

# Utjecaj prakse nasipavanja i dohranjivanja plaža hrvatske obale na pridnene biocenoze plitkog mora

---

**Bezic, Dolores**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:536096>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-18**



*Repository / Repozitorij:*

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Dolores Bezik

**UTJECAJ PRAKSE NASIPAVANJA I  
DOHRANJIVANJA PLAŽA HRVATSKE  
OBALE NA PRIDNENE BIOCENOZE PLITKOG  
MORA**

Diplomski rad

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOLOŠKI ODSJEK

Dolores Bezik

**UTJECAJ PRAKSE NASIPAVANJA I  
DOHRANJIVANJA PLAŽA HRVATSKE  
OBALE NA PRIDNENE BIOCENOZE PLITKOG  
MORA**

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

Mentor:  
doc. dr.sc. Kristina Pikelj  
izv. prof. dr. sc. Petar Kružić

Zagreb, 2022.

## IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Ja, DOLORES BEZIK, student/ica Prirodoslovno-matematičkog  
fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, s prebivalištem na adresi  
LIJEŠĆE 49, ZAGREB, OIB 77130461434,  
JMBAG 0119038849, ovim putem izjavljujem pod materijalnom i kaznenom  
odgovornošću da je moj završni diplomski/doktorski rad pod naslovom:  
UTJECAJ PRAKSE NASIPAVANJA I DOHRANJIVANJA  
PLAŽA HRVATSKE OBALE NA PRIDNENE BIOCENOZE  
PLITKOG MORA, isključivo moje autorsko djelo, koje je u  
potpunosti samostalno napisano uz naznaku izvora drugih autora i dokumenata korištenih u radu.

U Zagrebu, 25. siječnja 2022.

Dolores Bezik

Potpis

*Hvala mentorima na pruženoj prilici izrade ovog diplomskog rada.*

*Hvala mentoru izv. prof. dr. sc. Petru Kružiću na prikupljenim uzorcima i pristupačnosti. Najveće hvala mentorici doc. dr. sc. Kristini Pišelj na beskrajnom strpljenju i razumijevanju kao i na pomoći i bezbrojnim savjetima. Bio mi je užitak surađivati s Vama, hvala što ste me vodili kroz cijeli proces, ohrabivali i što ste uvijek bili dostupni.*

*Vječna hvala mojim roditeljima, tati Dragi i mami Elviri, na svemu što su mi pružili u životu kao i na bezuvjetnoj ljubavi, brižnosti i podršci. S mnom ste proživljavali sve najbolje, ali i najteže. Ovo postignuće posvećujem vama.*

*Najljepše hvala mom zaručniku Domagoju što je uvijek vjerovao u mene, volio me i bodrio. Uz mene si naučio sigurno pola onoga što sam i ja morala.*

*Dragoj kolegici i prijateljici Danijeli zahvaljujem na brizi, prijateljstvu i svim lijepim i zabavnim trenucima tijekom studiranja.*

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Diplomski rad

### UTJECAJ PRAKSE NASIPAVANJA I DOHRANJIVANJA PLAŽA HRVATSKE OBALE NA PRIDNENE BIOCENOZE PLITKOG MORA

**Dolores Bezik**

**Rad je izrađen u:** Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Geološki odsjek (Zagreb, Horvatovac 102a) i na Institutu Ruđer Bošković (Zagreb, Bijenička cesta 54) u sklopu diplomskog studija Znanosti o okolišu

**Sažetak:** Cilj diplomskog rada bio je utvrditi promjene pridnenih taložnih okoliša i asociranih biocenoza nakon prakse nasipavanja i dohranjivanja plaža na šest lokacija hrvatske obale. Za to su istraživanje korištene metode analiza veličine zrna sedimenta, određivanje udjela karbonata u sedimentu, određivanje udjela organske tvari i analiza sastava i stanja pridnenih biocenoza. Procijenilo se stanje pridnenih biocenoza, ocijenila prikladnost materijala za nasipavanje, a i predložene su smjernice za korekciju budućih zahvata nasipavanja i dohranjivanja. Na 3 od ukupno 6 istraživanih plaža vidljiv je utjecaj provedene prakse. Na morskom dnu kod plaža Osejava i Podgora radi se o negativnom utjecaju dok je na Žnjanu utjecaj relativno pozitivan. Za morsko dno kod plaže u Omišu, Bratušu i Promajni nije vidljiv utjecaj prakse te su potrebna dodatna istraživanja.

**Ključne riječi:** nasipavanje, istočna jadranska obala, fliš

**Rad sadrži:** 50+VI stranica, 37 slika, 5 tablica i 22 literaturna navoda

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Rad je pohranjen u:** Središnja biološka knjižnica, Biološki odsjek, PMF

**Mentor(i):** doc. dr. sc. Kristina Pikelj, PMF, Zagreb  
izv. prof. dr. sc. Petar Kružić, PMF, Zagreb

**Ocjenjivači:** doc. dr. sc. Kristina Pikelj, PMF, Zagreb  
izv. prof. dr. sc. Petar Kružić, PMF, Zagreb  
doc. dr. sc. Ivan Čanjevac, PMF, Zagreb  
doc. dr. sc. Zorica Petrincec, PMF, Zagreb

**Datum završnog ispita:** 25.2.2022.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geology

Graduate Thesis

### THE IMPACT OF BEACH NOURISHMENT AND REPLENISHMENT PRACTICES ON BENTHIC BIOCENOSES ALONG THE CROATIAN COAST

**Dolores Bezik**

**Thesis completed in:** Faculty of Science University of Zagreb, Department of Geology (Zagreb, Horvatovac 102a) and in the Ruđer Bošković Institute (Zagreb, Bijenička cesta 54) in the context of the graduate study of Environmental Sciences

**Abstract:** The aim of the thesis was to determine changes in sedimentary environments and associated biocenoses after the beach nourishment and replenishment on six locations on the Croatian coast. For this purpose, sediment grain size, carbonate content in sediment, organic matter content and composition and condition of benthic biocenoses were analyzed. The condition of benthic biocenoses and the suitability of the material for the practice were assessed and guidelines for the correction of future practice were proposed. On 3 of the 6 researched beaches the impact of practice is visible. The sea bottom near Osejava and Podgora are under negative impact while Žnjan is under relatively positive impact. For the seabed near beaches in Omiš, Bratuš and Promajna the impact of the practice is not visible and additional research is needed.

**Keywords:** nourishment, eastern Adriatic coast, flysch

**Thesis contains:** 50+VI pages, 37 figures, 5 tables and 22 references

**Original in:** Croatian

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

**Supervisor:** Kristina Pikelj, Ph.D. Assistant professor, PMF, Zagreb  
Petar Kružić, Ph.D. Associate Professor, PMF, Zagreb

**Reviewers:** Kristina Pikelj, Ph.D. Assistant professor, PMF, Zagreb  
Petar Kružić, Ph.D. Associate Professor, PMF, Zagreb  
Ivan Čanjevac, Ph.D. Assistant professor, PMF, Zagreb  
Zorica Petrincec, Ph.D. Assistant professor, PMF, Zagreb

**Date of the final exam:** 25th February, 2022

## Sadržaj

1. Uvod .....	1
2. Pregled dosadašnjih istraživanja .....	5
2.1. Geološka situacija istraživanog područja.....	9
2.2. Biološka situacija istraživanog područja .....	11
3. Materijali i metode istraživanja.....	13
3.1. Uzorci.....	13
3.2. Laboratorijski rad .....	14
3.2.1. Metoda analize veličine zrna sedimenta (granulometrija) .....	14
3.2.2. Metoda određivanja udjela karbonata u sedimentu.....	17
3.2.3. Metoda žarenja.....	19
3.2.4. Analiza sastava i stanja pridnenih biocenoza .....	20
4. Rezultati .....	21
4.1. Analiza sedimenta .....	21
4.1.1. Analiza veličine zrna.....	21
4.1.2. Određivanje udjela karbonata u sedimentu .....	28
4.1.3. Određivanje udjela organske tvari .....	29
4.2. Biološki rezultati .....	30
4.2.1. Istraživane postaje.....	30
4.2.1.1. Plaža Žnjan.....	30
4.2.1.2. Plaža Omiš.....	32
4.2.1.3. Plaža Promajna .....	34
4.2.1.4. Plaža Bratuš.....	34
4.2.1.5. Plaža Osejava .....	36
4.2.1.6. Plaža Podgora.....	38



4.2.2. Analiza sastava i stanja životnih zajednica na istraživanim postajama.....	39
5. Rasprava.....	42
6. Zaključak.....	47
7. Literatura.....	49
8. Prilozi.....	VI
8.1. Prilog 1.....	VI

## **1. Uvod**

Erozija obala je prirodna pojava koja se događa diljem svijeta, a posljedica je prirodnih i antropogenih faktora (CHARLIER i DE MEYER, 1995). Ovi faktori dovode do toga da se obalni prostor, iznimno dinamičan okoliš koji se brzo mijenja (PIKELJ i JURAČIĆ, 2013), sve više povlači prema unutrašnjosti (LEEWIS i sur., 2012). Ovime su najviše ugrožene plaže koje su na obali prisutne kao jedan od najčešćih obalnih oblika. Plaže su mjesta ljudske aktivnosti, turizma i rekreacije, ali i životni prostor i gnjezdilište brojnih organizama (LEEWIS i sur., 2012). Plaže su rezultat stijena podloge i djelovanja mora na njih, a u novije vrijeme su značajno pritisnute prirodnim obalnim procesima (erozija i dr.). S druge strane, s kopna je sve veći antropogeni pritisak na njih (velike koncentracije stanovništva i gospodarstva na obali) (HOBBS, 2007; LEEWIS i sur., 2012; PIKELJ i JURAČIĆ, 2013). Zbog ovih pritisaka, plaže jednostavno nemaju mjesta za daljnju prirodnu migraciju prema kopnu nego su ograničene, smanjuju se i polako nestaju (HOBBS, 2007; LEEWIS i sur., 2012; PIKELJ i JURAČIĆ, 2013).

Prirodni faktori koji uzrokuju eroziju obala su djelovanje valova, morskih mijena i struja, oluja i promjena morske razine (posljedica globalnog zagrijavanja) ((BOUDOURESQUE i sur., 2016; CHARLIER i DE MEYER, 1995; HOBBS, 2007). U antropogene faktore spada rudarenje podmorskih resursa i plaža, iskapanje pijeska, šljunka ili mulja (jaružanje), uklanjanje naslaga morskih cvjetnica, gradnja raznih morskih struktura kao i gradnja „tvrdih“ rješenja za zaštitu obala (BOUDOURESQUE i sur., 2016; CHARLIER i DE MEYER, 1995; HOBBS, 2007). Ovi faktori zajedno dovode do erozije, tj. do značajnog gubitka sedimenta i povlačenja plaža i to je prirodna i neizbježna pojava koja se ne može zaustaviti (BOUDOURESQUE i sur., 2016; CHARLIER i DE MEYER, 1995; HOBBS, 2007). Iako se ne može zaustaviti, erozija obala može se donekle ublažiti/ usporiti i izgubljeni materijal se može nadomjestiti određenim mjerama (CHARLIER i DE MEYER, 1995). Takve se mjere provode na plažama koje čovjeku imaju ekonomsku ili rekreacijsku svrhu ili u svrhu očuvanja staništa brojnih organizama, ali i očuvanja same obale (CHARLIER i DE MEYER, 1995; HOBBS, 2007).

Prvotno se erozija pokušavala riješiti tzv. „tvrdim“ rješenjima (lukobrani, zidovi, betonski blokovi i druge konstrukcije) (PIKELJ i sur., 2017a) no, takva su rješenja zahtijevala često održavanje, lako su bivala uništena uslijed djelovanja mora (CHARLIER i DE MEYER, 1995) i čak je dolazilo do još većeg gubitka sedimenta. Naime, tvrda rješenja ometaju prirodne procese premještanja sedimenta duž obale te uzrokuju nakupljanje sedimenta na dijelovima na kojima se on prije nije nakupljao (HOBBS, 2007). Uzrok tomu je taj što tvrda rješenja stabiliziraju obalnu liniju i područja koja su ispred njih čime smanjuju prirodnu interakciju mora i donosa novog sedimenta (HOBBS, 2007).

U zadnjih nekoliko desetljeća sve se više kao tzv. „mekano“ rješenje primjenjuje praksa nasipavanja i dohranjivanja plaža (CHARLIER i DE MEYER, 1995). Dohranjivanje plaža je mehanički postupak nanošenja sedimenta na erodiranu plažu u svrhu njenog restauriranja, oblikovanja, održavanja ili zaštite od daljnje erozije (GREENE, 2002; HOBBS, 2007). Ova se praksa čini boljom i prirodnijom metodom jer obogaćuje plaže sedimentom za razliku od tvrdih rješenja koja većinom samo učvršćuju obalnu liniju ili raspršuju sediment (PETERSON i BISHOP, 2005).

Prvi poznati slučajevi dohranjivanja (i nasipavanja) su u Kaliforniji nakon Prvog svjetskog rata (CHARLIER i DE MEYER, 1995), a prvi zabilježeni projekt bio je na Coney Island-u u New Yorku, 1922.-1923. (GREENE, 2002; HOBBS, 2007; PETERSON i BISHOP, 2005). Tek se 1962. javila potreba za ozbiljnijim projektom i to nakon razorne Velike ožujске oluje koja je nanijela veliku štetu obalnom području od Floride do Nove Engleske (GREENE, 2002). U svrhu sanacije velikih šteta, započeo je prvi projekt dohranjivanja (i nasipavanja) kojeg je odobrio američki Kongres i koji je provodila vladina agencija, Inženjerski korpus vojske Sjedinjenih Američkih Država (GREENE, 2002). Tako je u malo više od 20 godina na preko 600 000 km američke obale provedena praksa dohranjivanja (i nasipavanja) za koju je potrošeno oko 300 milijuna m<sup>3</sup> materijala (GREENE, 2002).

Iako se čini dobrom i prirodnom metodom, ova praksa nije baš bezazlena jer ako nije prilagođena prirodnim karakteristikama prostora koji se nadohranjuje, ako se koristi neadekvatni materijal ili nije obavljen monitoring (HOBBS, 2007; PIKELJ i sur., 2017a), ona donosi sa sobom negativne učinke (GREENE, 2002).

Negativan učinak neadekvatne prakse je zatrpavanje plitkog mora i pridnenih biocenoza čime se uništavaju staništa i životno ugrožavaju organizmi pa tako može doći do npr. smanjivanja i nestajanja livada morskih cvjetnica (BOUDOURESQUE i sur., 2016; COURTENAY i sur., 1972; HOBBS, 2007; PETERSON i BISHOP, 2005). Zbog smanjivanja njihove populacije može biti pojačan efekt valova koje su one do tad, do neke mjere, ublažavale čime će se povećati i erozija plaža te će se ponovno javiti potreba za istom praksom (BOUDOURESQUE i sur., 2016). Ostali negativni učinci su mijenjanje podloge koja je prirodno prisutna, povećanje sedimentacije/ zamućenosti u vodi što utječe na fotosintezu i interferiranje sa životnim procesima organizama npr. kornjačino odlaganje jaja (BOUDOURESQUE i sur., 2016; COURTENAY i sur., 1972; PETERSON i BISHOP, 2005). Jednom kad se provede praksa dohranjivanja (i nasipavanja) plaže ta je plaža trenutno nenaseljena organizmima pa se postavlja pitanje repopulacije plaže i koliko će ono dugo trajati, tj. kad će se naseliti organizmi na obnovljeni prostor plaže (HOBBS, 2007). Za organizme poput morske cvjetnice, zbog svojih karakteristika u vidu sporog rasta, niske stope razmnožavanja i općenite osjetljivosti, oporavak nakon promjena u okolišu može biti jako dug i otežan (BADALAMENTI i sur., 2011; PETERSON i BISHOP, 2005). Stoga bi bilo nužno prije svake prakse dohranjivanja (i nasipavanja) provesti praćenje stanja prisutnih zajednica kao i tokom i nakon zahvata, kako bi se pratio utjecaj na okoliš (HOBBS, 2007) i na vrijeme reagiralo. HOBBS (2007) općenito zaključuje da je repopulacija plaža najbrža kad je sastav i veličina nasipanog materijala što sličniji originalnom dok je materijal s puno gline i silta problematičan jer produžuje oporavak i repopulaciju plaže.

Na temelju svega navedenog, cilj ovog diplomskog rada bio je utvrditi promjene pridnenih taložnih okoliša i asociiranih biocenoza nakon prakse dohranjivanja ili nasipavanja plaža (prostor rastresitog sedimenta na obali). Uz to, cilj je bio i ocijeniti prikladnost prakse na istraživanim plažama, uključujući i materijal koji se koristi i pokušati definirati smjernice za korekciju buduće prakse dohranjivanja ili nasipavanja. Konkretno područje ovog istraživanja su prirodne ili umjetne plaže na hrvatskoj obali na kojima se primjenjuje praksa dohranjivanja ili nasipavanja. Radi se o plažama u Žnjanu, Omišu, Promajni, Bratušu, Osejavi i Podgori. Za ostvarenje ciljeva, korištene su metoda analize veličine zrna sedimenta (granulometrija), metoda određivanja udjela karbonata u sedimentu (kalcimetrija), metoda žarenja za određivanje udjela organske tvari i analiza sastava i stanja pridnenih zajednica.

## 2. Pregled dosadašnjih istraživanja

Prema načinu postanka, plaže se dijele na prirodne (nastale i uređene prirodnim procesima, bez čovjekovog utjecaja) i umjetne (napravili i/ili uredili ljudi) (CAREVIĆ, 2020). Prirodne se plaže u većini slučajeva same oporavljaju međudjelovanjem prirodnih procesa (valovi, dotok oborinskih voda sa sedimentom..). No, one koje su umjetne čovjek treba obnavljati (nasipavati) što iziskuje financijska ulaganja (CAREVIĆ, 2020). Pjeskovite plaže, prirodne ili umjetne, posebno su popularne turistima te imaju i bitnu ekološku ulogu kao stanište na kojem se događa gniježđenje ugroženih morskih kornjača, ali i kao stanište bogato bentičkim beskralježnjacima koji su hrana ribama, pticama i rakovima (PETERSON i BISHOP, 2005).

Dohranjivanje (i nasipavanje) plaža je praksa koja se danas često koristi u SAD-u, UK-u, Japanu pa i u Hrvatskoj, a u Belgiji je poznat primjer jednog od najvećih nasipavanja i to plaže Knokke-Heist (CHARLIER i DE MEYER, 1995). Materijal se za ovu praksu dobavlja iz morskih ili kopnenih izvora (GREENE, 2002). Najčešći i jeftiniji izvor zbog svoje blizine je iskopavanje materijala iz morskih dubina bližih i daljih obali na kojoj je erodirana plaža (GREENE, 2002). Dok su kopneni izvori poput kamenoloma i ostalih izvora skuplji zbog prijevoza i teže je pronaći lokacije odgovarajućeg sedimenta (GREENE, 2002; HOBBS, 2007). Potrebno je paziti da materijal koji se koristi što više odgovara materijalu koji je na toj plaži prirodno prisutan (CHARLIER i DE MEYER, 1995).

Ukoliko se primjerice koristi sitniji materijal od prirodnog, dolazit će do njegove lakše erozije s plaže i odnosa u dublje dijelove mora te time i zatrpavanja i sedimentacije (BOUDOURESQUE i sur., 2016; COURTENAY i sur., 1972). Takvo fizičko prekrivanje morskog dna i pridnenih biocenoza sedimentom negativno utječe na sve, a naročito na ugrožene biljne i životinjske vrste (BOUDOURESQUE i sur., 2016) koje se nakon toga jako teško oporavljaju, nekima se biomasa drastično smanji ili čak ugibaju poput npr. livada zaštićene morske cvjetnice *Posidonia oceanica* (BOUDOURESQUE i sur., 2016; CAREVIĆ, 2020). Pojačana sedimentacija posljedica je korištenja materijala koji u sebi ima povećani udio sitnih, finih čestica gline i praha (CAREVIĆ, 2020). Takve se čestice s obzirom na svoju veličinu duže zadržavaju u stupcu vode te se transportiraju duž obalnog pojasa i mogu ugušiti organizme u vodenom stupcu npr. ribama se začepi škrge (CAREVIĆ, 2020; COURTENAY i sur., 1972; HOBBS, 2007; PETERSON i BISHOP, 2005). Ovakav sitnozrnati materijal ujedno dovodi i do povećane замуćenosti u vodi što remeti i sprječava fotosintezu te se polako taloži po pridnenim biocenzama (COURTENAY i sur., 1972).

