

Jesenske promjene sedimentoloških i biogeomorfoloških karakteristika plaže Lojišće (Dugi Otok)

Petrinjak, Martina

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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:217:817174>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-12**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geološki odsjek

Martina Petrinjak

**JESENSKE PROMJENE SEDIMENTOLOŠKIH I
BIOGEOMORFOLOŠKIH KARAKTERISTIKA
PLAŽE LOJIŠĆE (DUGI OTOK)**

Diplomski rad

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOLOŠKI ODSJEK

Martina Petrinjak

**JESENSKE PROMJENE SEDIMENTOLOŠKIH I
BIOGEOMORFOLOŠKIH KARAKTERISTIKA
PLAŽE LOJIŠĆE (DUGI OTOK)**

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

Mentor:
Doc. dr. sc. Kristina Pikelj

Zagreb, 2023.

Zahvale

Najprije želim zahvaliti svojoj mentorici doc. dr. sc. Kristini Pikelj na prijedlogu teme te što mi je omogućila da se tijekom izrade diplomskog rada bavim onim što volim, a to je more i to su plaže. Svojim me entuzijazmom osvojila još na početku studija, a svojim me znanjem, iskustvom i savjetima vodila kroz proces izrade ovog diplomskog rada te sam joj zato zahvalna na utrošenom vremenu, spremnosti pomoći u svakom trenutku i ugodnoj radnoj atmosferi zbog čega će mi pisanje ovog rada ostati u lijepom sjećanju.

Posebnu zahvalu izražavam svojoj obitelji. Netko je jednom rekao da je obitelj kompas koji nas vodi kroz život te da je ona inspiracija za dostizanje velikih visina i naša utjeha kada povremeno padnemo. I to je uistinu tako. Hvala vam na bezuvjetnoj ljubavi i podršci koju mi svakodnevno pružate te na beskrajnoj motivaciji tijekom pisanja ovog rada. Hvala vam što uz vas mogu biti takva kakva jesam i hvala vam što ste uvijek uz mene, u danima sretnim i u danima grubim.

Na kraju, rad posvećujem cijeloj svojoj obitelji, a posebno djedu Emanuelu koji me sad bodri s nekog ljepšeg mjesta i kojem sam zahvalna za svu ljubav i za predivne priče kroz koje sam upoznala svijet dok sam bila mala.

„... još sam ono dite malo, al' sam prošla velik put...“

IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Ja, MARTINA PETRIJAK, student/ica Prirodoslovno-matematičkog
fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, s prebivalištem na adresi
SAHOBORSKA CESTA 10, ZAGREB, OIB 07720552061,
JMBAG 0119044388, ovim putem izjavljujem pod materijalnom i kaznenom
odgovornošću da je moj završni diplomski doktorski rad pod naslovom:
JESENSKE PROMJENE SEDIMENTOLOŠKIH I
BIOGЕOMORFOLOŠKIH KARAKTERISTIKA PLAŽE
LOJIŠĆE (DUGI OTOK), isključivo moje autorsko djelo, koje je u
potpunosti samostalno napisano uz naznaku izvora drugih autora i dokumenata korištenih u radu.

U Zagrebu, 30.1.2023.

Martina Petrijak

Potpis

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geološki odsjek

Diplomski rad

JESENSKE PROMJENE SEDIMENTOLOŠKIH I BIOGEOMORFOLOŠKIH KARAKTERISTIKA PLAŽE LOJIŠĆE (DUGI OTOK)

Martina Petrinjak

Rad je izrađen u: Prirodoslovno-matematički fakultet, Geološki odsjek, Geološko-paleontološki zavod, Horvatovac 102a, Zagreb, Diplomski studij Znanosti o okolišu

Sažetak:

Tijekom tri jesenska mjeseca (listopad, studeni i prosinac) 2022.godine provedeno je praćenje profila i morfologije plaže Lojišće na Dugom otoku, kako bi se utvrdile promjene količine sedimenta i naslaga cvjetnice *Posidonia oceanica*. Sediment plaže Lojišće je biogeni karbonatni slabo šljunkoviti pijesak porijeklom iz mora. Profiliranje plaže i izrada 3D modela pokazali su da je plaža Lojišće u najvećoj mjeri pod utjecajem valova juga. Valovi juga unose biogeni sediment i ostatke posidonije iz plitkog mora na plažu i u istoimenu uvalu. Udio sedimenta u banketima posidonije se kreće od preko 300 do preko 2000 kg u 1m³, što ukazuje na važnost banketa posidonije u biogeomorfološkim strukturama plaže.

