sedimenti. Uspravne i prebačene bore te drugi strukturni oblici koji se pružaju u smjeru SZ-JI, zajedno sa većim brojem rasjeda različitog karaktera, ali pretežito reversnih, predstavljaju općenite strukturne karakteristike terena. Kroz povijest razvoja terena moguće je izdvojiti tri razdoblja koja se međusobno značajno razlikuju: kontinuirana sedimentacija tokom krede, zatim vrlo promjenjivi sedimentacijski uvjeti u paleogenu kao posljedica orogenetskih pokreta i jezerska sedimentacija u neogenu. Današnji izgled terena stvoren je u mlađem kvartaru kao posljedica intenzivne erozije.

O samom nastanku i promjenama delte Neretve piše Juračić (1998). Zbog znatno niže razine Jadranskog mora za oko 120 – 130 m, u vrijeme maksimuma posljednjeg galcijala, na velikim područjima današnjeg mora vladali su kopneni uvjeti. Stoga je ondašnja Neretva svoje korito vjerojatno usijecala u vapnenačkom području donjoneretvanske zaravni iz koje su se izdizali nenedenudirani humovi. Rijeka Neretva prenosila je materijal iz izvorišnog područja duž Neretvanskog i Korčulanskog kanala do ondašnjeg ušća, negdje između Korčule i Visa u području gdje je današnja dubina mora veća od 100 m. Nagli porast razine mora u razdoblju između 17 000 i 6 000 godina, dovelo je do potapanja neretvanske doline i stvaranja dubokog zaljeva u kojem je započelo stvaranje danas aktivne delte (Sikora i sur., 2014).

Klima delte rijeke Neretve određena je na temelju dvadesetogodišnjih mjerenje u meteorološkoj postaji Opuzen (1964-1983). Pokazalo se da delta rijeke Neretve ima

sredozemnu klimu sa suhim i vrućim ljetima koju prema Köppenovoj klasifikaciji klime označavamo kao Csa (Filipčić, 1989).

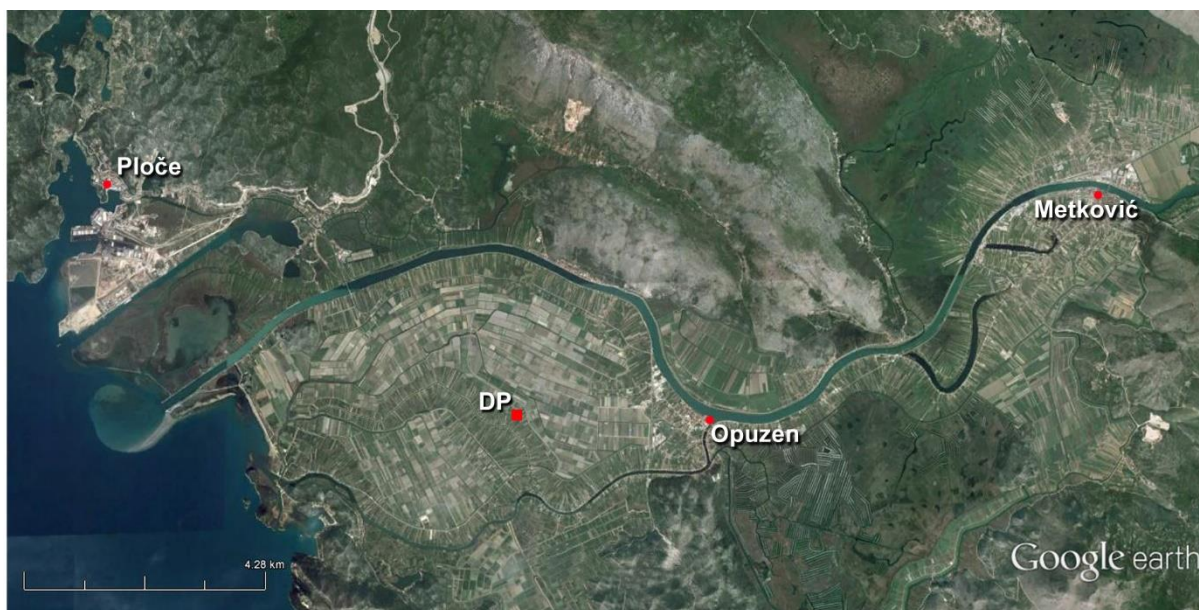
O utjecaju čovjeka i stanju sedimenta u donjoj Neretvi pišu Vranješ i sur. (2007). Oni ukazuju na značajne promjene u procesu donosa sedimenta na sliv i u samu rijeku Neretvu i to uslijed raznih ljudskih aktivnosti kao što su npr. izgradnja hidroenergetskog sustava, protuerozijske mjere, gradnja sustava obrane od poplava koji su spriječili izlivanje rijeke i plavljenje doline što je izravno smanjilo ili čak možda i onemogućilo donos novog materijala na šire područje delte, te uzrokovalo subsidenciju terena doline i povlačenje delte prema kopnu.

Margeta i Fistanić (2000) pišu o monitoringu i gospodarenju bazena rijeka Neretve i navode teškoće koje predstavljaju složeni prirodni procesi, socioekonomske aktivnosti ali i činjenica da deltni sustav rijeke Neretve pripada dvjema državama. Geokemijske značajke tla kao i odnos između topografije, organske tvari u tlu i saliniteta koji utječu na raspodjelu metala u tragovima u zonama obradivih površina poplavne ravnice rijeke Neretve, istražili su Romić i sur. (2012) i Jurina i sur. (2015)

5. METODE ISTRAŽIVANJA

5.1. UZORKOVANJE

Duboka jezgra DP izvađena je u deltnoj ravnici rijeke Neretve ($\varphi = 43^{\circ}1'10''$ i $\lambda = 17^{\circ}31'20''$) (Sl.7). Uzorkovanje jezgre izvršeno je na Agronomskom fakultetu u Zagrebu (Sl.8.). Poduzorci za analize uzimani su kod svake vidljive promjene u veličini čestica sedimenta.



Slika 7: Uže područje deltna ravnice rijeke Neretve s označenim lokalitetom uzorkovanja (■) (Google Earth).



Slika 8: a: Šljunkoviti sediment (interval jezgre DP 36 - 40 m); b: Muljeviti sediment (interval jezgre DP 11 - 17 m).

5.2. LABORATORIJSKE METODE

5.2.1 GRANULOMETRIJSKA ANALIZA

Granulometrijski sastav svih uzoraka određen je kombiniranom metodom mokrog sijanja (za čestice $> 0,063$ mm) i sedigrafa (za čestice $< 0,063$ mm). Od početne količine svakog uzorka izdvojen je poduzorak težine 30 g, odnosno 100 g kod onih uzoraka koji su većim dijelom bili sastavljeni od krupnijih čestica. Svi poduzorci ostavljeni su u posudama sa destiliranom vodom 24 h, kako bi se razmočili i slijepljenje nakupine sedimenta raspale. Nakon toga uzorci su prosijani kroz niz od sedam Retsch® ASTM sita od nehrđajućeg čelika uz pomoć tresilice Fritsch Analysette® (Sl.9). Promjeri otvora na sitima iznosili su: 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm i 0,063 mm, određeno prema granicama definiranim Wentworth-ovom (1922) klasifikacijom od sitnog šljunka do vrlo sitnog pijeska. Proces sijanja za svaki je uzorak trajao otprilike oko 30 min uz konstantno ispiranje destiliranom vodom. Zaostale frakcije sedimenta sa svakog sita prebačene su u označene staklene zdjelice, ostavljene da se osuše, potom izvagane i pospremljene u odgovarajući obilježene papirnate vrećice. Ostatak sedimenta, čestice manje od 0,063 mm, koje su tijekom sijanja ispirane destiliranom vodom i sakupljene u obliku suspenzije u staklenim posudama, ostavljene su da se istalože. Višak vode je dekantiran, a preostali uzorak stavljen je na analizu sedigrafom (SediGraph 5100).

Sustav za sedimentacijsku analizu SediGraph 5100 sastoji se od analizatora, sučelja i računala (Sl.10).



Slika 9: Set Retsch® ASTM sita, Geološko-paleontološki zavod PMF-a.



Slika 10: SediGraph 5100 (Micromeritics Instrument Corporation), Geološko-paleontološki zavod PMF-a.

U analizatoru se nalaze izvor i detektor rendgenskih zraka, ugrađen sustav za cirkulaciju (pumpe) koji provodi tekućinu s uzorkom kroz ćeliju za analizu, odvodna i dovodna cijev za otpadnu i čistu tekućinu i čašica za suspendirani uzorak. Upravljanje i rad analizatorom omogućen je pomoću računalnog programa SediGraphWin 5100 (Micromeritics, 2002). Metoda određivanja veličine zrna sedigrafom u tekućini poznatih svojstva temelji se na gravitacijskoj sedimentaciji i apsorpciji (niskoenergetskih) rendgenskih (rtg) zraka. Sedimentacija uslijed djelovanja gravitacije opisana je Stokes-ovim zakonom koji govori da je brzina taloženja sferičnih čestica u fluidu funkcija promjera čestice, odnosno:

$$v = \frac{1}{18} \cdot g \cdot \frac{\rho - \rho_f}{\eta} \cdot d^2 \quad [1]$$

gdje je: v brzina taloženja čestice (m/s), g gravitacijsko ubrzanje (m/s^2), ρ gustoća čestice (kg/m^3), ρ_f gustoća fluida (kg/m^3), η viskozitet fluida i d promjer čestice. (Bilježeci proteklo vrijeme od početka taloženja, te dubinu mjerene zone unutar ćelije sedigraf daje informacije o veličini čestica u suspenziji.) Za mjerenje masene koncentracije čestica u suspenziji sedigraf koristi snop paralelnih rtg zraka kroz suspenzijsku tekućinu. Početni mjereni intenzitet (I_{max}) rtg zraka kroz čistu suspenziju smanjuje se dodavanjem uzorka u suspenziju jer dolazi do apsorpcije na česticama iz uzorka. Veća količina čestica u suspenziji uzrokovat će veću apsorpciju energije rtg zraka. Prestankom miješanja homogena suspenzija počinje se taložiti, a prolaznost rtg zraka mjeri se na određenoj dubini s (Micromeritics, 2002).

Sukladno Stokes-ovom zakonu čestice se počinju razdvajati zbog različite brzine taloženja koja je određena njihovom veličinom. Najveće čestice istaložit će se najbrže, no one sitnije mogu vrlo dugo ostati u suspenziji zbog čega se ćelija za vrijeme analize pomiče prema gore u točno određenim vremenskim razmacima kako bi se smanjilo trajanje same analize. Za

vrijeme sedimentacije, najmanji izmjereni intenzitet (I_{min}) postpuno se povećava do početno izmjerenog I_{max} , koji označava prestanak taloženja jer su sve čestice pale na dubinu ispod zone mjerenja.