Većinom prisutni organizmi pridnenih biocenoza su alge, morske cvjetnice, rakovi, bodljikaši, mnogočetinaši, mekušci (puževi, školjkaši..) i dr. (GREENE, 2002). Ovi su organizmi značajan izvor hrane za ribe, rakove, ptice i epibentičke beskralježnjake (GREENE, 2002). Jedan poznati stanovnik morskog dna je jedna od najvažnijih morskih cvjetnica, a ujedno i endemska i dominantna vrsta u Sredozemnom, a i Jadranskom moru, a to je posidonija (*Posidonia oceanica*), koja raste u uskom obalnom pojasu tako da tvori velike livade na dnu mora (BAKRAN-PETRICIOLI, 2011; BOUDOURESQUE i sur., 2016; COLOMBINI i sur., 2009; ZUBAK ČIŽMEK i sur., 2021). Posidonija živi u čistom, bistrom moru od same površine mora pa do dubina od 20-44 metra i to tako da je korjenčićima pričvršćena za podlogu (BAKRAN-PETRICIOLI, 2011). Tijekom rasta se prostor stabljika i izdanaka isprepliće i među njima se zarobljava sediment (BAKRAN-PETRICIOLI, 2011). Zbog toga, posidonija još više raste u visinu čime nastaju debeli slojevi (podmorske terase, eng. „*mattes*“) koji na taj način štite obalu od erozije (BAKRAN-PETRICIOLI, 2011; BOUDOURESQUE i sur., 2016; ZUBAK ČIŽMEK i sur., 2021).

Livade svih morskih cvjetnica čine specifična plitkomorska staništa te su po Zakonu o zaštiti prirode (NN 80/13, 15/18, 14/19, 127/19) proglašene strogo zaštićenim vrstama u Hrvatskoj, a sama posidonija je u mreži zaštićenih područja Natura 2000 uvrštena u prioritetna staništa te ju na europskoj razini štiti Direktiva o zaštiti prirodnih staništa i divlje faune i flore EU [1] [2]. Livade morskih cvjetnica su važne zbog značajne bioraznolikosti, velike primarne produkcije, a i zato što su mjesto hranjenja, razmnožavanja i skloništa brojnih organizama kao i mjesto ribolova (BADALAMENTI i sur., 2011; BAKRAN-PETRICIOLI, 2011; BOUDOURESQUE i sur., 2016; COLOMBINI i sur., 2009; ZUBAK ČIŽMEK i sur., 2021). Posidonija ujedno i učvršćuje/ stabilizira sediment morskog dna, ubrzava stopu sedimentacije čime se smanjuje замуćenost vodenog stupca, kontrolira količinu sedimenta i usporava kretanje valova stvaranjem banketa na obali (naslage debljine do čak 2,5 metra) (BOUDOURESQUE i sur., 2016; COLOMBINI i sur., 2009; GODEC, 2021; ZUBAK ČIŽMEK i sur., 2021). Zbog svega navedenog, livade posidonije osim velike ekološke, imaju i značajnu ekonomsku vrijednost.

Iako iznimno koristan i vrijedan organizam koji treba čuvati, u zadnjih nekoliko desetljeća livade morskih cvjetnica postaju jedne od ugroženijih staništa. Tako je diljem Sredozemlja pa i u Jadranu zabilježena regresija tj. smanjivanje, a čak i nestajanje populacije morske cvjetnice (BOUDOURESQUE i sur., 2016; ZUBAK ČIŽMEK i sur., 2021).

Postoje procjene da je u zadnjih 50 godina nestalo oko 10% populacije tj. oko 1000 km<sup>2</sup> livada posidonije u Sredozemlju (ZUBAK ČIŽMEK i sur., 2021). Dohranjivanje (i nasipavanje) plaža je primjer jednog utjecaja koji negativno utječe na posidoniju zbog zatrpavanja, povećane zamućenosti i taloženja sitnozrnatog materijala koji joj onemogućuju fotosintezu (BADALAMENTI i sur., 2011; BOUDOURESQUE i sur., 2016). Problem za morske cvjetnice predstavlja i otpuštanje organske tvari (ispust kanalizacija, industrijskih voda, kemijska razgradnja krutog otpada.) (BADALAMENTI i sur., 2011; BOUDOURESQUE i sur., 2016). Još jedan primjer koji utječe na nestajanje morskih cvjetnica jest unošenje invazivnih vrsta poput zelenih algi, *Caulerpa taxifolia* i *Caulerpa cylindracea*, koje su konkurentne za životni prostor te se vrlo lako i brzo šire i uništavaju livade morskih cvjetnica (BAKRAN-PETRICIOLI, 2011; BOUDOURESQUE i sur., 2016). Uklanjanje banketa morskih cvjetnica zbog turista iz estetskih razloga (negostoljubiv izgled) može znatno narušiti stabilnost plaže jer se time pojačava erozija pa se javlja potreba za praksom dohranjivanja (i nasipavanja) plaža koja može ugroziti posidoniju (BOUDOURESQUE i sur., 2016; GODEC, 2021).

Restaurirana plaža ima drugačije fizičke karakteristike u odnosu na prirodnu plažu. To je primjerice visoka kompaktnost sedimenta zbog čega se sediment teže može razgrnuti (HOBS, 2007; MILTON i sur., 1997). Na ovaj način primijenjena praksa, osim na pridnene, može negativno utjecati i na nektonske organizme poput npr. na kornjače i njihovo odlaganje jaja (HOBBS, 2007; MILTON i sur., 1997). Neadekvatna praksa može indirektno utjecati na ženkin odabir mjesta gniježđenja, na uspješnost gniježđenja, vijabilnost jaja, vrijeme inkubacije i omjer spolova (MILTON i sur., 1997). Ako je materijal previše kompaktan i/ili krupnozrnati, ženke neće moći iskopati gnijezda niti će se jaja moći izleći i izaći iz gnijezda (MILTON i sur., 1997). S druge strane, ako je materijal kojim se nasipava prekrupan ili presitan, jaja će propasti u njega i neće preživjeti (MILTON i sur., 1997). Ako se pak koristi materijal čiji mineralni sastav ne upija dovoljno sunčeve energije, mijenjat će se omjer muških i ženskih jaja koji je inače 50:50 i ovisi o toplini jer će se izleći više muških kornjača. Ovakva se situacija ipak može izbjeći tako da se praksa ne provodi u vrijeme njihovog odlaganja jaja (HOBBS, 2007) ili se koristi materijal koji je što sličniji prirodno prisutnom.

Dohranjivanje (i nasipavanje) plaža se obično provodi u proljeće, nakon prestanka djelovanja zimskih valova koji odnose materijal s plaža, kako bi se plaže pripremile za dolazak turista (CAREVIĆ, 2020). S obzirom da je u Hrvatskoj jedan od glavnih izvora prihoda turizam, plaže su iznimno bitne za prihvat velikog broja turista svake godine (CAREVIĆ, 2020). Stoga većina priobalnih gradova praksom dohranjivanja nastoji očuvati ili proširiti postojeće, prirodne plaže, ali i grade i nasipavaju nove, umjetne plaže kako bi povećali kapacitet plaža (CAREVIĆ, 2020; PIKELJ i sur., 2017a). Nažalost, ovakvi se postupci često provode neadekvatnim materijalom, bez odgovarajućeg monitoringa i u većini slučajeva su odobreni samo od općine uz njeno financiranje te ih provode koncesionari (PIKELJ i sur., 2017a). Hrvatska je obala tijekom posljednjih 50 – 70 godina pod utjecajem neplanske i brze gradnje, koja većinom nije bila u skladu s prirodnim procesima (PIKELJ i sur., 2017a). Takav je antropogeni pritisak, a naročito u novije vrijeme, povećao obalnu eroziju. S obzirom na karakteristike obale hrvatske obale (pretežito stjenovita i visoka) i na to da je kratka tradicija problema vezanih za eroziju hrvatske obale, tako je kratko i iskustvo njihovih rješavanja, ali je evidentan i manjak znanja o prirodnim procesima, kao i nedostatak praćenja situacija nakon prakse dohranjivanja ili nasipavanja (PIKELJ i sur., 2017a).

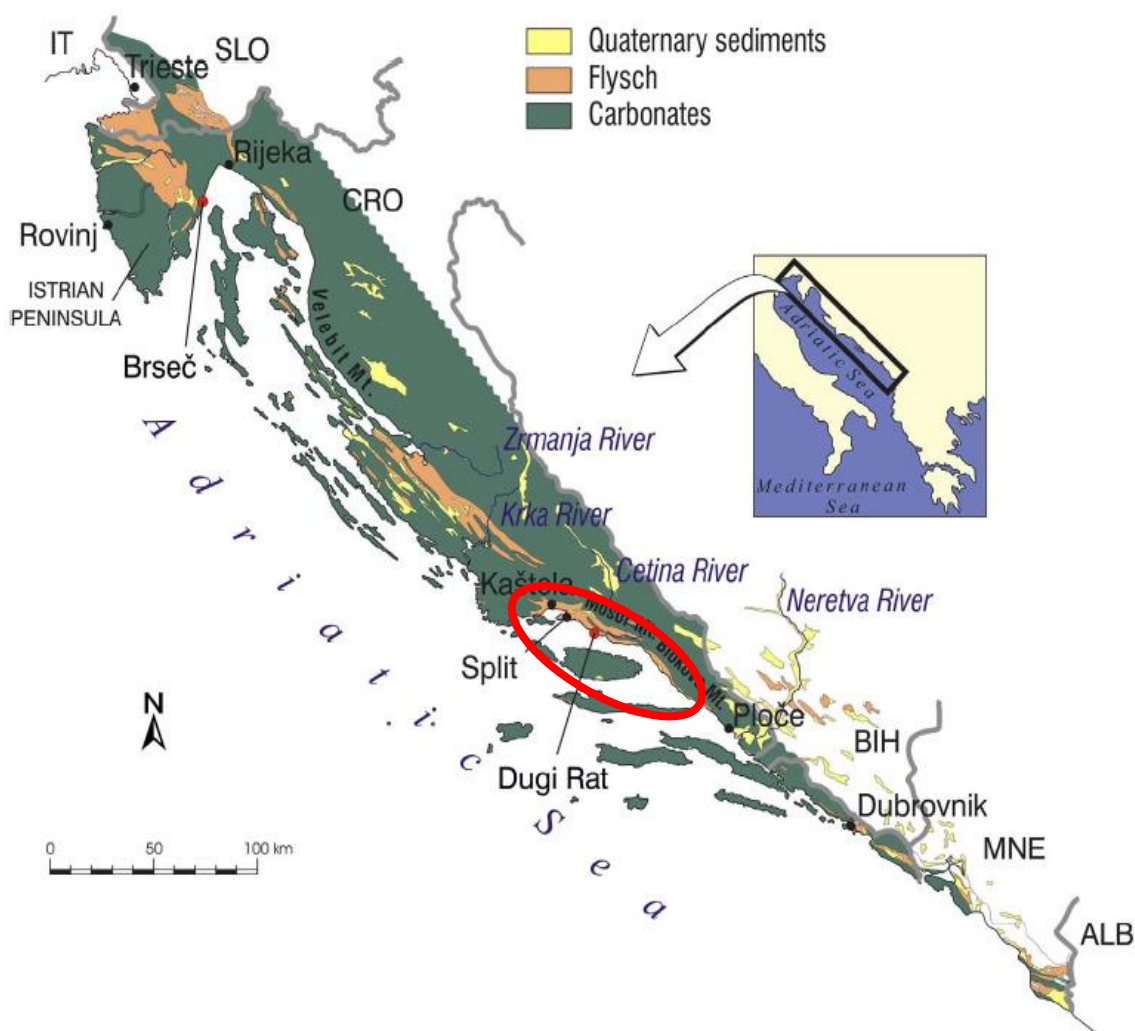
U Hrvatskoj se danas dohranjuje oko 350 plaža s prosječno 56 000 m<sup>3</sup> materijala na što se potroši oko 9 milijuna kuna godišnje (CAREVIĆ, 2020). U novije vrijeme u Hrvatskoj je prepoznata potreba za znanstvenim projektima koji bi se bavili ovom problematikom i praćenjem prakse dohranjivanja ili nasipavanja i njenim utjecajima, a jedan od takvih projekata u tijeku je i projekt Hrvatske zaklade za znanost BEACHEX (2019.-2023.). U sklopu projekta, cilj je istražiti i prikupiti podatke o prisutnoj praksi dohranjivanja (i nasipavanja), o nasutim plažama i njihovom oporavku, ali i istražiti i ocijeniti utjecaj takve prakse na okoliš i živi svijet, informirati i educirati javnost o eroziji plaža i predvidjeti utjecaj klimatskih promjena (CAREVIĆ, 2020). Ovaj projekt je interdisciplinarnog karaktera te obuhvaća geologiju, biologiju, zaštitu okoliša i građevinarstvo (CAREVIĆ, 2020). Ovaj diplomski rad izrađen je u sklopu projekta BEACHEX.



## 2.1. Geološka situacija istraživanog područja

Hrvatska je obala, uz brojne otoke, razvedena i karakterizira ju strmost i stjenovitost pa udio šljunčanih i pjeskovitih plaža nije veći od 5% (PIKELJ i JURAČIĆ, 2013). Većinu hrvatske obale, ali i otoka (>90%) čine karbonati mezozojske starosti (vapnenci, dolomiti i karbonatne breče) uz poneke naslage boksita i *terre rosse* dok manji dio (oko 6%) čini fliš eocenske starosti (lapor, silt, pješčenjaci i karbonatne breče), a najmanje je eruptivnih stijena i piroklastita (PIKELJ i JURAČIĆ, 2013). Litološku podlogu istraživanog područja od Splita do Makarske čini uglavnom fliš (MARINČIĆ, 1981) koji se, u kontaktu s morem, prostire u kontinuitetu od Kaštela do Ploča što se vidi na **Slici 1**.

K. Pikelj et al.



Slika 1. Litološke karakteristike istočnog Jadrana s litologijom istraživanog područja (označeno crvenom elipsom). Izvor: PIKELJ i sur., 2017a

Lokacije uzorkovanja obuhvaćaju prostor podmorja 6 plaža na prostoru od Splita do Makarske: **ŽNJAN**, **OMIŠ** (Brzet), **PROMAJNA**, **BRATUŠ**, **OSEJAVA** i **PODGORA**.

Plaža **ŽNJAN** je jedna od gradskih plaža Splita, napravljena nakon zasijecanja platoa u flišu prije oko 30 godina. Istočno od Žnjana nalazi se prirodan flišni klif, kojeg karakterizira značajan udio lapora (PIKELJ i sur., 2017b).

Uzorkovanje na Brzetu kod **OMIŠA** obavljeno je u podmorju ispred plaže čije je zaleđe karakteristično po flišu s većim udjelom karbonatnih breča i pješčenjaka u odnosu na lapor.

Prostor obale na lokacijama **PROMAJNA** i **BRATUŠ** karakteriziran je s više karbonatnih breča u flišu, u kojima su se pod utjecajem valova oblikovale prirodne šljunčane plaže. Ista je situacija i na **OSEJAVI**, radi se o plaži formiranoj između lukobrana i prirodne stjenovite obale. Fliš u obalnom području Makarske sadrži u najvećoj mjeri karbonatne breče iz kojih potječu mnoge od plaža na Makarskoj rivijeri. Kao i kod Promajne, Bratuša i Osejave, prostor obale na lokaciji **PODGORA** karakteriziran je s više karbonatnih breča u flišu, u kojima su se pod utjecajem valova oblikovale prirodne šljunčane plaže.

Plaže na lokacijama **ŽNJAN** i **OMIŠ** su u potpunosti umjetne, nastale nasipavanjem karbonatnog tucanika. Plaže kod **PROMAJNE**, u **BRATUŠU**, kod **OSEJAVE** i **PODGORE** su, kako je gore navedeno, prirodne šljunčane plaže. Nasipavanje na njima je novijeg datuma i vezano je za proširivanje kapaciteta plažnog prostora.

S obzirom da se u zaleđu navedenih plaža nalaze naselja, prirodni dotok sedimenta je ovdje otežan ili u potpunosti zaustavljen što je rezultiralo erozijom plaža u duljem vremenskom periodu, te potaknulo praksu dohranjivanja ili nasipavanja.

## 2.2. Biološka situacija istraživanog područja

Na području istraživanja prisutna su različita staništa Natura 2000, a dominiraju: Biocenoza infralitoralnih šljunaka, Biocenoza infralitoralnih alga (Natura kod: 1170), Biocenoza obalnih detritusnih dna (Natura kod: 1110), Biocenoza zamuljenih pijesaka zaštićenih obala (Natura kod: 1160), te Biocenoza naselja vrste *Posidonia oceanica* (Natura kod: 1120).

Na istraživanim profilima razvijene su sljedeće životne zajednice:

	Kod po: NKS	Natura 2000
1. Biocenoza infralitoralnih šljunaka	G.3.4.1.	-
2. Biocenoza naselja vrste <i>Posidonia oceanica</i>	G.3.5.1.**	<b>1120*</b>
3. Biocenoza infralitoralnih alga	G.3.6.1.**	<b>1170</b>
4. Biocenoza sitnih ujednačenih pijesaka	G.3.2.2.	<b>1110</b>
5. Biocenoza obalnih detritusnih dna	G.4.2.2.	<b>1110</b>
6. Biocenoza zamuljenih pijesaka zaštićenih obala	G.3.2.3.	<b>1160</b>

\* - prioritetno stanište – stanište od interesa za cijelu EU; očuvanje takvog staništa zahtjeva određivanje posebno zaštićenih područja prema Direktivi o staništima EU

\*\* - ugrožen i/ili rijetki stanišni tip koji zahtjeva posebne mjere zaštite prema Pravilniku Narodne novine 07/2006 (NKS - Nacionalna klasifikacija staništa NN 07/2006)

Biocenoza infralitoralnih šljunaka prisutna je na par lokacija uz istočnu obalu Jadrana pa i u Makarskom primorju te se ovo stanište koristi kao plaže zbog čega ih često ugrožavaju nasipavanjem, odlaganjem otpada i ispuštima u more (BAKRAN-PETRICIOLI, 2011). Bioraznolikost ove biocenoze je slaba (BAKRAN-PETRICIOLI, 2011).

Biocenoza infralitoralnih alga prisutna je na čvrstom dnu puno lokacija uz istočnu obalu Jadrana i karakterizira ju velika količina svjetlosti zbog čega dominiraju fotofilne alge (BAKRAN-PETRICIOLI, 2011). Bioraznolikost ove biocenoze je velika pa su tako uz alge prisutne i spužve, žarnjaci (koralji, obrubnjaci), mekušci (školjkaši, puževi, glavonošci), mnogočetinaši, bodljikaši, rakovi i ribe te je ova biocenoza mjesto hranjenja, razmnožavanja i skloništa (BAKRAN-PETRICIOLI, 2011). Ova je biocenoza vrlo ugrožena zbog izrazitog ljudskog utjecaja u vidu ispusta otpadnih voda, odlaganja otpada i nasipavanja što dovodi do povećane eutrofikacije, a problem predstavljaju i invazivne vrste zelenih i crvenih algi (BAKRAN-PETRICIOLI, 2011).

Biocenoza obalnih detritusnih dna široko je rasprostranjena uz obalu i otoke od dubine od 30 metara pa do 100 m i karakterizira ju velika bioraznolikost vrsta pa su tako prisutne crvene alge, spužve, mnogočetinaši, rakovi, bodljikaši i mješčičnice (BAKRAN-PETRICIOLI, 2011). Ovo je stanište jako osjetljivo na povećanu sedimentaciju, prekomjeran ribolov i kočarenje, a problem predstavljaju i invazivne vrste (BAKRAN-PETRICIOLI, 2011).

Biocenoza zamuljenih pijesaka zaštićenih obala prisutna je u zatvorenijim plitkim uvalama diljem Jadrana i prirodno je eutrofno stanište (BAKRAN-PETRICIOLI, 2011). Ova biocenoza predstavlja mjesto hranjenja ptica i juvenilnih riba kao i mrjestilište nekih riba i bioraznolikost je značajna pa tako tu postoje školjkaši, puževi, mnogočetinaši, rakovi i morske trave (BAKRAN-PETRICIOLI, 2011). Onečišćenje, gradnja i nasipavanje obale ugrožavaju ovu biocenozu (BAKRAN-PETRICIOLI, 2011).