Ključne riječi: plaža Lojišće, pijesak, posidonija, morfološke promjene, promjene, erozija, jugo

Rad sadrži: 44 + VI stranica, 36 slika, 2 tablice, 22 literaturna navoda i 0 tabli

Jezik izvornika: hrvatski

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

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

Ocjenjivači: doc. dr. sc. Kristina Pikelj, PMF, Zagreb
prof. dr. sc. Marijan Kovačić, PMF, Zagreb
izv. prof. dr. sc. Petar Kružić, PMF, Zagreb
prof. dr. sc. Nenad Buzjak, PMF, Zagreb

Datum završnog ispita: 21. veljače 2023.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geology

Graduate Thesis

AUTUMN CHANGES OF SEDIMENTOLOGICAL AND BIOGEOMORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE LOJIŠĆE BEACH (DUGI OTOK ISLAND)

Martina Petrinjak

Thesis completed in: Faculty of Science, Department of Geology, Institution of Geology and Paleontology, Horvatovac 102a, Zagreb, Graduate Study of Environmental Sciences

Abstract:

During three autumn months (October, November and December) in 2022, beach profiling and morphology monitoring of the Lojišće beach on the Dugi otok Island was carried out, in order to determine the changes in the amount of sediment and *Posidonia oceanica* banquettes. The sediment of the Lojišće beach is a biogenic carbonate slightly gravelly sand of marine origin. Beach profiles and 3D models showed that Lojišće beach is mostly affected by the Scirroco waves. These waves carry in the biogenic sediment and posidonia debris from the shallow sea to the beach and into the Lojišće Bay. The share of sand in posidonia banquettes ranges from over 300 to over 2000 kg in 1m³, which indicates the importance of posidonia banquettes in the biogeomorphological structures of the beach.

Keywords: Lojišće beach, sand, posidonia, morphological changes, erosion, southeastern wind

Thesis contains: 44 + VI pages, 36 figures, 2 tables, 22 references, and 0 plates

Original in: Croatian

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

Supervisor: Kristina Pikelj, PhD, Assistant Professor, PMF, Zagreb

Reviewers: Kristina Pikelj, PhD, Assistant Professor, PMF, Zagreb

Marijan Kovačić, PhD, Full Professor, PMF, Zagreb

Petar Kružić, PhD, Associate Professor, PMF, Zagreb

Nenad Buzjak, PhD, Full Professor, PMF, Zagreb

Date of the final exam: February 21, 2023

Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Pregled dosadašnjih istraživanja	3
3.	Geografska, geomorfološka i geološka situacija istraživanog područja	4
4.	Materijali i metode istraživanja	8
4.1.	Analiza veličine zrna	8
4.2.	Određivanje mineralnog sastava sedimenta	11
4.3.	Određivanje količine sedimenta u banketu posidonije	12
4.4.	Profiliranje plaže.....	12
4.5.	Izrada 3D modela.....	13
4.6.	Praćenje meteoroloških podataka	14
4.7.	Mikroskopiranje frakcija sedimenata	14
5.	Rezultati	15
5.1.	Analiza veličine zrna	15
5.2.	Određivanje mineralnog sastava sedimenta	17
5.3.	Određivanje količine sedimenta u banketu posidonije	19
5.4.	Profiliranje plaže.....	20
5.5.	3D modeli	25
5.6.	Praćenje meteoroloških podataka	28
5.7.	Mikroskopiranje frakcija sedimenata	33
6.	Rasprava.....	37
7.	Zaključak.....	42
8.	Literatura.....	43

