

Utjecaj dužobalne struje na karakteristike sedimenta pješčane plaže Duće

Lelas, Lea

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:329463>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-18**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geološki odsjek

Lea Lelas

**Utjecaj dužobalne struje na karakteristike
sedimenta pješčane plaže Duće**

**Impact of longshore drift on sediment characteristics of
Duće sandy beach**

Seminar III
Preddiplomski studij geologije

Mentor:
Doc.dr.sc. Kristina Pikelj

Zagreb, 2021.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geološki odsjek

Seminar III

Utjecaj dužobalne struje na karakteristike pješčane plaže Duće

Lea Lelas

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

Sažetak: Plaža Duće, smještena u Južnoj Dalmaciji, pješčana je plaža akumulirana duž-obalnim transportom sedimenta rijeke Cetine, koji dolazi vjerojatno iz paleogenskih karbonatnih klastita donjeg toka. Dominantni valovi mora nastali puhanjem juga, prilaženjem obali uzrokuju generiranje duž-obalne struje koja prenosi sediment od ušća sjevero-zapadno. U sklopu ovog rada analizirano je 12 uzoraka sedimenta iz segmenata plaže koji se nalaze među perima. Cilj je bio utvrditi postoje li razlike u karakteristikama sedimenta uzrokovanih duž-obalnim transportom u plitkom intertjaldalu idući od ušća Cetine do kraja pjeskovitog dijela obale. Analizom uzoraka određen je njihov granulometrijski sastav, udio karbonatne komponente te su svi uzorci mikroskopirani. Pokazalo se da generalni smjer duž-obalnog transporta je u smjeru sjevero-zapada, ali da različit položaj obale, tj. segmenata plaža utječe na drugačiji smjer kretanja struje na tim mikro-lokacijama. Također, da dužina pera i njihova isturenost prema moru doprinose ovome efektu.

Ključne riječi: plaža, Duće, duž-obalni transport, sediment, Cetina

Rad sadrži: 32+VI stranica, 36 slika, 2 tablice, 20 literaturnih navoda i 0 tabli

Jezik izvornika: hrvatski

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

Mentor: doc.dr.sc. Kristina Pikelj

Ocjenjivači: doc.dr.sc. Kristina Pikelj

doc.dr.sc. Zorica Petrincec

doc.dr.sc. Maja Martinuš

Datum završnog ispita: 22. rujna 2021.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geology

Seminar III

Impact of longshore drift on sediment characteristics of Duće sandy beach

Lea Lelas

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

Abstract: Duće Beach, located in Southern Dalmatia, is a sandy beach accumulated along the coast by longshore drift of the Cetina River sediment, which probably comes from the Paleogene carbonate clastites in the drainage basin of its lower course. When dominant waves, created by wind blowing from SE, approach to the coastline they produce longshore current that transports sediment from river mouth to NW direction. As a part of this study, 12 sediment samples taken from various segments of the Duće beach located between the groins were analyzed. The aim was to determine whether there are differences in sediment characteristics caused by longshore transport in the shallow intertidal going for the mouth of the river to the end of the sandy part of the coast. The analysis of the samples determined their grain size and distribution, the proportion of the carbonate component and a general share of biogenic particles. It turned out that the general direction of longshore transport is in the north-west direction, but small differences in orientation of the beach segments as well as the length of groins affects direction of current flow in these micro-locations.

Keywords: beach, Duće, longshore drift, sediment, Cetina River

Seminar contains: 32+VI pages, 36 figures, 2 tables, 20 references, and 0 plates

Original in: Croatian

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

Supervisor: doc.dr.sc. Kristina Pikelj

Reviewers: doc.dr.sc. Kristina Pikelj

doc.dr.sc. Zorica Petrinec

doc.dr.sc. Maja Martinuš

Date of the final exam: September 22, 2021

Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Geološka situacija istraživnog područja.....	5
2.1.	Eocenski fliš	7
2.2.	Vjetrovi na Jadranu.....	9
3.	Metode istraživanja.....	10
3.1.	Terenski rad	10
3.2.	Analiza veličine zrna	12
3.3.	Udio karbonatne komponente.....	13
3.4.	Mikroskopska analiza	14
4.	Rezultati analiza.....	15
4.1.	Rezultati granulometrijske analize	15
4.2.	Udio karbonatne komponente.....	18
4.3.	Rezultati mikroskopske analize	19
5.	Rasprava.....	23
6.	Zaključak	29
7.	Literatura.....	29

1. Uvod

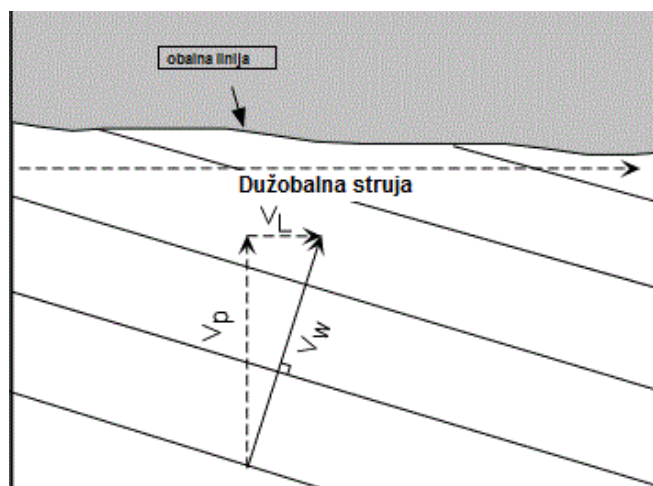
Obalne zone su okoliši izloženi konstantnom utjecaju prirodnih procesa koji joj mijenjaju oblik i izgled. U današnje vrijeme, sve veći utjecaj ima i antropogeni faktor gdje ljudi prilagođavaju obale svojim potrebama. To se posebno događa u zonama gdje turizam ima iznimnu važnost, poput obale Jadranskog mora. Razumijevanje prirodnih procesa koji uzrokuju eroziju, klimatskih promjena, promjena razine mora i razumijevanje njihovog utjecaja od iznimne je važnosti zbog što održivijeg upravljanja obalama. Geomorfologija obala je rezultat budžeta sedimenta, obalnih procesa, klime, relativne razine mora i ljudske aktivnosti. Otpornost obala na prirodne i antropogene procese ovisiti će ponajviše o samoj litologiji obale, odnosno tipu sedimenta ako je razvijena plaža (PIKELJ i JURAČIĆ, 2013).

Obala Jadranskog mora geomorfološki se iznimno razlikuje. Zapadni dio karakteriziraju niske obale, pune sedimenta koje su nanijele pleistocenske i holocenske rijeke. Prema PIKELJ i JURAČIĆ (2013), istočni dio obale Jadrana karakterizira okršena, strma karbonatna obala u kojoj se razvijaju tri tipa obala. Prvi tip su strme nepristupačne obale, nalik klifovima, nastale vertikalnim pomacima duž rasjeda, zastupljene su i na kopnu i na otocima. Drugi tip obala su otkrivene gornje slojne plohe vapnenaca koje su horizontalne do blago nagnute. Uglavnom se nalaze na otocima u sjevernom dijelu Dalmacije, ali ima ih i u drugim dijelovima Jadrana. Treći tip obala su brojne malene šljunkovite plaže najčešće karbonatnog porijekla. Razvijaju se u područjima gdje je karbonatna obala izložena konstantnom radu valova te je već prethodno istrošena tektonskim pokretima.

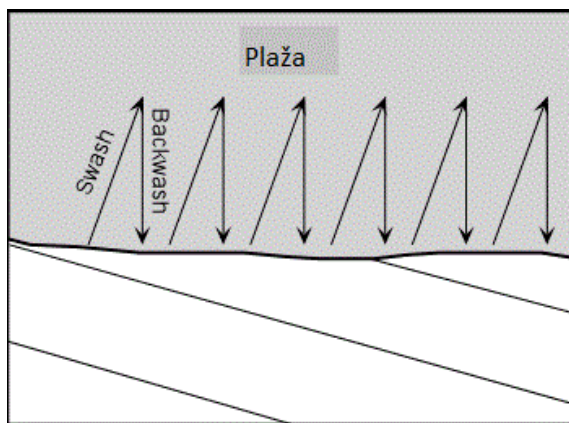
Karbonatne stijene su najzastupljeniji tip stijena na istočnoj strani Jadranskog mora. Drugi tip koji se pojavljuje uz vapnenac je fliš – naslage lapora, silita i pješčenjaka u izmjeni, najčešće eocenske starosti. U odnosu na karbonatne stijene, naslage fliša su mekane, male čvrstoće i sklone trošenju te zbog toga obalne zone u kojima prevladava fliš imaju velik broj plaža za razliku od karbonatnih obala. Pošto je litološki sastav fliša različit, posljedica toga je selektivno trošenje nejednakog tipa i brzine. Prema tome, u flišu u kojem prevladavaju pješčenjaci formirat će se klifovi, dok u laporima i silitima zbog lakšeg trošenja nastaju tokovi sitnozrnastog sedimenta. Većina fliških naslaga je potopljena za vrijeme posljednje transgresije, a jedna od rijetkih fliških zona smještenih na obali je zona Kaštela-Ploče u kojoj je smještena i plaža Duće (PIKELJ i JURAČIĆ, 2013).

Plaža Duće formirana je u fliškoj zoni Kaštela-Ploče, a porijeklo njenog sedimenta je u najvećoj mjeri pijesak taložen na ušću rijeke Cetine. Rijeka Cetina tipična je krška rijeka čiji se sliv sastoji od trijaskih, jurskih i krednih karbonatnih stijena, te paleogenskih i neogenskih klastita u manjoj mjeri. Međutim, paleogenskih klastiti prisutni u njoj osigurali su zalihe sedimenta koji je taložen na ušću i duž-obalnim strujama prenošen u smjeru sjeveroistoka (PIKELJ i dr., 2014).

Duž-obalna struja nastaje uslijed prilaženja valova obalnoj zoni. Kada je valna baza veća od dubine morskog dna iznad koje se val nalazi dolazi do usporavanja vala zbog interakcije pokrenute mase vode sa dnom. Kako u većini slučajeva valovi prilaze obalnoj zoni pod nekim kutom različitim od 90° , događa se da segment vala koji je bliže obali prvi usporava, te zbog toga dolazi do savijanja valne fronte. Bez obzira na refrakciju valova, generira se duž-obalna struja koja je komponenta energije vala paralelna obali (Slika 1). Transport sedimenta duž obale u smjeru kretanja struje odvija se djelovanjem same duž-obalne struje te zapljuskivanjem i povlačenjem valova. Valovi pod kutom zapljuskuju obalnu liniju, a povlače se okomito na nju zbog gravitacije. Sediment koji se tim procesom prenosi kreće se po cik-cak obrascu (Slika 2) [URL 1].

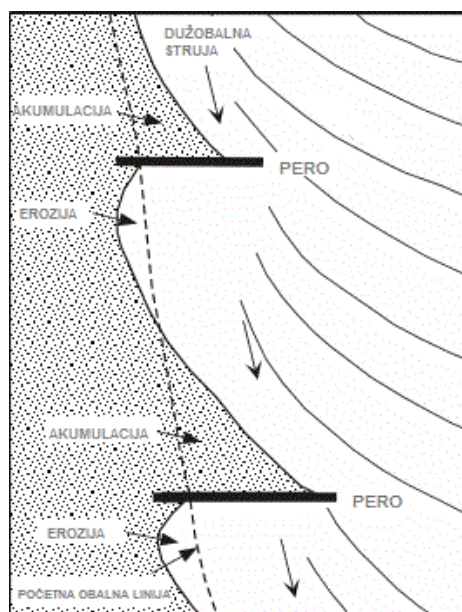


Slika 1: Prikaz nastanka duž-obalne struje; komponenta V_L predstavlja duž-obalnu struju (URL 1)



Slika 2: Prikaz duž-obalnog transporta: Valna fronta prilazi i zapljuskuje obalu pod kutom, zatim se povlači okomito na obalnu liniju (URL 1)

Kombinacija ova dva efekta dovodi do prijenosa sedimenta duž obale ovisno iz kojeg smjera valovi dolaze. Kako će se sediment distribuirati ovisi o postojanju dominantnog smjera ili kombinaciji različitih smjerova valova sa različitim energijama. Na obalama s izmjeničnim smjerom valova gdje jedan smjer prevladava, više će se materijala kretati u jednom smjeru od drugog, a veća frakcija sedimenta koja se pomiče jačim valovima možda se neće vratiti kada slabiji valovi pomiču unatrag sitniju frakciju. Ova pojava se očituje nastajanjem spitova i otklona riječnog sedimenta na ušćima (CELIKOĞLU i dr., 2004), te uzrokuje znatnu eroziju, smanjenje količine materijala i akumulaciju istog na različitim dijelovima plaže. U svrhu smanjenja efekta erozije nastale djelovanjem duž-obalne struje na plažama grade se pera (Slika 3).