Biocenoza naselja vrste *Posidonia oceanica* prisutna je u prozirnijim vodama južnog Jadrana i dopire do ispod 40 metara dubine te je važna kako jadranska tako i mediteranska biocenoza jer predstavlja mjesto hranjenja, razmnožavanja i skloništa za brojne organizme (BAKRAN-PETRICIOLI, 2011). Bioraznolikost ove biocenoze je značajna te su tu prisutne zelene i crvene alge, mekušci (školjkaši i puževi), bodljikaši (trpovi, zvjezdače, ježinci), rakovi i ribe (BAKRAN-PETRICIOLI, 2011). Ova je biocenoza izrazito osjetljiva na onečišćenje, sidrenje, nasipavanje i oporavak joj je iznimno spor stoga se smatra ugroženim staništem koji zahtijeva određene mjere očuvanja prema Barcelonskoj konvenciji (konvencija o zaštiti morskog okoliša i obalnog područja [3]) (BAKRAN-PETRICIOLI, 2011). Prema Direktivi o staništima, ova su naselja prioritarna tj. od interesa za cijelu EU i potrebno ih je očuvati (BAKRAN-PETRICIOLI, 2011).

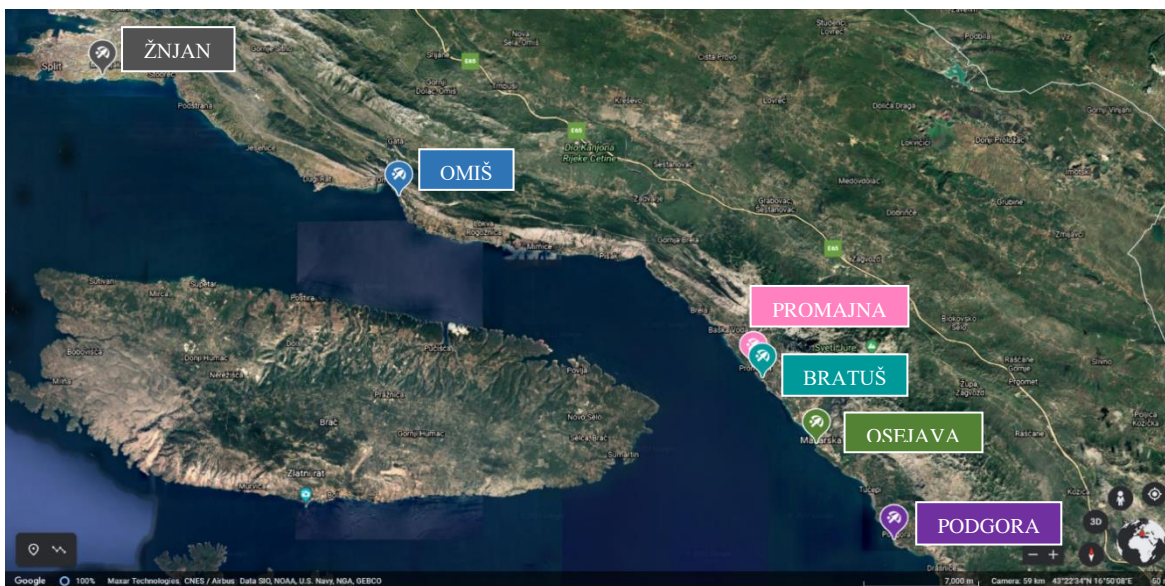
Pridnene biocenoze istraživanog područja su bogate vrstama pa su tako prisutne morske cvjetnice, zelene, smeđe i crvene alge, žarnjaci, bodljikaši (ježinci, trpovi, zvjezdače), mnogočetinaši, mekušci (puževi, školjkaši..) i ribe, a detaljniji prikaz prisutnih vrsta je u poglavlju **Rezultati**, potpoglavlje **Biološki rezultati**.

### 3. Materijali i metode istraživanja

Za ostvarenje zadanih ciljeva ovog diplomskog rada, korištene su metoda analize veličine zrna sedimenta (granulometrija), metoda određivanja udjela karbonata u sedimentu (kalcimetrija), metoda žarenja za određivanje udjela organske tvari i analiza sastava i stanja pridnenih biocenoza.

#### 3.1. Uzorci

Uzorke za ovo istraživanje prikupio je mentor izv. prof. Petar Kružić ronjenjem s autonomnom ronilačkom opremom te je tako duž istraživanih profila uzeo uzorke sedimenta, snimio podvodne fotografije i analizirao stanje pridnenih biocenoza. Ukupno 18 uzoraka je prikupljeno na području od Splita do Makarske na plažama u **ŽNJANU**, **OMIŠU**, **PROMAJNI**, **BRATUŠU**, **OSEJAVI** i **PODGORI** (Slika 2.).



Slika 2. Lokacije uzorkovanja sedimenta plaža. Izvor: GOOGLE EARTH, veljača 2022.

Priručnim jezgrilima tijekom autonomnog ronjenja, uzorkovan je sediment na odabranim lokacijama plitkog mora duž hrvatske obale koje se nalaze pod utjecajem erozije materijala s plaže. Uzorci su prikupljeni 27.6.2020. (**OMIŠ P i D**) i 7.6.2021. (svi ostali uzorci), neki više puta na 2, 3, 4 ili 6 m dubine; oznaka **P** (plitko) označava da je mjesto uzorkovanja 10 m od obale i pliće, a oznaka **D** (duboko) da je mjesto uzorkovanja 20 - 30 m od obale i dublje (Slika 3.).



Slika 3. Svi uzorci koji su prikupljeni na plažama istraživanog područja.

Tako da su uzorci ovog istraživanja: **ŽNJAN 1, 2 i 3** (uzorkovani na 2 m dubine), **OMIŠ P i D** (uzorkovani na 6 m dubine), **PROMAJNA P, D i 2P** (uzorkovani na 3 m dubine), **BRATUŠ P i D** (uzorkovani na 3 m dubine), **OSEJAVA P, D, 2P i 2D** (uzorkovani na 3 m dubine), i **PODGORA P, D, 2P i 2D** (**P i 2D** uzorkovani na 4 m, a **2P i D** na 3 m dubine). Uzorci su pohranjeni u duboko zamrzavanje do dolaska u laboratorij.

## 3.2. Laboratorijski rad

### 3.2.1. Metoda analize veličine zrna sedimenta (granulometrija)

Prvi dio laboratorijskog rada bila je metoda analize veličine zrna sedimenta koja je uključivala postupak mokrog sijanja. Ovaj dio je odrađen u Geološko-paleontološkom laboratoriju na Geološkom odsjeku (GO) (Horvatovac 102a, Zagreb). Od uzoraka iz Omiša odvagano je oko 100 grama (g) dok od svih ostalih uzoraka oko 50 g, a razlog tomu je taj što su uzorci iz Omiša znatno drugačiji sediment od ostalih prikupljenih. Od ostatka svakog od uzoraka nakon vaganja odvojena je i spremljena oko jedna i pol plastična žlica (oko 30 grama) za metodu određivanja udjela karbonata kao i za metodu žarenja. Za mokro sijanje je korištena tava s crijevom za prikupljanje različitih frakcija (>4 milimetra (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) i tresilica namještena na jačinu 13 i vrijeme od 10 minuta (**Slika 4. pod a**). Crijevo od tave je u veliku staklenku s označenom veličinom (<0,063 mm) odvodilo frakciju te veličine (**Slika 4. pod a**).



Nakon provedenog mokrog sijanja, prikupljena frakcija sedimenta određene veličine premještena je u kristalizacijsku čašu koja je stavljena na sobnu temperaturu ili radijator da se suši jedan do dva dana (**Slika 4. pod b**). Nakon što su se uzorci u potpunosti osušili (**Slika 4. pod c**), svaka frakcija određene veličine je izvagana i spremljena za daljnje analize (**Slika 4. pod d**). Nakon sedimentacije frakcije  $<0,063$  mm, tekućina iz velikih staklenki je dekantirana, a sediment zaostao nakon suženja je spremljen za kasniji pregled pod mikroskopom.



**Slika 4. Analiza veličine zrna na GO; a - tresilica sa sitima za skupljanje različitih frakcija i crijevo za odvod frakcije  $<0,063$  mm u posebnu staklenku; b – sušenje uzoraka; c – osušeni uzorci; d – uzorci spremljeni za daljnje analize.**

Potom je napravljena statistička analiza podataka o veličini zrna za svaki uzorak uz pomoć statističkog paketa Gradistat® (BLOTT i PYE, 2001) u Excelu. Granulometrijski parametri su izračunati prema FOLK i WARD (1957) a uključivali su: srednju veličinu zrna (*median*), prosječnu veličinu zrna (*mean size*), sortiranje (*sorting*), asimetričnost raspodjele (*skewness*) i zaoštrenost krivulje (*kurtosis*).

Srednja veličina zrna je veličina od koje je 50% čestica veće, a 50% manje dok je prosječna veličina zrna zbroj svih veličina zrna podijeljen s ukupnim brojem zrna (FOLK i WARD, 1957). Sortiranje pokazuje jednoličnost distribucije dok asimetričnost raspodjele pokazuje devijacije u raspodjeli čestica pa tako pozitivne vrijednosti pokazuju da prevladava krupnija frakcija (krivulja je iskošena prema sitnijim sedimentima), a negativne vrijednosti pokazuju da prevladava sitnija frakcija (krivulja je iskošena prema krupnijim sedimentima) (FOLK i WARD, 1957). Zaoštrenost krivulje odnosi se na raspršenost raspodjele tako da ako je krivulja zaoštrena, materijal je raspoređen oko jedne veličine zrna, a ako je zaravnjena, prisutno je više granulometrijskih frakcija (FOLK i WARD, 1957). Kategorije granulometrijskih parametara za svih 18 uzoraka određeni su prema **Tablici 1.** i prikazani u **Prilogu 1.**

**Tablica 1. Kategorije granulometrijskih parametara (FOLK i WARD, 1957).**

<b>SORTIRANOST SEDIMENTA (SORTING)</b>	
<b>Kategorije</b>	<b>Opis</b>
< 0,35	vrlo dobro sortirano
0,35-0,50	dobro sortirano
0,50-0,70	umjereno dobro sortirano
0,70-1,00	umjereno sortirano
1,00-2,00	loše sortirano
2,00-4,00	vrlo loše sortirano
>4,00	izrazito loše sortirano
<b>KATEGORIJE ASIMETRIČNOSTI KRIVULJE (SKEWNESS)</b>	
-1,00 do -0,30	vrlo negativno zakošena krivulja
-0,30 do -0,10	negativno zakošena krivulja
-0,10 do 0,10	gotovo simetrična krivulja
0,10 do 0,29	pozitivno zakošena krivulja
0,30 do 1,00	vrlo pozitivno zakošena krivulja
<b>ZAOŠTRENOST KRIVULJE (KURTOSIS)</b>	
< 0,67	vrlo zaravnjena krivulja
0,67-0,90	zaravnjena krivulja
0,90-1,11	srednje zaoštrena krivulja
1,11-1,50	zaoštrena krivulja
1,50-3,00	vrlo zaoštrena krivulja
> 3,00	izuzetno zaoštrena krivulja



### 3.2.2. Metoda određivanja udjela karbonata u sedimentu

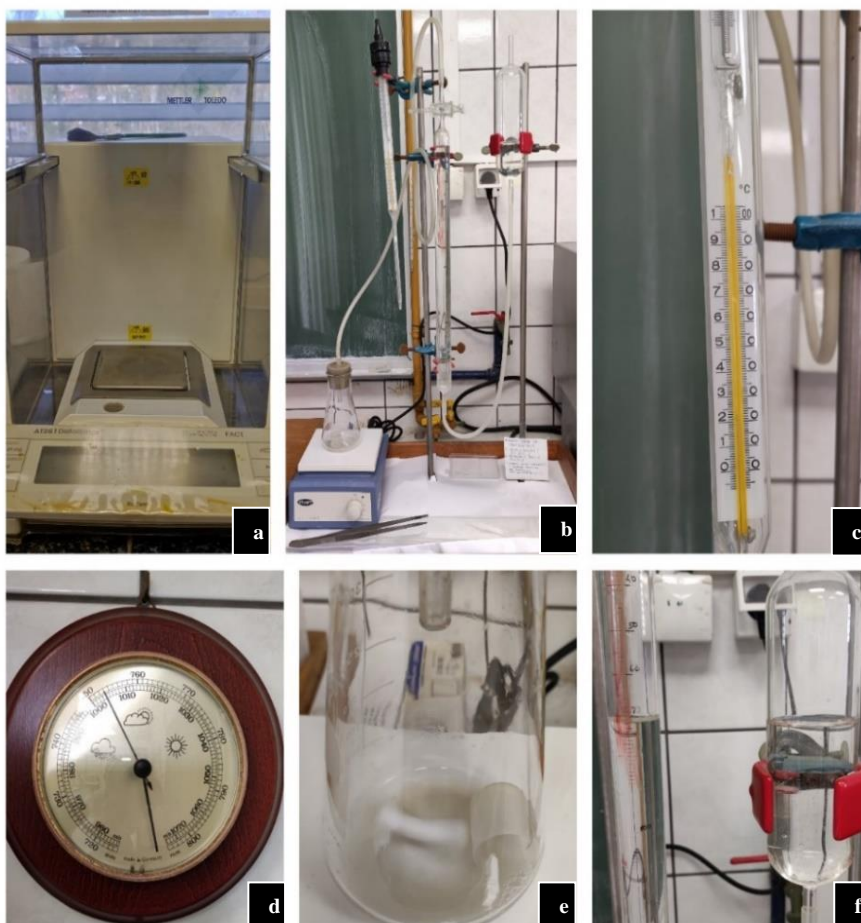
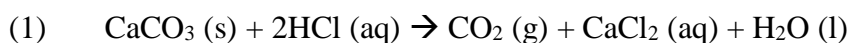
Drugi dio laboratorijskog rada bila je metoda određivanja udjela karbonata u sedimentu. Ovaj je dio odrađen na Mineraloško-petrografskom zavodu (MPZ) Geološkog odsjeka. Priprema uzoraka uključivala je mljevenje (oko 15 minuta) svih 18 uzoraka na mlinu marke Fritsch obloženim ahatom (Slika 5. pod a, b i c). Nakon mljevenja, mali dio usitnjenog uzorka je odvojen u kivetu za metodu žarenja (Slika 5. pod d), a ostalo je spremljeno u vrećice iz kojih su poslije uzete odvage za određivanje udjela karbonata u sedimentu.



Slika 5. Mljevenje uzoraka na MPZ-u; a i b – priprema mlina; c – mljevenje; d - usitnjeni uzorak.

Uzorci za određivanje udjela karbonata u sedimentu pripremljeni su tako da su od svakog uzorka plaže uzete dvije odvage od približno 300 mg u male plastične čašice, a također su pripremljena dva standarda (i još dva idući dan) kalcijevog karbonata ( $\text{CaCO}_3$ ) na analitičkoj vagi za kontrolu (Slika 6. pod a). Tijekom izvođenja analize (Slika 6. pod b), bitno je pratiti i zapisati temperaturu (Slika 6. pod c) i tlak (Slika 6. pod d). Odmjerna tikvica s uzorkom i magnetom stavljena je na magnetnu miješalicu. Potom je u malu plastičnu čašicu dodano 5 mililitara (mL) klorovodične kiseline (HCl) razrijeđene s destiliranom vodom u omjeru 1:1.

Tu se čašicu zatim oprezno s pincetom stavilo u tikvicu s uzorkom i magnetom koja je bila na magnetnoj miješalici. Čep tikvice je navlažen destiliranom vodom, tikvica je zatvorena i provjereno je jesu li razine tekućine jednake čime je aparatura spremna za korištenje (Slika 6 pod b). Kad je ustanovljeno da su razine tekućine jednake, reguliran je podtlak s ventilom tj. ispušten je CO<sub>2</sub> koji se nalazio u aparaturi tako da to ne utječe na volumen (V) oslobođenog CO<sub>2</sub> nakon reakcije. Uključivanjem miješalice (razina 3, 5 minuta), magnet u tikvici se počeo brzo vrtjeti, srušio je čašicu s HCl i započela je reakcija (1) HCl prvo sa standardom, a kasnije i s uzorcima (Slika 6. pod e) tijekom koje se oslobađao CO<sub>2</sub>. Razina tekućine u aparaturi se na početku reakcije naglo spustila, a poslije je usporila dok se nije ustalila te je bilo potrebno fizički opet namjestiti jednake razine tekućine radi što točnijeg očitavanja V (CO<sub>2</sub>) (Slika 6. pod f). Nakon isteka 5 minuta, zapisane su vrijednosti temperature, tlaka i V (CO<sub>2</sub>).



Slika 6. Određivanje udjela karbonata u sedimentu na MPZ-u; a - analitička vaga; b – aparatura za određivanje udjela karbonata; c – očitavanje temperature; d – očitavanje tlaka; e – vrtnja magneta započinje reakciju kiseline s karbonatima u uzorku; f – očitavanje volumena oslobođenog CO<sub>2</sub>.

Nakon provedene analize, u Excelu je izračunat maseni postotak  $\text{CaCO}_3$  za standarde i za uzorke po formuli (2) te je konačan rezultat prosjek dvaju mjerenja za isti uzorak. Skala za očitavanje  $V(\text{CO}_2)$  je gruba i dosta ovisi o oku promatrača tako da su odstupanja od 2, 3 do max 5% normalna i prihvatljiva i zato je korišten čisti kalcijev karbonat kao standard. Za oba dana je posebno izračunat maseni postotak  $\text{CaCO}_3$  za oba standarda te je potom izračunat njihov prosjek. Ovaj prosjek predstavlja vrijednost pomoću koje je dalje računat točan udio karbonata u uzorcima. Uz vrijednost standarda i formule (3) izračunat je točan udio karbonata za svaki od uzoraka koji je prikazan u **Tablici 4.** u **Rezultatima.**

(2)

$$\% \text{CaCO}_3 = \frac{V(\text{CO}_2) \cdot F \cdot 2,274 \cdot 100}{m(\text{uzorka})}$$

F - masa (mg) 1 ml  $\text{CO}_2$  pri određenoj temperaturi i tlaku; vrijednost iz tablice

2,274 - faktor konverzije  $\text{CO}_2$  u  $\text{CaCO}_3$

(3)

$$\frac{\% \text{CaCO}_3(\text{standard})}{\% \text{CaCO}_3(\text{idealno})} = \frac{\%(\text{CaCO}_3)(\text{uzorak})}{X(\% \text{CaCO}_3, \text{kalibrirano})}$$

$$X(\% \text{CaCO}_3, \text{kalibrirano}) = \frac{\% \text{CaCO}_3(\text{uzorak}) * \% \text{CaCO}_3(\text{idealno})}{\% \text{CaCO}_3(\text{standard})}$$

### 3.2.3. Metoda žarenja

Treći dio laboratorijskog rada bilo je određivanje organske tvari metodom žarenja. Ovaj dio je odrađen na Institutu Ruđer Bošković (IRB) (**Slika 7.** pod **a**), na Zavodu za istraživanje mora i okoliša (ZIMO). Na analitičkoj vagi prvo je izvagana prazna keramička posudica prije izgaranja pa je u nju dodan sediment (**Slika 7.** pod **b**). Usitnjeni sediment je uzet iz kiveta (**Slika 7.** pod **c**) koje su pripremljene na MPZ-u (otprilike oko 1,2-1,5 grama po posudici). Nakon dodavanja sedimenta opet je izvagana sad puna keramička posudica. Nakon vaganja, uzorci su stavljeni na žarenje (izgaranje) u peć (**Slika 7.**, pod **d**) i to na 7 sati na  $400^\circ\text{C}$ . Nakon žarenja, uzorci su se hladili (**Slika 7.**, pod **e**) i idući dan na analitičkoj vagi ponovno izvagani. Potom je u Excelu izračunat udio organske tvari za svaki od uzoraka i to tako da je gubitak uzorka (razlika pune posudice prije i pune posudice poslije žarenja) podijeljen s masom uzorka prije žarenja (razlika pune i prazne posudice prije žarenja). Taj je podatak pomnožen sa 100% u svrhu dobivanja postotka. Konačan rezultat udjela organske tvari za pojedini uzorak je prosjek dvaju mjerenja za taj isti uzorak. Udjeli organskih tvari su prikazani u **Tablici 5.** u poglavlju **Rezultati.**



Slika 7. a – posjet IRB-u; b – vaganje uzorka za metodu žarenja; c – keramičke posudice i kivete s usitnjenim materijalom; d – uzorci u peći za žarenje; e – uzorci nakon žarenja.