1. Uvod

Plaža je prema geomorfološkoj definiciji obalni oblik, a prema geološkoj definiciji akumulacijsko sedimentno tijelo na obali mora, rijeke ili jezera koje se sastoji od rastresitog sedimenta različitih veličina od vrlo sitnog pijeska, preko šljunka i valutica do velikih gromada (BIRD, 2008). U stranoj se literaturi za plažu koristi termin *beach*, dok se u geografskoj terminologiji koristi termin žalo. U ovom diplomskom radu bit će korištena riječ plaža. Budući da plažu čini nekonsolidirani sediment koji se lako pokreće i pomiče, plaža je vrlo kompleksan i dinamičan okoliš koji se neprestano mijenja. Izgled plaže u najvećoj mjeri oblikovan je morskim valovima o čijoj snazi ovisi dinamika procesa na plaži. Akumulacija i erozija procesi su koji se prirodno odvijaju na plažama, no problem nastaje kad se njihova ravnoteža naruši te erozija nadjača akumulaciju. Uzroci erozije su brojni, a samo neki od njih su smanjenje donosa materijala s kopna (npr. rijekama ili s klifova), smanjenje donosa sedimenta s morskog dna, povećana energija valova, povećana učestalost i snaga oluja, klimatske promjene, porast maksimuma plime i oseke te porast razine mora (BIRD, 2008). Donos materijala s kopna ili morskog dna prirodan je način na koji se plaža hrani. Kad je donos materijala smanjen, sediment koji je erodiran ne biva prirodno nadomješten te se erozija tako dodatno povećava. Povećana energija valova također pospješuje eroziju jer što je valna baza dublja, to je snaga vala jača i time val može premjestiti veću količinu sedimenta.

Klimatske promjene uzrokuju porast razine mora i sve veću učestalost oluja. Oluje postaju sve češće i sve jače. Velika količina kiše koja padne tijekom oluje može isprati sediment s plaže, a vjetar koji puše tijekom i nakon oluje izaziva visoke i snažne morske valove te tako oluje dvostruko utječu na pojačanu eroziju plaže. Porast razine mora znači povišenje granice do koje more dolazi tijekom valova i plime, a to pospješuje eroziju jer se mokar sediment puno lakše erodira od suhog. Osim prirodnih uzroka erozije, izražen je i antropogeni utjecaj koji je vrlo često pospješuje. Obalni ekosustav pruža brojne usluge te zato većina svjetskog stanovništva živi na obali, a ostatak stanovništva teži k tomu. Obala na taj način postaje preopterećen prostor te čovjek svojim djelovanjem mijenja prirodan izgled obale, pa tako i plaža. Gradnja na obali, a posebno neposredno uz plaže ili čak na plažama, mijenja smjer odbijanja morskih valova o obalu te tako mijenja prirodan način preraspodjele sedimenta. Kad se navedeni prirodni uzroci erozije spoje s antropogenim utjecajem, erozija se znatno ubrzava te tako postaje jednim od najvećih svjetskih problema

jer dijelovi obale, pa tako i plaže, doslovno nestaju. Kako bi se erozija plaža spriječila ili barem ublažila, plaže je potrebno zaštititi, a značajnu ulogu imaju njihovi prirodni mehanizmi zaštite od erozije.