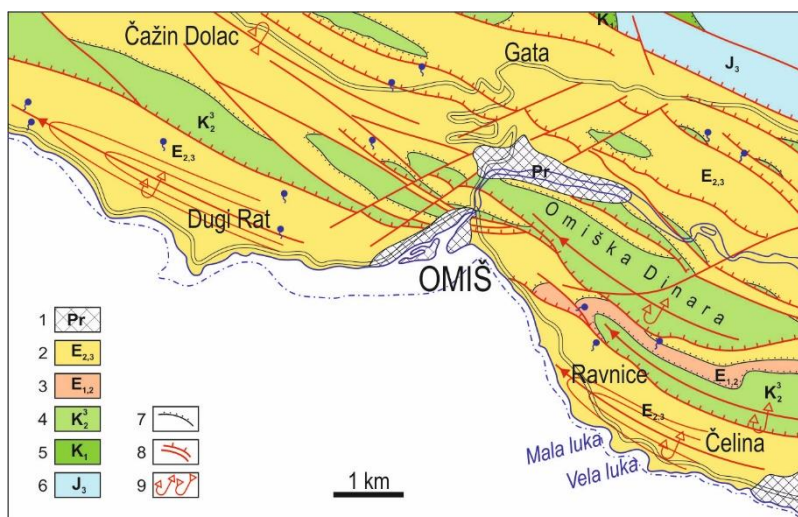
Slika 3: Utjecaj prisutnosti pera na dužobalni transport (URL 1)

Cilj ovog seminarskog rada je utvrditi postoje li razlike među sedimentima plaže Duće uzorkovanih duž-obalnom strujom u plitkoj plimnoj zoni idući od ušća rijeke Cetine do kraja pjeskovitog dijela obale. Glavni fokus je na karakteristikama veličine zrna, udjelu biogene komponente i udjelu karbonatne komponente.

2. Geološka situacija istraživanog područja

Plaža Duće smještena je u južnoj Dalmaciji, između Omiša i Dugog rata. Prostire se u dužini od šest km, smjera pružanja zapad-istok. To je prirodna pješćana plaža akumulirana sedimentom rijeke Cetine koji je erodiran u kontaktu rijeke sa stijenama, te transportiran do samog ušća. Za poznavanje karakteristika sedimenta plaže potrebno je opisati geomorfološku i geološku situaciju područja grada Omiša i korita rijeke Cetine.

Na području grada Omiša (Slika 4) izdvajaju se tri litostratigrafske jedinice: fliš, slabo uslojeni vapnenci i breče s fragmentima foraminiferskog vapnenca, te tri tipa reljefa: krški, fluviokrški i padinski. Glavni pravac pružanja orografskih elemenata je u poremećenom Dinarskom smjeru (NW-SE). Između obalne linije i prve reljefne pregrade nalazi se usko obalno područje koje je karakterizirano strmim padinama i pruža se paralelno planinskim vapnenačkim grebenima Mošnica i Omiška Dinara. Između ove reljefne pregrade i Mosora nalazi se sinklinala s nekoliko fliških udolina kroz koje je u uskoj udolini usječen donji tok rijeke Cetine. Sjeverno od fliških udolina izdiže se planinski masiv Mosor, a sjeverozapadno Kostanjska zaravan. Prema MARINČIĆ i dr., (1976), sjeveroistočno od Mosora nalaze se krški vapnenački predjeli s nekoliko manjih krških polja i visoravni. Južno od Blata na Cetini, na nadmorskoj visini od oko 250 m nalazi se prostrana krška zaravan koja seže do kanjona rijeke Cetine (Slika 5). Na tom dijelu rijeka Cetina je usjekla duboki kanjon iz kojeg se kod Zadvarja, na prijelazu iz krednih karbonatnih stijena u eocenski fliš, probija u usku dolinu donjeg toka rušeći se preko dva vertikalna odsjeka od, praveći vodopad Malu (7m) i Veliku Gubavicu (48m) [URL 2].



Slika 4: Isječak iz OGK 1:100 000, List Omiš K-33 22 (Prema: Marinčić i dr., 1976)



Slika 5: Kanjon rijeke Cetine usječen u kršku zaravan, južno od Blata na Cetini (URL 4)

Prema MARINČIĆ i dr. (1969), geološka evolucija područja grada Omiša započinje sedimentacijom u juri sve do kraja malma kada dolazi do tektonskih pokreta novokimerijske faze. Tada Mosor i Biokovo poprimaju strukturni oblik masiva. Do intenzivnijih strukturnih promjena dolazi laramijskim boranjem (prijelaz iz krede u paleogen) i tektonikom tijekom paleogena kada borane strukture proživljavaju intenzivnu kompresiju te se prevrću i kidaju. Tada su donjoeocenske naslage dovedene na površinu koje se kasnije opet preplavljaju. Između mlađeg eocena i oligocena formiraju se najvažnije strukturne jedinice, ljske i navlake. Na prostoru Grada Omiša evidentirane su

sljedeće strukture: Ljuska Dovanj, Ljuska Omiška Dinara, Čelo ljuske Biokovo-Mosor, Ljuska Dicmo-Šestanovac i Ljuska Dicmo-Ugljane (MARINČIĆ i dr., 1969).

Najstarije naslage koje izdanju na području grada Omiša (Slika 4) su debelo uslojeni oolitni vapnenci malmske starosti (J_3) koji izdanjuju na Mosoru. Prema MARINČIĆ i dr., (1969), na njih u transgresivnom slijedu naliježu donjokredne vapnenačke breče. Naslage cenomana (K^1_2) su slabo uslojeni i gromadasti dolomiti i vapnenci koji su također u transgresivnom kontaktu sa donjom kredom. Slijede naslage turonske starosti (K^2_2), tanko uslojeni vapnenci sa lećama dolomita. Među svim krednim naslagama, najrasprostranjeniji su slabo uslojeni bioakumulirani vapnenci senona (K^3_2). Transgresivno na kredne naslage leže paleogenski slabo uslojeni vapnenci sa brečama, tzv. liburnijske naslage. Zatim slijede eocenski foraminiferski vapnenci ($E_{1,2}$) koji prelaze u glinovite vapnence koji na višim dijelovima prelaze u lapore (E_2). Uslojeni kalkareniti ($^2E_{3,2}$) nalaze se na širem području fliških udolina. U normalnom slijedu na njih naliježe fliš ($^3E_{2,3}$), koje se sastoji od izmjene pješčenjaka i lapora sa lećama kalkarenita i kalkrudita. Fliš je najmlađi predstavnik paleogenskih naslaga na ovom području. Na njemu se nalaze pleistocenske deluvijalne breče koje su prisutne u donjem toku rijeke Cetine. Najmlađe kvartarne tvorevine su proluvijalni pješčano-muljeviti sediment s primjesom šljunka na ušću rijeke Cetine kod Omiša (MARINČIĆ i dr., 1969).

Rijeka Cetina u gornjem dijelu svog toka protječe kroz tako i slabo uslojene vapnence gornjokredne starosti. Zatim prelazi u područje eocenskih slabouslojenih vapnenaca i kalkarenita odakle joj dalje tokom korito prelazi ponovo u gornjokredne slabouslojene vapnence sa lećama dolomita gdje stvara kanjon. Korito donjeg dijela toka Cetine obilježeno je naslagama fliša, slabouslojenih kalkarenita i breča s fragmentima foraminiferskog vapnenca sve do ušća rijeke (MARINČIĆ i dr., 1976).

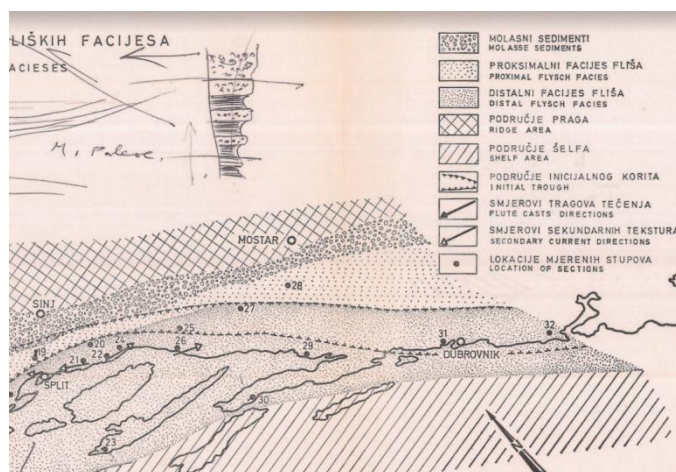
2.1. Eocenski fliš

Prema PIKELJ i dr. (2014) većina sedimentnog materijala koji Cetina donosi dolazi od paleogenskih naslaga donjeg toka. Glavninu tih naslaga čini eocenski fliš. MARINČIĆ (1981) fliš opisuje kao turbidit taložen u mlađem eocenu kada tektonski pokreti otvaraju korito u šelfu Vanjskih Dinarida. To korito se zapunjava fliškom suspenzijom iz unutrašnjeg bosansko-banijskog bazena. Naslage su taložene kontinuirano u više ponovljenih ciklusa. Donja granica fliških naslaga se pojavljuje i kao erozivna i kao

kontinuirana. Naslage taložene u kontinuiranom smjeru ukazuju na postupno produbljivanje okoliša, tj. na inicijalno formiranje fliškog korita. Pretežni dio serije fliša u erozivnom je kontaktu sa paleogenskim odnosno donjokrednim vapnencima, te se u donjem dijelu naslaga nalaze bazalne breče i konglomerati sa valuticama erodiranih vapnenaca stratigrafskog člana koji nedostaje u bazi, a u nešto manjoj mjeri same baze (MARINČIĆ, 1981).

Prema MARINČIĆ (1981), Karakteristična su dva tipa razvoja fliških facijesa (Slika 6): proksimalni i distalni fliš. Proksimalni fliš karakteriziraju visoki udjeli krupnih i srednjih klastita, često sa dobro izraženim tragovima tečenja koji su okomiti na samo pružanje korita. Distalni fliš ima izraziti porast udjela pelitnih klastita sa rijetkim pojavama slojeva pješčenjaka. Tragovi tečenja u njima su rijetki, a ako su prisutni ukazuju na smjer kretanja duž pružanja korita. Iz slike 6 vidljivo je da se područje donjeg toka Cetine i plaža Duće nalazi u distalnom facijesu fliša.

Prema MARINČIĆ i dr. (1969), naslage fliša predstavljaju najmlađe naslage paleogena na istraživanom području. Izgrađuju ih pješčenjaci i detritični vapnenci u izmjeni sa laporima. To su kalciruditi, kalkareniti, kvarckalkareniti, kalcisiltiti i lapori. Varijetete detritičnih vapnenaca izgrađuju ulomci mikrofosila i vapnenaca, kao i kalkarenite. Također, kalkareniti i kvarckalkareniti sadrže još i zrna kvarca, čestice kvarcita, rožnjaka i nisko metamofrnih škriljavaca, feldspata, klorita i tinjaca.

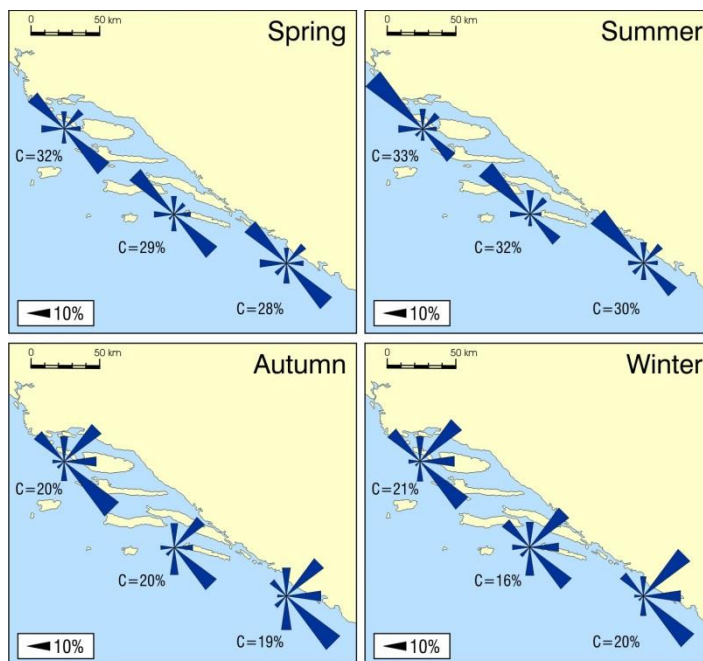


Slika 6: Isječak iz karte rasprostiranja facijesa fliša u dijelu Dalmacije (Prema MARINČIĆ, 1981)

2.2. Vjetrovi na Jadranu

Za nastanak valova najčešće je zaslužan vjetar. Energija vjetra se prenosi na morsku površinu i pritom se stvara razlika između privjetrinske i zavjetrinske strane te dolazi do valnog gibanja. Veličina i tip vala uzrokovanog vjetrom ovisi o brzini vjetra, trajanju puhanja, veličini prostora preko kojeg vjetar puše i inicijalnom stanju mora. Valovi će biti veći i imati veću energiju što je vjetar jači i ako postoji dovoljno prostora i vremena za puhanje vjetra.