#### 3.2.4. Analiza sastava i stanja pridnenih biocenoza

Mentor izv. prof. Kružić je tokom ronjenja snimio podvodne fotografije pridnenih zajednica te je poslije izradio prikaz kao i profil istraživanih plaža, definirao biocenoze na profilima, opisao viđeno stanje pridnenih biocenoza i napravio inventarizaciju flore i faune.

## 4. Rezultati

### 4.1. Analiza sedimenta

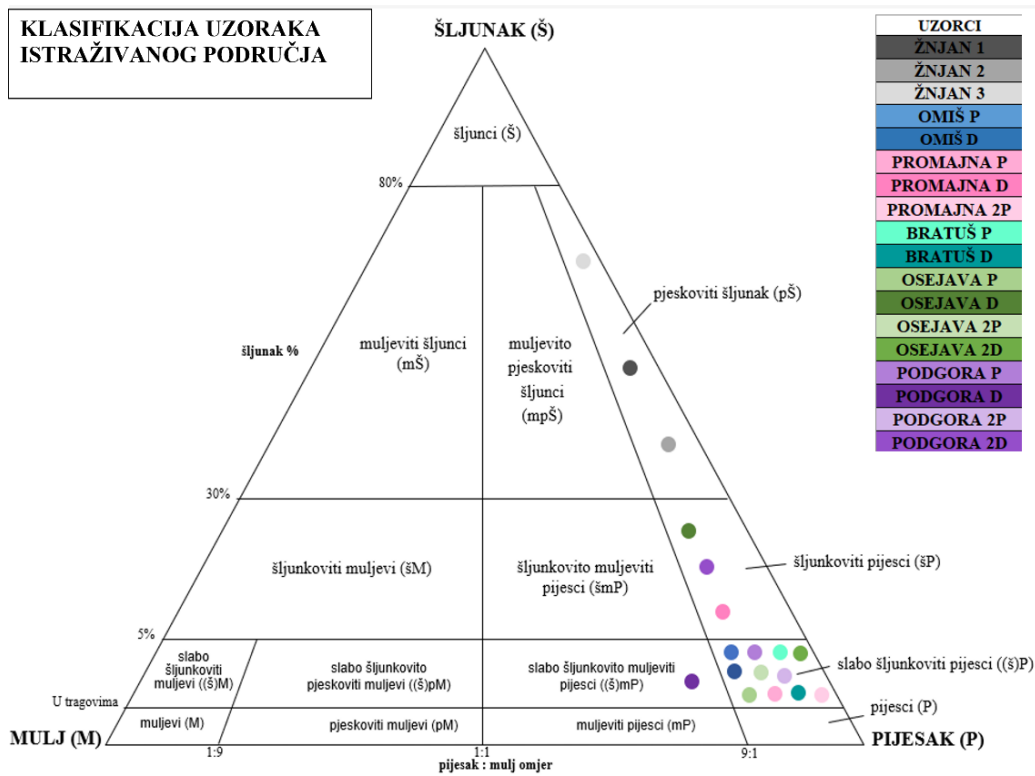
#### 4.1.1. Analiza veličine zrna

Prema sastavu, uzorak **ŽNJAN 1** klasificiran je kao pjeskoviti šljunak jer se većinom sastoji od pijeska (60,20%), podosta šljunka (36,90%) i malo mulja (2,90%) (**Tablica 2., Slika 8.**). Srednja veličina zrna uzorka je 1614,8  $\mu\text{m}$ , prosječna veličina zrna je 1679,0  $\mu\text{m}$  tako da u uzorku prevladava jako krupnozrnati pijesak, sortiranost sedimenta je loša, jednako prevladavaju sitnije i krupnije frakcije i materijal je raspoređen oko jedne veličine zrna (**Tablica 3. iz Priloga 1, Slika 9. pod a.**). Prema sastavu, uzorak **ŽNJAN 2** klasificiran je kao pjeskoviti šljunak jer se većinom sastoji od pijeska (62,50%), podosta šljunka (35,10%) i malo mulja (2,40%) (**Tablica 2., Slika 8.**). Srednja veličina zrna je 1669,8  $\mu\text{m}$ , prosječna veličina zrna je 1798,5  $\mu\text{m}$  tako da je u uzorku jako krupnozrnati pijesak, sortiranost sedimenta je umjerena, prevladavaju sitnije frakcije i materijal je gotovo sav raspoređen oko jedne veličine zrna (**Tablica 3. iz Priloga 1, Slika 9. pod b.**). Prema sastavu, uzorak **ŽNJAN 3** klasificiran je kao pjeskoviti šljunak jer se većinom sastoji od šljunka (68,70%), podosta pijeska (30,00%) i malo mulja (1,20%) (**Tablica 2., Slika 8.**). Srednja veličina zrna je 2715,8  $\mu\text{m}$ , prosječna veličina zrna je 2689,4  $\mu\text{m}$  tako da je u uzorku jako sitnozrnati šljunak, sortiranost sedimenta je umjerena i gotovo jednako prevladavaju sitnije i krupnije frakcije te je prisutno više granulometrijskih frakcija (**Tablica 3. iz Priloga 1, Slika 9. pod c.**).

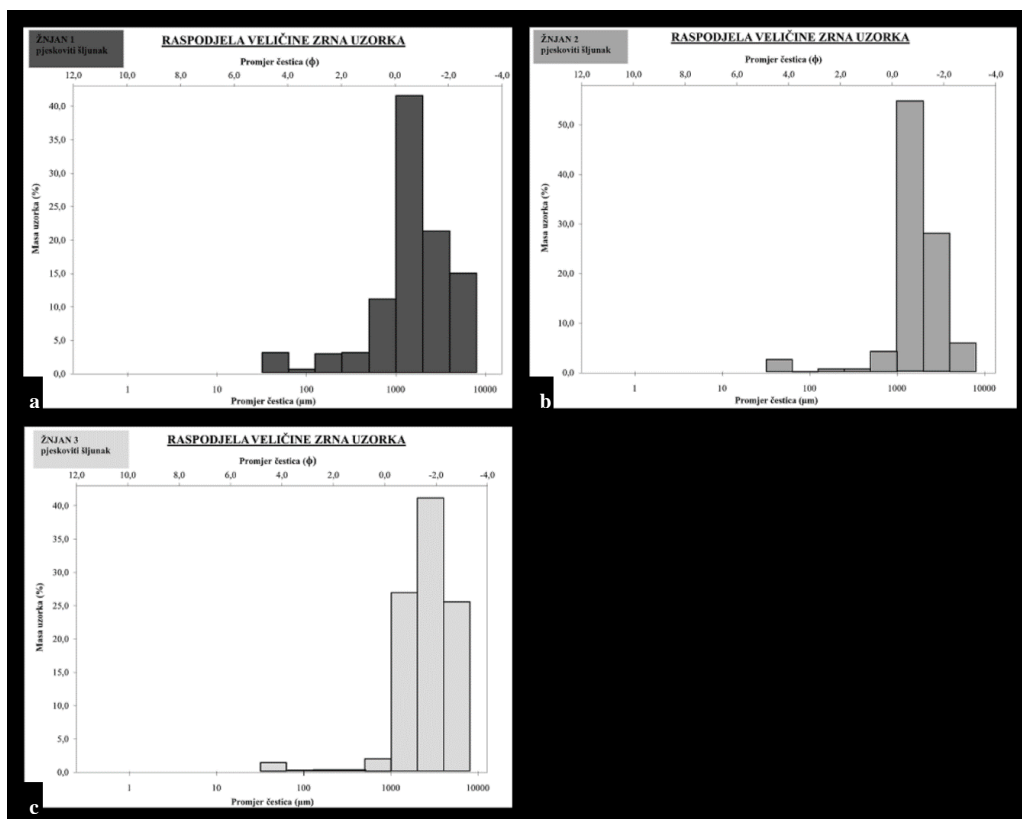
**Tablica 2. Udio šljunka, pijeska i mulja u uzorcima istraživanog područja.**

UZORAK	ŠLJUNAK (%)	PIJESAK (%)	MULJ (%)
ŽNJAN 1	36,90	60,20	2,90
ŽNJAN 2	35,10	62,50	2,40
ŽNJAN 3	68,70	30,00	1,20
OMIŠ P	4,40	91,10	4,60
OMIŠ D	4,5	92,8	2,6
PROMAJNA P	0,10	93,10	6,80
PROMAJNA D	9,30	87,10	3,50
PROMAJNA 2P	0,30	95,30	4,40
BRATUŠ P	0,20	94,60	5,20
BRATUŠ D	2,10	94,30	3,60
OSEJAVA P	0,30	94,50	5,20
OSEJAVA D	8,30	86,90	4,90
OSEJAVA 2P	0,20	93,40	6,40
OSEJAVA 2D	0,70	94,60	4,70
PODGORA P	0,40	93,90	5,70
PODGORA D	1,4	86,4	12,2
PODGORA 2P	0,10	94,00	5,90
PODGORA 2D	18,4	78,3	3,2



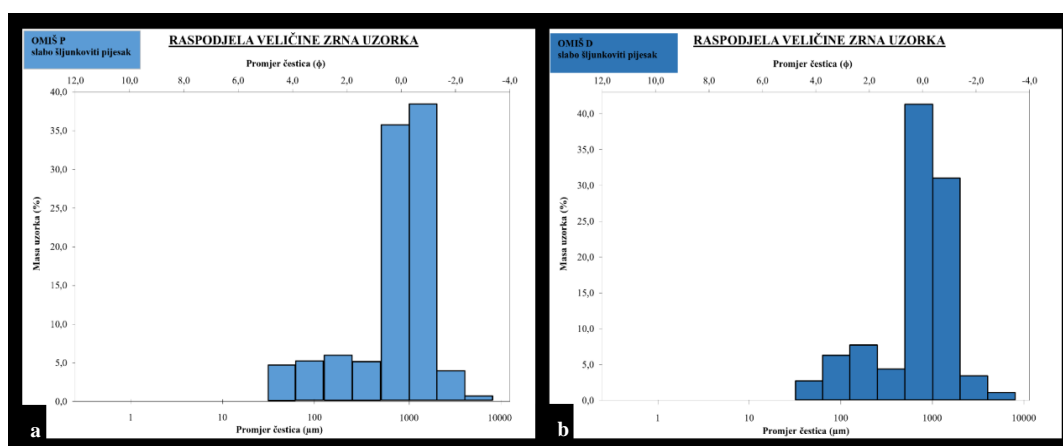


Slika 8. Trokomponentni dijagram - klasifikacija uzoraka istraživanog područja s obzirom na udio mulja, šljunka i pijeska prikazanog u Tablici 2.



Slika 9. Raspored zrna uzorka za: a - ŽNJAN 1, b - ŽNJAN 2 i c - ŽNJAN 3.

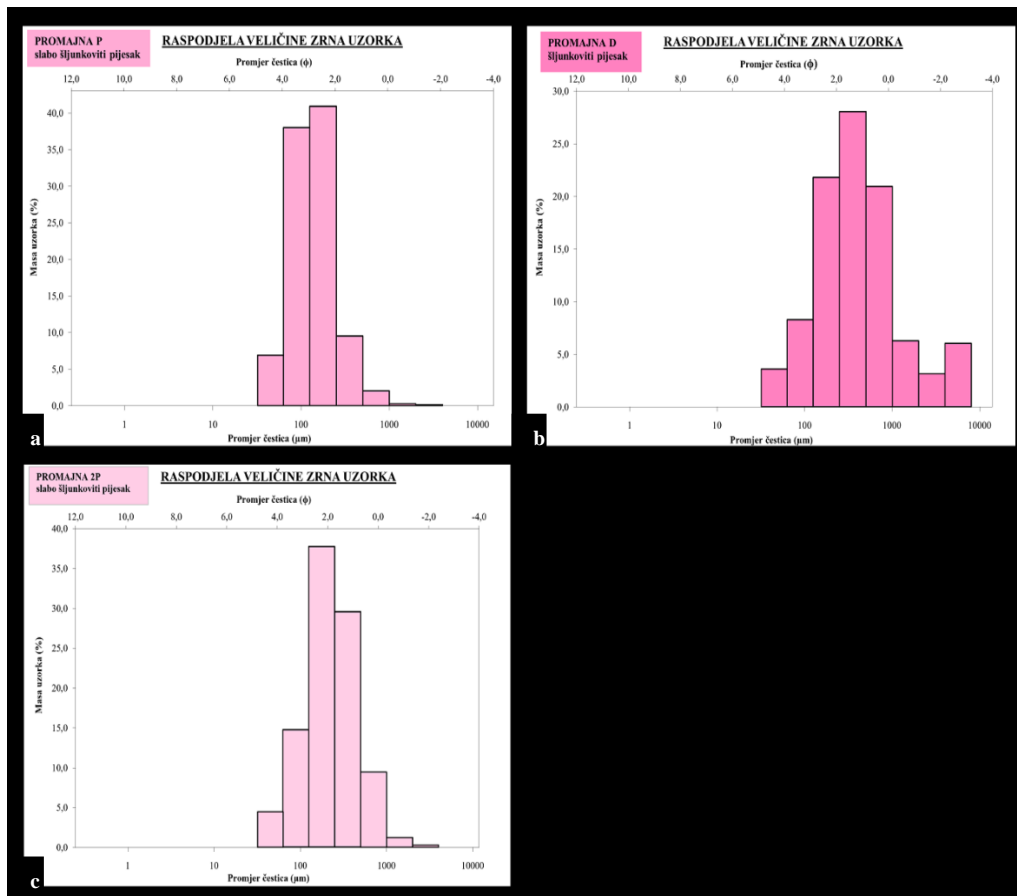
Prema sastavu, uzorak **OMIŠ P** klasificiran je kao slabo šljunkoviti pijesak jer se najviše sastoji od pijeska (91,1%) uz malo šljunka (4,4%) i mulja (4,60%) (**Tablica 2., Slika 8.**). Srednja veličina zrna uzorka je 875,9  $\mu\text{m}$ , prosječna veličina zrna je 716,6  $\mu\text{m}$  tako da u uzorku prevladava krupnozrnati pijesak, sortiranost sedimenta je loša, prevladava krupnija frakcija i materijal je raspoređen oko jedne veličine zrna (**Tablica 3. iz Priloga 1, Slika 10. pod a**). Prema sastavu, uzorak **OMIŠ D** klasificiran je kao slabo šljunkoviti pijesak jer se najviše sastoji od pijeska (92,8%) uz malo šljunka (4,5%) i mulja (2,6%) (**Tablica 2., Slika 8.**). Srednja veličina zrna je 800,2  $\mu\text{m}$ , prosječna veličina zrna je 662,2  $\mu\text{m}$  pa u uzorku prevladava krupnozrnati pijesak, sortiranost sedimenta je loša, prevladava krupnija frakcija i materijal je raspoređen oko jedne veličine zrna (**Tablica 3. iz Priloga 1, Slika 10. pod b**).



Slika 10. Raspored veličine zrna uzorka za: a - OMIŠ P i b – OMIŠ D.

Prema sastavu, uzorak **PROMAJNA P** klasificiran je kao slabo šljunkoviti pijesak jer se najviše sastoji od pijeska (93,10%) uz malo šljunka (0,10%) i mulja (6,80%) (**Tablica 2., Slika 8.**). Srednja veličina zrna uzorka je 134,3  $\mu\text{m}$ , prosječna veličina zrna je 132,7  $\mu\text{m}$  pa u uzorku prevladava sitnozrnati pijesak, sortiranost sedimenta je umjerena, u uzorku gotovo jednako prevladavaju sitnije i krupnije frakcije i materijal je gotovo cijeli raspoređen oko jedne veličine zrna (**Tablica 3. iz Priloga 1, Slika 11. pod a**). Prema sastavu, uzorak **PROMAJNA D** klasificiran je kao šljunkoviti pijesak jer se najviše sastoji od pijeska (87,10%) uz malo šljunka (9,30%) i mulja (3,50%) (**Tablica 2., Slika 8.**). Srednja veličina zrna uzorka je 366,3  $\mu\text{m}$ , prosječna veličina zrna je 372,1  $\mu\text{m}$  pa u uzorku prevladava srednjezrnati pijesak, sortiranost sedimenta je loša, u uzorku prevladavaju sitnije frakcije i materijal je raspoređen oko jedne veličine zrna (**Tablica 3. iz Priloga 1, Slika 11. pod b**). Prema sastavu, uzorak **PROMAJNA 2P** klasificiran je kao slabo šljunkoviti pijesak jer se najviše sastoji od pijeska (95,30%) uz malo šljunka (0,30%) i mulja (4,40%) (**Tablica 2., Slika 8.**).

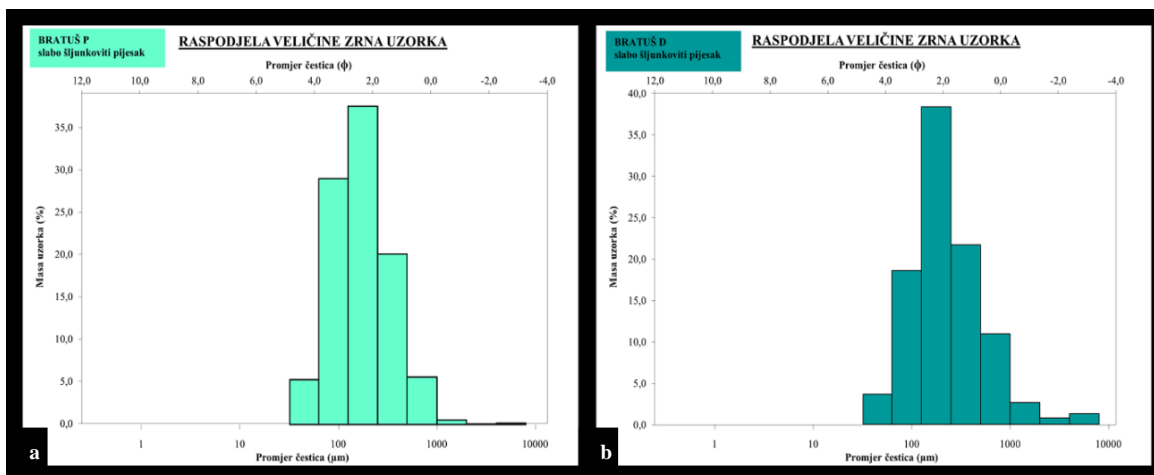
Srednja veličina zrna uzorka je 215,3  $\mu\text{m}$ , prosječna veličina zrna je 217,6  $\mu\text{m}$  tako da u uzorku prevladava sitnozrnati pijesak, sortiranost sedimenta je loša, u uzorku gotovo jednako prevladavaju sitnije i krupnije frakcije i materijal je gotovo cijeli raspoređen oko jedne veličine zrna (**Tablica 3. iz Priloga 1, Slika 11. pod c**).



Slika 11. Raspored veličine zrna uzorka za: a - PROMAJNU P, b - PROMAJNU D i c - PROMAJNU 2P.