Prilikom analize na sedigrafu kao suspenzijska tekućina korištena je destilirana voda i heksametafosfat (NaPO_3)₆, za bolje raspršenje čestica u uzorku. Najprije je napravljena analiza čiste suspenzijske tekućine s antikoagulansom kako bi se dobila bazna linija – linija koja pokazuje prolaznost (apsorpciju) rtg zraka u suspenzijskoj tekućini. Pri kasnijim mjerenjima uzoraka sedimenta na sedigrafu, linija prolaznosti rtg zraka u nekom će se trenutku preklopiti sa izmjerenom baznom linijom što će označiti prestanak taloženja i kraj mjerenja sedigrafom. Priprema uzoraka sedimenta za analizu na sedigrafu krenula je od obrade suspenzije koja je dobivena prilikom mokrog sijanja. Najprije je dekantiran višak vode iz staklenke u kojoj se nalaze čestice < 0,063 mm, a preostali sadržaj staklenke (talog i voda) izmiješan je radi homogenizacije i odvojen u staklenu čašicu od 100 ml. U staklenu čašicu dodan je antikoagulans na način da se dobije 0,5%-tna koncentracija (5g/l) (Vitturi i Rabitti, 1980). (Dio) suspenzije iz čašice uliven je u posudu za miješanje i sustavom pumpi doveden u ćeliju za analizu. Vrijeme svake analize kretalo se otprilike unutar 30 min, a svi su uzorci analizirani u rasponu frakcija 32 (63?) – 1 μm . Analizom na sedigrafu dobiveni su maseni iznosi frakcija manjih od 0,063 mm za svaki uzorak koji su potom preračunati i spojeni sa rezultatima dobivenim mokrim sijanjem.

5.2.2. KALCIMETRIJA

Određivanje udjela karbonata napravljeno je na prvih 19 muljevitih uzoraka koji obuhvaćaju raspon dubine od 0,00 – 30,1 m. Udio karbonata u uzorcima sedimenta određen je volumetrijom plina Scheiblerovom metodom na Scheiblerovoj aparturi (Sl.11).



Slika 11: Scheiblerova aparatura za kalcimetriju, Mineraloško-petrografski zavod PMF-a.

Metoda se temelji na određivanju volumnog udjela ugljikovog dioksida (CO_2) koji nastaje pri reakciji otapanja karbonata u klorovodičnoj kiselini (HCl).

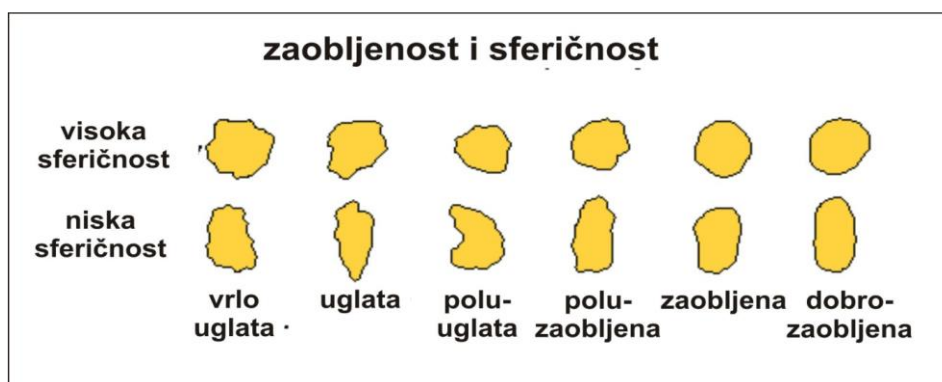
Prije određivanja udjela karbonata u uzorcima sedimenta, napravljeno je mjerenje standarda, odnosno čistog kalcijevog karbonata (CaCO_3). Najprije je dva puta odvagano po 300 mg standarda u male staklene čašice. Svaka od tih čašica pojedinačno je stavljena u Erlenmeyerovu tikvicu zajedno s 5 ml 10%-tne klorovodične kiseline (u maloj plastičnoj posudici) i malim magnetičem, dobro zatvorena gumenim čepom kako bismo dobili potpuno zatvoreni sustav. Potom je uključena magnetna miješalice i ostavljena raditi kroz 5 min. Prilikom reakcije razvijao se ugljikov dioksid (CO_2) čiji je volumen izmjeren i očitao, te je pomoću formule za izračun [2] dobiven maseni udio karbonata koji je (morao) iznositi $100\% \pm 1\%$. 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 dobivamo faktor $F_{t,p}$ kasnije potreban za izračun masenog udjela karbonata prema formuli:

$$\% \text{CaCO}_3 = \frac{\text{ml CO}_2 \cdot F_{t,p} \cdot 2,274 \cdot 100}{\text{mg}_{(\text{uzorak})}} \quad [2]$$

Kako su za standard i svaki uzorak izvršena po dva mjerenja, kao konačna vrijednost udjela karbonatne komponente uzeta je aritmetička sredina dobivenih rezultata.

5.2.3. MORFOLOŠKA ANALIZA ZRNA

Morfološka analiza zrna napravljena je na valuticama šljunkovite frakcije i zrnima frakcije krupnog pijeska na dva uzorka: DP22 i DP23 u svrhu određivanja stupnja sferičnosti i zaobljenosti zrna potopuno šljunkovitih uzoraka. Analizirano je 73 (DP22) i 139 (DP23) zrna iz uzoraka. Pomičnim mjerilom izmjerena je duljina (l), širina (w) i visina (h) zrna, a za određivanje zaobljenost i sferičnost zrna kao standardna tablica za usporedbu korištena je tablica kategorija zaobljenosti za nisko i visokosferična zrna (Pettijohn i sur., 1987) (Sl.12).



Slika 12: "Kategorije zaobljenosti za niskosferična i visokosferična zrna" (prema Pettijohn i sur., 1987).

Za razliku od zaobljenosti zrna koja je opisana u šest kategorija: vrlo uglata, uglata, polu-uglata, polu-zaobljena, zaobljena i dobro zaobljena, sferičnost zrna opisana je sa dvije kategorije: visoko i nisko sferična zrna.

5.2.4. MIKROSKOPIRANJE I FOTOGRAFIRANJE FOSILA

Mikroskopiranje i fotografiranje fosilnih ostataka ljušturica puževa i školjkaša izvršeno je pomoću stereo mikroskopa NexiusZoom i digitalne camere Euromex HD2 6MP HDMI+USD, montirane na okularu mikroskopa. U računalnom softveru kamere ImageFocus v4 izvršena su dodatna podešenja i kalibracije fotografija. Fotografiranje je izvršeno na Geološko-paleontološkom zavodu PMF-a, na fosilnim ostacima ljušturica puževa i školjkaša izvađenim iz krupnozrnatih frakcija (>1 mm), ukupno 12 uzoraka iz plićih dijelova jezgre (0 - 30 m) gdje su fosilni ostaci jedino bili i nađeni.

5.3. STATISTIČKA OBRADA PODATAKA

Ukupni granulometrijski podaci u svrhu što bolje karakterizacije istraživanih sedimenata statistički su dalje obrađivani pomoću statističkog paketa GRADISTAT Ver. 6.0. (Blott i Pye, 2001) koji se koristi unutar računalnog programa Microsoft® Office Excel.

Maseni udio svake pojedine frakcije dobivene metodom mokrog sijanja i sedigrafa (>4 mm, 2-4 mm, 1-2 mm, 0,5-1 mm, 0,25-0,5 mm, 0,125-0,25 mm, 0,063-0,125 mm, 0,032-0,063 mm, 0,016-0,032 mm, 0,008-0,016 mm, 0,004-0,008 mm, 0,002-0,004 mm, 0,001-0,002 mm i <0,001 mm) izračunat preko omjera mase frakcije i ukupne mase uzorka upisan je u tablicu programa te je započeta programska (računalna) obrada podataka. Očitavanjem vrijednosti kumulativnih postotaka na granicama između šljunka i pijeska (2 mm), pijeska i praha (0,063 mm) i praha i gline (0,004 mm) (Wentworth, 1922) dobiveni su postoci navedenih frakcija u sedimentu. Prema udjelima navedenih frakcija određen je tip sedimenta prema Folkovima klasifikacijama (1954) (pomoću trokomponentnih dijagrama), ovisno o prisutnosti šljunka u uzorku. Granulometrijski podaci grafički su prikazani histogramima, kumulativnim granulometrijskim krivuljama, trokomponentnim dijagramima i/ili grafovima i to na slijedeći način:

- 1) Na histogramima se veličina zrna iskazana u μm nalazi na x-osi u donjem dijelu grafa i raste s lijeva na desno, veličina zrna prikazana u ϕ jedinicama također se nalazi na x-osi ali u gornjem dijelu grafa i smanjuje se s lijeva na desno. Maseni udio frakcije izražen u postocima nalazi se na y-osi (III. Dodatak). Ispod histograma manji okvir prikazuje ukupne postotke tri glavne frakcije (šljunak, pijesak, mulj) koje zajedno iznose 100%, a veći okvir prikazuje postotke svake pojedine frakcije (ukupno 16 njih) od vrlo krupnozrnatog šljunka do gline.

- 2) Na kumulativnim granulometrijskim krivuljama veličina zrna iskazana u μm nalazi se na x-osi u donjem dijelu grafa i raste s lijeva na desno. Kumulativna masa izražena u postocima prikazana je na y-osi. U gornjem dijelu grafa navedene su granice među pojedinim frakcijama (glina/prah/pijesak/šljunak) prema Wentworth-u (1922), grafički naznačene crvenom crtom (IV. Dodatak).
- 3) Trokomponentni dijagrami prema Folk-ovoj klasifikaciji (1954) prikazani su pomoću dvije skupine dijagrama (ovisno o prisutnosti šljunka u uzorku). Svi uzorci sa više od 1% šljunkovite frakcije prikazani su na oba dijagrama plavom bojom (šljunak-pijesak mulj i pijesak-prah-glina), dok su svi ostali uzorci prikazani samo na dijagramu pijesak-prah-glina (Sl.15 i Sl.16).
- 4) Ostale tablice, grafovi i dijagrami prikazuju određene detaljne podatke za svaki pojedini uzorak duboke jezgre i zajedno sa kratkim opisom sadržani su I. i II. Dodatku, a neki od njih nalaze se i u tekstu.