Morska cvjetnica *Posidonia oceanica* (dalje u tekstu posidonija) endemska je vrsta Sredozemnog mora. Osim što procesom primarne produkcije opskrbljuje organizme hranom, opskrbljuje morsku vodu kisikom pa se zato za livade posidonije kaže da su to pluća mora (BOUDOURESQUE i sur., 2015). Također, posidonija mnogim organizmima pruža trajno stanište gdje provedu čitav svoj život, dok nekima služi samo kao sklonište ili mrijestilište. Uz važnu biološku ulogu posidonija igra izrazito važnu ulogu u prirodnoj zaštiti plaža od erozije. Livade posidonije u moru smanjuju energiju valova koji se kreću prema obali u trenutku kada val svojom bazom naiđe na livadu posidonije (SÁNCHEZ-GONZÁLEZ i sur., 2011). Nadalje, otpali listovi posidonije bivaju naplavljani na plažu gdje stvaraju bankete. Termin banket podrazumijeva kompaktnu strukturu na plaži veličine od nekoliko centimetara do nekoliko metara koju grade ostatci posidonije i sediment (SIMEONE i DE FALCO, 2013). Banketi štite plažu od erozije, a njihovim uklanjanjem plaža se dodatno izlaže eroziji. Uklanjanjem banketa plaže postaju ranjivije te ne mogu odolijevati snazi olujnih valova da odnese sediment, što rezultira narušavanjem morfologije plaže u vidu nestanka bermi i ostalih morfoloških struktura. Budući da su ogromne količine sedimenta zarobljene u banketu, uklanjanje banketa koje se obično vrši strojevima znači i uklanjanje sedimenta s plaže što dugoročno dovodi do uništenja plaže (SIMEONE i sur., 2022).

Plaža Lojišće prirodna je plaža na jugoistočnoj strani Dugog otoka. Svojim položajem izložena je valovima juga i lebića, a primijećeno je da se tijekom godine količina i raspored banketa na plaži drastično mijenja. Kako bi se moglo utvrditi prirodno funkcioniranje plaže kao i njenu sklonost eroziji, potrebno je znati njene sedimentološke i biogeomorfološke karakteristike.

Cilj ovog diplomskog rada jest istražiti morfološke promjene na plaži Lojišće tijekom jesenskog i zimskog perioda 2022. godine s naglaskom na ulogu sedimenta i ostataka posidonije tijekom detektiranih promjena. Istraživanje morfoloških promjena bit će provedeno istraživanjem porijekla sedimenta plaže, ulogom količina pijeska u banketima te profiliranjem plaže i izradom 3D modela iz 2D slika.

2. Pregled dosadašnjih istraživanja

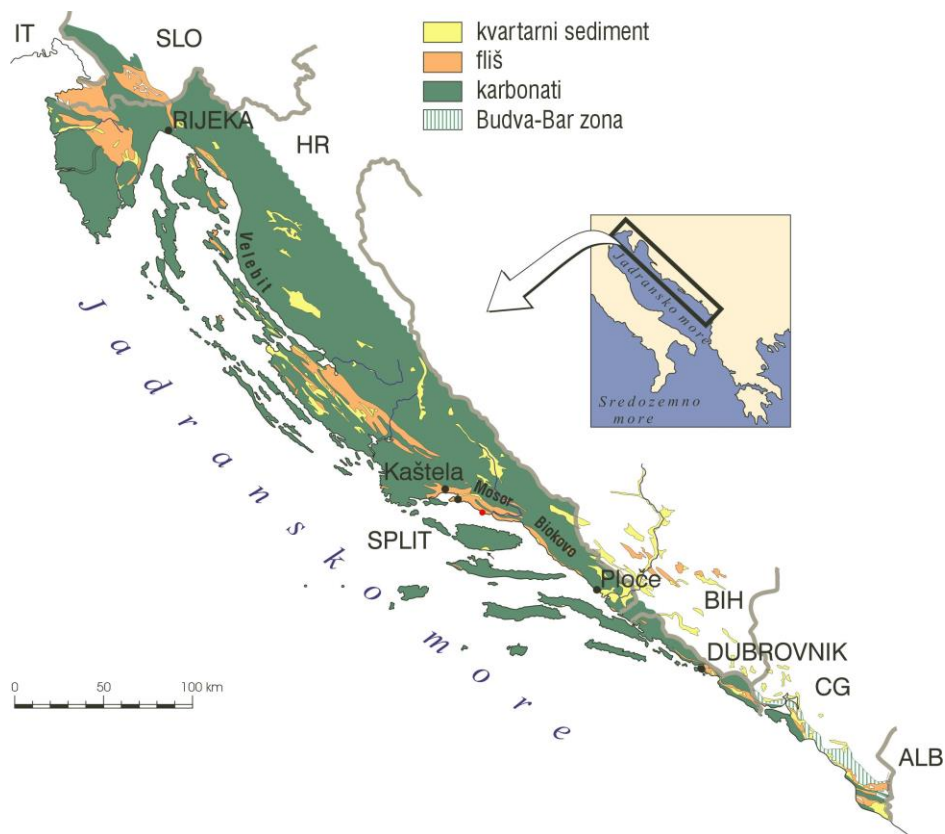
Mnoga istraživanja proučavaju utjecaj uklanjanja ostataka posidonije s plaža na eroziju. Posidonija se s plaža uklanja kako bi izgled plaže bio atraktivniji i privlačniji turistima. Istraživanje provedeno na Sardiniji pratilo je mogućnost ponovnog formiranja banketa nakon dugogodišnjeg uklanjanja s različitih plaža. Zaključeno je da se na otvorenim plažama banketi uspješno formiraju, dok je na zatvorenim plažama proces formiranja sporiji te se banketi ne uspijevaju formirati do kraja i prekriti cijelu plažu. Zaključno, istaknuto je da je uklanjanje posidonije imalo negativan utjecaj na morfologiju plaže (SIMEONE i DE FALCO, 2013). Nadalje, na dvije plaže na Mallorci i Menorci proveden je video-monitoring kako bi se utvrdilo koji valovi pomažu stvaranju banketa i koja je uloga banketa u čuvanju plaže od erozije. Zaključeno je da je formiranje banketa vrlo kompleksan proces te da će banketi nastati zimi jer tada pušu olujni vjetrovi koji podižu velike i snažne valove i jer tada ima dovoljno dostupnih ostataka posidonije nakon jesenskog opadanja lišća, a koji će biti izbačeni na plažu (GÓMEZ-PUJOL i sur., 2013).