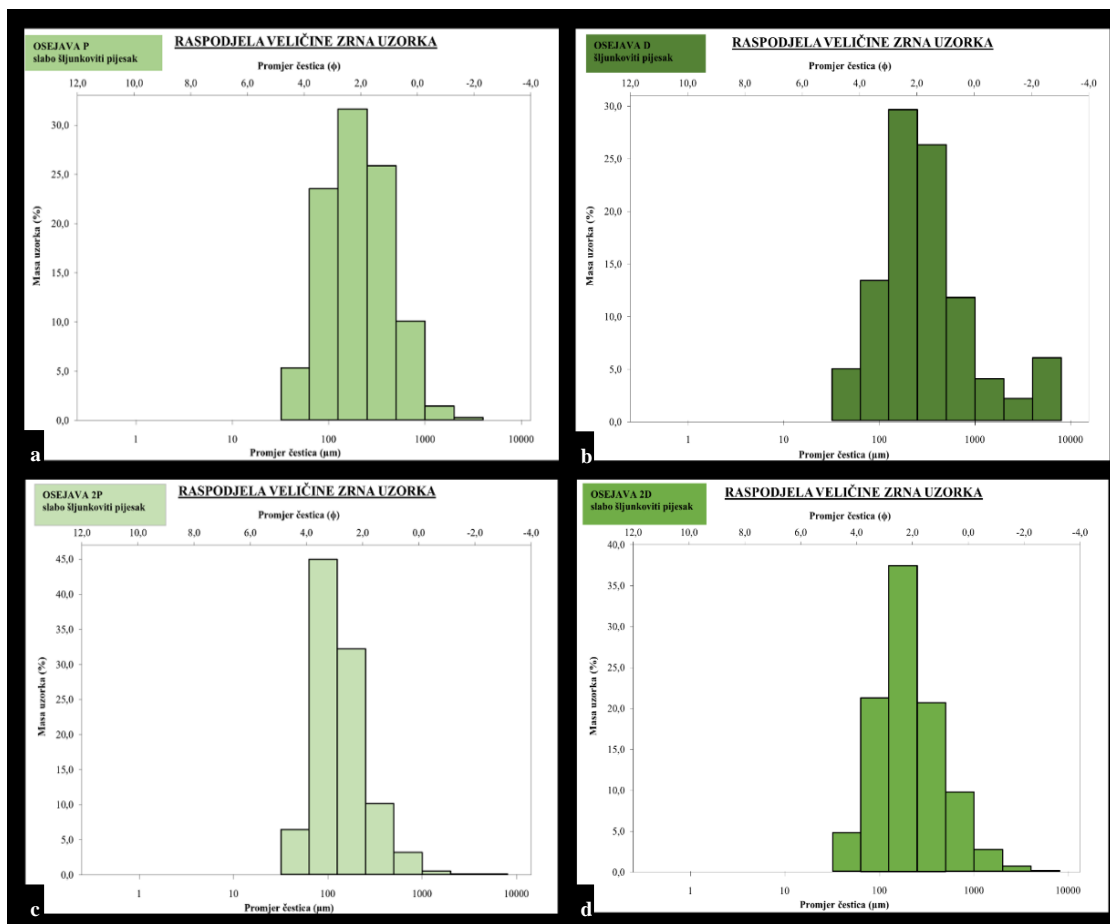
Prema sastavu, uzorak **BRATUŠ P** klasificiran je kao slabo šljunkoviti pijesak jer se najviše sastoji od pijeska (94,60%), malo mulja (5,20%) i malo šljunka (0,20%) (**Tablica 2., Slika 8.**). Srednja veličina zrna uzorka je 165,1  $\mu\text{m}$ , prosječna veličina zrna je 169,2  $\mu\text{m}$  tako da u uzorku prevladava sitnozrnati pijesak, sortiranost sedimenta je loša, u uzorku gotovo jednako prevladavaju sitnije i krupnije frakcije i materijal je gotov sav raspoređen oko jedne veličine zrna (**Tablica 3. iz Priloga 1, Slika 12. pod a**). Prema sastavu, uzorak **BRATUŠ D** klasificiran je kao slabo šljunkoviti pijesak jer se najviše sastoji od pijeska (94,30%), malo mulja (3,60%) i malo šljunka (2,10%) (**Tablica 2., Slika 8.**). Srednja veličina zrna uzorka je 203,3  $\mu\text{m}$ , prosječna veličina zrna je 216,0  $\mu\text{m}$  tako da u uzorku prevladava sitnozrnati pijesak, sortiranost sedimenta je loša, u uzorku prevladavaju sitnije frakcije i materijal je gotov sav raspoređen oko jedne veličine zrna (**Tablica 3. iz Priloga 1, Slika 12. pod b**).





Slika 12. Raspored veličine zrna uzorka za: a - BRATUŠ P i b - BRATUŠ D.

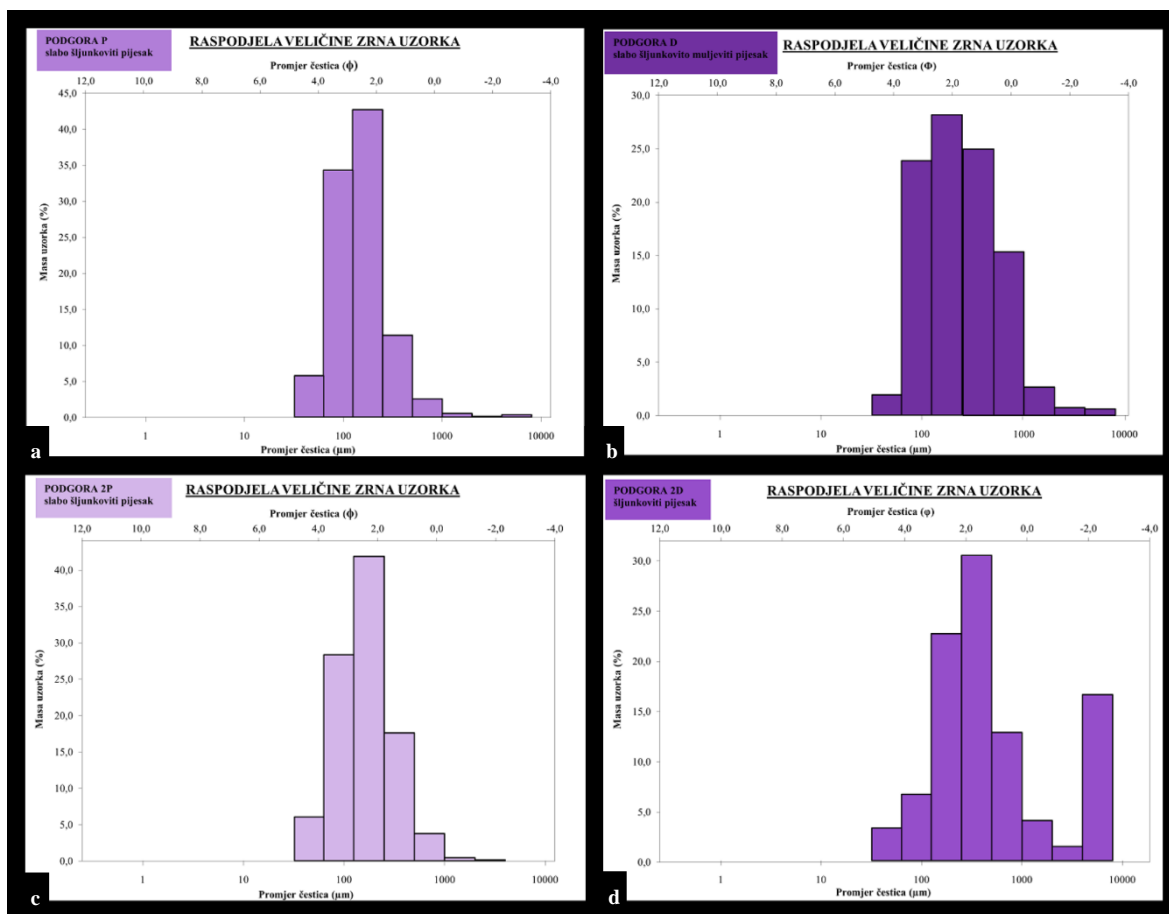
Prema sastavu, uzorak **OSEJAVA P** klasificiran je kao slabo šljunkoviti pijesak jer se najviše sastoji od pijeska (94,50%), vrlo malo šljunka (0,30%) i malo mulja (5,20%) (**Tablica 2., Slika 8.**). Srednja veličina zrna uzorka je 195,4  $\mu\text{m}$ , prosječna veličina zrna je 196,1  $\mu\text{m}$  tako da u uzorku prevladava sitnozrnati pijesak, sortiranost sedimenta je loša, u uzorku gotovo jednako prevladavaju sitnije i krupnije frakcije i materijal je gotov sav raspoređen oko jedne veličine zrna (**Tablica 3. iz Priloga 1, Slika 13. pod a**). Prema sastavu, uzorak **OSEJAVA D** klasificiran je kao šljunkoviti pijesak jer se najviše sastoji od pijeska (86,90%) uz nešto malo šljunka (8,30%) i mulja (4,90%) (**Tablica 2., Slika 8.**). Srednja veličina zrna je 257,9  $\mu\text{m}$ , prosječna veličina zrna je 284,3  $\mu\text{m}$  tako da u uzorku prevladava srednjezrnati pijesak, sortiranost sedimenta je loša, u uzorku gotovo jednako prevladavaju sitnije frakcije i materijal je raspoređen oko jedne veličine zrna (**Tablica 3. iz Priloga 1, Slika 13. pod b**). Prema sastavu, uzorak **OSEJAVA 2P** klasificiran je kao slabo šljunkoviti pijesak jer se najviše sastoji od pijeska (93,40%), vrlo malo šljunka (0,20%) i malo mulja (6,40%) (**Tablica 2., Slika 8.**). Srednja veličina zrna uzorka je 120,6  $\mu\text{m}$ , prosječna veličina zrna je 128,4  $\mu\text{m}$  tako da u uzorku prevladava sitnozrnati pijesak, sortiranost sedimenta je umjerena, u uzorku prevladavaju sitnije frakcije i materijal je gotov sav raspoređen oko jedne veličine zrna (**Tablica 3. iz Priloga 1, Slika 13. pod c**). Prema sastavu, uzorak **OSEJAVA 2D** klasificiran je kao slabo šljunkoviti pijesak jer se najviše sastoji od pijeska (94,60 %) uz vrlo malo šljunka (0,70%) i malo mulja (4,70%) (**Tablica 2., Slika 8.**). Srednja veličina zrna je 190,5  $\mu\text{m}$ , prosječna veličina zrna je 199,0  $\mu\text{m}$  tako da u uzorku prevladava sitnozrnati pijesak, sortiranost sedimenta je loša, u uzorku gotovo jednako prevladavaju sitnije frakcije i materijal je gotov sav raspoređen oko jedne veličine zrna (**Tablica 3. iz Priloga 1, Slika 13. pod d**).



Slika 13. Raspored zrna uzorka za: a - OSEJAVA P, b - OSEJAVA D, c - OSEJAVA 2P i d - OSEJAVA 2D.

Prema sastavu, uzorak **PODGORA P** klasificiran je kao slabo šljunkoviti pijesak jer se najviše sastoji od pijeska (93,90%), malo mulja (5,70%) i vrlo malo šljunka (0,40%) (Tablica 2., Slika 8.). Srednja veličina zrna uzorka je 144,6 µm, prosječna veličina zrna je 140,1 µm tako da u uzorku prevladava sitnozrnati pijesak, sortiranost sedimenta je umjerena, u uzorku gotovo jednako prevladavaju sitnije i krupnije frakcije i materijal je gotov sav raspoređen oko jedne veličine zrna (Tablica 3. iz Priloga 1, Slika 14. pod a). Prema sastavu, uzorak **PODGORA D** klasificiran je kao slabo šljunkoviti muljeviti pijesak jer se najviše sastoji od pijeska (86,4%), dosta mulja (12,2%) i malo šljunka (1,4%) (Tablica 2., Slika 8.). Srednja veličina zrna uzorka je 222,4 µm, prosječna veličina zrna je 230,9 µm tako da u uzorku prevladava sitnozrnati pijesak, sortiranost sedimenta je loša, u uzorku gotovo jednako prevladavaju sitnije i krupnije frakcije i u materijalu je prisutno više granulometrijskih frakcija (Tablica 3. iz Priloga 1, Slika 14. pod b).

Prema sastavu, uzorak **PODGORA 2P** klasificiran je kao slabo šljunkoviti pijesak jer se najviše sastoji od pijeska (94,00%), malo mulja (5,90%) i vrlo malo šljunka (0,10%) (**Tablica 2., Slika 8.**). Srednja veličina zrna uzorka je 160  $\mu\text{m}$ , prosječna veličina zrna je 159,9  $\mu\text{m}$  tako da u uzorku prevladava sitnozrnati pijesak, sortiranost sedimenta je umjerena, u uzorku gotovo jednako prevladavaju sitnije i krupnije frakcije i materijal je gotov sav raspoređen oko jedne veličine zrna (**Tablica 3. iz Priloga 1, Slika 14, pod c**). Prema sastavu, uzorak **PODGORA 2D** klasificiran je kao šljunkoviti pijesak jer se najviše sastoji od pijeska (78,3%), dosta šljunka (18,4%) i malo mulja (3,2%) (**Tablica 2., Slika 8.**). Srednja veličina zrna je 363,6  $\mu\text{m}$ , prosječna veličina zrna je 609,8  $\mu\text{m}$  tako da u uzorku prevladava krupnozrnati pijesak, sortiranost sedimenta je vrlo loša, u uzorku prevladavaju sitnije frakcije i materijal je raspoređen oko jedne veličine zrna (**Tablica 3. iz Priloga 1, Slika 14. pod d**).



Slika 14. Raspored veličine zrna uzorka za: a - PODGORU P, b - PODGORU D, c - PODGORU 2P i d - PODGORU 2D.

#### 4.1.2. Određivanje udjela karbonata u sedimentu

Udio karbonata u analiziranim uzorcima je u rasponu od 78 – 100% (Tablica 4.).

Tablica 4. Udio karbonata u uzorcima istraživanog područja.

UZORAK	masa (g)	F	V (CO <sub>2</sub> ) (mL)	% CaCO <sub>3</sub>	% CaCO <sub>3</sub> (prosjek)	% CaCO <sub>3</sub>
ŽNJAN 1	302,80	1,84	70,50	97,15	97,66	95,93
	302,80	1,84	71,00	98,16		
ŽNJAN 2	302,60	1,85	73,50	102,35	102,94	100,00
	303,20	1,85	74,50	103,54		
ŽNJAN 3	300,80	1,87	73,00	102,92	102,58	100,00
	300,90	1,85	73,00	102,23		
OMIŠ P	300,80	1,84	69,50	96,73	96,28	94,58
	301,40	1,84	69,00	95,84		
OMIŠ D	301,1	1,841	70	97,33	97,89	96,16
	301,9	1,841	71	98,46		
PROMAJNA P	301,30	1,86	59,00	82,78	81,53	80,89
	301,80	1,85	57,50	80,28		
PROMAJNA D	302,70	1,85	68,00	94,35	93,94	93,20
	303,10	1,85	67,50	93,54		
PROMAJNA 2P	302,50	1,85	65,00	90,54	89,63	88,92
	302,30	1,87	63,00	88,72		
BRATUŠ P	302,90	1,86	60,00	83,74	83,77	83,10
	302,70	1,86	60,00	83,79		
BRATUŠ D	303,70	1,86	61,50	85,61	85,36	84,68
	303,00	1,86	61,00	85,11		
OSEJAVA P	302,10	1,84	65,00	89,78	87,72	86,59
	302,00	1,87	61,00	85,66		
OSEJAVA D	300,60	1,84	65,50	90,92	91,18	89,57
	301,20	1,84	66,00	91,44		
OSEJAVA 2P	301,40	1,84	58,00	80,30	79,54	78,91
	301,90	1,84	57,00	78,78		
OSEJAVA 2D	300,80	1,84	63,50	88,38	87,30	85,76
	301,00	1,84	62,00	86,23		
PODGORA P	302,30	1,85	58,00	80,85	81,52	80,87
	302,50	1,85	59,00	82,18		
PODGORA D	302,00	1,85	64,00	89,01	88,98	88,28
	302,20	1,85	64,00	88,95		
PODGORA 2P	300,40	1,85	60,00	84,16	84,63	83,96
	299,60	1,85	60,50	85,09		
PODGORA 2D	300,80	1,86	65,50	92,05	92,68	91,95
	301,30	1,86	66,50	93,30		

U uzorku ŽNJAN 1 ima 96,89%, a uzorci ŽNJAN 2 i 3 su 100%-tni karbonati (Tablica 4.). U uzorku OMIŠ P ima 94,58% karbonata, a u uzorku OMIŠ D ima 96,16% (Tablica 4.). U uzorku PROMAJNA P ima 80,89%, a u uzorku PROMAJNA D ima 93,20% karbonata dok u uzorku PROMAJNA 2P ima 88,92% karbonata (Tablica 4.). U uzorku BRATUŠ P ima 83,10%, a u uzorku BRATUŠ D ima 84,68% karbonata (Tablica 4.). U uzorku OSEJAVA P ima 86,17%, u uzorku OSEJAVA D ima 89,57%, u uzorku OSEJAVA 2P ima 78,13% dok u uzorku OSEJAVA 2D ima 85,76% karbonata (Tablica 4.). U uzorku PODGORA P ima 80,87%, a u uzorku PODGORA D ima 88,28% karbonata dok u uzorku PODGORA 2P ima 83,96%, a u uzorku PODGORA 2D ima 91,95% karbonata (Tablica 4.).

### 4.1.3. Određivanje udjela organske tvari

Udio organske tvari u uzorcima je u rasponu od 1-13% (Tablica 5.).

Tablica 5. Udio organske tvari u uzorcima istraživanog područja nakon metode žarenja.

UZORAK	MASA NEŽARENE PRAZNE ČAŠICE (g)	MASA NEŽARENE PUNE ČAŠICE (g)	MASA UZORKA (g)	MASA ŽARENE PUNE ČAŠICE (g)	GUBITAK MASE (g)	PROSJEK MASE (g)	UDIO ORGANSKE TVARI (%)	PROSJEK (%)
ŽNJAN 1	12,0421	13,4438	1,4017	13,4386	0,0052	0,0091	0,3710	0,6525
	10,7350	12,1375	1,4025	12,1244	0,0131		0,9340	
ŽNJAN 2	13,7389	14,9948	1,2559	14,9808	0,0140	0,0131	1,1147	1,0431
	20,2246	21,4805	1,2559	21,4683	0,0122		0,9714	
ŽNJAN 3	18,2623	19,6211	1,3588	19,6112	0,0099	0,0102	0,7286	0,7510
	19,9485	21,3062	1,3577	21,2957	0,0105		0,7734	
OMIŠ P	11,2319	12,4367	1,2048	12,4243	0,0124	0,0122	1,0292	1,0079
	11,4590	12,6651	1,2061	12,6532	0,0119		0,9867	
OMIŠ D	18,6224	19,9261	1,3037	19,8966	0,0295	0,0337	2,2628	2,6318
	15,4602	16,7232	1,2630	16,6853	0,0379		3,0008	
PROMAJNA P	19,1640	20,3647	1,2007	20,3433	0,0214	0,0243	1,7823	2,0236
	14,3445	15,5454	1,2009	15,5182	0,0272		2,2650	
PROMAJNA D	18,9506	20,3062	1,3556	20,2946	0,0116	0,0171	0,8557	1,2609
	18,0328	19,3893	1,3565	19,3667	0,0226		1,6661	
PROMAJNA 2P	17,2486	18,6551	1,4065	18,6205	0,0346	0,0292	2,4600	2,1606
	15,2800	16,5534	1,2734	16,5297	0,0237		1,8612	
BRATUŠ P	19,2240	20,5314	1,3074	20,4999	0,0315	0,0277	2,4094	2,1189
	18,9802	20,2873	1,3071	20,2634	0,0239		1,8285	
BRATUŠ D	10,9467	12,2522	1,3055	12,0119	0,2403	0,1274	18,4067	9,7548
	11,0471	12,3529	1,3058	12,3385	0,0144		1,1028	
OSEJAVA P	11,0439	12,2947	1,2508	12,2774	0,0173	0,0198	1,3831	1,5866
	10,9323	12,1837	1,2514	12,1613	0,0224		1,7900	
OSEJAVA D	11,5038	13,0115	1,5077	12,9807	0,0308	0,0308	2,0428	2,2405
	13,2436	14,5110	1,2674	14,4801	0,0309		2,4381	
OSEJAVA 2P	11,1471	12,6485	1,5014	12,6181	0,0304	0,0216	2,0248	1,5191
	11,8984	13,1614	1,2630	13,1486	0,0128		1,0135	
OSEJAVA 2D	13,8382	15,0909	1,2527	15,0582	0,0327	0,0299	2,6104	2,3870
	20,3407	21,5932	1,2525	21,5661	0,0271		2,1637	
PODGORA P	19,3140	20,7194	1,4054	20,6852	0,0342	0,0269	2,4335	1,9603
	19,2014	20,5194	1,3180	20,4998	0,0196		1,4871	
PODGORA D	12,3324	13,6394	1,3070	13,6273	0,0121	0,0162	0,9258	1,2383
	12,0066	13,3220	1,3154	13,3016	0,0204		1,5509	
PODGORA 2P	11,2459	12,6476	1,4017	12,6157	0,0319	0,0218	2,2758	1,6391
	11,0682	12,2354	1,1672	12,2237	0,0117		1,0024	
PODGORA 2D	13,4601	14,7174	1,2573	14,6894	0,0280	0,0261	2,2270	2,0709
	20,1624	21,4210	1,2586	21,3969	0,0241		1,9148	

Za uzorak ŽNJAN 1 udio organske tvari je 0,65%, za uzorak ŽNJAN 2 1,04%, a za uzorak ŽNJAN 3 0,75% (Tablica 5.). Udio organske tvari uzorku OMIŠ P je 1,01%, a u uzorku OMIŠ D je 2,65% (Tablica 5.). Za uzorak PROMAJNA P 2,02%, a za uzorak PROMAJNA D udio organske tvari je 1,26% dok je za uzorak PROMAJNA 2P udio organske tvari 2,16% (Tablica 5.). U uzorku BRATUŠ P udio organske tvari je 2,12% dok je u uzorku BRATUŠ D 9,75% (Tablica 5.). Udio organske tvari u uzorku OSEJAVA P je 1,59%, a u uzorku OSEJAVA D je 2,24% dok je u uzorku OSEJAVA 2P udio organske tvari 1,52%, a u uzorku OSEJAVA 2D 2,39% (Tablica 5.). Udio organske tvari u uzorku PODGORA P je 1,96%, a u uzorku PODGORA D 1,24% dok je u uzorku PODGORA 2P udio organske tvari 1,64%, a u uzorku PODGORA 2D 2,07% (Tablica 5.).