Na temelju dobivenih rezultata izvršeno je imenovanje uzorka. Standardni statistički granulometrijski parametri, potrebni za opisivanje i klasifikaciju sedimenta, izračunati su preko formula [3], [4], [5], [6] (Folk i Ward, 1957) prethodnim očitanjem veličine zrna u ϕ jedinicama iz kumulativne krivulje kod kumulativnih postotaka: 5, 16, 25, 50, 75, 84 i 95. To su redom:

- 1) **Prosječna veličina zrna (M):** mean ili aritmetički izračunata prosječna veličina zrna.

$$M = \frac{(\phi 16 + \phi 50 + \phi 84)}{3} \quad [3]$$

- 2) **Srednja veličina zrna (Md):** median ili veličina zrna od koje je 50% čestica uzorka veće, a 50% manje.

$$Md = \phi 50 \quad [4]$$

- 3) **Koeficijent sortiranosti (So):** sorting, koji pokazuje jednoličnost distribucije veličine čestica u sedimentu.

$$So = \frac{(\phi 84 - \phi 16)}{4} + \frac{(\phi 95 - \phi 5)}{6,6} \quad [5]$$

Kategorije sortiranosti sedimenta:

So	Sortiranost
< 0,35	vrlo dobra
0,35 - 0,50	dobra
0,50 - 0,70	umjereno dobra
0,70 - 1,00	umjerena
1,00 - 2,00	loša
2,00 - 4,00	vrlo loša
> 4,00	izrazito loša

- 4) Koeficijent asimetrije (Sk):** skewness, koji pokazuje (a)simetričnost distribucije veličine čestica u sedimentu. Može biti pozitivan (prevladavaju krupnije čestice) i negativan (prevladavaju sitnije čestice).

$$Sk = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - \phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - \phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_{5})} \quad [6]$$

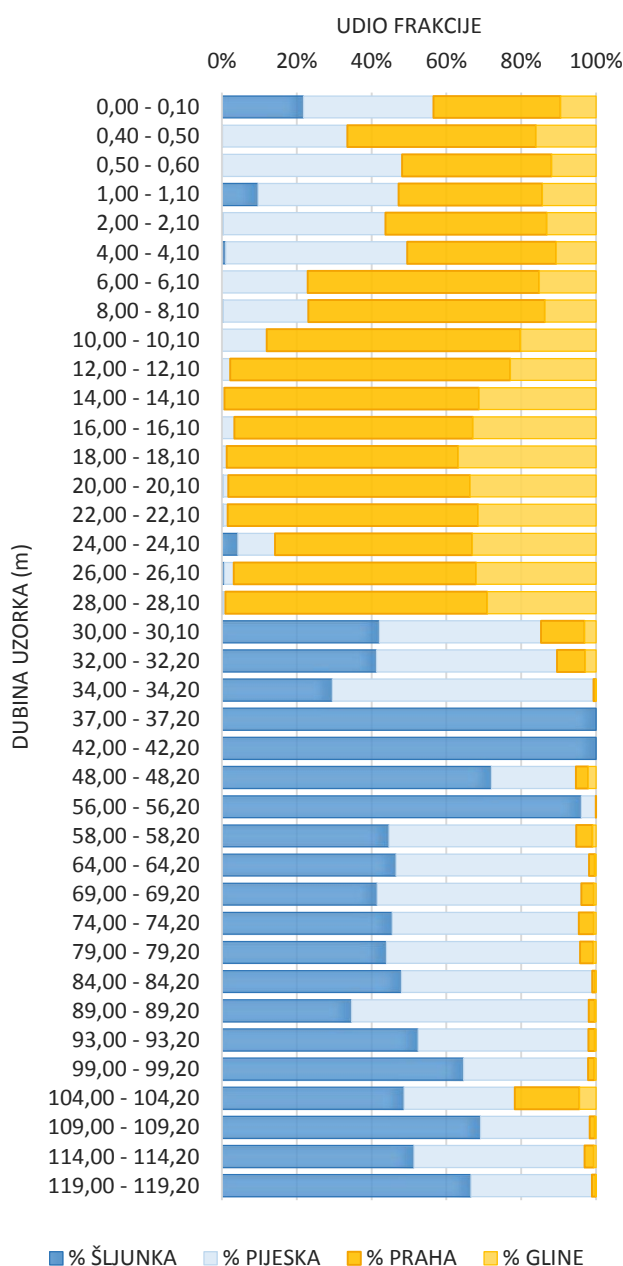
Kategorije asimetričnosti krivulje:

Sk	Simetričnost krivulje
-1,00 do -0,30	jako negativna
-0,30 do -0,10	negativna
-0,10 do 0,10	potpuna
0,10 do 0,29	pozitivna
0,30 do 1,00	jako pozitivna

6. REZULTATI

6.1. REZULTATI GRANULOMETRIJSKE ANALIZE

Granulometrijska analiza provedena je pomoću kombinirane metode mokrog sijanja i sedigrafa na ukupno 38 uzoraka, od čega su dva uzorka (DP22 i DP23) odmah izdvojeni i određeni kao čisti šljunak te ujedno izostavljeni iz daljnjih analiza sijanjem i sedigrafom. Rezultati analiza pokazali su jasnu podijeljenost duboke jezgre na dva dijela: gornji (plići) dio jezgre u rasponu dubina od 0,00 - 30,00 m i donji (dublji) dio jezgre u rasponu dubina od 30,00 - 119,20 m (Sl.13, Sl. 14, Tab. 1 i Tab.2).



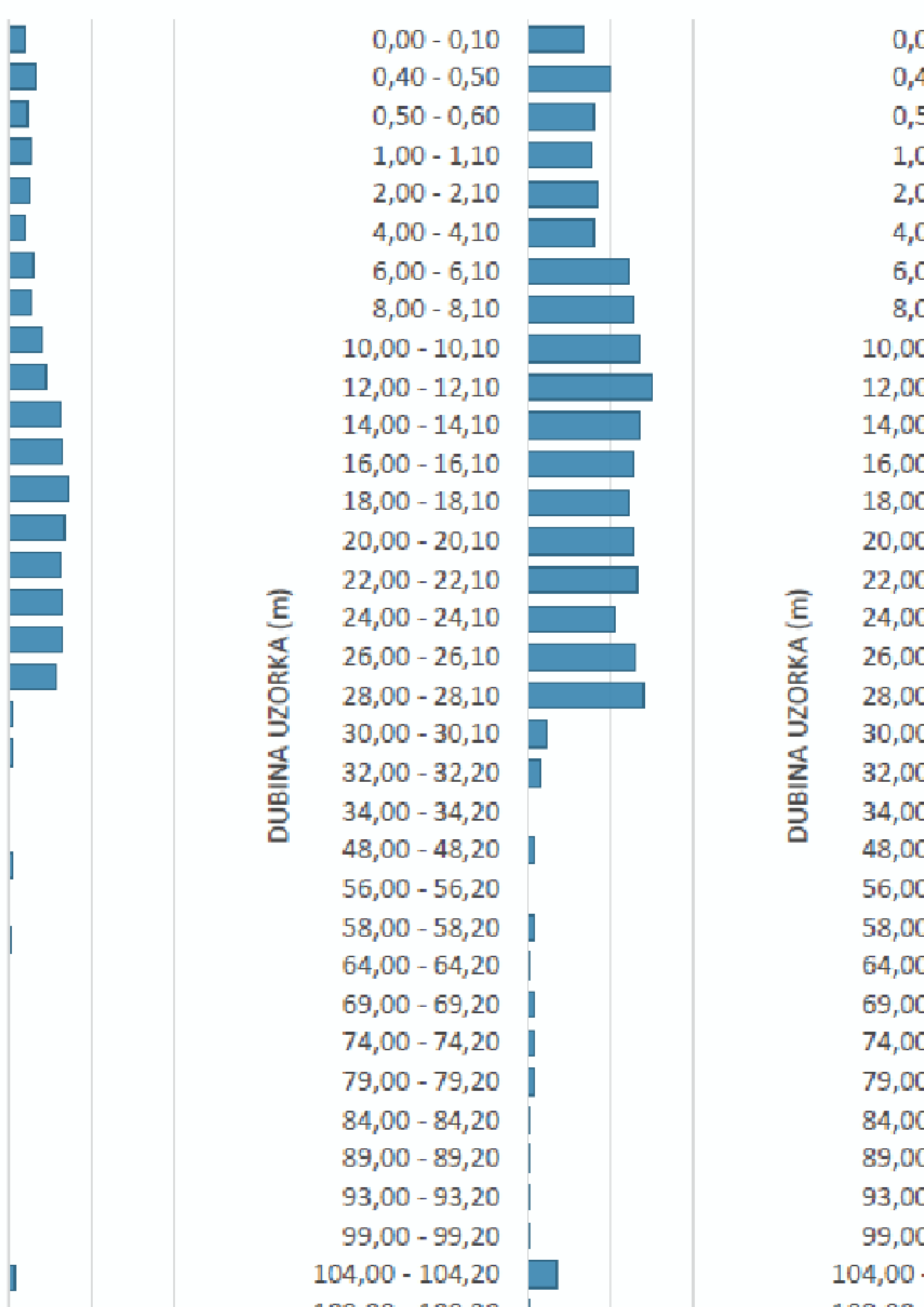
Slika 13: Raspodjela i zastupljenost frakcija šljunka, pijeska, praha i gline kroz sve uzorke sedimenata duboke jezgre iz delte rijeke Neretve.

dijeli frakcija (šljunak, pijesak, prah, glina, mulj) u prvih 18 muljev
 3,10 m iz gornjeg (plićeg) dijela duboke jezgre iz delte rijeke Ner

(%)	PIJESAK (%)	PRAH (%)	GLINA (%)	MULJ (%)
	34,8	34	9,5	43,4
	33,3	50,4	16,1	66,5
	48	39,9	11,9	51,8
	37,5	38,4	14,4	52,8
	43,4	43,1	13,2	56,3
	48,5	39,8	10,7	50,5
	22,9	61,9	15,2	77,1
	22,8	63,2	13,7	76,9
	11,9	67,8	20,2	88
	2,1	74,9	22,9	97,8
	0,7	68	31,3	99,3
	3,2	63,8	32,9	96,7
	1,3	61,8	36,9	98,7
	1,4	63,9	33,4	98,3
	1,2	66,9	31,6	98,5
	9,9	52,8	33,1	85,8
	2,5	64,7	32,1	96,8
	0,6	70	29,1	99,1

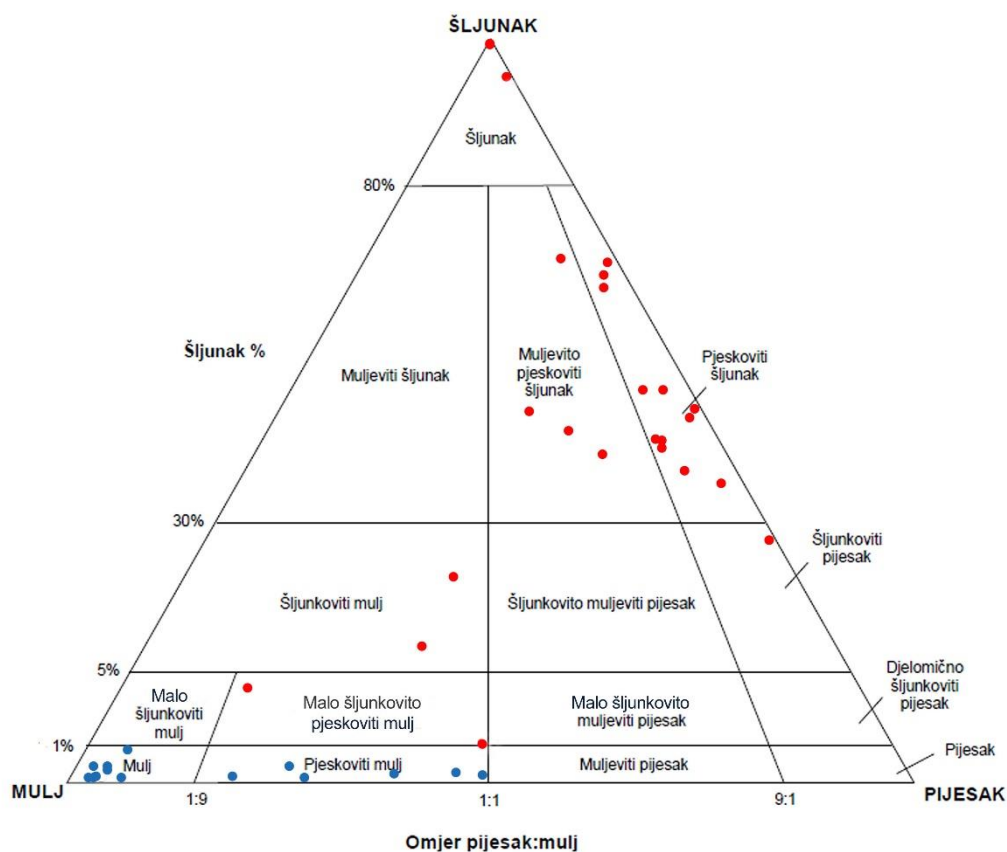
0 - 119, 20 m iz donjeg (dubljeg) dijela duboke jezgre iz delte rijeke