U Hrvatskoj je do sada samo što se tiče djelovanja posidonije na morfologiju plaže i sklonost eroziji istraživana plaža Sakarun na Dugom otoku. Određene su sedimentološke i biogeomorfološke karakteristike plaže te posljedice uklanjanja naslaga posidonije s plaže. Sediment na plaži Sakarun čine dvije populacije sedimenta: šljunčana i pješćana. Šljunčana populacija sedimenta nastala je razaranjem osnovnih stijena, dok je pješćana nastala u moru i biogenog je porijekla. Banketi posidonije na gornjem dijelu plaže sastoje se od posidonije i šljunka te dobro učvršćuju plažu. Zaključeno je da je, kako bi se ublažile posljedice uklanjanja posidonije, potrebno znati koji dijelovi banketa utječu na stabilnost i morfologiju plaže. Na kraju, preporučeno je da se naslage posidonije uklanjaju eventualno za vrijeme stabilnih vremenskih uvjeta kako bi erozija bila što manja (GODEC; 2021).

Na plaži Lojišće je do sada provedeno praćenje proljetnih promjena tijekom 2022. godine. Sediment je prema porijeklu morski biogeni, a prema veličini zrna slabo šljunkoviti pijesak. Zaključeno je da na plaži nije bilo značajnih morfoloških promjena tijekom proljetnih mjeseci (ožujak, travanj i svibanj 2022.) jer nije bilo značajnijih oluja i olujnih valova te banketi nisu formirani nakon prethodne zime (VRABAC, 2022).