Jadransko more omeđeno je sa tri strane kopnom i smješteno je između dva planinska masiva, Apenina i Dinarida. Iz tog razloga ima specifičnu klimu, a dvije dominantne pojave su vjetrovi bure (NE) i juga (SE) koji pušu za vrijeme jesenskih i zimskih mjeseci. Tijekom ljeta dominantan vjetar je maestral (NW). Uz navedene vjetrove prisutni su još lebić (SW), tramontana (N), pulenat (W), oštro (S) i levnat (E) (KATALINIĆ i PARUNOV, 2014). Jugo i bura su najsnažniji vjetrovi i razvijaju najveće valove. Tako je 12.11.2019. zabilježen val maksimalne visine 10,87m uzrokovan puhanjem juga [URL 3]. Istraživano područje ovog seminara nalazi se u južnoj Dalmaciji, gdje je jugo dominantan vjetar tijekom jeseni, zajedno sa burom tijekom zime i sa maestralom tijekom proljeća, dok je ljeti dominantan maestral. Sukladno sa time razvijaju se i valovi (Slika 7).



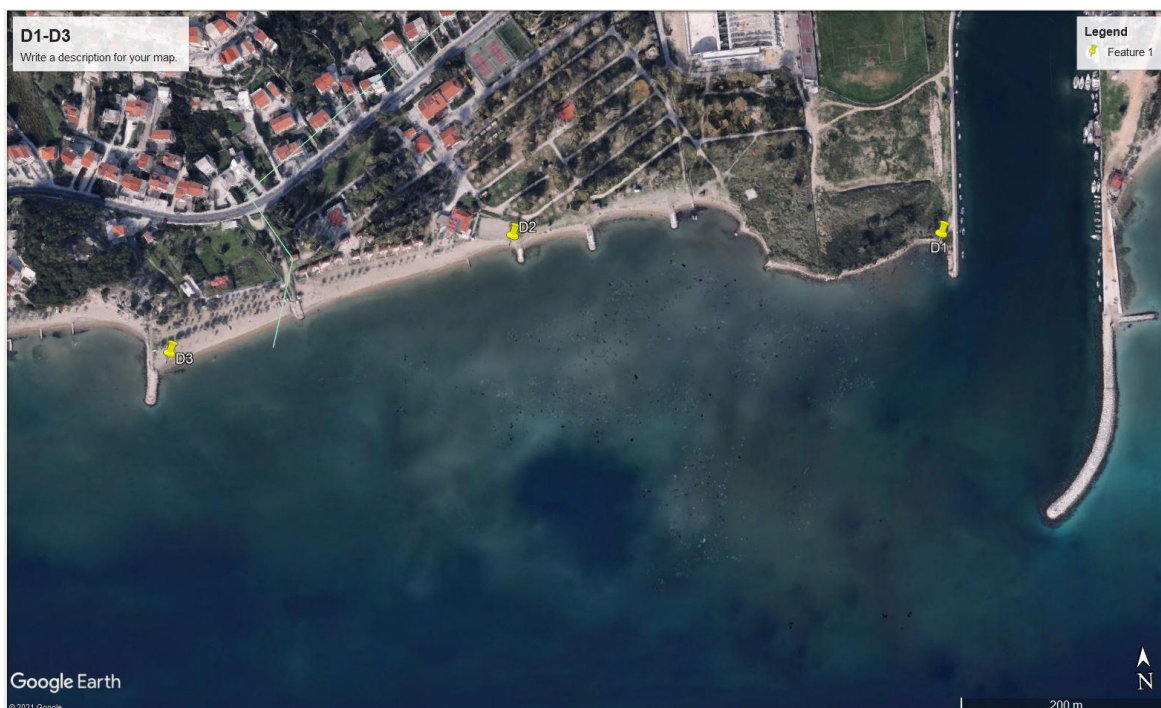
Slika 7: Prosječna sezonska frekvencija smjerova valova i kalmi u Centralnoj i Južnoj Dalmaciji (Prema: HHI, 2002.)

3. Metode istraživanja

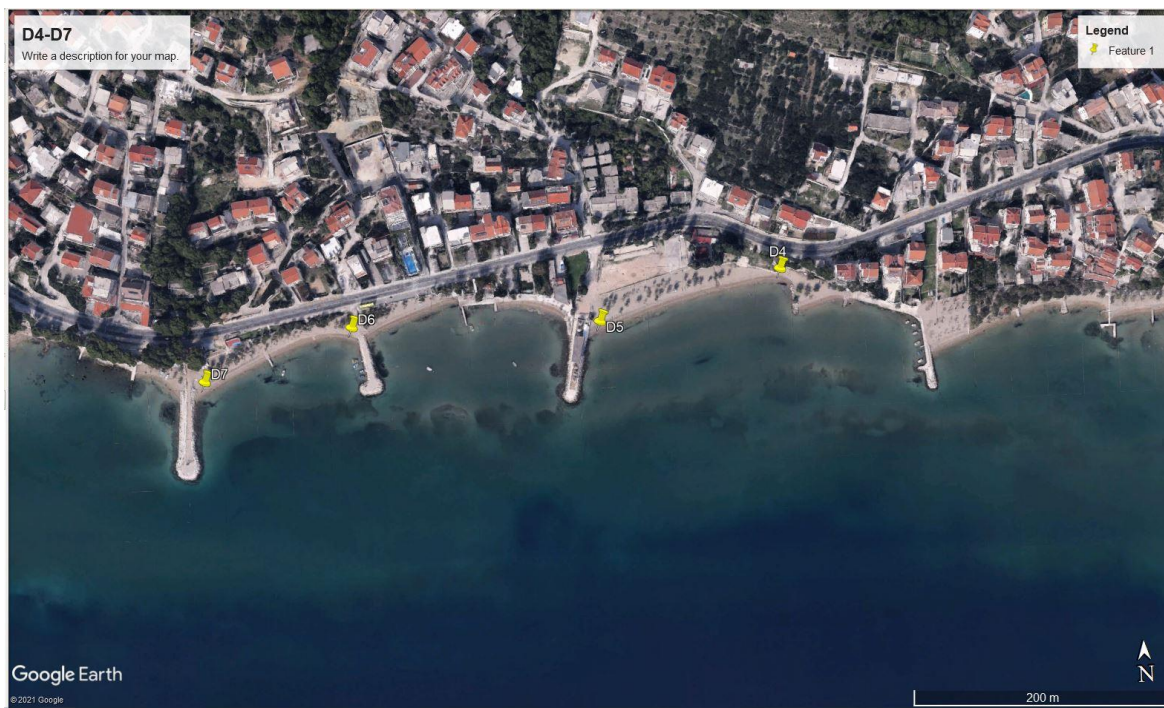
3.1. Terenski rad

Uzorkovanje je provedeno 2.4.2021., na 12 lokacija, od ušća rijeke Cetine do kraja pjeskovitog dijela obale. Alati koji su se pri tom koristili su špatula širine 10 cm i metalna lopatica za vađenje sedimenta. Sediment je potom stavljan u plastične vrećice i obilježen oznakom za lokaciju. Koordinate lokacija uzoraka su:

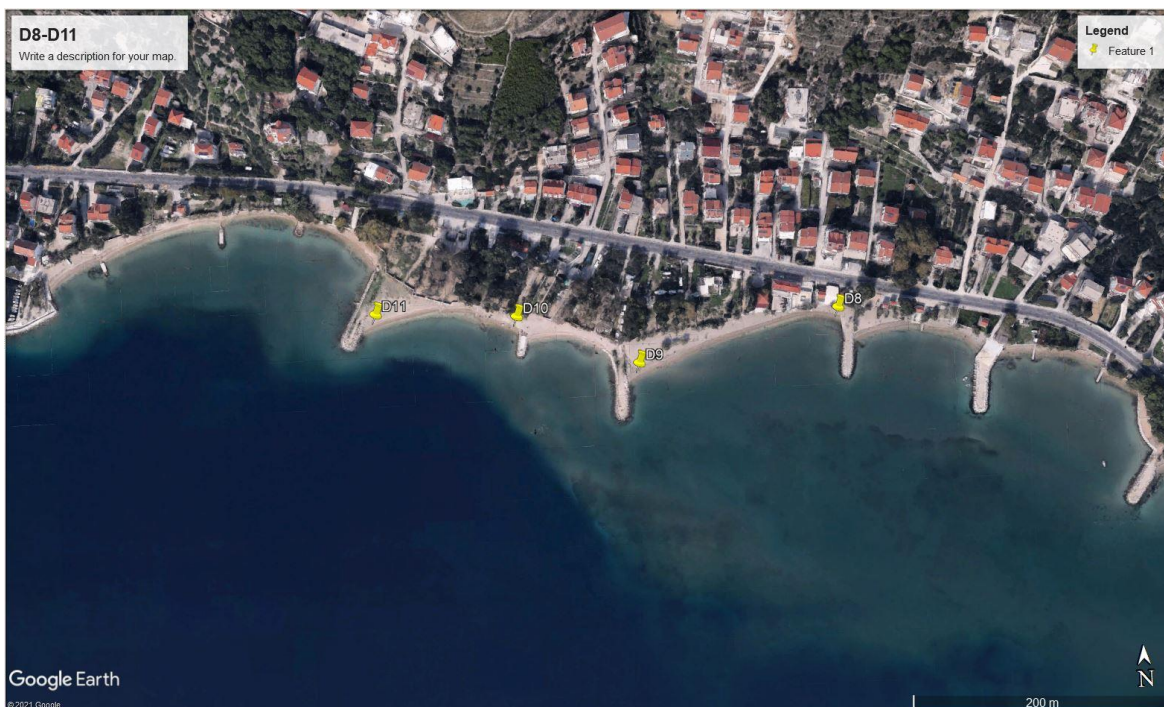
D1 – 43,439400°N, 16, 685406°E	D7 – 43,438824°N, 16,667042°E
D2 - 43,439636°N, 16,680702°E	D8 – 43,440310°N, 16,660703°E
D3 – 43,438802°N, 16,676409°E	D9 – 43,440005°N, 16,658756°E
D4 – 43,439424°N, 16,671272°E	D10 – 43,440403°N, 16,65766°E
D5 – 43,439185°N, 16,669643°E	D11 – 43,440509°N, 16,656246°E
D6 – 43,439185°N, 16,667042°E	D12 – 43,440844°N, 16,649664°E



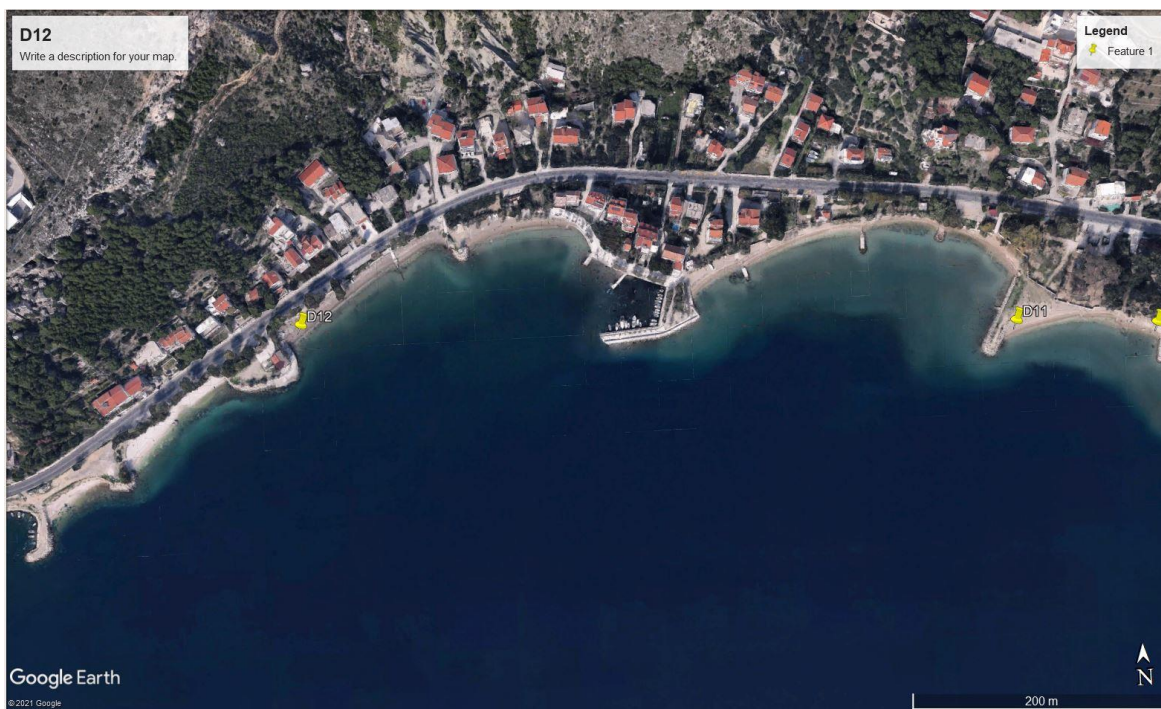
Slika 8: Lokacije uzorkovanja D1, D2 i D3 (Izvor: Google Earth)



Slika 9: Lokacije uzorkovanja D4, D5, D6 i D7 (Izvor: Google Earth)



Slika 10: Lokacije uzorkovanja D8, D9, D10 i D11 (Izvor: Google Earth)



Slika 11: Lokacija uzorkovanja D12 (Izvor: Google Earth)

Nakon uzorkovanja, uzorci su osušeni na zraku i analizirani granulometrijskom metodom mokrog sijanja i sedigrafom, računanjem udjela karbonatne komponente, te mikroskopskom analizom.