(%)	PIJESAK (%)	PRAH (%)	GLINA (%)	MULJ (%)
	43,2	11,6	3,1	14,7
	48,3	7,5	2,9	10,4
	69,8	0,6	0,1	0,7
	0	0	0	0
	0	0	0	0
	22,6	3,3	2,1	5,4
	3,8	0,1	0	0,1
	50	4,4	0,9	5,3
	51,6	1,6	0,3	1,9
	54,6	3,3	0,6	3,9
	49,9	4	0,6	4,6
	51,7	3,6	0,7	4,3
	51	0,8	0,2	1
	62,1	1,6	0,3	4
	45,5	1,7	0,3	2,1
	33,3	1,7	0,4	2,1
	29,6	17,3	4,4	21,7
	29,2	1,4	0,3	1,7
	45,6	2,5	0,6	3,1
	32,3	1	0,1	1,1

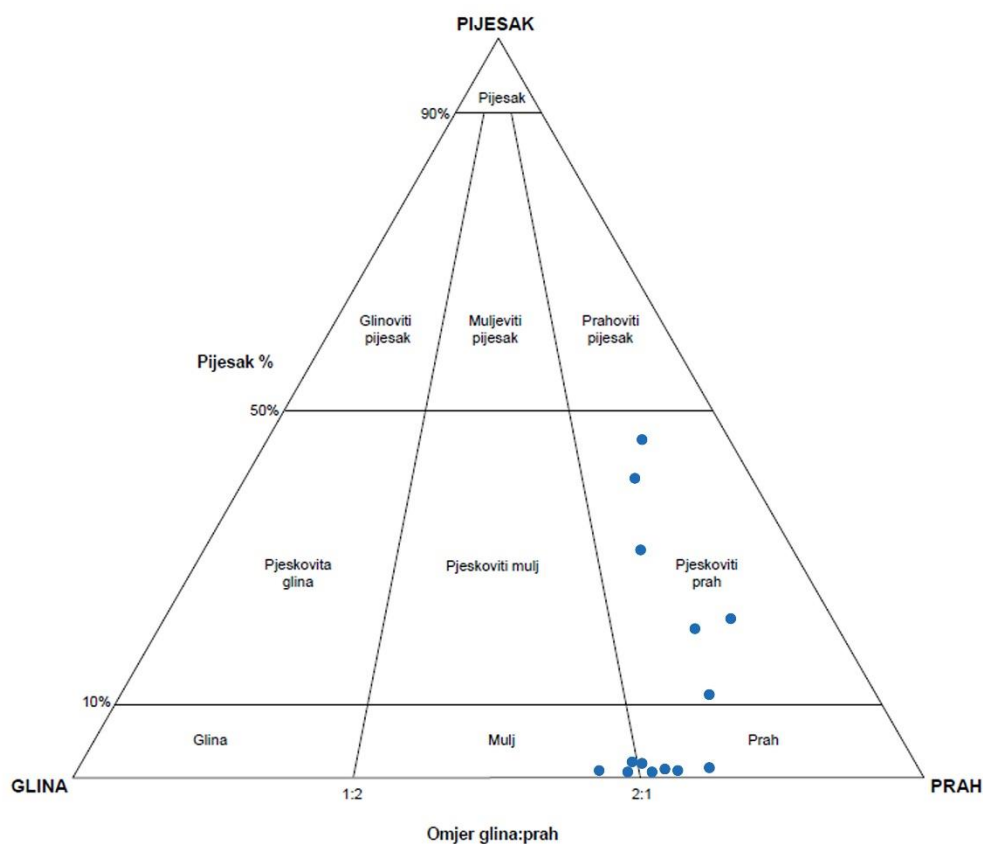


U gornjem (plićem) dijelu jezgre prevladava prahovita frakcija čiji udio raste s dubinom. U većini uzoraka gornjeg dijela jezgre upravo ona sačinjava 50 ili čak više od 50% uzorka (Sl.14c). U prvih 5 m jezgre zapažen je i značajniji udio pijeska (33 - 48,5%) u uzorcima (Sl.14d). Udio gline u prvih 8 m kreće se oko 15%. Njezin udio raste do 18-tog m, gdje doseže svoj maksimum od 36,9%, nakon čega ponovno pada sve do 30-og metra i 29,1% udjela u sedimentu (Sl.14b). Od 30-og m dubine pa sve do kraja jezgre njezin udio redovito je manji od 1% i stoga zanemariv. U samo 4 uzorka on prelazi 1% (DP19 3,1%, DP20 2,9%, DP24 2,1% i DP35 4,4%). Šljunkovita frakcija u gornjem dijelu jezgre značajniji udio (21,8%) (u sedimentu) čini samo u prvom uzorku DP1, odnosno u prvih 10 cm jezgre. U svim ostalim uzorcima gornjeg dijela jezgre, do dubine od 30 m, zanemariva je baš kao i glinovita frakcija u dubljem dijelu jezgre. U rasponu dubina od 30,0 - 114,20 m, šljunkovito-pjeskovita frakcija prevladava, gotovo u potpunosti gradeći sediment (Sl.14d,e). Najznačajnija zastupljenost šljunkovite frakcije vidljiva je na dubinama od 37,0 - 56,2 m, gdje su uzorci DP22 i DP23 u potpunosti sastavljeni od šljunka. Pjeskovita frakcija u donjem dijelu jezgre pa sve do njezina dna, ravnomjerno prevladava krećući se u rasponu od 22,6 - 69,8%, uz jednu iznimku - uzorak DP25 gdje sačinjava svega 3,8% sedimenta uzorka (Sl.14d). Prahovita frakcija u donjem dijelu jezgre gotovo je zanemariva, krećući se u rasponu od 0,1 -11,6%, također uz jednu iznimku - uzorak DP35 koji sadrži 17,3% prahovite komponente (Sl.14c).

Zastupljenost i razdioba šljunka, pijeska, praha, mulja i gline svim uzorcima duboke jezgre prikazana je trokomponentnim dijagramima (Folk, 1954) (Sl.15 i Sl.16). Slika 15 prikazuje zastupljenost i razdiobu šljunka, pijeska i mulja za svih 36 uzoraka, a slika 16 zastupljenost i razdiobu pijeska, praha i gline za 14 uzoraka koji sadrže manje od 1% šljunkovite frakcije. Uzorci sa manje od 1% šljunkovite frakcije u oba su dijagrama prikazani plavom bojom.

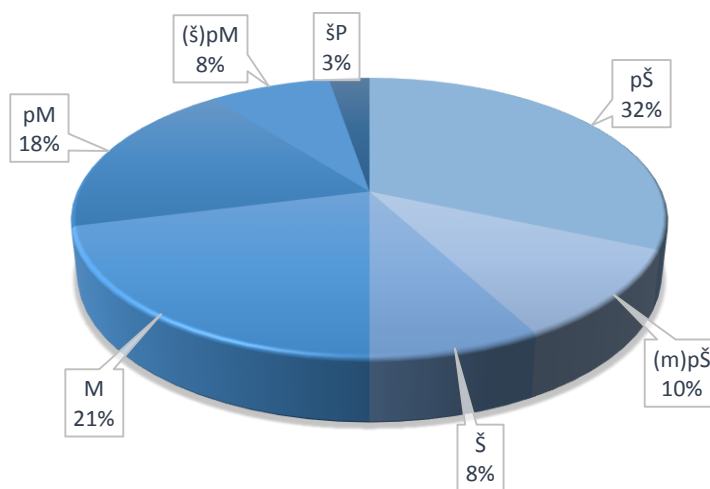


Slika 15: Granulometrijski sastav svih uzoraka sedimenata duboke jezgre iz delte rijeke Neretve u trokomponentnom dijagramu šljunka, pijeska i mulja (prema Folk, 1954).



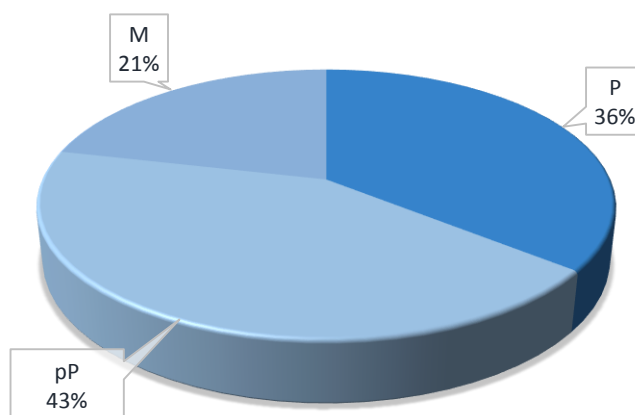
Slika 16: Granulometrijski sastav 14 uzoraka sedimenata duboke jezgre iz delte rijeke Neretve u trokomponentnom dijagramu pijeska, praha i gline (prema Folk, 1954).

Iako uzorci sedimenata pokazuju mješavinu više granulometrijskih frakcija, među uzorcima dominiraju šljunkovita frakcija (55%) i muljevita frakcija (42%), dok je pjeskovita frakcija (3%) slabije zastupljena. Svaka od tih frakcija zastupljena je u nekoliko strukturnih grupa, ukupno 7 njih (Sl.17). Šljunkovitu frakciju možemo pratiti kroz ukupno 3 strukturne grupe, a to su redom: pjeskoviti šljunak (12 uzoraka, 32%), šljunak (3 uzorka, 8%) i muljevito pjeskoviti šljunak (4 uzorka, 10%). Muljevita frakcija također obuhvaća tri strukturne grupe: mulj (8 uzoraka, 21%), pjeskoviti mulj (7 uzoraka, 18%) i šljunkovito pjeskoviti mulj (3 uzorka, 8%). Pijesak je zastupljen u samo jednoj strukturnoj grupi: šljunkoviti pijesak (1 uzorak, 3%) (Sl.17).



Slika 17: Zastupljenost pojedinih strukturnih grupa u uzorcima sedimenata duboke jezgre iz delte rijeke Neretve. (Legenda: pš - pjeskoviti šljunak; Š - šljunak; (m)pš - muljevito pjeskoviti šljunak; M - mulj; pM - pjeskoviti mulj; (š)pM – šljunkovito pjeskoviti mulj; šP - šljunkoviti pijesak).

U 14 muljevitih uzoraka sa minimalnim količinama šljunka (redovito >1%), rezultati su pokazali kako je prah, u dvije strukturne grupe: prah (5 uzoraka, 36% i pjeskoviti prah (6 uzoraka, 43%), zastupljeniji od mulja (3 uzorka, 21%) (Sl.18).