## 4.2. Biološki rezultati

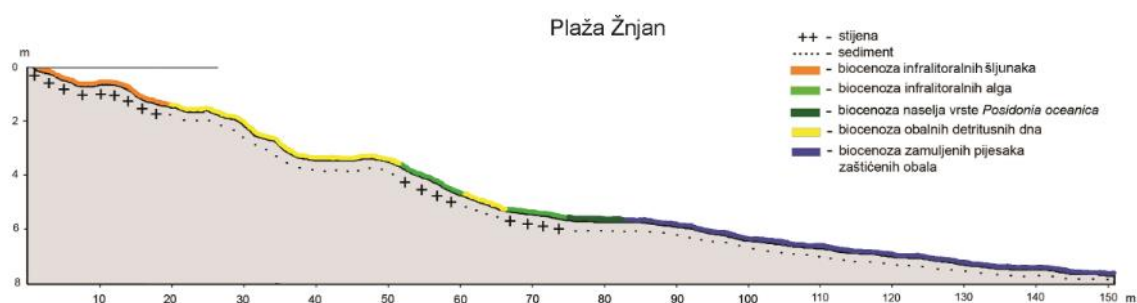
### 4.2.1. Istraživane postaje

#### 4.2.1.1. Plaža Žnjan

Istraživani profil proteže se od kraja plaže do 18 metara dubine (Slika 15.). Na početnom dijelu profila utvrđena je biocenoza infralitoralnih šljunaka do 1,5 metara dubine, a kasnije se nastavlja biocenoza obalnih detritusnih dna do 5 metara dubine (Slika 16.).



Slika 15. Istraživani profil plaže Žnjan. Autor: Petar Kružić



Slika 16. Profil plaže Žnjan s vertikalnim rasporedom razvijenih biocenoza. Autor: Petar Kružić

Na 5 metara dubine utvrđena je biocenoza naselja morske cvjetnice *Posidonia oceanica* (dvije relativno male livade) (Slika 17.). Najveći dio bentoske flore i faune nalazi se na sekundarno tvrdom dnu, na odbačenom otpadu ili na kamenim molovima. Na biocenozu obalnih detritusnih dna, na 6 metara dubine, nastavlja se biocenoza zamuljenih pijesaka zaštićenih obala (Slika 18.).





**Slika 17. Biocenoza naselja vrste *Posidonia oceanica*. Profil Žnjan. Dubina 5 metara. Autor: Petar Kružić**



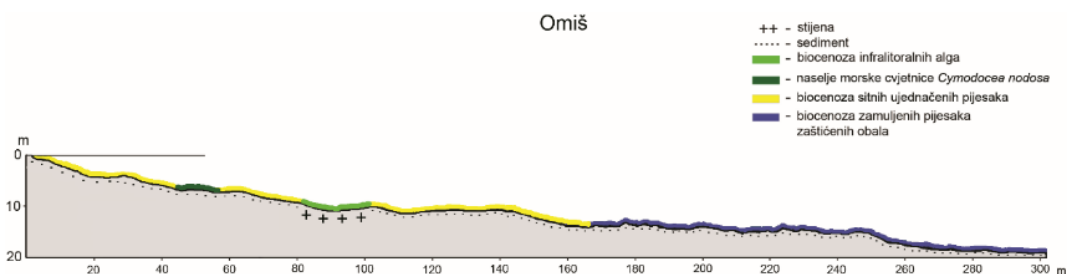
**Slika 18. Biocenoza obalnih detritusnih dna. Profil Žnjan. Dubina 3 metra. Autor: Petar Kružić**

#### 4.2.1.2. Plaža Omiš

Istraživani profil nalazi se uz plažu Brzet južno od Omiša (Slika 19.). Od površine pa do 5 metara dubine utvrđena je biocenoza sitnih ujednačenih pijesaka koja pada pod kutom od  $10^\circ$  (Slika 20.).



Slika 19. Istraživani profil plaže Brzet (Omiš). Autor: Petar Kružić



Slika 20. Istraživani profil Omiš s vertikalnim rasporedom razvijenih biocenoza. Autor: Petar Kružić

Između ove biocenoze utvrđena je manja livada posidonije *Posidonia oceanica*, te mjestimično je na tvrdoj podlozi (uglavnom stijene i veći komadi kamena) utvrđena i biocenoza infralitoralnih alga. U biocenozi infralitoralnih alga dominiraju zelene alge *Anadyomene stellata*, *Chaetomorpha linum*, *Cladophora prolifera*, *Ulva rigida*, *Codium fragile*. Od smeđih alga česte su *Cystoseira crinita* i *Acinetospora crinita* (prisutna u moru s organskim opterećenjem). Utvrđeno je vrlo malo ježinaca i to samo vrsta *Paracentrotus lividus*. Od kamenih koralja utvrđena je samo *Balanophyllia europaea*, te nekoliko uginulih kolonija busenastog koralja *Cladocora caespitosa*.



Utvrđeni su i mnogočetinaši *Serpula vermicularis* i *Sabella spallanzanii*, te kozice *Palaemon serratus*. Česti su i trpovi *Holothuria tubulosa* i *H. poli*. Od riba su česti crnej *Chromis* i salpa *Sarpa salpa*, te glavoč krvoust *Gobius cruentatus*. Od 7 metara dubine nastavlja se biocenoza sitnih ujednačenih pijesaka s manjim naseljima morskih cvjetnica *Zoostera marina* i *Cymodocea nodosa* (Slika 21.) sve do 10 metara dubine.



Slika 21. Morska cvjetnica *Zoostera marina* u biocenozi sitnih ujednačenih pijesaka. Dubina 10 metara. Autor: Petar Kružić

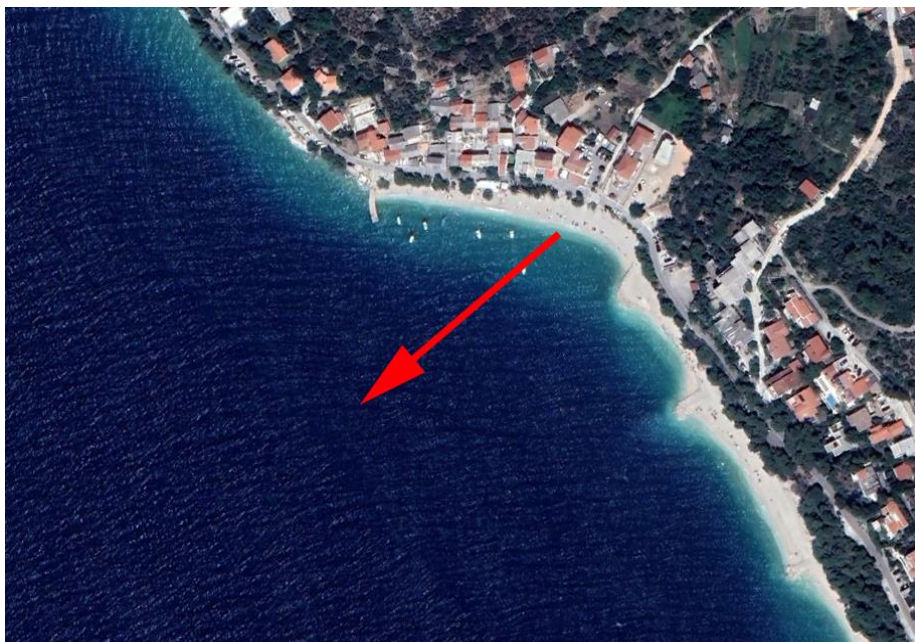
Mjestimično se nalazi i stjenovita podloga s pokrovom crvene alge *Neogoniolithon* sp., *Lithophyllum racemus* i *Jania* sp.. Od životinjskih vrsta u ovoj biocenozi čest je trp *Holothuria tubulosa*, morska naranča *Tethya citrina*, mnogočetinaši *Sabella pavonina* i *Protula tubularia*, puž bodljikavi volak *Bolinus brandaris*, te mješčićnice *Diplosoma* sp., *Microcosmus vulgaris*, *Phallusia mamillata*, te *P. fumigata*. Na mjestimičnoj tvrdoj podlozi nalazimo moruzgve *Condylactis aurantiaca*, *Cereus pedunculatus*, te *Aiptasia diaphana*. Utvrđene su i dvije uginule plemenite periske *Pinna nobilis*. Nakon 10 metara dubine nastavlja se biocenoza zamuljenih pijesaka zaštićenih obala sa mjestimičnom tvrdom podlogom (stijene i veće kamenje). Na toj tvrdoj podlozi dominira zelena alga *Cladophora prolifera*, te nešto manje crvena alga *Vidalia volubilis*. Na sedimentu se nalazi manje naselje morske cvjetnice *Cymodocea nodosa*. I ovdje je česta vrsta trp *Holothuria tubulosa*. Duž cijelog istraživanog profila uočeno je mnogo krutog otpada bačenog u more. Na odbačenim konopima nalaze se školjkaši *Mytilus galloprovincialis* i mješčićnica *Phallusia mamillata*.

#### 4.2.1.3. Plaža Promajna

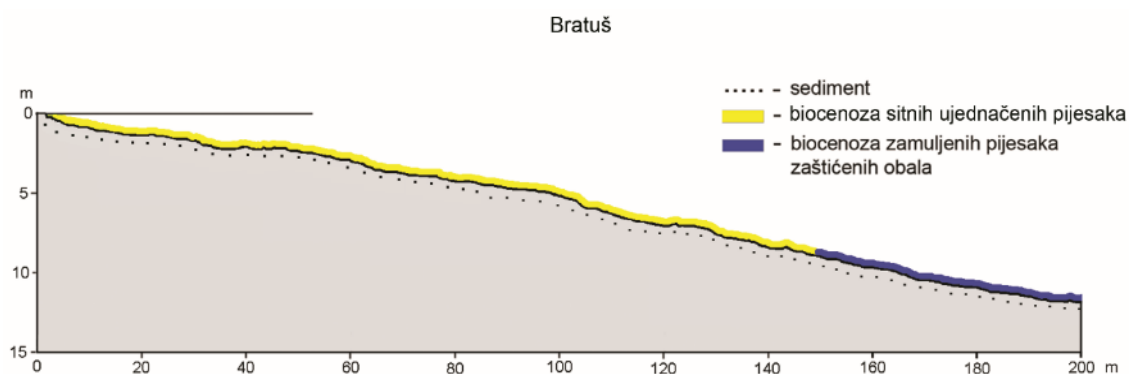
Za plažu Promajnu nije rađen biološki pregled, samo su uzeti uzorci sedimenta.

#### 4.2.1.4. Plaža Bratuš

Postaja se nalazi na najvećoj plaži mjesta Bratuš (Slika 22.). Dno pada pod blagim nagibom između 10 i 20°, a najveća dubina zarona bila je 12 metara (Slika 23.).



Slika 22. Istraživani profil plaže Bratuš. Autor: Petar Kružić



Slika 23. Raspored bentoskih biocenoza na postaji Bratuš. Autor: Petar Kružić

Od površine do 8 metara dubine dno je uglavnom pjeskovito s manjim dijelovima stijena. Ovdje je razvijena biocenoza sitnih ujednačenih pijesaka. Ovdje dominira morska cvjetnica *Zostera marina* dok je dio dna prekriven nepričvršćenom zelenom algom *Valonia macrophysa*.



Također prevladavaju moruzgve *Condylactis aurantiaca*, *Phymanthus pulcher* i *Cribrinopsis crassa*, školjkaši *Glycymeris*, *Pinna nobilis* (samo ljuštore) i *Pecten jacobaeus*, mnogočetinaši *Lagisca extenuata*, trp *Holothuria tubulosa*, plaštenjaci *Diplosoma listerianum*, *Microcosmus sabatieri*, *Phallusia mammilata* i *P. fumigata*, te zvjezdače *Astropecten spinulosus* i *Marthasterias glacialis* (Slika 24.). Česti su i glavoči *Gobius cruentatus*, *G. niger* i *G. cobitis*, te ušata *Oblada melanura*.

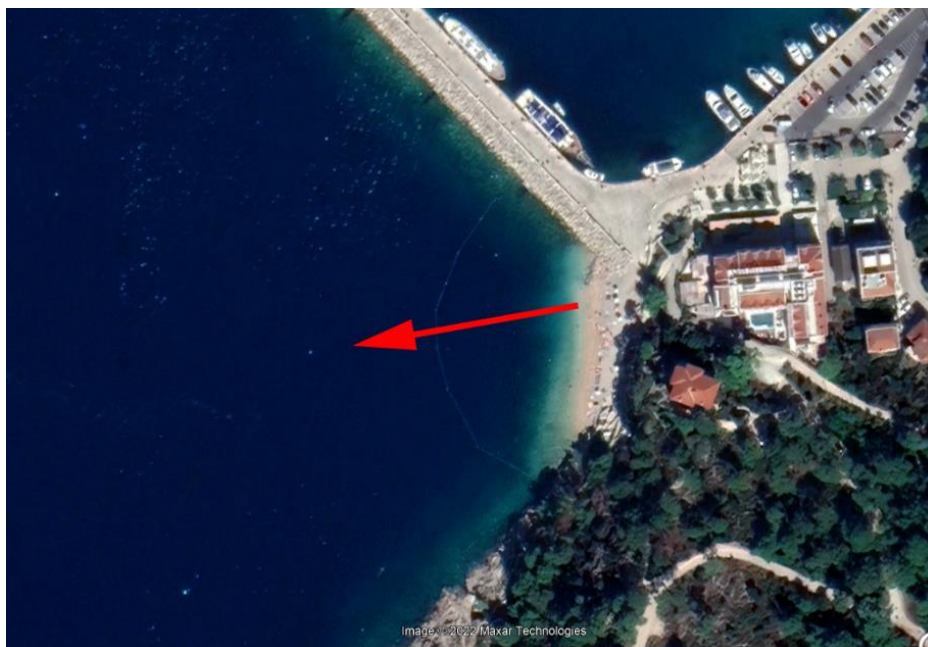


Slika 24. Moruzgva *Cereus pedunculatus* u biocenozi zamuljenih pijesaka na postaji Bratuš. Autor: Petar Kružić

Od 8 metara u dubinu nastavlja se zamuljeni pijesak s razvijenom biocenzom zamuljenih pijesaka zaštićenih obala. Ovdje je čest mnogočetinaš *Myxicola infundibulum*, mješčičnice *Aplidium conicum*, *A. proliferum* i *Diplosoma listerianum*, te ježinac *Schizaster canaliferus*. Utvrđena je i spužva *Tethya aurantium*. Duž cijelog istraživanog dijela uočeno je mnogo krutog otpada.

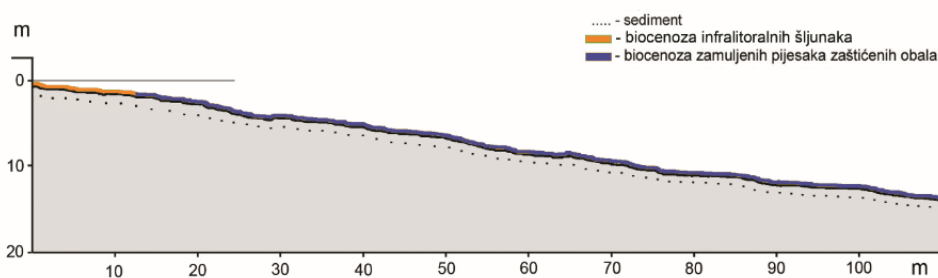
#### 4.2.1.5. Plaža Osejava

Plaža Osejava nalazi se u sklopu hotela Osejava na južnom dijelu grada Makarska (Slika 25.). Dno je do dubine od 2 metra mješavina šljunka i pijeska s manjim dijelovima stjenovitog dna (Slika 26.).



Slika 25. Istraživani profil plaže Osejava. Autor: Petar Kružić

Osejava

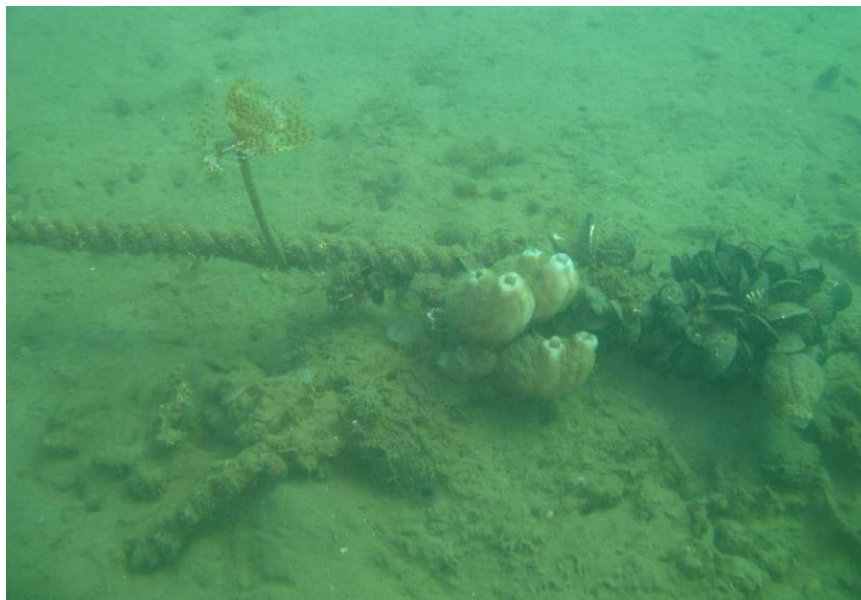


Slika 26. Profil Osejava s rasporedom podloge i razvijenih biocenoza. Autor: Petar Kružić

Obraštaj algama na dijelovima tvrde podloge je vrlo skroman i u ovom dijelu prevladavaju zelena alga *Chaetomorpha sp.* i smeđa alga *Padina pavonica*. Uz naselja alga prisutan je i ježinac *Paracentrotus lividus*. Na dubini od 2 m šljunkovito dno postupno prelazi u dno zamuljenog ljuštarnog pijeska i biocenozu zamuljenih pijesaka zaštićenih obala relativno blagog nagiba. Prisutni su i žarnjaci *Phymanthus pulcher* i *Cerianthus membranaceus* te plaštenjaci *Phallusia mammilata*, *Microcosmus sabatieri* i *Halocynthia papillosa* koji naseljavaju biogeno učvršćenu podlogu ili odbačene predmete (Slike 27. i 28.).