3.2. Analiza veličine zrna

Granulometrijski sastav uzoraka određen je metodom mokrog sijanja u laboratoriju Geološko-paleontološkog zavoda. Analiziranje svakog pojedinog uzorka provedeno je prosijavanjem, prethodno odvaganih 150 grama sedimenta razmučenih destiliranom vodom, kroz sustav od 7 Retsch® ASTM laboratorijskih sita uz pomoć tresilice Fritsch Analysette®. Ova metoda pogodna je za uzorke sedimenta čija je veličina zrna veća od 0,063 mm. Promjeri otvora na pojedinim sitima su u rasponu od 4 mm do 0,063mm. Zrna sitnija od 0,063mm prolaze kroz sustav sita i u suspenziji se skupljaju u zasebnu posudu. Tijekom sijanja, sediment se ispirao destiliranom vodom kako ne bi došlo do zaostajanja sitnijih frakcija. Nakon sijanja, frakcije koje su ostale na sitima su prebačene u zasebne posudice, dekantirane i stavljene na sušenje. Osušene frakcije su izvagane i svaka je stavljena u papirnatu vrećicu sa označenom lokacijom uzorkovanja i veličinom.

Uzorci D2-D12 sadržavali su manje od 5% frakcije sitnije od 0,063mm stoga na njima nije provedena analiza sedigrafom, odnosno, čestice koje su prošle kroz sito od

0,063mm su stavljene u frakciju 0,032–0,063mm. Uzorak D1 imao je značajan udio frakcije praha i gline te je sediment koji je zaostao u suspenziji nakon mokrog sijanja podvrgnut analizi sedigrafom. Korišteni uređaj je SediGraph 5100 koji se sastoji od analizatora, sučelja i računala. Upravljanje analizatorom obavlja se računalnim programom SediGraphWin 5100 (Micromeritics, 2002).

Rad sedigrafa temeljen je na principu gravitacijske sedimentacije i apsorpcije rendgenskih zraka na česticama sedimenta. Brzina taloženja čestica uvjetovana gravitacijom opisana je Stokes-ovim zakonom koji glasi:

$$V = (\rho - \rho_0)d^2 g / 18\mu$$

gdje je V brzina taloženja, $\rho - \rho_0$ razlika u gustoći između čestica i fluida, d promjer zrna, a μ dinamički viskozitet. Nakon dodavanja suspendiranog uzorka u uređaj izmjeren je najmanji intenzitet prolaznog rendgenskog zračenja, jer je dio zračenja apsorbiran na čestice u suspenziji. Talozjenjem, prolaznost rendgenskog zračenja koje se mjeri na različitim dubinama se povećava ovisno o brzini padanja čestica. Čestice u ćeliji se razdvajaju prema veličini, tj. prema brzini taloženja. Prvo su se istaložile krupne, zatim sitnije čestice. Iz dobivenih brzina računaju se maseni udjeli pojedinih frakcija od vrlo krupnog praha do gline.

Izmjerene mase frakcija za svaki pojedini uzorak od D1 do D12 su obrađene u statističkom paketu Gradistat® (BLOTT i PYE, 2001), te su dobiveni podaci o srednjoj i prosječnoj veličini zrna, tipu sedimenta i sortiranosti. Granulometrijski parametri su izračunati prema FOLK i WARD, 1957. Srednja veličina zrna ili medijan (D_{50}) je ona veličina od koje je 50% zrna veće, a 50% manje veličine. Prosječna veličina zrna je izračunata prema formuli:

$$\bar{x} = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}}{3}$$

sortiranost prema formuli:

$$I_f = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{4} + \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{6,6}$$

3.3. Udio karbonatne komponente

Udio karbonatne komponente u uzorcima mjeren je pomoću Scheiblerove aparature u laboratoriju Mineraloško-petrografskog zavoda. Metoda se temelji na volumnom udjelu

ugljikovog dioksida nastalog otapanjem karbonata razrijeđenom klorovodičnom kiselinom. Prije analize, svaki pojedini uzorak je usitnjen na veličinu praha u ahatnoj drobilici Fritsch Pulverisette®. Za samu analizu bilo je potrebno prvo odrediti standard. Odvagano je 300 mg čistog CaCO₃ (Pro analysis, Kemika), koji je zatim prebačen u Erlenmeyerovu tikvicu, zajedno sa magnetom i 5 ml 37%-tne klorovodične kiseline razrijeđene sa destiliranom vodom u omjeru 1:1. Kiselina je u plastičnoj čašici pažljivo je spuštена u tikvicu, kako ne bi došlo do prijevremene reakcije sa standardom, a kasnije i uzorkom. Erlenmeyerova tikvica se zatvori gumenim čepom i postavi na magnetnu miješalicu. Klorovodična kiselina otopi standard ili uzorak. Prilikom te reakcije oslobađa se ugljikov dioksid čiji se volumen u mililitrima očita i primjenjuje u formuli prema kojoj se računa maseni udio karbonata u uzorku:

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

gdje je $F_{T,P}$ vrijednost koja je očitana iz tablice, a ovisi o temperaturi i tlaku u laboratoriju u vrijeme izvođenja mjerenja. Isti postupak se koristio za svaki pojedini uzorak, te su se i za standard i za uzorke radila dva mjerenja. Za konačnu vrijednost uzeta je aritmetička sredina dobivenih rezultata.

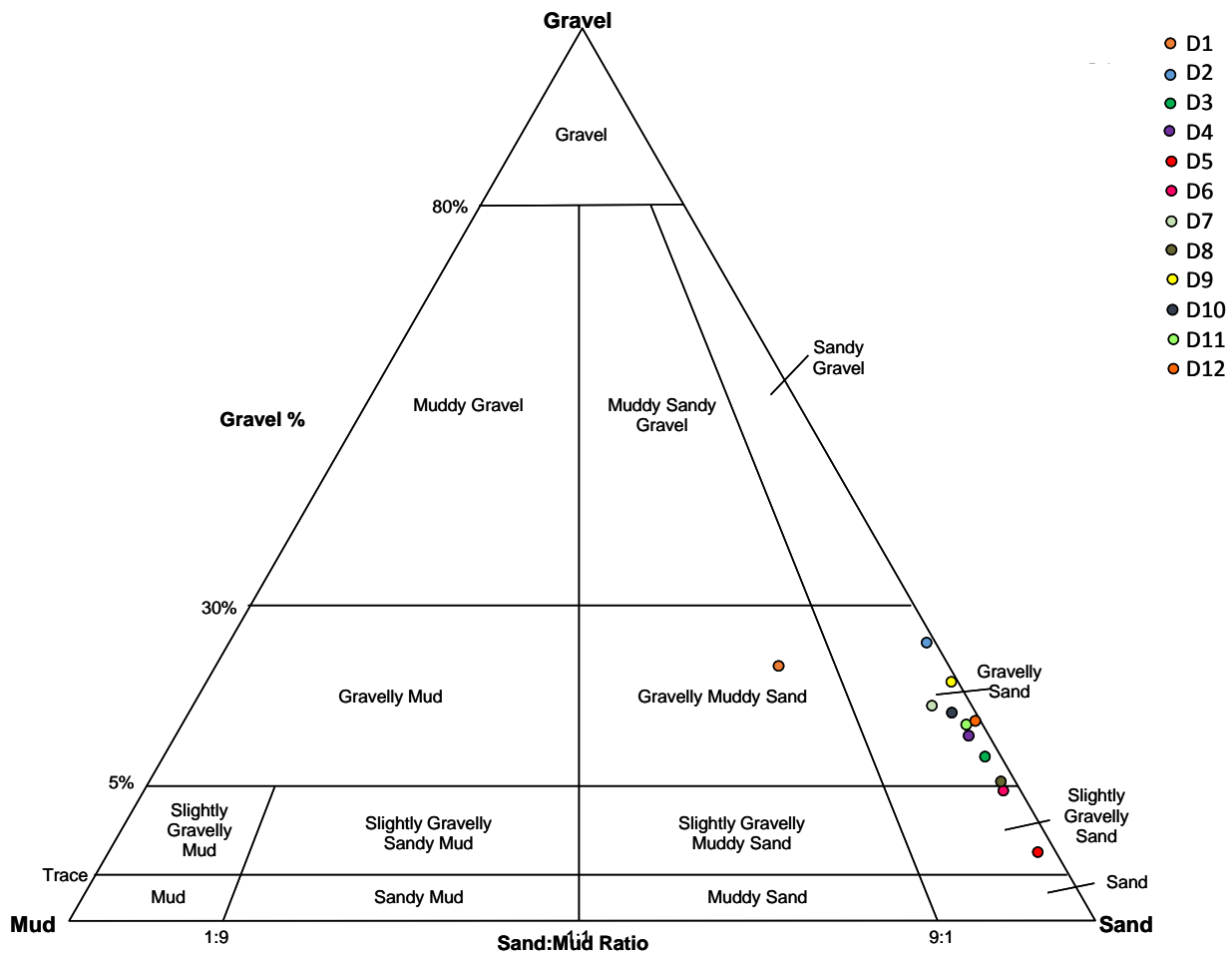
3.4. Mikroskopska analiza

Za mikroskopsku analizu korišten je Zeiss mikroskop na Mineraloško-petrografskom Zavodu. Mikroskopirane su frakcije od 2 mm do 0,063 mm za svaki uzorak kako bi se dobio bolji uvid u porijeklo sedimenta na temelju udjela bioklasta i litoklasta, oblika zrna i očuvanosti.

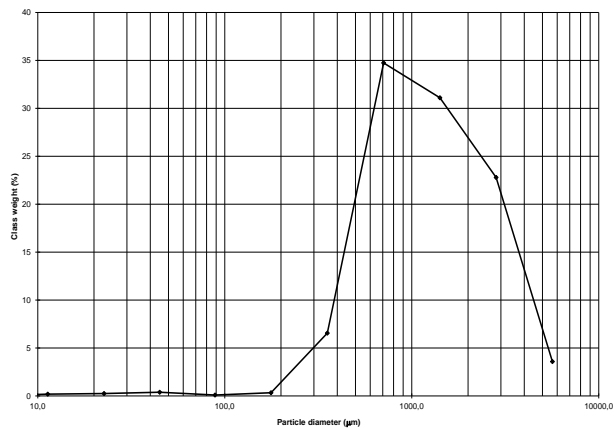
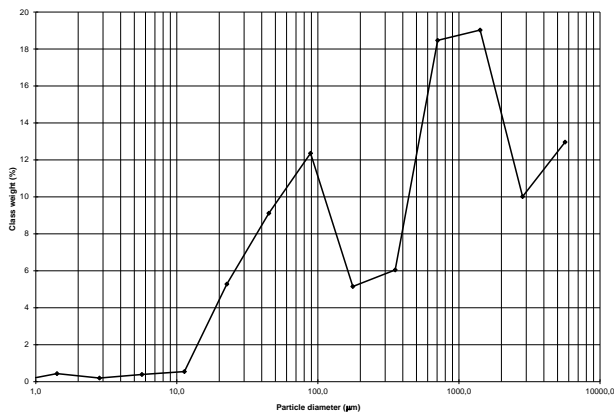
4. Rezultati analiza