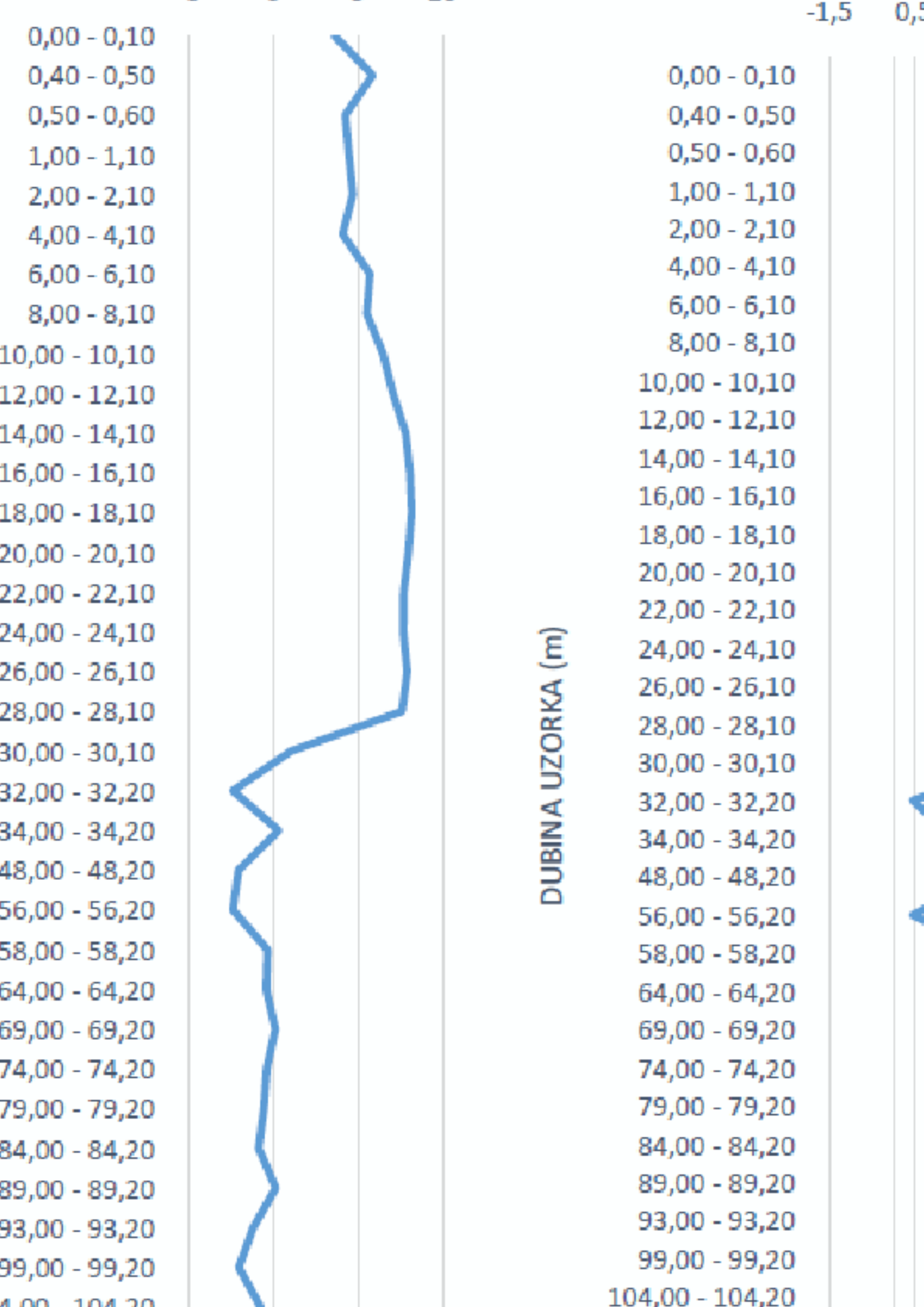
Slika 18: Zastupljenost pojedinih strukturnih grupa u muljevitim uzorcima sedimenata duboke jezgre iz delte rijeke Neretve. (Legenda: P - prah; pP - pjeskoviti prah; M - mulj).

Kumulativne granulometrijske krivulje uzoraka sedimenata (IV. Dodatak) također pokazuju jasnu podjelu jezgre na dva dijela. Kod prvih 18 uzoraka kumulativne krivulje blago su nagnute padajući prema pjeskovitoj i šljunkovitoj frakciji, pokazujući tako dominaciju muljevito-glinovite frakcije. U drugom (dubljem) dijelu jezgre kumulativne krivulje gotovo su paralelne sa x-osi sve do prve trećine pjeskovite frakcije kada vrlo naglo (strmo) počinju padati sve do kraja šljunkovite frakcije, pokazujući tako dominaciju pjeskovito-šljunkovite frakcije.

Standardni statistički granulometrijski parametara prikazani su na slici 19. Prosječna veličina zrna sedimenata u gornjem djelu jezgre, do 30-og m iznosi 6,3 ϕ . Veličina zrna u gornjem dijelu jezgre kreće se od čestica veličine sitnozrnatog pijeska (0,125 mm, 3 ϕ), do veličine čestica gline (0,004 mm, 8 ϕ). U donjem djelu jezgre, od 30-og m pa sve do kraja jezgre prosječna veličina zrna u sedimentu iznosi -0,7 ϕ , a veličina zrna kreće se od čestica veličine krupnozrnatog pijeska (0,5 mm, 1 ϕ) do čestica veličine valutica (2-4 mm, -1 do -2 ϕ), uz dva značajnija odstupanja: uzorak DP25 na dubini od 56 m gdje prosječna veličina zrna iznosi 5,5 mm, odnosno -2,42 ϕ i uzorak DP35 na dubini od 104 m gdje prosječna veličina zrna iznosi 0,4 mm, odnosno 0,77 ϕ (Sl.19a).

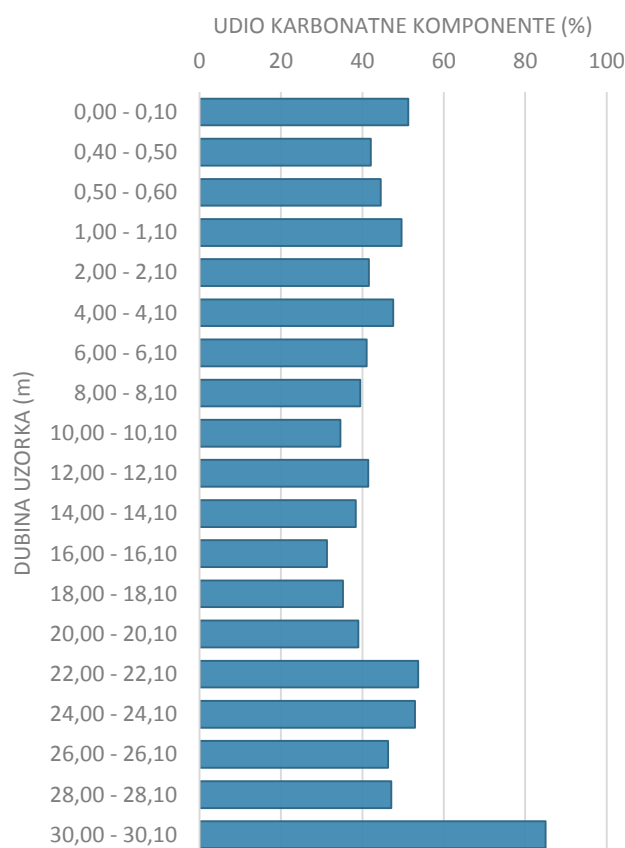
Koeficijent sortiranosti za sve uzorke sedimenata kreće se, blago padajući, od vrijednosti 2,7 - 1,58, odnosno od vrlo loše do loše sortiranosti sedimenta. Kod ovog granulometrijskog parametra prisutno su dva značajnija odstupanja: uzorak DP1 (4,41, izrazito loša sortiranost) i DP25 (0,47, umjerena sortiranost) (Sl.19c).

Detaljne vrijednosti standardnih statističkih granulometrijskih parametara pojedinačno za svih 38 uzoraka, prikazane su u tablici 4, I. Dodatak.



6.2. REZULTATI ODREĐIVANJA UDJELA KARBONATA

Određivanje udjela karbonatne komponente provedeno je na ukupno 19 uzoraka, iz gornjeg djela jezgre, odnosno na rasponu dubina od 0,00 – 30,10 m. Rezultati su pokazali da se udio karbonata u analiziranim uzorcima kreće od 31,3 – 53,68%, uz jednu iznimku gdje udio karbonatne komponente iznosi čak 85,04% (posljednji uzorak u nizu, DP19) (Sl.20, Tab. 3).



Slika 20: Udio karbonatne komponente u 14 analiziranih uzoraka sedimenata duboke jezgre iz delte rijeke Neretve.

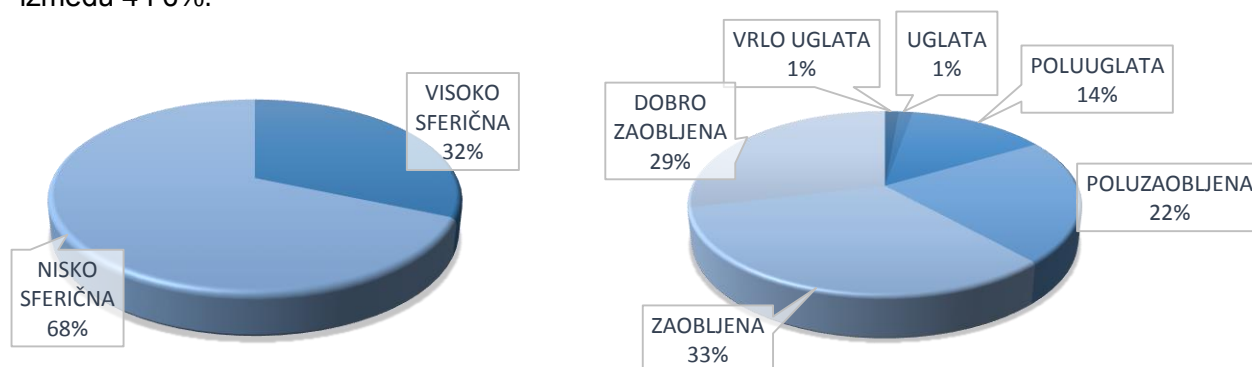
Tablica 3: Udio karbonatne komponente u prvih 19 uzoraka sedimenata, u rasponu dubina od 0,00 – 30,10 m u gornjem (plićem) dijelu duboke jezgre iz delte rijeke Neretve.