Slika 27. Žarnjak *Cerianthus membranaceus* u biocenozi zamuljenih pijesaka zaštićenih obala na istraživanom profilu Osejava. Autor: Petar Kružić



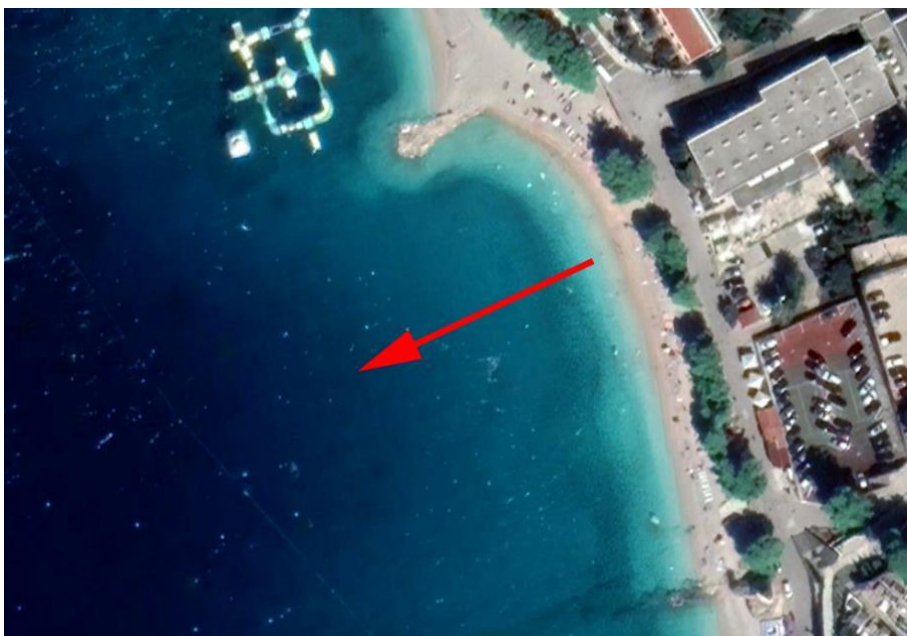
Slika 28. Mnogočetinaš *Sabella spallanzani*, mješćićnica *Phallusia mammilata* i školjkaš *Mytilus galloprovincialis* na istraživanom profilu Osejava. Autor: Petar Kružić

Od spužava je mjestimično prisutna vrsta *Aplysina aerophoba*. Na biogeno učvršćenoj podlozi nalazimo puža *Serpulorbis arenaria*, te mnogočetinaše *Bispira mariae*, *Protula tubularia* i vrlo učestalu vrstu *Sabella spalanzani*. Svi ovi organizmi dodatno učvršćuju sekundarno tvrdo dno i tako stvaraju uvjete za naseljavanje drugih sesilnih životinja. Od riba na ovom profilu utvrđene su vrste *Serranus hepatus* i *Symphodus mediterraneus*. I duž ovog profila uočeno je mnogo bačenog krutog otpada (staklene i plastične boce, automobilske gume i raznovrsni metalni predmeti, kao i jedan bicikl) koji mnogi organizmi koriste kao podlogu za svoj rast.

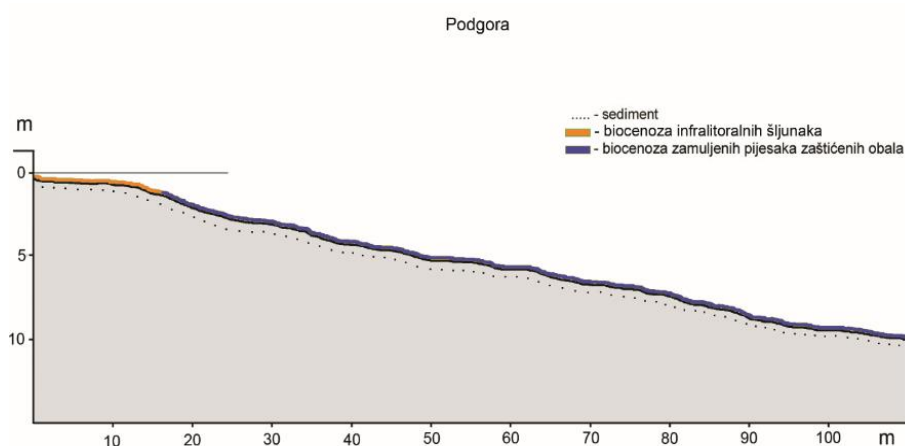


#### 4.2.1.6. Plaža Podgora

Postaja se nalazi na najvećoj plaži mjesta Podgora, uz hotel Salines (Slika 29.). Šljunkovito dno započinje od površine pa do 1,5 m dubine i spušta se pod blagim kutom dalje u dubinu (Slika 30.).



Slika 29. Istraživani profil plaže Podgora. Autor: Petar Kružić



Slika 30. Profil Podgora s rasporedom podloge i razvijenih biocenoza. Autor: Petar Kružić

Ovdje se nalazi biocenoza infralitoralnih šljunaka. Uz manja naselja morske cvjetnice *Zostera marina*, ovdje uglavnom prevladavaju moruzgve *Phymanthus pulcher* i *Bunodactis verrucosa*, školjkaš *Pecten jacobaeus*, mnogočetinaši *Myxicola infundibulum* i *Lagisca extenuata*, plaštenjak *Phallusia mammilata*, te zvjezdača *Astropecten aranciacus*. Na biogenom dnu, te uz nakupine kamenja na sedimentu utvrđena je moruzgva *Aiptasia mutabilis* (Slika 31.).



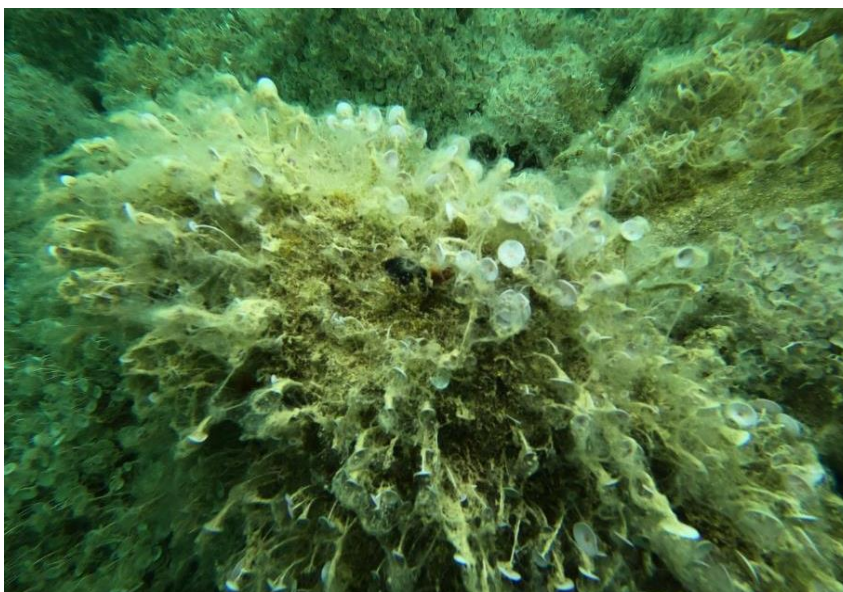
Slika 31. Žarnjak *Aiptasia mutabilis* između kamenja na istraživanom profilu Podgora. Autor: Petar Kružić

Od 1,5 m u dubinu rasprostranjen je zamuljeni pijesak s razvijenom biocenozom zamuljenih pijesaka zaštićenih obala. Utvrđen je i veliki broj moruzgvi *Calliactis parasitica* koje žive u simbiozi s rakom samcem *Paguristes eremita*. Jedan dio utvrđene bentoske flore i faune nalazi se na sekundarno tvrdom dnu, na odbačenom otpadu ili na kamenom molu. Na kamenitoj podlozi prevladava zelena alga *Acetabularia acetabulum*. Na sedimentnom dnu nalaze se morska naranča *Tethya aurantium*, bodljikaši *Astropecten aranciacus*, *Brissus unicolor* i *Astropecten aranciacus*, zeleni zvjezdan *Bonellia viridis*, te moruzgva *Condylactis aurantiaca*. Od riba utvrđene su pirka *Serranus scriba*, vučić *Serranus hepatus*, trlja od blata *Mullus barbatus*, crvenousti glavoč *Gobius cruentatus*, žuti glavoč *Gobius vittatus* i crnej *Chromis*. Duž cijelog istraživanog profila uočeno je mnogo bačenog krutog otpada (prvenstveno plastika i staklo).

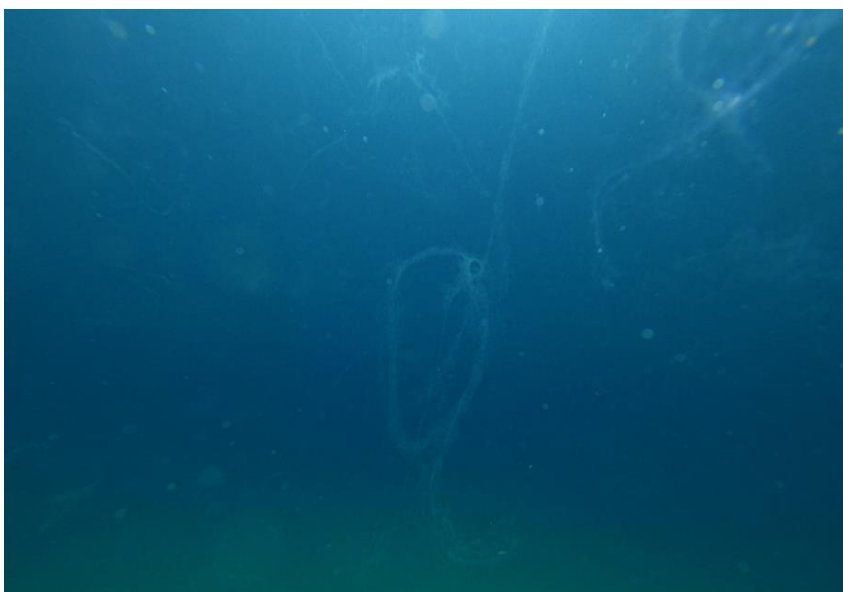
#### 4.2.2. Analiza sastava i stanja životnih zajednica na istraživanim postajama

Na području istraživanja zabilježeno je i nekoliko bentoskih vrsta koje su zaštićene Zakonom o zaštiti prirode (NN 80/13, 15/18, 14/19, 127/19). Tako su među zaštićenim vrstama utvrđene morska cvjetnica posidonija (*Posidonia oceanica*), plemenita periska (*Pinna nobilis*), morska naranča (*Tethya aurantium*) i hridinski ježinac (*Paracentrotus lividus*). Listovi morske cvjetnice posidonije većinom su prekriveni obraštajem.

Na plaži Žnjan utvrđen je veći dio muljevitog primjesa unutar biocenoze zamuljenih pijesaka zaštićenih obala kao i veća degradiranost livada morske cvjetnice posidonije. Sve utvrđene biocenoze su djelomično degradirane, najviše antropogenim utjecajem (kanalizacija i kruti otpad), te slabom cirkulacijom mora koja utječe na povećanu sedimentaciju i povećani obraštaj (dobar indikator onečišćenosti; to je zajednica bakterija, alga, različitih heterotrofnih organizama i detritusa) na utvrđenim biljnim i životinjskim vrstama. Obraštaj po vrstama utvrđen je na svim postajama, a najviše na postaji Podgora (Slika 32.). Vidljivost u vodenom stupcu na postaji Podgora je većinom slaba i utvrđen je morski snijeg (Slika 33.).



Slika 32. Obraštaj na algi *Acetabularia acetabulum* na postaji Podgora. Autor: Petar Kružić



Slika 33. Morski „snijeg“ kao uzrok cvjetanja fitoplanktonskih alga na postaji Podgora. Autor: Petar Kružić



Morsko dno i organizmi u podmorju plaže Osejave i Podgore prekriveni su sitnim sedimentom (muljem) (**Slika 34.**).



**Slika 34.** Sedimentom prekriven trp *Holothuria tubulosa* na postaji Osejava. Autor: Petar Kružić

Osim posidonije, nije utvrđeno da su ostale zakonom zaštićene vrste na istraživanom području ugrožene, osim djelomično antropogenim utjecajem bacanjem krupnog otpada. Krupni je otpad utvrđen na svim postajama (automobilske gume, plastične i staklene boce, konopi) (**Slika 35.**).



**Slika 35.** Automobilska guma na postaji Žnjan. Autor: Petar Kružić

## 5. Rasprava

Uzorci ŽNJAN 1, ŽNJAN 2 i ŽNJAN 3 se uglavnom sastoje od gotovo podjednakih udjela pijeska (30-60%) i šljunka (35-70%), dok je udio mulja manje od 3% (**Tablica 2.**). Ovakav sastav odgovara stanju uočenom ronjenjem, gdje je u najplićem dijelu identificirana biocenoza infralitoralnih šljunaka (**Slika 16.**). Udio karbonata u uzorcima sa Žnjana je izrazito visok (>95%) za sva 3 uzorka (**Tablica 4.**). Ovakvi rezultati ne odgovaraju prirodnoj litološkoj podlozi, na kojoj dominira fliš sa značajnim udjelom lapora (MARINČIĆ, 1981; PIKELJ i JURAČIĆ, 2013; PIKELJ i sur., 2017b). Prema uvjetima prirodne sedimentacije očekivano je bilo da u podmorju plaže prevladava muljevita frakcija s relativno niskim udjelom karbonatne frakcije (oko 50% ili manje). No, s obzirom da je ova plaža nasipana karbonatnim materijalom iz kamenoloma, dobiveni rezultati veličine zrna i udjela karbonata ne iznenađuju (**Tablica 3.** iz **Priloga 1** i **Tablica 4.**). U skladu s vrlo krupnozrnatim materijalom gotovo isključivo karbonatnog sastava, udio organske tvari u sedimentu je očekivan (<1%) (**Tablica 5.**). Dobiveni rezultati svakako pokazuju da nasipavanje žnjanske plaže utječe na sastav morskog dna, ali ne u smjeru povećanja muljevite nekarbonatne tvari, već povećanje udjela krupnozrnatog karbonatnog materijala, od kakvog je plaža izgrađena. Nadalje, mora se spomenuti i to da je orijentacija žnjanske plaže u globalu takva da dominantni valovi juga dolaze direktno (okomito) na plažu (**Slika 15.**) čime se uspinjanje vala (*swash*) i njegovo povlačenje (*backwash*) odvijaju također okomito na smjer pružanja plaže, povećavajući mogućnost povlačenja materijala u dubinu. Biocenoze infralitoralnih alga i posidonije koja je u relativno dobrom stanju (**Slika 17.**) ukazuju na to da nema značajnog unosa muljevite frakcije u podmorski dio plaže. Pretpostavlja se da je u prošlosti prije izgradnje plaže (prije više od 30 godina) dotok mulja bio puno veći nego što je to danas. Na to ukazuje relativno proziran vodeni stupac (**Slike 17.** i **18.**). Detritusna dna na kojima su jasno uočljivi valni riplovi (**Slika 18.**) ukazuju na redovitu resuspenziju materijala čime čestice mulja bivaju odnesene u dublje dijelove. Za plažu Žnjan se stoga može zaključiti da je promjena materijala koji se ispire s obale vjerojatno poboljšala prozirnost vodenog stupca i otvorila mogućnost promjene prirodnih biocenoza, koja nema u potpunosti negativan predznak.

Za uzorke **OMIŠ P** i **D** utvrđeno je da se većinski sastoje od pijeska (>90%) (**Tablica 2.**) i materijal je raspoređen oko jedne veličine zrna (**Tablica 3.** iz **Priloga 1**). To odgovara stanju koje je uočeno ronjenjem, a to je prisutnost biocenoze sitnih ujednačenih pijesaka (**Slika 20.**). Udio karbonata je za oba uzorka preko 90% (**Tablica 4.**). Ovakav rezultat odgovara litološkoj podlozi istraživanog područja u kojoj prevladava karbonatna komponenta na obali, dok je sitnozrnati (laporoviti) dio potrošenog materijala vjerojatno odnesen u dublje dijelove. Osim toga, plaža je ovdje nasipana karbonatnim tucanikom, pa nije moguće u potpunosti odgovoriti na pitanje koji dio karbonatne komponente pripada materijalu s plaže, a koji dio potječe od biogene karbonatne produkcije, karakteristične za istočnu stranu Jadranskog mora (PIKELJ, 2010). No, kako oba uzorka imaju mali udio mulja u svom sastavu (do 5%) (**Tablica 2.**) kao i malu količinu organske tvari (do 3%) (**Tablica 5.**) postoji mogućnost da je ispred ove plaže utjecaj prirodne sedimentacije veći od materijala ispranog s nasipane plaže. S druge strane, sitne čestice karbonatnog mulja u pravilu u tucaniku nisu u značajnim količinama pa se pretpostavlja da se unos sitnozrnatog materijala na ovoj plaži ne razlikuje od prirodnog unosa. Tome u prilog ide i činjenica da je na prostoru ispred plaže razvijena livada morskih cvjetnica u tipičnom pjeskovitom biogenom karbonatu, karakterističnom za istočnu obalu Jadrana (PIKELJ, 2010). Također, zona zamuljenih pijesaka javlja se na dubinama od oko 10-12 m, što potvrđuje da u podmorju ispred plaže Brzet nije moguće tvrditi da postoji značajan utjecaj nasipavanja plaže. Nadalje, prema **Slici 21.** vodeni stupac ispred plaže na Brzetu je bistar i bez vidljivog muljevito pokrivača na organizmima. Ipak, treba uzeti u obzir činjenicu da je plaža stara tek nekoliko godina te da dugotrajnije praćenje istih biocenoza može dati jasniji rezultat. Također, detaljnija analiza sedimenta (mikroskopiranje frakcija sedimenta, fazna analiza) može dati daljnji uvid u njegove karakteristike i porijeklo. Tijekom ronjenja viđene su dvije ljušture ugrožene vrste plemenite periske *Pinna nobilis*, čije stradavanje može biti i posljedica masovnog pomora na Sredozemlju (ŠARIĆ i sur., 2020).

Uzorci **PROMAJNA P**, **PROMAJNA D** i **PROMAJNA 2P** su po svojim karakteristikama slični uzorcima s omiške plaže: sadrže značajne količine pijeska (87-95%), mulja je nešto više (4-7%), a udio šljunka je iznimno visok samo u jednom uzorku (**PROMAJNA D** – 9%) (**Tablica 2.**). Zajedno s visokim udjelom karbonata (80-93%) (**Tablica 4.**) i time očekivano malim udjelom organske tvari (do 2%) (**Tablica 5.**) može se zaključiti da je ovaj sediment tipičan sediment istočnog Jadrana (PIKELJ, 2010).

Ipak, ovakav zaključak o prirodnosti sedimenta ne bi trebalo donositi bez podataka o ronjenju i stanja biocenoze na profilima jer je prethodni primjer žnjanske plaže potvrdio da i karbonatom nadosipana plaža može mijenjati sediment morskog dna i s njim povezane biocenoze.

Uzorci **BRATUŠ P** i **BRATUŠ D** klasificirani su kao slabo šljunkoviti pijesci (**Slika 8.**). Udio pijeska u njima dominira (>94%), udio mulja je do 5%, a udio šljunka do 2% (**Tablica 2.**). Sadrže 83-84% karbonatnog materijala (**Tablica 4.**), a udio organske tvari nije moguće jednoznačno objasniti jer je razlika između dva mjerenja bila preko 17% (**Tablica 5.**). S obzirom na litološke karakteristike obale u području Bratuša s malo laporovite komponente u flišnom kompleksu (MARINČIĆ, 1981; PIKELJ i JURAČIĆ, 2013) ne očekuje se značajno visok udio muljevite frakcije u sedimentu. To je pokazao i pregled tijekom ronjenja gdje je utvrđeno da je riječ o morskome dnu s biocenzom ujednačenih pijesaka (**Slika 23.**). Prirodnost ovog sedimenta pokazuje i **Slika 24.**, gdje je vidljiv bistar stupac vode s dominantnom pjeskovitom podlogom i organizmom bez sloja sitnozrnatih čestica. Bez obzira na značajnije količine otpada, ne može se tvrditi o negativnom utjecaju prakse nasipavanja u području plaže Bratuš, tim više što informacije o dohranjivanju prirodne plaže za sad nisu pronađene.