4.1. Rezultati granulometrijske analize

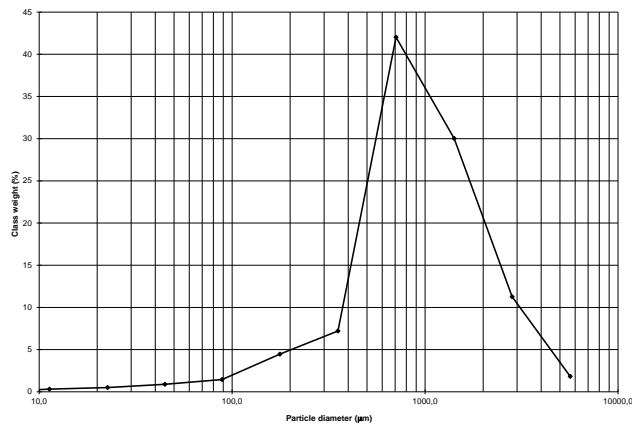
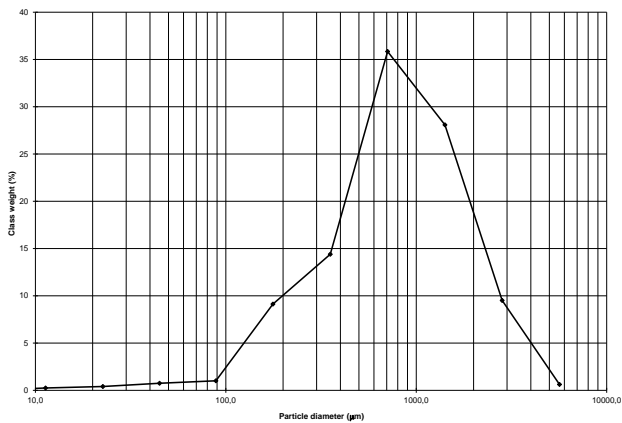
Svi uzorci u klasificirani kao šljunkoviti pijesak s iznimkom uzorka D1 koji je klasificiran kao šljunkovito muljeviti pijesak, te D5 i D6 u kojima je prisutnost šljunka nešto manja nego u ostalim uzorcima. U uzorcima dominira vrlo krupnozrnasti do krupnozrnasti pijesak.



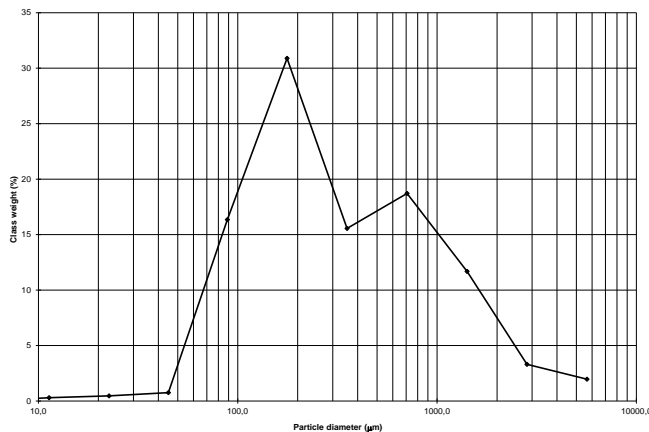
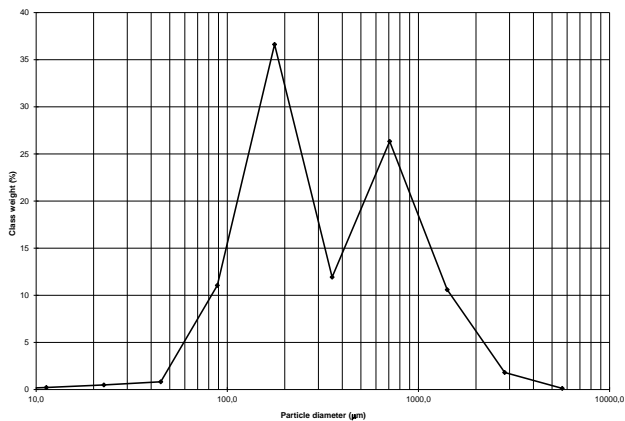
Slika 12: Trokomponentni dijagram za uzorke od D1 do D12



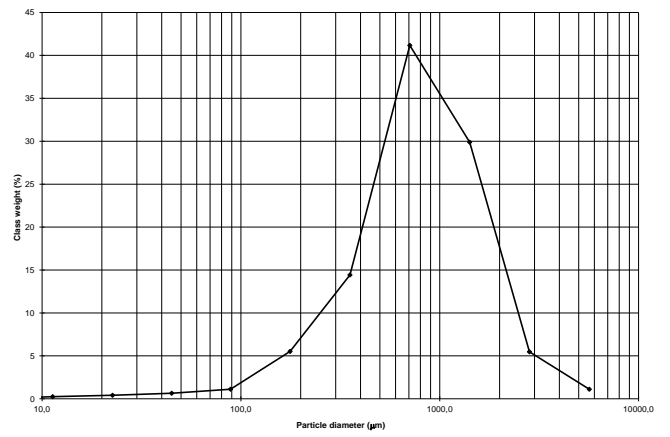
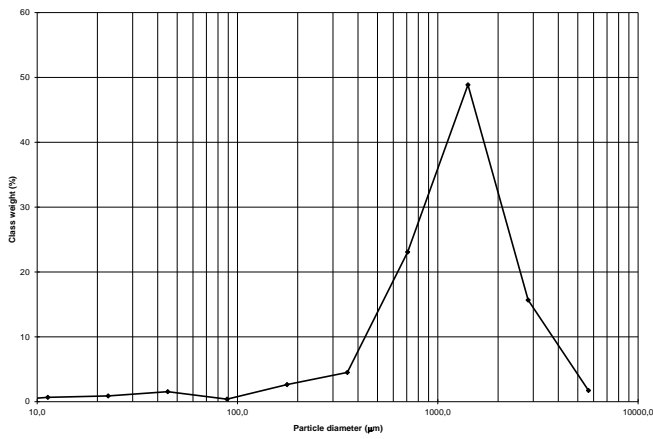
Slike 13 i 14: Krivulje raspodjele veličine zrna za uzorak D1 (lijevo) i D2 (desno)



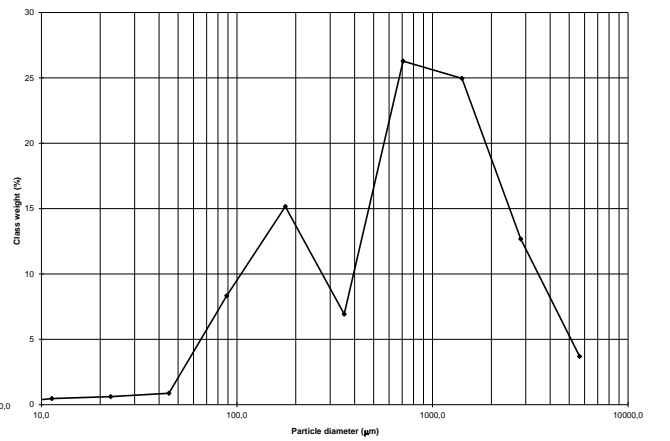
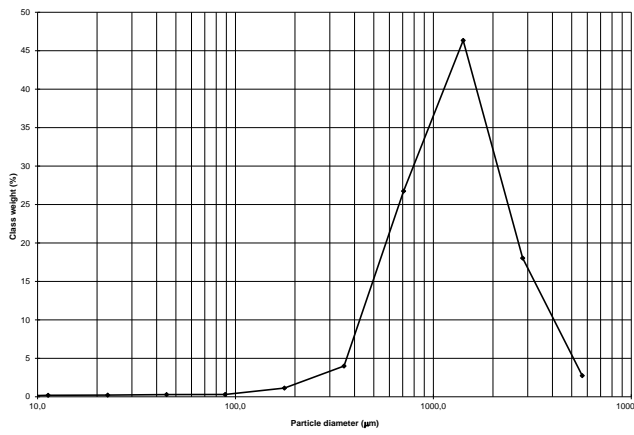
Slike 15 i 16: Krivulje raspodjele veličine zrna za uzorak D3 (lijevo) i D4 (desno)



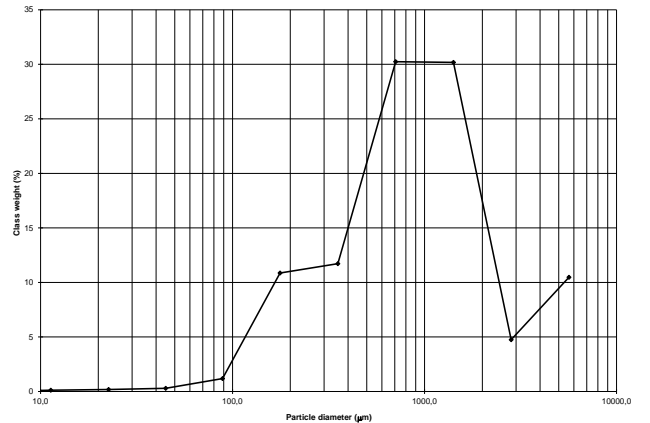
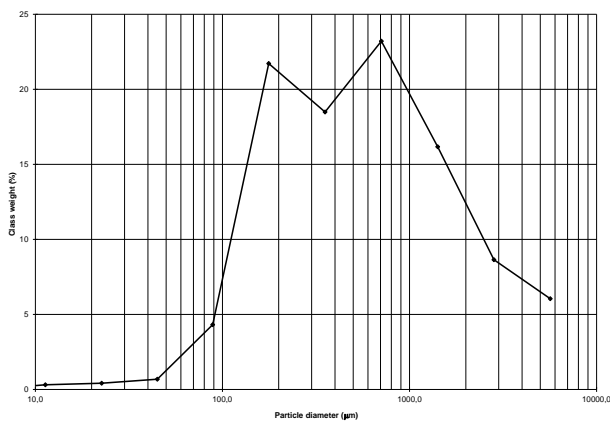
Slike 17 i 18: Krivulje raspodjele veličine zrna za uzorak D5 (lijevo) i D6 (desno)



Slike 19 i 20: Krivulja raspodjele veličine zrna za uzorak D7 (lijevo) i D8 (desno)



Slike 21 i 22: Krivulja raspodjele veličine zrna za uzorak D9 (lijevo) i D10 (desno)



Slike 23 i 24. Krivulja raspodjele veličine zrna za uzorak D11 (lijevo) i D12 (desno)

Svi uzorci su vrlo loše do loše sortirani s iznimkom uzorka D9 koji je umjereno sortirani, što je vidljivo iz σ vrijednosti (Tablica 1). Najveću srednju veličinu zrna ima uzorak D9 ($D_{50}=1291,9\mu\text{m}$), a najmanju uzorak D5 ($D_{50}=263,0\mu\text{m}$). Također, najveću prosječnu veličinu zrna ima uzorak D9 ($\bar{x}=1260,9\mu\text{m}$), a najmanju uzorak D5 ($\bar{x}=317,8\mu\text{m}$). Iz dobivenih vrijednosti veličina zrna i sortiranoosti primjećuje se da uzorci koji su krupniji, tj. imaju veće vrijednosti srednje i prosječne veličine zrna, bolje su sortirani.

Tablica 1: Iznosi srednje (D_{50}) i prosječne veličine (\bar{x}) zrna te sortiranoosti (σ) za sve uzorke (D1-D12)

UZORAK	D_{50} (μm)	\bar{x} (μm)	σ (ϕ)
D1	745,5	536,5	2,622
D2	1181,2	1240,2	1,064
D3	796,5	753,4	1,265
D4	893,2	948,0	1,121
D5	263,0	317,8	1,358
D6	265,3	319,9	1,534
D7	1259,7	1163,4	1,102
D8	796,6	778,8	1,110
D9	1291,9	1260,9	0,952
D10	796,9	642,5	1,749
D11	565,1	570,6	1,668
D12	900,0	814,1	1,463

4.2. Udio karbonatne komponente

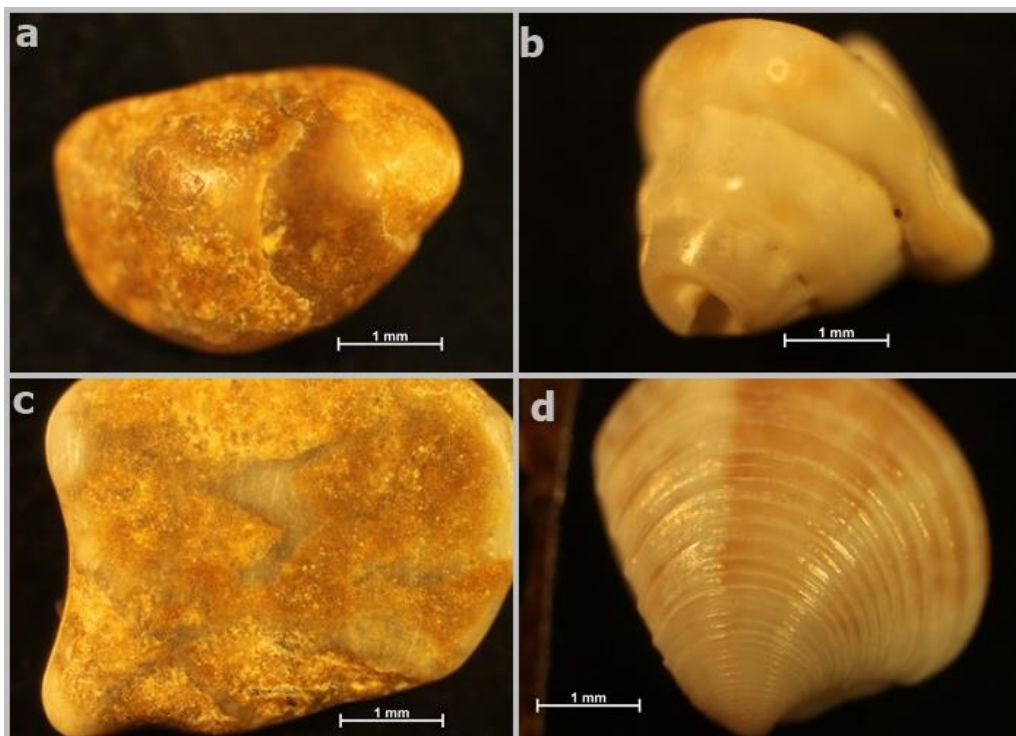
Iz udjela karbonatne komponente u uzorcima (Tablica 2) vidljivo je da su uzorci generalno vrlo karbonatni. Općenito primjećuje se povećanje udjela karbonata od D1 do D4, smanjenje u uzorku D5 i povećanje do D9, ponovno smanjenje u uzorku D10 i povećanje do D12.