OZNAKA	DUBINA	CaCO ₃ (%)
DP1	0,00 - 0,10	51,29
DP2	0,40 - 0,50	42,1
DP3	0,50 - 0,60	44,54
DP4	1,00 - 1,10	49,65
DP5	2,00 - 2,10	41,63
DP6	4,00 - 4,10	47,59
DP7	6,00 - 6,10	41,05
DP8	8,00 - 8,10	39,48
DP9	10,00 - 10,10	34,59
DP10	12,00 - 12,10	41,42
DP11	14,00 - 14,10	38,4
DP12	16,00 - 16,10	31,3
DP13	18,00 - 18,10	35,26
DP14	20,00 - 20,10	38,99
DP15	22,00 - 22,10	53,68
DP16	24,00 - 24,10	52,95
DP17	26,00 - 26,10	46,33
DP18	28,00 - 28,10	47,08
DP19	30,00 - 30,10	85,04

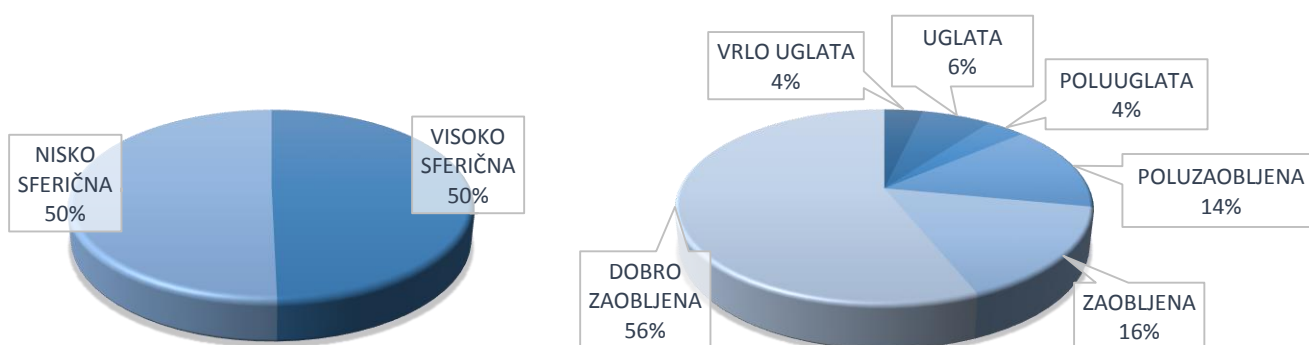
6.3. REZULTATI MORFOLOŠKE ANALIZE ZRNA

Morfološka analiza zrna provedena je na dva šljunkovita uzorka, ukupno 212 zrna (DP22, 73 zrna i DP23, 139 zrna) (Sl.23, II. Dodatak).

U oba uzorka prevladavaju zaobljena, nisko sferična zrna (Tab.5 Tab.6, Sl.21 i Sl.22). U uzorku DP22 udio nisko sferičnih zrna značajno je veći (68%) od visoko sferičnih zrna (32%), dok je u uzorku DP23 ta razlika gotovo i nezamjetljiva jer je omjer nisko i visoko sferičnih zrna 50:50%. Zaobljena zrna u uzorku DP22 čine 33% uzorka, dok je udio uglatih zrna gotovo i zanemariv (1%). U uzorku DP23 prevladavaju dobro zaobljena zrna čineći 56% uzorka, a udio uglatih zrna, kao i u prethodnom uzorku, gotovo je zanemariv krećući se između 4 i 6%.



Slika 21: Grafički prikaz sferičnosti (lijevo) i zaobljenosti (desno) zrna u uzorku DP22 duboke jezgre iz delte rijeke Neretve.



Slika 22: Grafički prikaz sferičnosti (lijevo) i zaobljenosti (desno) zrna u uzorku DP23 iz duboke jezgre u delti rijeke Neretve.

Ovakvi rezultati sferičnosti i zaobljenosti zrna, u kojima prevladavaju nisko sferična, zaobljena zrna, moguće pokazuju karakteristike sedimentnog materijala iz drenažnog područja rijeke Neretve.

Makroskopsko opažanje šljunkovitih uzoraka DP22 i DP23 pokazuje varijacije u boji, veličini i obliku valutica, a što ukazuje na različiti sastav valutica koje su posljedica trošenja različitih tipova stijena iz drenažnog područja rijeke Neretve.



Slika 23: Dio valutica iz uzorka DP22, odabranih za morfološku analizu zrna.

7. RASPRAVA

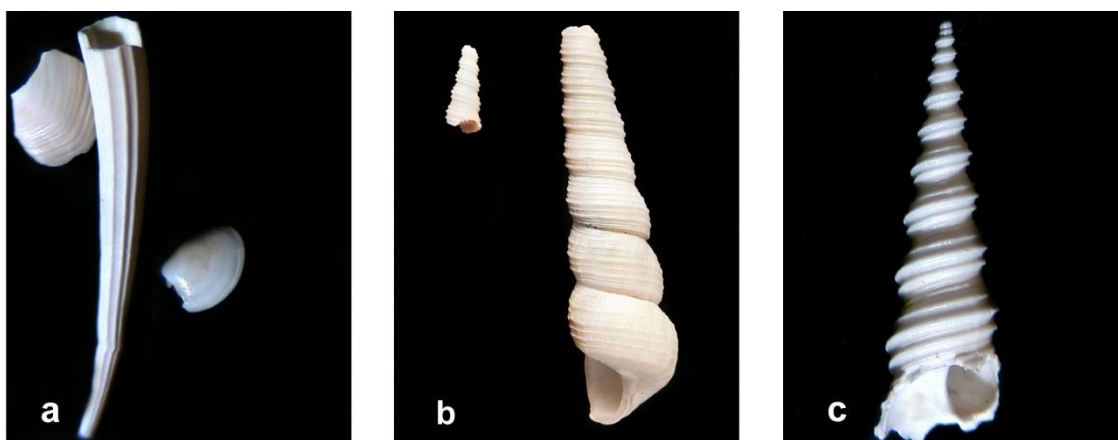
Stvaranje i oblikovanje delte rijeke Neretve, kao i u slučaju većine recentnih svjetskih delti, započelo je u razdoblju ranog holocena, otprilike prije 8 000 - 6 500 godina, kada je usporen porast morske razine koji je bio uzrokovan otapanjem velikih masa leda iz posljednjeg glacijalnog maksimuma (Stanley i Warne, 1994). Konačna stabilizacija razine mora, te povećani donos riječnog sedimenta i njegova akumulacija na obalama rezultirali su nastajanjem delti po cijelome svijetu, no osim ta dva dominantna čimbenika, svoj udio u stvaranju i oblikovanju delti imali su i drugi čimbenici kao što su tektonika, klima i morfologija drenažnog bazena, te posebice u posljednje 2000 godina velik utjecaj na stvaranje i formiranje delti imala je i ljudska aktivnosti zbog sve intenzivnije poljoprivrede, sječe šuma i sl. (McManus, 2002).

U razdoblju posljednje glacijacije, prije oko 18 000 godina, kada su veliki dijelovi sjeverne Europe i Sjeverne Amerike bili pokriveni debelim naslagama leda, globalna morska razina, pa tako i morska razina Jadrana, bila je niža za oko 120 - 130 m od današnje. Stoga se smatra kako su na većem dijelu Jadrana vladali kopneni uvjeti, odnosno kako je ondašnja Neretva svoju deltu formirala između korčulanskog kanala i otoka Visa, a područje današnje delte Neretve bilo je dio srednjeg toka rijeke Neretve (Sikora i sur., 2014). Tek nakon ubrzanog otapanja tih ledenjačkih pokrova u razdoblju holocena, koje je uzrokovalo znatno izdizanje morske razine, potopljena je neretvanska dolina i okolni razvedeni krški reljef, te je formiran zaljev u kojem je Neretva započela taložiti sedimente i postepeno graditi svoju deltu (Juračić, 1998). Delta Neretve klasificirala se kao delta pod dominantnim riječnim utjecajem s obzirom da su morski utjecaji zanemarivi (mali rasponi plime i oseke u Jadranskom moru, slab utjecaj valova zbog zaštićenost poluotokom Pelješcem). Međutim, zbog sve većeg antropogenog utjecaja u posljednjih 100 godina (gradnja hidroakumulacija, melioracija i pretvaranje deltnih ravnica u poljoprivredna zemljišta, korištenje vode za ljudske potrebe itd.), značajno je smanjen donos materijala, promijenjen oblik delte, a utjecaj mora značajno se povećao. Postoje naznake da je delta danas u destruktivnoj fazi i da more značajno prodire u samu deltu, stoga deltu Neretve danas možemo klasificirati kao deltu pod dominantnim riječnim i antropogenim utjecajem.

Distribucija veličine čestica osnovno je svojstvo sedimentnog materijala i može se koristiti za određivanje podrijetla i povijesti transporta sedimenta (Buckley, 1991). Analizirani uzorci sedimenata pokazuju značajne razlike u raspodjeli veličina čestica u uzorcima sedimenata s promjenama dubine unutar duboke jezgre što upućuje na raznolikost i dinamiku taložnih okoliša. Rezultati analiza pokazali su podijeljenost duboke jezgre na dva

dijela: gornji (plići) dio jezgre u rasponu dubina od 0 - 30 m i donji (dublji) dio jezgre u rasponu dubina od 30 - 119 m (Sl. 13).

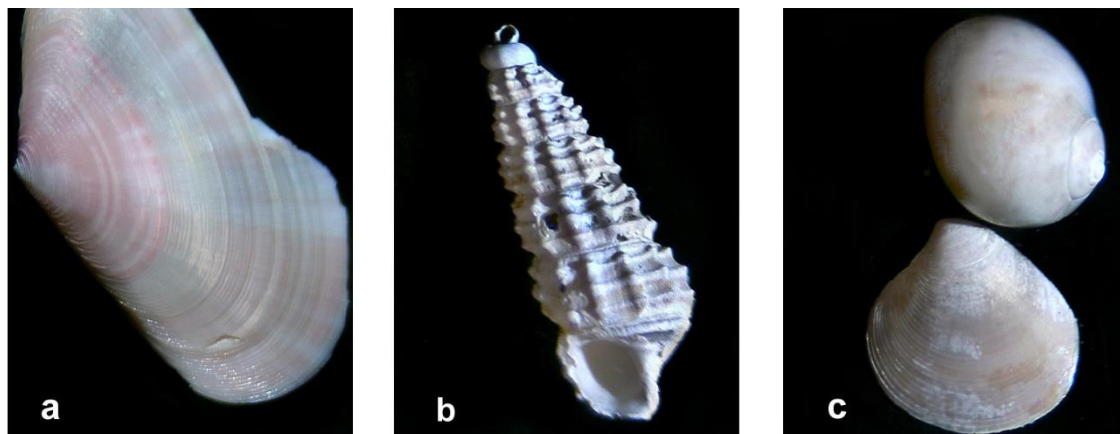
Raznolikost u veličini zrna unutar sedimentnih uzoraka gornjeg (plićeg) dijela duboke jezgre, u odnosu na donji (dublji) dio jezgre, pokazuje značajne promjene u uvjetima taloženja. U donjem (dubljem) dijelu jezgre, na dubinama od 119 - 30 m, prevladava šljunkoviti i pjeskoviti sediment, koji vjerojatno odgovara sekvenciji I, istaloženoj u aluvijalnim okolišima kasnog pleistocena (Sl.4, Stanley i Warne, 1994), tijekom razdoblja niže razine mora, kada je ušće rijeke Neretve bilo puno udaljenije od same obale, a i sama Neretva intenzivnije je trošila podlogu po kojoj je usijecala korito. U uzorcima na ovim dubinama nisu pronađeni nikakvi ostaci ljušturica mekušaca i drugih organizama. Prema Vranješu i sur. (2007), u jezgrama izvađenim iz delte rijeke, Neretve šljunci pleistocena prostiru se na dubinama od 120 - 30 m. Muljevita frakcija u prvih 30 m gornjeg (plićeg) dijela jezgre vjerojatno odgovara sekvenciji III (Sl.4, Stanley i Warne, 1994), istaloženoj za vrijeme holocenske transgresije, odnosno nakon razdoblja posljednjeg glacijalnog maksimuma i topljenja velikih količina leda, kada je more poplavilo nekadašnju dolinu rijeke Neretve i stvorilo duboki estuarij. Ovakav okoliš pokazuju uzorci iz jezgri s dubina između 28 i 16 m jer su u njima nađeni ostaci ljušturica mekušaca karakterističnih za podplimnu zonu kao što su scaphopoda (koponošci) i *Turritella* sp. (Sl.24).