3. Geografska, geomorfološka i geološka situacija istraživanog područja

Jadransko more jedan je izrazito zatvoren bazen Sredozemnog mora, a obrubljuju ga zapadna obala koja pripada u potpunosti Italiji te istočna obala koju dijele Hrvatska, Slovenija, Bosna i Hercegovina, Crna Gora i Albanija (Slika 1). Ukupnu dužinu istočne jadranske obale od 6191 km zauzima najvećim dijelom Hrvatska s ukupno 5835 km dužine, odnosno 95% obale (RIDANOVIĆ, 2002). Istočna jadranska obala pruža se pravcem sjeverozapad-jugoistok (Slika 1). Pravac pružanja otoka paralelan je s pravcem pružanja planina na kopnu te je zato hrvatska obala *locus typicus* dalmatinskog tipa obale (VON RICHTHOFEN, 1901). Prema tipu obale hrvatska je obala određena kao potopljeni tip krške obale, odnosno hrvatska obala jest primarna, visoka, strma transgresijska obala (SURIC, 2002). Većina hrvatske obale (preko 90 % dužine) litološki je razvijena u karbonatnim stijenama (Slika 2) u kojoj su plaže rijetke, a najčešće su formirane abrazijom morskih valova u strukturno oslabljenim karbonatnim stijenama ili donošenjem terigenog sedimenta najčešće bujičnim tokovima danas ili paleotokovima u prošlosti. Manji dio obale (oko 6 %) čini obala razvijena u flišu i asociranim mlađim klastičnim naslagama. Iako flišna obala čini manji dio obale, većina plaža formirana je upravo na obali s flišem u podlozi (PIKELJ i JURAČIĆ, 2013). Dugi otok nalazi se u zadarskom arhipelagu. Geomorfološki, Dugi otok pripada makroregiji sjeverozapadna Dalmacija s arhipelagom, mezoregiji otočje sjeverozapadne Dalmacije te subregiji Dugi otok s Ižko-Sestrunjskim arhipelagom (BOGNAR, 2001).

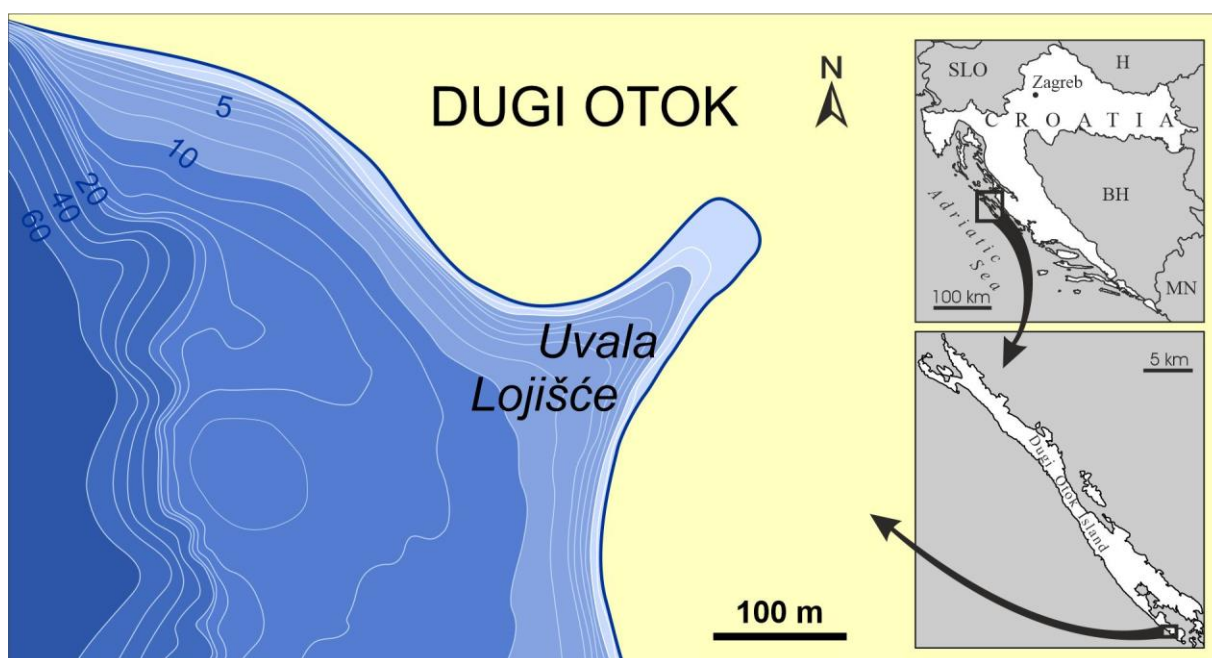


Slika 1. Pojednostavljena litološka karta istočne jadranske obale (PIKELJ i JURAČIĆ, 2013).