Tablica 2: Udjeli karbonatne komponente za sve uzorke (D1-D12)

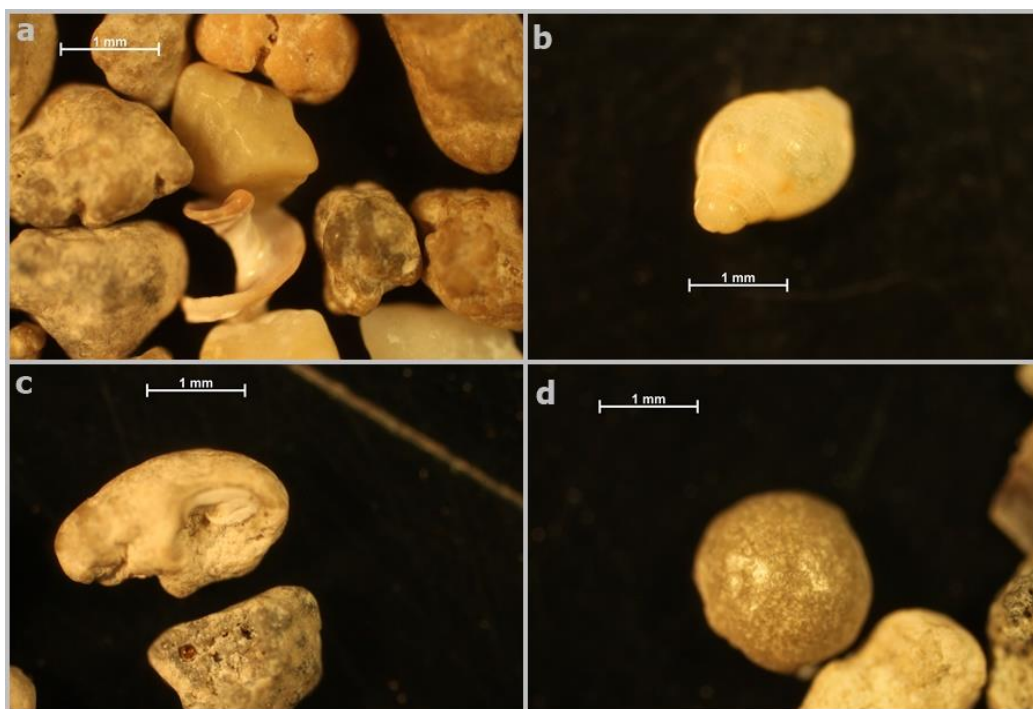
Uzorak	%CaCO ₃
D1	87,75
D2	93,36
D3	91,94
D4	93,56
D5	72,24
D6	78,23
D7	94,89
D8	94,30
D9	95,92
D10	85,75
D11	86,93
D12	93,12

4.3. Rezultati mikroskopske analize

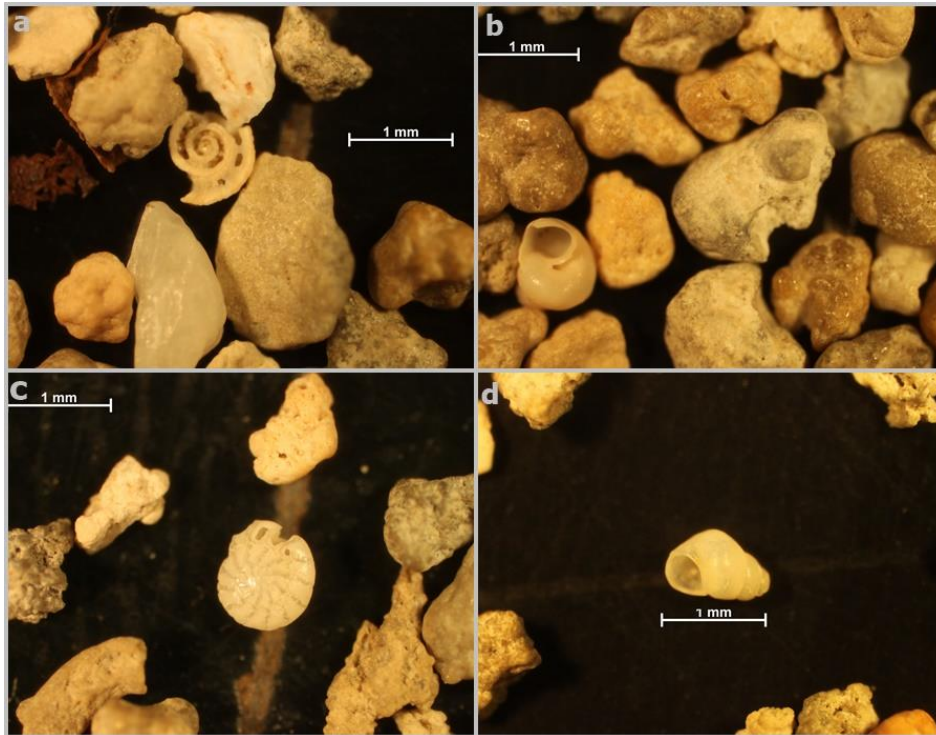
S obzirom da oblik, očuvanost i udjeli litoklasta i bioklasta u frakcijama uzoraka nisu mnogo varirali, izdvojene su reprezentativne mikrofotografije za svaku pojedinu frakciju (Slike 24-29). U uzorcima prevladavaju litoklasti, sa mjestimičnom pojavom bioklasta u vidu fosiliziranih fragmenata organizama, te izrazito dobro očuvanih i fragmentiranih skeleta recentnih organizama. Prisutnost recentnih bioklasta je veća u krupnijim frakcijama i smanjuje se idući prema sitnijim. Zrna litoklasta u većim frakcijama (vrlo sitni šljunak do krupni pijesak) su istrošena i zaobljena, a idući prema manjim frakcijama zaobljenost se smanjuje. Od recentnih bioklasta prisutni su fragmenti skeleta školjkaša, puževa, mahovnjaka, ostrakoda i foraminifera. Na slikama je evidentno da se zrna kvarca u većem broju pojavljuju u frakcijama sitnog pijeska.



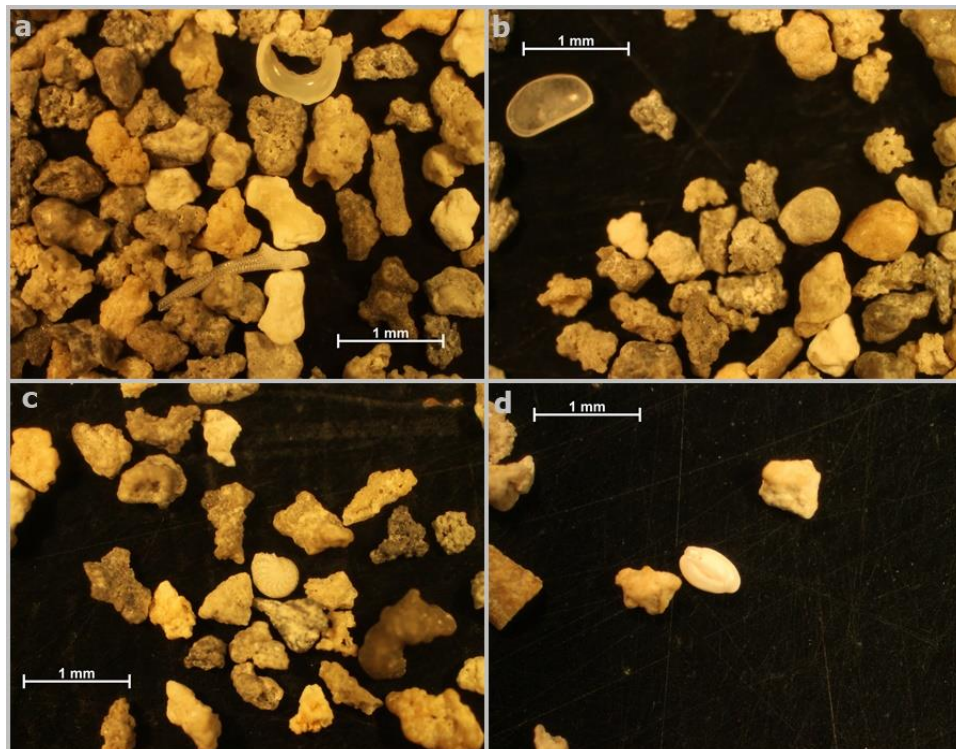
Slika 25: Frakcija vrlo sitnog šljunka (2-4mm): a,c - zaobljena zrna litoklasta; b,d - skelet puža i školjkaša



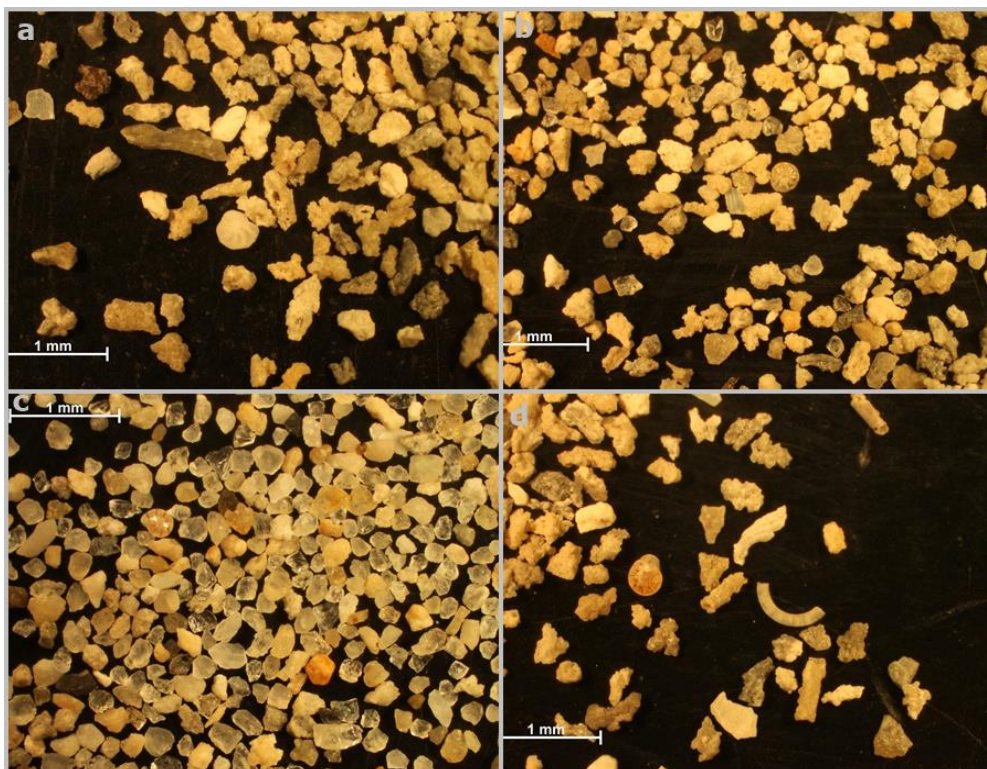
Slika 26: Frakcija vrlo krupnog pijeska (1-2mm): a-fragment puža okružen istrošenim zrnima litoklasta; b-skelet puža; c-litoklast sa fosiliziranom foraminiferom iz obitelji Milioidae; d-zaobljeni litoklast (fosilni bioklast?)