Slika 24: Ostaci ljušturica mekušaca iz uzorka sedimenata duboke jezgre DP na dubinama od: a - 26 m, scaphopoda, b - 24 m, *Turritella* sp., c - 16 m, *Turritella* sp.

Nakon poplavlivanja doline, u holocenu, usporen je porast razine mora, a donos sedimenta rijekom Neretvom postepeno je počeo zapunjavati potopljenu dolinu (estuarij) muljevitim materijalom. Ovaj muljeviti materijal sadrži udio karbonatne komponente između 31,3% i 53,68% (Tab.3), što odražava karakteristike taloženja u miješano karbonatno-siliklastičnom šelfu. Progradacija delte u nekadašnjem estuariju Neretve dovela je do postepenog oplicavanja estuarija i promijene okoliša iz okoliša otvorenog estuarija u prijelazne okoliše zatvorenog estuarija/laguna/močvara, što je vidljivo u ostacima ljušturica

organizama karakterističnih za ove tipove okoliša (*Tellina* sp., *Bittium* sp., *Natica* sp. i *Cyclope* sp.; Sl.25).



Slika 25: Ostaci ljušturica mekušaca iz uzorka sedimenata duboke jezgre DP na dubinama od: a - 12 m, *Tellina* sp., b - 8 m, *Bittium* sp., c - 2 m, *Natica* sp. i *Cyclope* sp.

Nakon toga, intenzivan donos sedimenata doveo je do potpunog zapunjavanja doline pa se tako danas na tom području nalazi prostrana deltna ravnica. Progradacija delte danas je zaustavljena, na što je najviše utjecao čovjek gradnjom hidroelektrana na rijeci Neretvi, koje su onemogućile donos velikih količina krupnozrnatog materijala do ušća, stoga je danas delta Neretve u destruktivnoj fazi.

8. ZAKLJUČAK

Delta rijeke Neretve danas se klasificira kao delta pod dominantnim riječnim i antropogenim utjecajem, koji je doveo do sve većeg zaslanjivanja deltne ravnice i povećanja utjecaja mora na samu deltu.

Duboku jezgru iz deltne ravnice rijeke Neretve, analiziranu u ovom radu, na temelju dobivenih rezultata granulometrijskih analiza moguće je jasno podijeliti u dva dijela: gornji (plići) (0 - 30 m) i donji (dublji) (30 - 119 m) dio.

U donjem (dubljem) dijelu jezgre, od dubine 119 - 30 m, sediment se sastoji od dominantno pjeskovitog i šljunkovitog materijala, taloženog u aluvijalnim taložnim okolišima u razdoblju gornjeg pleistocena, kada je razina mora bila značajno niža od današnje. U ovom intervalu nisu nađeni fosili.

U gornjem (plićem) dijelu jezgre, od dubine 30 m do površine, prevladava muljevitak frakcija što odgovara taloženju u uvjetima nakon razdoblja glacijala, kada je more preplavilo nekadašnju neretvansku dolinu i stvorilo duboki estuarij. Ovo je potvrđeno nalascima *Scaphopoda* i *Turritella* sp. koji su karakteristični za podplimne okoliše. U holocenu dolazi do intenzivne progradacije delte u estuariju i postepenog zapunjavanja nekadašnje doline. Prijelazni okoliši (zatvoreni estuarij/laguna/močvara) vidljivi su u jezgri po tipičnoj fosilnoj zajednici puževa i školjkaša. Za detaljnije razlikovanje ovih prijelaznih okoliša potrebne su daljnje mikropaleontološke analize foraminifera i ostrakoda.

Udio karbonatne komponente u plićem dijelu jezgre (31 - 54%) odražava taloženje u uvjetima miješano karbonatno-siliklastičnog šelfa, kakvi danas vladaju u istočnom dijelu Jadranskog mora.

Na izostanak krupnijih frakcija u plićem dijelu jezgre vjerojatno su do velike mjere zaslužne i hidroakumulacije na rijeci Neretvi izgrađene u prošlom stoljeću.

9. LITERATURA

- 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.
- Brown, E., Colling, A., Park, D., Phillips, J., Rothery, D., Wright, J., (2006): Delta morphology. U: Bearman, G., Waves, tides and shallow-water processes. Open University, England. 2. izdanje, 180.
- Buckley, D.E. (1991): Deposition and diagenetic alteration of sediment in Emerald Basin, the Scotian Shelf. *Proceedings of the Canadian Continental Shelf Seabed Symposium (C2S3)*. *Continental Shelf Research*, 11, 1099–1122.
- Day, J.W., Pont, D., Hensel, P.F., Ibanez, C. (1995): Impacts of sea-level rise on deltas in the Gulf of Mexico and the Mediterranean: the importance of pulsing events to sustainability. *Estuaries*, 18, 636–647.
- Dynesius, M., Nilsson, C. (1994): Fragmentation and flow regulation of river systems in the northern third world. *Science*, 266, 753–762.
- Ericson, J.P., Vörösmarty, C.J., Dingman, S.L., Ward, L.G., Meybeck, M. (2006): Effective sea-level rise and deltas: Causes of change and human dimension implications. *Global and Planetary Change*, 50, 63-82.
- Fairbridge, R.W. (1980): The estuary: its definition and geodynamic cycle. U: Olausson, E. & Cato, 1. izdanje: *Chemistry and biochemistry of estuaries*. Willey, New York, 1-35.
- Filipčić, A. (1989): Neke osobine klime delte Neretve. *Hrvatski geografski glasnik*, Vol. 51., No. 1., 1989.
- Folk, R.L. (1954): The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. *Journal of Geology and Geophysics*, 62 (4), 344-59.
- Folk, R. L., Ward, W. C. (1957): Brazos River bar; a study in the significance of grain size parameters. *J. sedim. Petrol.* 27 (1), 3-26.
- Fox, J.M., Hill, P.S., Milligan, T.G., Boldrin, A. (2004): Flocculation and sedimentation on the Po River Delta. *Marine Geology*, 203, 95-107.

Galloway, W.E. (1975): Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic depositional systems. U: M.L. Broussard (ur.), *Deltas, Models for Exploration*, 87–98. Houston Geological Society, Houston, TX.

Juračić, M. (1998): O nastanku i promjenama delte rijeke Neretve. Dubrovnik, časopis za književnost i znanost, Nova serija, godište IX, 4, 228-232.

Leppard, G.G., Droppo, I.G. (2005): Overview of flocculation processes in freshwater ecosystems. U: I.G. Droppo, G.G. Leppard, S.N. Liss, T.G. Milligan (ur.), *Flocculation in natural and engineered environmental systems*. Boca Raton: CRC press, 25-46.

Margeta, J., Fistanić, I. (2000): Gospodarenje sustavom i monitoring bazena rijeke Neretve. *Građevinar* 52 (6), 331-338.

Marinčić, S., Magaš, N., Benček, Đ. (1978): Osnovna geološka karta Jugoslavije 1:100 000, list Ploče, L33-35. Zagreb: Institut za geološka istraživanja; Beograd: Savezni geološki institut.

McManus, J. (2002): Deltaic responses to changes in river regimes. *Marine Chemistry*, 79, 155–170.

Mojičević, M., Laušević, M. (1973a): Osnovna geološka karta Jugoslavije 1:10 000, list Mostar, K33-24. Beograd: Savezni geološki institut.

Mojičević, M., Laušević, M. (1973b): Osnovna geološka karta Jugoslavije 1:10 000, list Nevesinje, K34-25. Beograd: Savezni geološki institut.

Mojičević, M., Tomić, B. (1982): Osnovna geološka karta Jugoslavije 1:10 000, list Kalinovik, K34-12. Beograd: Savezni geološki institut.

Nicholls, R.J., Hoozemans, F.M.J., Marchard, M. (1999): Increasing flood risk and wetland losses due to global sea-level rise: regional and global analysis. *Global Environmental Change*, 9, s69–s87 (Special Issue).

Overeem, I., Syvitski, J.P.M. (2009): Dynamics and vulnerability of delta systems. *LOICZ Reports & Studies* 35. Geesthacht: GKSS Research Center, 56.

Penland, S., Kulp, M.A. (2005): *Deltas*. U: M.L. Schwartz (ur.), *Encyclopedia of coastal science*. Dordrecht: Springer, 362-368.

Pettijohn, F.J., Potter, P.E., Siever, R. (1987): Sand and sandstone. 2. izdanje, 553, New York (Springer).

Pont, D., Day, J.W., Hensel, P., Franquet, E., Torre, F., Rioual, P., Ibanez, C., Coulet, E. (2002): Response scenarios for the deltaic plain of the Rhone in the face of an accelerated rate of sea-level rise with special attention to Salicornia-type environments. *Estuaries*, 25, 337–358.

Postma, G. (1990): Depositional architecture and facies of river and fan deltas; a synthesis. U: A. Colella, D.B. Prior (ur.), Coarse-grained deltas. Special Publications of the International Association of Sedimentologists 10. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 13-27.

Raić, V., Papše, J., Korolija, B., Borović, I., Grimani, I., Marinčić, S. (1982): Osnovna geološka karta Jugoslavije 1:100 000, list Ston, K33-48. Sarajevo: Geoinženjering, Institut za geološka istraživanja; Zagreb: Institut za geološka istraživanja; Beograd: Savezni geološki institut.

Raić, V., Ahac, A., Papeš, J. (1977): Osnovna geološka karta Jugoslavije 1:100 000, list Imotski, L33-23. Sarajevo: Institut za geološka istraživanja; Beograd: Savezni geološki institut.

Raić, V., Papeš, J., Behlilović, S., Crnolatac, I., Mojičević, N., Ranković, M., Slišković, T., Đorđević, G., Golo, B., Ahac, A., Luburić, P., Marić, Lj. (1977): Osnovna geološka karta Jugoslavije 1:100 000, list Metković, K33-36. Sarajevo: Institut za geološka istraživanja; Beograd: Savezni geološki institut.

Romić, D., Romić, M., Zovko, M., Bakić, H., Ondrasek, G. (2012): Trace metals in the coastal soils developed from estuarine floodplain sediments in the Croatian Mediterranean region, *Environmental Geochemical Health*.

Romić, D., Zovko, M., Romić, M., Ondrašek, G. (2008): Quality aspects of the surface water used for irrigation in the Neretva delta (Croatia). *Journal of Water and Land Development*, 2, 59-70.