Plaža Lojišće (Slika 2) nalazi se u istoimenoj uvali na jugoistočnom dijelu Dugog otoka (Slika 3). Dubina mora duž obale uvale iznosi najviše pet metara, dok dubina mora u čitavoj uvali ne prelazi deset metara (Slika 3). Lijevu i desnu obalu uvale čini stjenovita karbonatna obala, dok se u dnu uvale nalazi prirodna pješčana plaža (VRABAC, 2022). Dno u uvali uglavnom je stjenovito te je samo u sredini prekriveno sedimentom (Slika 2).

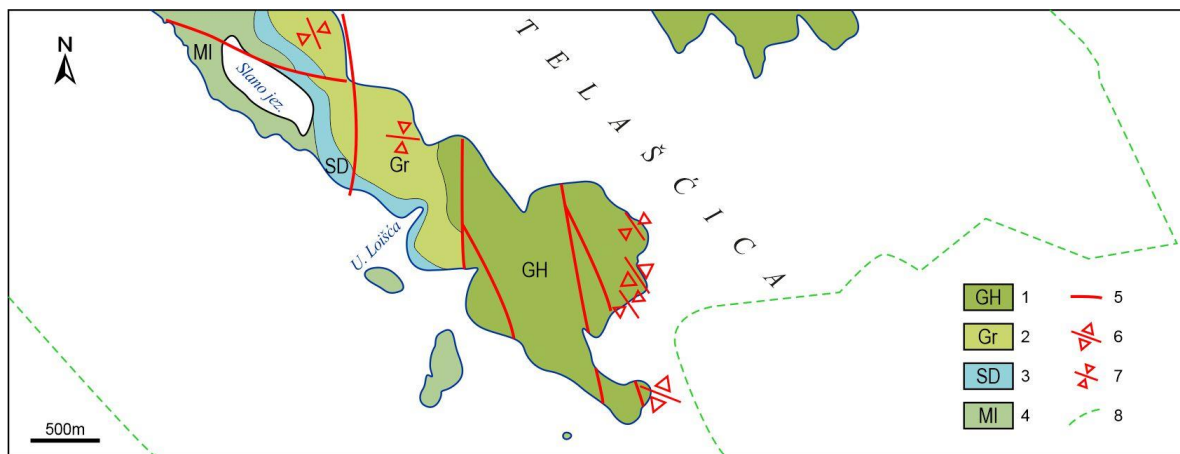


Slika 2. Plaža Lojišće. Fotografirala K. Pikelj.



Slika 3. Lokacijska karta istraživanog područja. Batimetrijska karta izrađena prema URL1.

Litološki, jugoistočni dio Dugog otoka građen je od gornjokrednih vapnenaca. Uvalu Lojišće gradi formacija Sveti Duh, a neposredno iznad nje proteže se član Gračišće (Slika 4). Formacija Sveti Duh starosti je gornji cenoman - donji turon, a izgrađuju ju debelouslojeni slojeviti svjetlosmeđi mikritni vapnenci s kalcisferulidama i rijetkim globotruncanidama. Član Gračišće pripada formaciji Gornji Humac i gornjoturonske je starosti. Član grade srednje debelouslojeni onkoidni vapnenci s rudistima, bentičkim foraminiferama i tankouslojenim cijanobakterijskim laminitima (FUČEK i sur., 2016).



Slika 4. Isječak Osnovne geološke karte Republike Hrvatske – Dugi otok
(pojednostavljeno prema FUČEK i sur., 2016).

4. Materijali i metode istraživanja

4.1. Analiza veličine zrna

Terenski izlasci na plažu Lojišće na Dugom otoku obuhvatili su period od tri mjeseca s ukupno četiri terenska izlaska: jedan u listopadu (16.10.), dva u studenom (7. i 25.11.) i jedan u prosincu (12.12.) 2022. godine. Plan terenskih izlazaka ovisio je o meteorološkoj prognozi i najavi pojave olujnih valova.

Prilikom prvog (preliminarnog) izlaska na teren koji je obavljen početkom 2022. godine uzorkovan je sediment na tri mjesta na plaži. Lokacije uzimanja uzoraka nalaze se u niskoj natplimnoj zoni i visokoj plimnoj zoni na profilima koji će kasnije biti korišteni za profiliranje plaža (Slika 5).