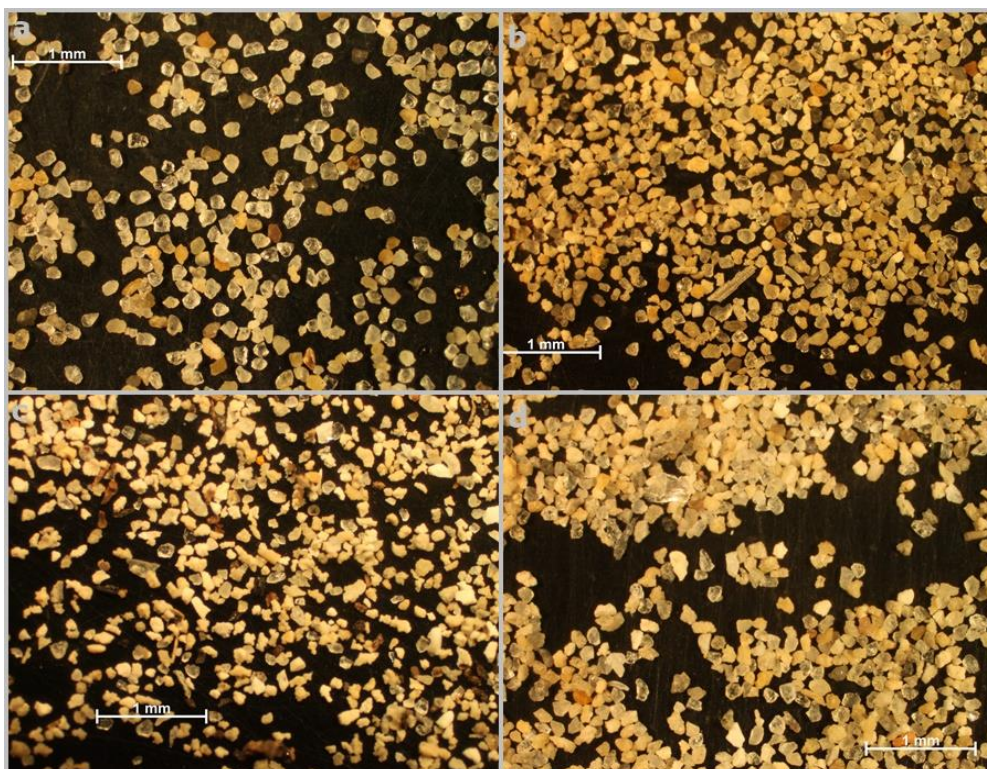
Slika 27: Frakcija krupnog pijeska (0,5-1mm); a-fragment puža okružen litoklastima i aglutiniranim zrnima; b,d-skelet puža; c-foraminifera iz roda *Elphidium*



Slika 28: Frakcija srednje zrnastog pijeska (0,25-0,5mm): a-fragment mahovnjaka; b-skelet ostrakoda; c-foraminifera iz roda *Elphidium*; d- foraminifera iz obitelji Milioidae



Slika 29: Frakcija sitnog pijeska (0,125-0,25mm): prisutne foraminifere i fragmenti organizama uz litoklaste. Slika c – primjetljiviji udio kvarca u uzorcima.



Slika 30: Frakcija vrlo sitnog pijeska (0,063-0,125mm). Vidljiva je dominacija kvarcnih zrna.

5. Rasprava

Iz rezultata analize određivanja veličine zrna vidljivo je da su uzorci većinom opisani kao šljunkoviti pijesak, s iznimkama D1 (muljevito šljunkoviti pijesak), te D5 i D6 (slabo šljunkoviti pijesak). Uzorci su izrazito loše do loše sortirani, što je prikazano koeficijentom sortiranosti (σ) (Tablica 1) i krivuljama raspodjele veličine čestica (Slike 12-23). Iz srednjih i prosječnih veličina zrna (Tablica 1) uočeno je da postoji razlika u udjelima frakcija među perima, te da je generalni trend pokrupnjavanja čestica od istoka prema zapadu. Može se pretpostaviti da je na ovu raspodjelu veličina zrna utjecaj imala duž-obalna struja kojoj je smjer kretanja od jugo-istoka prema sjevero-zapadu. Općenito, veličine zrna su usporedive s podacima koje su objavili PIKELJ i dr. (2014). Iznimke su područja između uzoraka D6 i D7, te D8 i D9 gdje je situacija obrnuta. Raspon udjela karbonatne komponente u uzorcima je od 85,75% do 95,92% (Tablica 2). Uočen je trend povećanja udjela karbonatne komponente od uzorka D1 do uzorka D4, smanjenje na D5 i povećanje do D9, te opet smanjenje u uzorku D10 i povećanje do D12. Može se zaključiti da je u uzorcima sa manjim udjelom karbonata prisutno više siliciklastične komponente. Uspoređujući rezultate iz tablica 1 i 2 primjećuje se da krupniji uzorci imaju veći udio karbonata od sitnijih, tako uzorak sa najvećom srednjom i prosječnom veličinom zrna (D9) ima i najveći udio karbonatne komponente (95,92%), dok uzorak D5 ima najmanju srednju i prosječnu veličinu zrna i najmanji udio karbonata (85,75%). Mikroskopska analiza pokazala je da su zrna istrošena i zaobljena, vrlo vjerojatno uslijed djelovanja valova. Prisutnost bioklasta je veća u krupnijim frakcijama nego u sitnim, dok u sitnim frakcijama dominiraju zrna kvarca. To nam ukazuje da je sediment plaže većinom terigenog porijekla i to sa velikim udjelom karbonata. To nije neobično, jer rijeka Cetina donosi sediment iz svog pretežito karbonatnog zaleđa. Ipak, prema PIKELJ i dr. (2014), značajna količina sedimentnog materijala vrlo vjerojatno dolazi iz paleogenskih klastita u donjem toku drenažnog bazena Cetine, koji se sastoji u velikoj mjeri od karbonatnih klastita (PIKELJ i dr., 2014).

Prema CELIKOĞLU i dr. (2004) sortiranje sedimenta ovisi o karakteristikama valova koji prilaze obali. Kada val prilazi pod nekim kutom na obalu, dolazi do razvoja duž-obalne struje, te njome do duž-obalnog transporta sedimenta. Sitnija zrna se prenose u smjeru kretanja struje i zatim se talože kada naiđu na prepreku, u ovom slučaju pera (Slika 3). Zbog toga se očekuje da će se srednja i prosječna veličina zrna među perima i

generalno od ušća do kraja područja uzorkovanja smanjivati i time ukazivati na smjer kretanja duž-obalne struje. S obzirom da je uzorkovanje provedeno u rano proljeće, odnosno nakon niza olujnih juga koja su karakterizirala jesen-zimu 2020., kao i zimu-proljeće 2021., očekuje se da su dominantni valovi uzrokovani jugom, tj. da dolaze na obalu iz smjera jugoistoka (Slika 7). Dakle, očekivana promjena veličine zrna je positnjavanje prema sjeverozapadu. Iako širina plaže prije i nakon pera zaista jest različitih debljina i posljedica je duž-obalne struje (Slike 8-11), neki od uzoraka odstupaju od očekivanog trenda positnjavanja prema sjeverozapadu.

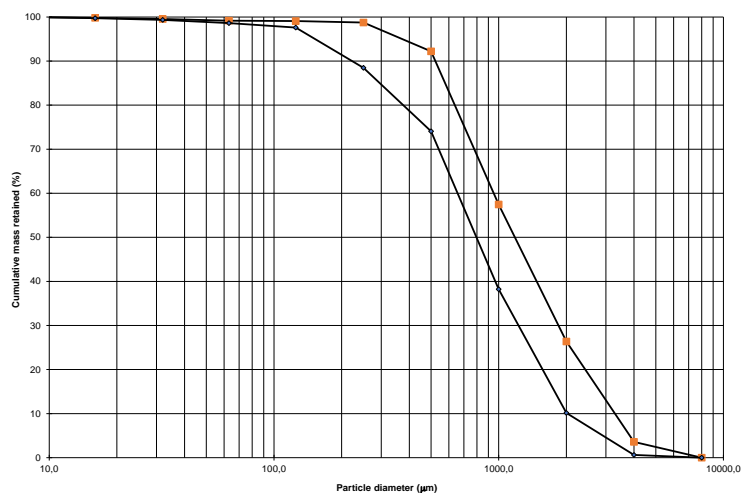
Lokacija uzorkovanja D1 zavučena je uvala (Slika 8) koja nije toliko izložena utjecaju samih valova te je pogodna za taloženje sitnijeg sedimenta. Nadalje, lokacija uzorka D1 je u velikoj mjeri najzaštićenija lukobranom s lijeve strane rijeke Cetine, pa je za očekivati da je ovdje direktan utjecaj valova juga najmanji. Osim toga uzorak D1 se nalazi najbliže ušću, pa se može očekivati da je u stupcu vode općenito prisutna veća količina muljevite frakcije koju donosi rijeka Cetina. Na tu mogućnost ukazuje i činjenica da uzorak D1 jedini sadrži značajniju količinu muljevite frakcije (15,6%; Slike 12 i 13). Prostor između uzoraka D1 i D2 sadrži nekoliko manjih pera i nije moguće jednoznačno opisati razlike među tim sedimentima.

Uzorci D2 i D3 se nalaze unutar jednog većeg segmenta plaže u kojem postoje dva kraća i tanja pera, no prema slici 8 njihov utjecaj se čini minimalan. Vidljiva je razlika u debljini plaže na lokaciji D2 u odnosu na D3. Takva razlika u debljini vizualno ukazuje na transport materijala prema zapadu, a to potvrđuje i razlika u distribuciji frakcija, te srednja i prosječna veličina zrna D2 i D3. S obzirom na položaj obale (SZ-JI) očito je da dominantni valovi dolaze pod kutom. Identična situacija primijećena je i za uzorke na lokacijama D4 i D5, te D10 i D11 (Tablica 1, Slike 8, 9, 12).

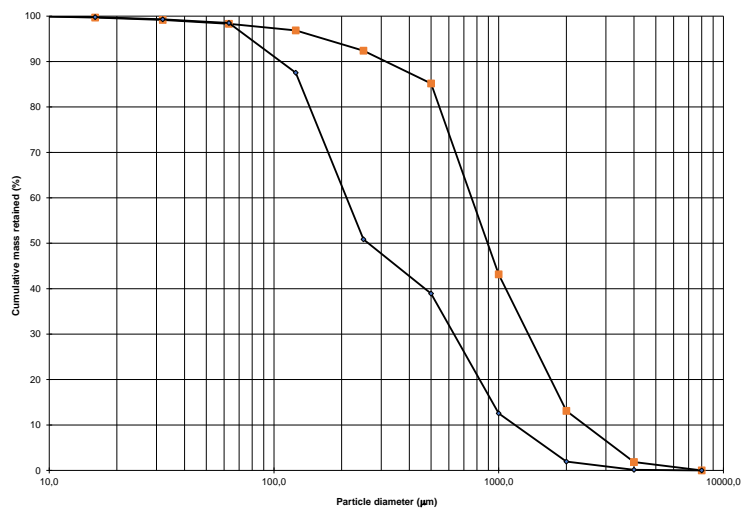
Kod lokacija D6 i D7, te D8 i D9 rezultati analize veličine zrna pokazali su suprotan trend među perima (Tablica 1, Slike 9,10, 12, 18–21). Između ova dva para uzoraka sitniji materijal je zastupljen na zapadu, a prema istoku dominiraju prosječno krupnija zrna. Iz slika 8-9 vidljivo je da su segmenti obale na dijelu gdje su lokacije D6 i D7 te D8 i D9 orijentirani međusobno identično, ali različito od ostatka promatranog dijela obale. Može se zaključiti da je orijentacija utjecala na razvoj duž-obalne struje u suprotnom smjeru na tom dijelu plaže. Isto tako, sa slike 8 je vidljivo da je dužina pera kod lokacije D7 nešto veća od dužina ostalih pera, tj. da je pero isturenije prema moru, pa se

može pretpostaviti da je to isto faktor koji može utjecati na generiranje duž-obalne struje u suprotnom smjeru od očekivanog.