Shi, X.Q., Xue, Y.Q., Ye, S.J., Wu, J.C., Zhang, Y., Yu, J. (2007): Characterization of land subsidence induced by groundwater withdrawals in Su-Xi-Chang area, China. *Environmental Geology*, 52, 27-40.

- Sikora, M., Mihanović, H., Vilibić, I. (2014): Paleo-coastline of the Central Adriatic Sea, and Paleo-Channels of the Cetina and Neretva rivers during the last glacial maximum. *Acta Adriatica*, 55(1), 3-18.
- Sofilj, J., Živanović, M. (1980): Osnovna geološka karta Jugoslavije 1:10 000, list Prozor, K34-25. Beograd: Savezni geološki institut.
- Sokač, B. (2009): Karbonatne naslage (srednji trijas- T₂). U: Velić, I. & Vlahović, I. (ur.): Tumač Geološke karte RH 1:300 000. Hrvatski geološki institut, Zagreb, 32-34.
- Sondi, I., Juračić, M., Pravdić, V. (1995): Sedimentation in a disequilibrium river-dominated estuary. The Raša River Estuary (Adriatic Sea-Croatia). *Sedimentology*, 42, 769-78.
- Stanley, J.D., Warne, A.G. (1998): Nile Delta in its destructive phase. *Journal of Coastal Research*, 14, 794–825.
- Stanley, J.D., Warne, A.G. (1994): Worldwide initiation of Holocene marine deltas by deceleration of sea-level rise. *Science*, 265, 228-231.
- Syvitski, J.P.M. (2008): Deltas at risk. *Sustainability Science*, 3, 23-32.
- Syvitski, J.P.M., Saito, Y. (2007): Morphodynamics of deltas under the influence of humans. *Global and Planetary Changes*, 57, 261-282.
- Syvitski, J.P.M., Kettner, A.J., Correggiari, A., Nelson, B.W. (2005): Distributary channels and their impact on sediment dispersal. *Marine Geology*, 222-223, 75-94.
- Syvitski, J.P.M., Vörösmarty, C.V., Kettner, A.J., Green, P. (2005): Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *Science*, 308, 376–380.
- Syvitski, J.P.M., Peckham, S.D., Hilberman, R.D., and Mulder, T. (2003): Predicting the terrestrial flux of sediment to the global ocean: a planetary perspective. *Sedimentary Geology*, 162, 5-24.
- Vitturi, L.M., Rabitti, S. (1980): Automatic particle-size analysis of sediment fine fraction by SediGraph 5000D. *Geologia Applicata e Idrogeologia*, 15: 101-8.
- Vranješ, M., Vidoš, D., Glavaš, B. (2007): Stanje sedimenata u donjoj Neretvi. U: D. Gereš (ur.), 4. Hrvatska konferencija o vodama: Hrvatske vode i Europska unija - izazovi i mogućnosti: zbornik radova. Zagreb: Hrvatske vode, 337-344.

Vörösmarty, C.V., Meybeck, M., Fekete, B., Sharma, K., Green, P., Syvitski, J. (2003): Anthropogenic sediment retention: major global impact from registered river impoundments. *Global and Planetary Change*, 39, 169–190.

Walling, D.E. (2006): Human impact on land-ocean sediment transfer by the world's rivers. *Geomorphology*, 79, 192-216.

Walling, D.E., Fang, D. (2003): Recent trends in the suspended sediment loads of the World's Rivers. *Global and Planetary Change*, 39, 111–126.

Wentworth, C.K. (1922): A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *The Journal of Geology*, Vol. 30., No. 5., 377-392.

Wright, L.D., Nittrouer, C.A. (1995): Dispersal of river sediment in coastal seas: six contrasting cases. *Estuaries*, 18, 494-508.

Wright, L.D. (1977): Sediment transport and definition at river mouths; a synthesis. *Geological Society of America Bulletin*, 88, 857-868.

10. PRILOZI

10.1. POPIS SLIKA U TEKSTU

Slika 1: Osnovni geomorfološki dijelovi delte (modificirano i preuzeto iz Brown i sur., 2006).

Slika 2: Klasifikacija delti prema dominantnom utjecaju rijeke, valova i struja morskih mijena (Syvitski i Saito, 2007, prema Galloway, 1975).

Slika 3: Tipovi riječnih delti: a) delta pod dominantnim utjecajem rijeke (Mississippi), b) delta pod utjecajem rijeke i valova - prijelazni tip (Dunav), c) delta pod utjecajem rijeke i struja morskih mijena - prijelazni tip (Mahakam), d) delta pod utjecajem valova (Sao Francisco), e) delta pod utjecajem valova i struja morskih mijena - prijelazni tip (Copper), f) delta pod utjecajem struja morskih mijena (Fly).

Slika 4: Pojednostavljeni litostratigrafski slijed kasno-pleistocenske do holocenske sukcesije sedimenata delte (Stanley i Warne, 1994).

Slika 5: Dominantni čimbenici odgovorni za efektivni porast razine mora za 40 delti (preuzeto iz Ericson i sur., 2006).

Slika 6: Geološka karta deltne ravnice rijeke Neretve (preuzeto i modificirano iz Jurina i sur., 2015, prema OGKJ 1: 100 000, listovi Metković (Raić i sur., 1976), Ploče (Marinčić i sur., 1978), Ston (Raić i sur., 1982) i Imotski (Raić i sur., 1977). (Legenda: 1 - kvartarne aluvijalne naslage, 2 - eocenski fliš, 3 - eocenski vapnenci, 4 - kredni vapnenci i dolomiti, 5 - jurski vapnenci i dolomiti, 6 - trijaski vapnenci)

Slika 7: Uže područje deltne ravnice rijeke Neretve s označenim lokalitetom uzorkovanja (Google Earth).

Slika 8: a: Šljunkoviti sediment (interval jezgre DP 36 - 40 m); b: Muljeviti sediment (interval jezgre DP 11 - 17 m).

Slika 9: Set Retsch® ASTM sita, Geološko-paleontološki zavod PMF-a.

Slika 10: SediGraph 5100 (Micromeritics Instrument Corporation), Geološko-paleontološki zavod PMF-a.

Slika 11: Scheiblerova aparatura za kalcimetriju, Mineraloško-petrografski zavod PMF-a.

Slika 12: "Kategorije zaobljenosti za niskosferična i visokosferična zrna" (prema Pettijohn i sur., 1987).

Slika 13: Raspodjela i zastupljenost frakcija šljunka, pijeska, praha i gline kroz sve uzorke sedimenata duboke jezgre iz delte rijeke Neretve.

Slika 14: Raspodjela i zastupljenost frakcija: mulja (a), gline (b), praha (c), pijeska (d) i šljunka (e) kroz sve uzorke sedimenata duboke jezgre iz delte rijeke Neretve.

Slika 15: Granulometrijski sastav svih uzoraka sedimenata duboke jezgre iz delte rijeke Neretve u trokomponentnom dijagramu šljunka, pijeska i mulja (prema Folk, 1954).

- Slika 16:** Granulometrijski sastav 14 uzoraka sedimenata duboke jezgre iz delte rijeke Neretve u trokomponentnom dijagramu pijeska, praha i gline (prema Folk, 1954).
- Slika 17:** Zastupljenost pojedinih strukturnih grupa u uzorcima sedimenata duboke jezgre iz delte rijeke Neretve. (Legenda: pŠ - pjeskoviti šljunak; Š - šljunak; (m)pŠ - muljevito pjeskoviti šljunak; M - mulj; pM - pjeskoviti mulj; (š)pM - šljunkovito pjeskoviti mulj; šP - šljunkoviti pijesak).
- Slika 18:** Zastupljenost pojedinih strukturnih grupa u muljevitim uzorcima sedimenata duboke jezgre iz delte rijeke Neretve. (Legenda: P - prah; pP - pjeskoviti prah; M - mulj).
- Slika 19:** Prikaz vrijednosti standardnih granulometrijskih parametara: Mean (a), median (b), koeficijent sortiranosti (c), koeficijent asimetrije (d), za sve uzorke sedimenata duboke jezgre iz delte rijeke Neretve.
- Slika 20:** Udio karbonatne komponente u 14 analiziranih uzoraka sedimenata duboke jezgre iz delte rijeke Neretve.
- Slika 21:** Grafički prikaz sferičnosti (lijevo) i zaobljenosti (desno) zrna u uzorku DP22 duboke jezgre iz delte rijeke Neretve.
- Slika 22:** Grafički prikaz sferičnosti (lijevo) i zaobljenosti (desno) zrna u uzorku DP23 iz duboke jezgre u delti rijeke Neretve.
- Slika 23:** Dio valutica iz uzorka DP22, odabranih za morfološku analizu zrna.
- Slika 24:** Ostaci ljušturica mekušaca iz uzorka sedimenata duboke jezgre DP na dubinama od: a - 26 m, scaphopoda, b - 24 m, *Turritella* sp., c - 16 m, *Turritella* sp.
- Slika 25:** Ostaci ljušturica mekušaca iz uzorka sedimenata duboke jezgre DP na dubinama od: a - 12 m, *Tellina* sp., b - 8 m, *Bittium* sp., c - 2 m, *Natica* sp. i *Cyclope* sp.

10.2. POPIS TABLICA U TEKSTU

Tablica 1: Oznake i dubine, strukturne grupe i udjeli frakcija (šljunak, pijesak, prah, glina, mulj) u prvih 18 muljevitih uzoraka sedimenata, u rasponu dubina od 0,00 - 28,10 m iz gornjeg (plićeg) dijela duboke jezgre iz delte rijeke Neretve.

Tablica 2: Oznake i dubine, strukturne grupe i udjeli frakcija (šljunak, pijesak, prah, glina, mulj) u 20 šljunkovito-pjeskovitih uzoraka sedimenata, u rasponu dubina od 30,00 - 119, 20 m iz donjeg (dubljeg) dijela duboke jezgre iz delte rijeke Neretve.

Tablica 3: Udio karbonatne komponente u prvih 19 uzoraka sedimenata, u rasponu dubina od 0,00 – 30,10 m u gornjem (plićem) dijelu duboke jezgre iz delte rijeke Neretve.

Tablica 4: Vrijednosti standardnih granulometrijskih parametara za sve uzorke sedimenata duboke jezgre iz delte rijeke Neretve.

Tablica 5: Rezultati morfološke analize 73 zrna iz uzorka DP22, duboke jezgre iz delte rijeke Neretve.

Tablica 6: Rezultati morfološke analize 139 zrna iz uzorka DP23, duboke jezgre iz delte rijeke Neretve.

10.3. DODACI

- I. **Dodatak:** Tablica standardnih statističkih granulometrijskih parametara (prodječna veličina zrna (M), srednja veličina zrna (M_d), koeficijent sortiranosti (S_o), koeficijent asimetrije (S_k)) uzorcima sedimenata duboke jezgre iz delte rijeke Neretve.
- II. **Dodatak:** Tablica rezultata morfološke analize ukupno 212 zrna iz uzorka DP22 (73 zrna) i DP23 (139 zrna), duboke jezgre iz delte rijeke Neretve.
- III. **Dodatak:** Histogrami raspodjele veličine zrna u uzorcima sedimenata duboke jezgre iz delte rijeke Neretve.
- IV. **Dodatak:** Kumulativne krivulje uzoraka sedimenata duboke jezgre iz delte rijeke Neretve.