Za uzorke **OSEJAVA P**, **OSEJAVA D**, **OSEJAVA 2P** i **OSEJAVA 2D** utvrđeno je da se uglavnom sastoje od pijeska (87-95%), od mulja s udjelom do 6% i tek neznatnom količinom šljunka, osim u slučaju uzorka **OSEJAVA D** (> 8%) (**Tablica 2.**). Udio karbonata u ovim je uzorcima od 79 – 90% (**Tablica 4.**) što odgovara litološkoj podlozi (MARINČIĆ, 1981; PIKELJ i JURAČIĆ, 2013). Udio organske tvari u ovim uzorcima je do 2% (**Tablica 5.**) što nije značajna količina s obzirom na unos materijala koji sadrži tlo. Pretpostavlja se da je dio sitnozrnatih čestica raspršen dalje u vodenom stupcu i/ili odnesen u dublji dio morskog dna. Iako muljevita frakcija nije značajnije zastupljena u uzorkovanom sedimentu u odnosu na plažu kod Omiša, biocenoza zamuljenih pijesaka počinje puno pliće u odnosu na omišku plažu (**Slika 26.**) što može ukazivati na recentnije značajniji donos muljevite frakcije s kopna. Kako obala prostora Makarske ne daje izdašnije količine muljevite frakcije, velika je mogućnost da je muljevita frakcija isprana s područja plaže. Tome u prilog govore **Slike 27.** i **28.**, na kojima je vidljiv mutan vodeni stupac, kao i to da su organizmi i antropogeni predmeti (uže) u značajnoj mjeri prekriveni sitnijim česticama.

Utvrđen sloj mulja na organizmima može imati dugoročne posljedice na sastav, opstanak i oporavak pridnenih biocenoza kao što je zaključio HOBBS (2007). Slabija vidljivost ukazuje na to da praksa nasipavanja i dohranjivanja plaža neadekvatnim materijalom povećava zamućenost u vodi (BOUDOURESQUE i sur., 2016; COURTENAY i sur., 1972; PETERSON i BISHOP, 2005). Da je vrlo vjerojatno riječ o antropogeno unesenom materijalu govore i podaci o nasipavanju u travnju 2021. godine, kada je na ovu plažu navezena značajna količina sitnozrnatog materijala (tla i sl.) (Slika 36.)[4].



Slika 36. Situacija na Osejavi nakon prakse nasipavanja. Izvor: [4]

Uzorci **PODGORA P**, **PODGORA D**, **PODGORA 2P** i **PODGORA 2D** kao i prethodni uzorci sadrže značajnu količinu pijeska (>78%), naročito oni plići (>93%) (Tablica 2.). U samo jednom dubljem uzorku nađeno je više šljunka (>18%) dok je u drugom dubljem uzorku pronađena značajna količina mulja (>12%) (Tablica 2.). Uzorci sedimenta su prosječno visoko-karbonatni kao i svi prethodno analizirani uzorci, s udjelom karbonata od 81-92% (Tablica 4.) i udjelom organske tvari do 2% (Tablica 5.). Ovakve opće karakteristike sedimenta nisu neočekivane. No, slično kao i kod uzoraka iz Makarske (Osejava) biocenoze zamuljenh pijesaka počinju relativno plitko, na svega 1-2 m (Slika 30.). Nadalje, za razliku od drugih lokaliteta u vodenom stupcu je jasno vidljiv morski snijeg (Slika 33.). Morski snijeg se javlja kao posljedica cvjetanja mora (traje od kraja proljeća do jeseni), a uzrok cvjetanja mora je nesavjesno nasipavanje plaža s materijalom koji sadrži veći postotak zemlje kao i kanalizacijski ispusti u more.



Dakle, morski snijeg je posljedica značajnijeg unosa nutrijenata u morsku vodu. S obzirom na vrijeme uzorkovanja tijekom kakve-takve turističke sezone epidemijskih godina, zasigurno je unos hranjivih soli veći s kopna u odnosu na uobičajene zimske periode. Drugi i vrlo jasan antropogeni utjecaj na biocenoze morskog dna koji je vezan za praksu nasipavanja je značajna prekrivenost morskih organizama slojem sitnozrnatog materijala kao i na Osejavi što je uočeno ronjenjem. Prekrivenost morskog dna i organizama sitnim sedimentom (muljem) je posljedica nasipavanja plaža šljunkom sa većim primjesom zemlje. Prekrivenost listova morske cvjetnice *Posidonia oceanica* obraštajem je direktno povezano s organskim opterećenjem na ovom području. Gotovo incidentno nasipavanje plaža u području Podgore provedeno je u proljeće 2020. godine, kada je kao plažni materijal dohranjena značajna količina zemljanog (tlu sličnog materijala) [5] (Slika 37.). Ovako značajna količina muljevite frakcije nije u skladu s prirodnim litološkim karakteristikama makarskog primorja u kojima dominiraju šljunčane plaže i slabiji unos laporovite komponente iz fliša u odnosu na primjerice područje Splita i Kaštela. Stoga se može zaključiti da je nasipavanje u Podgori značajno utjecalo na prekrivanje morskog dna muljem, a time i na zatečenu biocenozu. Da je riječ o procesu koji je još uvijek možda prisutan ukazuje i blaga zamućenost vodenog stupca (Slika 33.).



Slika 37. Situacija u Podgori nakon prakse nasipavanja. Izvor: [5]

S obzirom na prirodno prisutnu podlogu i litološke karakteristike, u Hrvatskoj bi se za nasipavanje plaža trebao koristiti karbonatni i krupnozrnati materijal kao i izbjegavati materijal nalik zemljanom, tj. s većim udjelom sitnozrnatog sedimenta.

## 6. Zaključak

Cilj ovog diplomskog rada bio je utvrditi promjene pridnenih taložnih okoliša i biocenoza nakon provedene prakse nasipavanja i dohranjivanja plaža. Uz to, cilj je bio i ocijeniti prikladnost prakse na istraživanim plažama, uključujući i materijal koji se koristi i pokušati definirati smjernice za korekciju buduće prakse dohranjivanja ili nasipavanja. Područje ovog istraživanja su prirodne ili umjetne plaže na hrvatskoj obali na kojima se primjenjuje praksa dohranjivanja ili nasipavanja. Radi se o plažama u Žnjanu, Omišu, Promajni, Bratušu, Osejavi i Podgori. Za ostvarenje ciljeva, korištene su metoda analize veličine zrna sedimenta (granulometrija), metoda određivanja udjela karbonata u sedimentu (kalcimetrija), metoda žarenja za određivanje udjela organske tvari i analiza sastava i stanja pridnenih zajednica.

Za plažu **ŽNJAN** dobiveni rezultati pokazuju da nasipavanje žnjanske plaže utječe na sastav morskog dna, ali ne u smislu povećanja muljevite nekarbonatne tvari već u smislu povećanju udjela krupnozrnatog karbonatnog materijala od kakvog je plaža izgrađena. Vodeni stupac je zato relativno proziran pa se može zaključiti da je promjena materijala koji se ispire s obale vjerojatno poboljšala prozirnost vodenog stupca i otvorila mogućnost promjene prirodnih biocenoza koja nema u potpunosti negativan predznak. Može se zaključiti da je na Žnjanu čak pozitivna promjena nakon prakse, ali bi možda bilo bolje da je sediment još krupniji. Za plažu **OMIŠ** nije moguće tvrditi da postoji značajan utjecaj nasipavanja plaže, jer je vodeni stupac bistar i bez vidljivog muljevitog pokrivača na organizmima. No, ova je plaža stara tek nekoliko godina te bi za jasnije rezultate trebalo dugotrajnije praćenje prisutnih biocenoza. Plaža **PROMAJNA** po svojim karakteristikama sličići omiškoj plaži; uzorci sedimenta odgovaraju prirodno prisutnom sedimentu istočne strane Jadranskog mora. No, bez podataka o ronjenju i o stanju biocenoza ne možemo donijeti konkretniji zaključak o prirodnosti sedimenta. Na plaži **BRATUŠ** ne može se tvrditi o negativnom utjecaju prakse dohranjivanja jer je vodeni stupac bistar, tip sedimenta uočen ronjenjem odgovara litološkim karakteristikama, a i same informacije o provedenoj praksi do sad nisu pronađene. Na plaži **OSEJAVA** je vidljiv negativan utjecaj prakse nasipavanja zbog prisutne muljevite frakcije koja je vjerojatno isprana s područja plaže jer obala prostora Makarske inače ne daje izdašnije ovakve frakcije. Tome u prilog ide uočen mutan vodeni stupac kao i prekrivenost organizama slojem sitnih čestica. Ovakva situacija odgovara informacijama o nasipavanju u travnju 2021. godine kada je na ovu plažu navezena značajna količina sitnozrnatog materijala.

Može se zaključiti da je u podmorju plaže **PODGORE** najveći negativan utjecaj prakse nasipavanja. Na ovoj je lokaciji jasno vidljiv morski snijeg koji je posljedica cvjetanja mora. Dodatni vidljiv antropogeni utjecaj koji je vezan za neadekvatnu praksu nasipavanja je prekrivenost dna i morskih organizama slojem sitnozrnatog materijala što odgovara informacijama o provedenom nasipavanju u području Podgore u proljeće 2020. godine kad je kao plažni materijal dohranjena značajna količina zemljanog (tlu sličnog) materijala. Prekrivenost listova morske cvjetnice posidonije obraštajem je direktno povezano s organskim opterećenjem na ovom području.

Sedimentološke karakteristike se malo razlikuju među svim lokacijama pri čemu određene razlike ukazuju na postojeći utjecaj. No, sedimentološke karakteristike u kombinaciji s utvrđivanjem stanja biocenoza daju potpuniji odgovor na pitanje o utjecaju. Također je na svim lokacijama uočen krupni otpad kojemu ovdje nije mjesto. U budućnosti bi ovakvi projekti trebali biti strože kontrolirani s obaveznom izradom studije o utjecaju na okoliš. Nadalje, trebalo bi više pažnje posvetiti odabiru materijala kojim se plaža dohranjuje ili nasipava. U suprotnome, loš odabir i neprilagođena praksa mogu imati dugoročne negativne posljedice. Plaže u Hrvatskoj trebalo bi dohranjivati ili nasipavati karbonatnim i krupnozrnatim materijalom jer takav materijal odgovara prirodno prisutnom. Također je izrazito bitno u svim fazama prakse (prije, tokom i poslije) provoditi monitoring stanja okoliša i biocenoza kako bi se previdjele ili uočile negativne posljedice i sukladno tome pravodobno reagiralo. Navedeni su postupci nužni u svim budućim zahvatima dohranjivanja i nasipavanja plaža jer su obale kao i plaže prisutne na njima iznimno ekološki i ekonomski vrijedna, ali ugrožena mjesta koja trebaju adekvatnu zaštitu i brigu.



## 7. Literatura

1. BADALAMENTI F., ALAGNA A., D'ANNA G., TERLIZZI A., DI CARLO G. (2011): The impact of dredge-fill on *Posidonia oceanica* seagrass meadows: Regression and patterns of recovery. *Marine Pollution Bulletin* 62, 483-489.
2. BAKRAN-PETRICIOLI T. (2011): Priručnik za određivanje morskih staništa u Hrvatskoj prema Direktivi o staništima EU. *Državni zavod za zaštitu prirode*, Zagreb, 2011., 184 str.
3. 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.
4. BOUDOURESQUE C.F., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., RUITTON S., THIBAUT T., VERLAQUE M. (2016): The necromass of the *Posidonia oceanica* seagrass meadow: fate, role, ecosystem services and vulnerability. *Hydrobiologia* (2016) 781, 25-42.
5. CAREVIĆ D. (2020): Održiva gradnja nasutih plaža Beachex 2019-2023. *Gradjevinar* 72 (12/2020).
6. CHARLIER, R. H., DE MEYER C.P. (1995): Beach nourishment as efficient coastal protection. *Environmental Management and Health*, Vol. 6, No. 5, 26-34.
7. COLOMBINI I., MATEO M. A., SERRANO O., FALLACI M., GAGNARLI E., SERRANO L., CHELAZZI L. (2009): On the role of *Posidonia oceanica* beach wrack for macroinvertebrates of a Tyrrhenian sandy shore. *Acta Oecologica*, Vol. 35, 32-44.
8. COURTENAY W. R., HERREMA D. J., THOMPSON M. J., AZZINARO W. P., VAN MONTFRANS J. (1972): Ecological Monitoring of Two Beach Nourishment Projects in Broward County, Florida. *Shore and Beach*, Vol. 40, 8-13.
9. 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.
10. GODEC, P. (2021): Sedimentološke i geomorfološke posljedice uklanjanja naslaga morske cvjetnice *Posidonia oceanica* na primjeru plaže Sakarun. Diplomski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu.
11. GREENE K. (2002): Beach Nourishment: A Review of the Biological and Physical Impacts. *Atlantic States Marine Fisheries Commission*, Habitat Management Series #7, Washington DC.
12. HOBBS C. H. III (2007): Considerations in Marine Sand Mining and Beach Nourishment. *Virginia Institute of Marine Science*, Gloucester Point, USA.
13. LEEWIS L., VAN BODEGOM P. M., ROZEMA J., JANSSEN G. M. (2012): Does beach nourishment have long-term effects on intertidal macroinvertebrate species abundance?. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 113, 172-181.
14. MARINČIĆ S. (1981): Eocenski fliš jadranskog pojasa. *Geološki vjesnik* 34, 27-38, Zagreb.

15. MILTON S. L., SCHULMAN A. A., LUTZ P. L. (1997): The Effect of Beach Nourishment with Aragonite Versus Silicate Sand on Beach Temperature and Loggerhead Sea Turtle Nesting Success. *Journal of Coastal Research*, Vol. 13, No. 3, 904-915, Fort Lauderdale, Florida.
16. PETERSON C. H., BISHOP M. J. (2005): Assessing the Environmental Impacts of Beach Nourishment. *BioScience*, Vol. 55, No. 10, 887-896.
17. PIKELJ K. (2010): Sastav i porijeklo površinskih sedimenata dna istočne obale Jadranskog mora. Doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu.
18. 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.
19. PIKELJ K., RUŽIĆ I., ILIĆ S., R. JAMES M., KORDIĆ B. (2017a): Implementing an efficient beach erosion monitoring system for coastal management in Croatia. *Ocean and Coastal Management*, Vol. 156, 223-238.
20. PIKELJ K., VLASTELICA G., KORDIĆ B. (2017b): Erosional processes acting on coastal cliffs in the Split urban zone, Croatia. *Revue Paralia*, 4, 79-84.
21. ŠARIĆ T., ŽUPAN I., ACETO S., VILLARI G., PALIĆ D., DE VICO G., CARELLA F. (2020): Epidemiology of Noble Pen Shell (*Pinna nobilis* L. 1758) Mass Mortality Events in Adriatic Sea Is Characterised with Rapid Spreading and Acute Disease Progression. *Pathogens*, 9, 776; 1-21.
22. ZUBAK ČIŽMEK I., SCHULTZ S. T., KRUSCHEL C., ČIŽMEK H. (2021): Seascape context as a driver of the fish community structure of *Posidonia oceanica* meadows in the Adriatic Sea. *Croatian Journal of Fisheries*, 79, 89-109.

## internetski izvori:

- [1] <http://www.haop.hr/hr/tematska-podrucja/prirodne-vrijednosti-stanje-i-ocuvanje/bioraznolikost/morske-vrste/morske> (pristupljeno 22.2.2022.)
- [2] <https://adriadapt.eu/hr/adaptation-options/zastita-i-obnova-livada-morske-cvjetnice-posidonije/> (pristupljeno 22.2.2022.)
- [3] <https://mingor.gov.hr/o-ministarstvu-1065/djelokrug/uprava-vodnoga-gospodarstva-i-zastite-mora-2033/konvencija-o-zastiti-morskoga-okolisa-i-obalnog-podrucja-sredozemlja-barcelonska-konvencija/1438> (pristupljeno 22.2.2022.)
- [4] <https://www.tportal.hr/vijesti/clanak/prosvjednica-iz-zadra-nakratko-obustavila-nasipanje-plaze-u-makarskoj-gradonacelnik-brkan-uvezeni-aktivisti-nam-ne-trebaju-20210408> (pristupljeno 23.2.2022.)
- [5] <https://makarska-danas.com/foto-ovako-izgleda-podgora-nakon-nasipanja-plaza/> (pristupljeno 23.2.2022.)

## 8. Prilozi

## 8.1. Prilog 1

Tablica 3. Granulometrijski parametri uzoraka istraživanog područja.

UZORAK	MEDIJAN	MEAN	SORTIRANJE	ISKOŠENOST	ZAOŠTRENOST
ŽNJAN 1	1614,8 $\mu\text{m}$	1679,0 $\mu\text{m}$ jako krupnozrnati pijesak	1,372 loše sortirano	0,079 gotovo simetrična krivulja	1,456 zaoštrana krivulja
ŽNJAN 2	1669,8 $\mu\text{m}$	1798,5 $\mu\text{m}$ jako krupnozrnati pijesak	0,800 umjereno sortirano	-0,114 negativno zakošena krivulja	1,097 srednje zaoštrana krivulja
ŽNJAN 3	2715,8 $\mu\text{m}$	2689,4 $\mu\text{m}$ jako sitnozrnati šljunak	0,903 umjereno sortirano	0,015 gotovo simetrična krivulja	0,887 zaravnjena krivulja
OMIŠ P	875,9 $\mu\text{m}$	716,6 $\mu\text{m}$ krupnozrnati pijesak	1,405 loše sortirano	0,424 vrlo pozitivno zakošena krivulja	1,486 zaoštrana krivulja
OMIŠ D	800,2 $\mu\text{m}$	662,2 $\mu\text{m}$ krupnozrnati pijesak	1,383 loše sortirano	0,366 vrlo pozitivno zakošena krivulja	1,49 zaoštrana krivulja
PROMAJNA P	134,3 $\mu\text{m}$	132,7 $\mu\text{m}$ sitnozrnati pijesak	0,870 umjereno sortirano	-0,029 gotovo simetrična krivulja	1,003 srednje zaoštrana krivulja
PROMAJNA D	366,3 $\mu\text{m}$	372,1 $\mu\text{m}$ srednjezrnati pijesak	1,611 loše sortirano	-0,117 negativno zakošena krivulja	1,243 zaoštrana krivulja
PROMAJNA 2P	215,3 $\mu\text{m}$	217,6 $\mu\text{m}$ sitnozrnati pijesak	1,061 loše sortirano	-0,028 gotovo simetrična krivulja	1,049 srednje zaoštrana krivulja
BRATUŠ P	165,1 $\mu\text{m}$	169,2 $\mu\text{m}$ sitnozrnati pijesak	1,039 loše sortirano	-0,086 gotovo simetrična krivulja	0,948 srednje zaoštrana krivulja
BRATUŠ D	203,3 $\mu\text{m}$	216,0 $\mu\text{m}$ sitnozrnati pijesak	1,177 loše sortirano	-0,141 negativno zakošena krivulja	1,044 srednje zaoštrana krivulja
OSEJAVA P	195,4 $\mu\text{m}$	196,1 $\mu\text{m}$ sitnozrnati pijesak	1,163 loše sortirano	-0,050 gotovo simetrična krivulja	0,909 srednje zaoštrana krivulja
OSEJAVA D	257,9 $\mu\text{m}$	284,3 $\mu\text{m}$ srednjezrnati pijesak	1,652 loše sortirano	-0,244 negativno zakošena krivulja	1,437 zaoštrana krivulja
OSEJAVA 2P	120,6 $\mu\text{m}$	128,4 $\mu\text{m}$ sitnozrnati pijesak	0,905 umjereno sortirano	-0,206 negativno zakošena krivulja	1,004 srednje zaoštrana krivulja
OSEJAVA 2D	190,5 $\mu\text{m}$	199,0 $\mu\text{m}$ sitnozrnati pijesak	1,170 loše sortirano	-0,126 negativno zakošena krivulja	1,026 srednje zaoštrana krivulja
PODGORA P	144,6 $\mu\text{m}$	140,1 $\mu\text{m}$ sitnozrnati pijesak	0,873 umjereno sortirano	-0,014 gotovo simetrična krivulja	1,004 srednje zaoštrana krivulja
PODGORA D	222,4 $\mu\text{m}$	230,9 $\mu\text{m}$ sitnozrnati pijesak	1,238 loše sortirano	-0,085 gotovo simetrična krivulja	0,849 zaravnjena krivulja
PODGORA 2P	160 $\mu\text{m}$	159,9 $\mu\text{m}$ sitnozrnati pijesak	0,972 umjereno sortirano	-0,015 gotovo simetrična krivulja	1,004 srednje zaoštrana krivulja
PODGORA 2D	363,6 $\mu\text{m}$	609,8 $\mu\text{m}$ krupnozrnati pijesak	2,174 vrlo loše sortirano	-0,380 vrlo negativno zakošena krivulja	1,220 zaoštrana krivulja