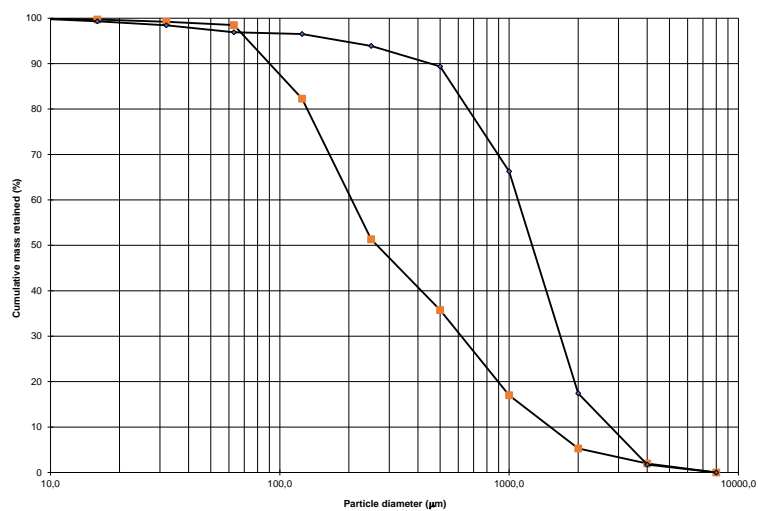
Na lokaciji D12 (Slika 11) valovi prilaze obali gotovo okomito, što znači da nema razvoja duž-obalne struje na tom području ili je njen utjecaj minimalan. Na to ukazuje i činjenica da upravo ovdje završava prostor pješčanih plaža u Dućama, te očito pijesak nije mogao biti dalje transportiran duž obale. Zaista, prirodne plaže u nastavku obale su šljunčane (pr. plaža Glavica-Dugi Rat), gdje pijesak nije pokrov na morskom dnu sve do dubina od 10 m, već je to šljunak prosječnih veličina oko pet cm. Usporedba kumulativnih krivulja na lokacijama uzoraka između pera daju još bolji uvid u raspodjelu sedimenta i utjecaj duž-obalne struje (Slike 30-34).



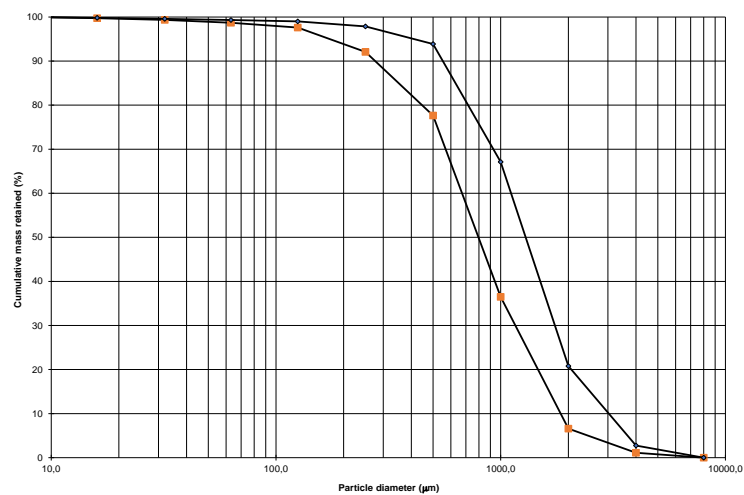
Slika 31: Kumulativne krivulje uzoraka D2 (narančasto) i D3 (plavo)



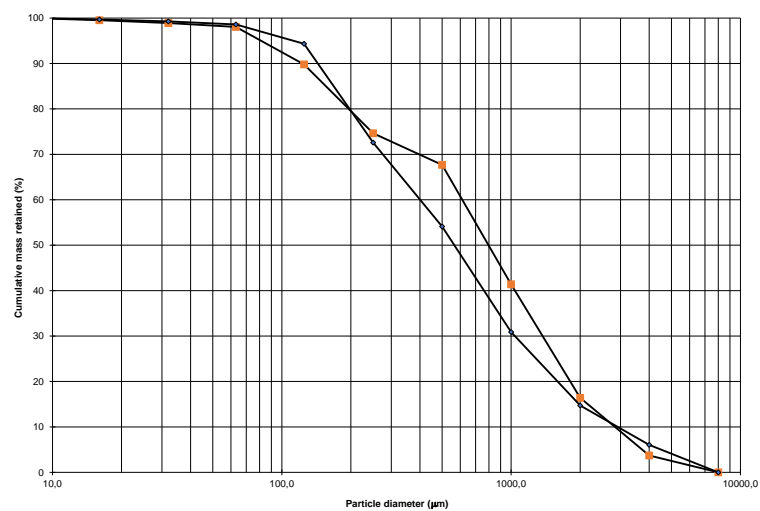
Slika 32: Kumulativne krivulje uzoraka D4 (narančasto) i D5 (plavo)



Slika 33: Kumulativne krivulje uzoraka D6 (narančasto) i D7 (plavo)

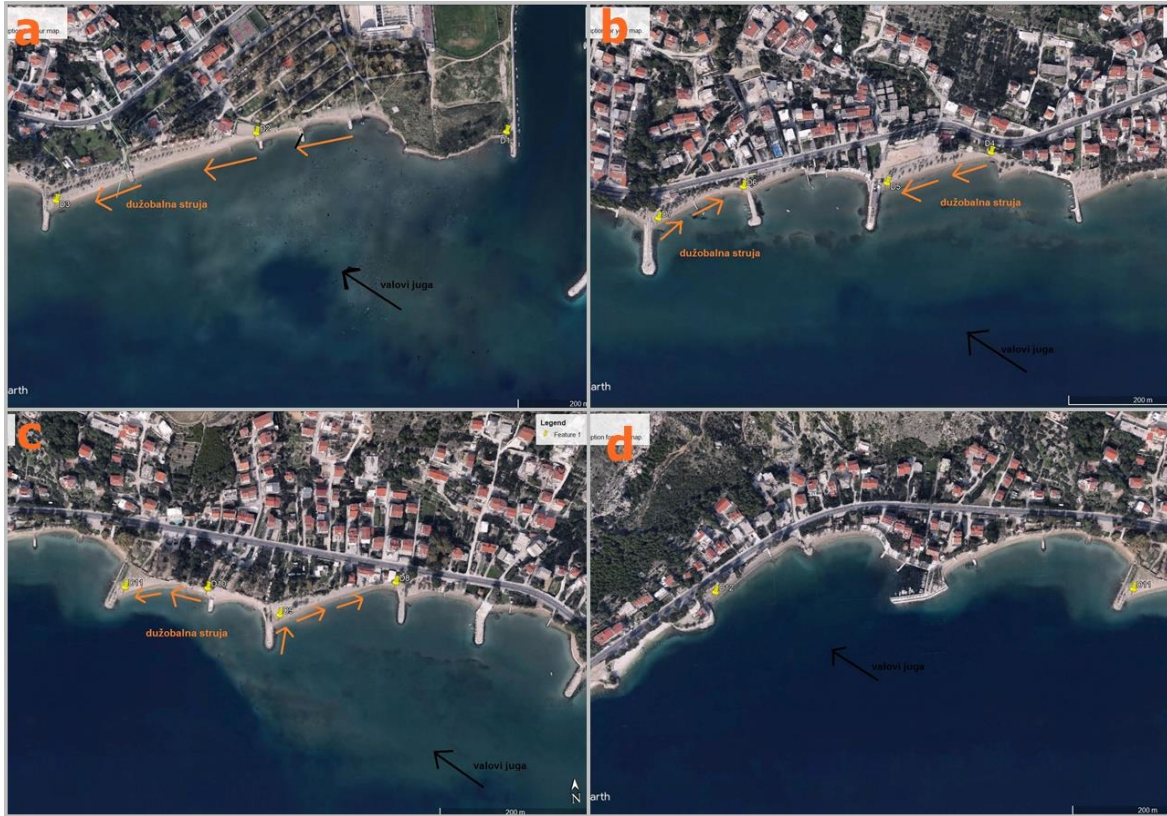


Slika 34: Kumulativne krivulje uzoraka D8 (narančasto) i D9 (plavo)



Slika 35: Kumulativne krivulje uzoraka D10 (narančasto) i D11 (plavo)

Na idućim slikama ucrtan je pretpostavljeni smjer kretanja duž-obalne struje na temelju dobivenih rezultata analiza. Raspored pera i položaj obale utječu na refrakciju valova te samim time na razvoj i smjer kretanja struje i transporta sedimenta.



Slika 36: Smjer kretanja duž-obalne struje duž plaže Duće (Izvor: Google Earth)

6. Zaključak

Pješčana plaža Duće jedna je rijetkih prirodnih pješčanih plaža na istočnoj obali Jadranskog mora, ukoliko se promatra duljina obale i ukupan broj malih, uglavnom šljunčanih džepnih plaža. Nalazi se u Kaštela-Ploče fliškoj zoni u kojoj je karakterističan razvoj šljunčanih plaža, kao što su to primjerice plaže u Makarskoj i Brelima. Takve plaže odraz su lokalnog sastava fliške serije, u čijoj se u podini nalaze karbonatne breče. Plaža Duće je iznimka zbog toga što je dominantno porijeklo sedimenta plaže pijesak koji je donijela rijeka Cetina. Taj pijesak prenošen je utjecajem valova i duž-obalnih struja te taložen na fliškoj podlozi duž obale i to očito u generalnom smjeru od jugoistoka prema sjevero-zapadu, što ukazuje na dominantan utjecaj valova generiranih jugom u duljem vremenskom periodu. Analizom uzoraka na 12 lokacija zaključeno je da duž-obalna struja među perima ima drugačije trendove kretanja i prenošenja sedimenta, iako je njen generalni smjer od jugo-istoka prema sjevero-zapadu. Raspored pera i sama orijentacija obale doprinose načinu na koji će se struja kretati i da li će biti mikro-lokalnih promjena unutar svakog segmenta obale. Generalni trend smjera duž-obalne struje uočen je na prvih pet lokacija, odnosno uočen je trend generalnog positnjavanja zrna idući dalje od ušća Cetine. Taj trend je suprotan među lokacijama D6 i D7, te opet na D10 i D11 lokaciji dolazi do positnjavanja zrna, tj. karakteristike sedimenta ukazuju na kretanje duž-obalne struje u smjeru zapada. Mikroskopska analiza te udio karbonatne komponente također su ukazali na smjer transporta sedimenta u segmentima plaža među perima. Uzorak sa manjim udjelom karbonata u sebi sadrži veći udio vrlo sitno zrnastog pijeska jer se mikroskopskom analizom pokazalo da u toj frakciji dominiraju kvarcna zrna.

7. 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.
- CELIKOGĻU, Y., YUKSEL, Y., KABDAŐH, M. S. (2004): Longshore sorting on a beach under wave action. Department of Civil Engineering, Yildiy Tehnical University, Istanbul, Turkey
- FOLK, R. L. & WARD, W. C. (1957): Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27, 3-26.
- HHI, (2002): Peljar za male brodove, II. Dio. urednik Zvonko Gržetić, Hrvatski Hidrografski Institut, Split, Slobodna Dalmacija, Hrvatska, 269
- KATALINIĆ, M., PARUNOV J. (2014): Pregled klimatskih prilika u Jadranskom moru. Zbornik radova simpozija Sorta 2014, Rijeka
- MARINČIĆ, S. (1981): Eocenski fliš jadranskog pojasa. *Geološki vjesnik*, 34, UDK: 551.781:552.5, Zagreb, 27-38
- MARINČIĆ, S., KOROLIJA, B., MAJCEN, Ź., (1976): Osnovna geološka karta 1:100 000 list Omiš, SGZ, Zagreb – IGI, Beograd.
- MARINČIĆ, S., KOROLIJA, B., MAJCEN, Ź., (1969): Tumač osnovne geološke karte 1:100 000 za list Omiš, SGZ, Zagreb – IGI, Beograd.
- MICROMERITICS (2002): SediGraph 5100 Particle size analysis system operator' manual, Micromeritics Instrument Corporation, Norcross, Georgia.
- PIKELJ, K., JURAČIĆ, M. (2013): Eastern Adriatic coast (EAC): Geomorphology and coastal vulnerability of a karstic coast. *Journal of Coastal Research*, 29(4), 944–957. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.
- PIKELJ, K., KOVAČIĆ, M., CVETKO TEŐOVIĆ, B. (2014): Geological control of beach sediment in the Kastela-Ploce flysch zone. *Proceedings of the 5th International Symposium Monitoring of Mediterranean coastal areas: problems and measurement techniques*, Livorno, Italy

[URL 1] https://www.tulane.edu/~sanelson/Natural_Disasters/coastalzones.htm

(pristupljeno 6.9.2021.)

[URL 2] <https://proleksis.lzmk.hr/24779/> (pristupljeno 8.9.2021.)

[URL 3] <https://morski.hr/2019/11/13/nakon-33-godine-izmjeren-rekordno-najvisi-val-na-jadranu/> (pristupljeno 6.9.2021.)

[URL 4] <https://camping-simuni.hr/hr/blog/rafting-na-rijeci-cetini/> (pristupljeno 8.9.2021.)