Slika 5. Lokacije uzorkovanja sedimenta (crvene točke) i izrade profila (crne linije).

Nakon uzorkovanja sediment je osušen na zraku. Od svakog uzorka izvagano je 100 g sedimenta prosijanih metodom mokrog sijanja uz pomoć destilirane vode na setu od sedam sita. Veličine otvora sita su redom četiri milimetra, dva milimetra, jedan milimetar, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm i 0,063 mm. Nakon prosijavanja frakcije su skinute sa sita te prebačene u staklene zdjelice, osušene na zraku i izvagane. Na taj način dobivene su mase

svake od frakcija u svim uzorcima sedimenta. Podatci o raspodjeli sedimenta po frakcijama uneseni su u program Gradistat (BLOTT i PYE, 2001) pomoću kojeg su izračunati granulometrijski parametri (srednja i prosječna veličina zrna, sortiranje, zaoštrenost krivulje i asimetričnost krivulje). Sediment je klasificiran u istom programu na podlozi trokomponentnog dijagrama prema Folkovoj klasifikaciji (FOLK, 1954). Granulometrijski parametri izračunati su prema (FOLK i WARD, 1957):

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

$$M_d = \Phi 50$$

Prosječna veličina zrna (*mean size*):

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

Sortiranje (*sorting*) koje pokazuje jednoličnost distribucije:

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

Kategorije sortiranosti sedimenta:

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

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

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

Kategorije asimetričnosti krivulje:

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

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

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

Kategorije zaoštrenost krivulje:

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

> 3,00 izuzetno zaoštrena krivulja

4.2. Određivanje mineralnog sastava sedimenta

Mineralni sastav uzoraka određen je metodom rendgenske difrakcije. Metoda se temelji na spoznaji da rendgenska zraka prolazi kroz uzorak te u doticaju s kristalnom rešetkom minerala biva raspršena, odnosno difraktirana. Kristalna rešetka pravilna je struktura na kojoj se zbog toga upadom rendgenskih zraka na njenu površinu zrake raspršuju, odnosno difraktiraju. Do difrakcije će doći ako je razlika u hodu između raspršenih zraka susjednih mrežnih ravnina jednaka cijelom broju valnih duljina, što je prikazano Braggovim zakonom:

$$2d\sin\theta = n\lambda$$

d = međumrežni razmak

θ = kut pod kojim zrake upadaju na mrežnu ravninu

n = cijeli broj, red zračenja

λ = valna duljina zračenja

Za različite mrežne ravnine različiti su međumrežni razmaci, pa će svaka mrežna ravnina postići različit difrakcijski maksimum pri različitim kutovima θ što traži zakretanje uzorka ili izvora rendgenskih zraka sve do položaja u kojem je zadovoljen Braggov zakon. Rezultat rendgenske difrakcije je difraktogram na kojem svaki identificirani mineral ima karakterističnu difrakcijsku sliku. Dobiveni difraktogrami uspoređeni su s difraktogramima minerala prikupljenih u međunarodnim bazama podataka.

Prije određivanja mineralnog sastava uzorci su pripremljeni na način da su usitnjeni u ahatnom mlinu do veličine praha (korišten je ahatni mlin marke Frisch). Prije usitnjavanja ručno su uklonjeni organski ostatci posidonije. Usitnjeni uzorci stavljeni su na aluminijski nosač te su snimljeni pomoću difraktometra za prah Philips X'Pert Pro. Snimanje svakog uzorka trajalo je dvadeset minuta. Dobiveni difraktogrami analizirani su u programu X'Pert HighScore Plus (PANALYTICAL, 2004), a kratice minerala u njima pisane su prema KRETZ (1983): Cal – kalcit, Cal-Mg – magnezijски kalcit, Arg – aragonit, Hl – halit i Qtz – kvarc.

4.3. Određivanje količine sedimenta u banketu posidonije

Tijekom svakog izlaska na teren izmjeren je i uzorkovan je volumen banketa posidonije od 20 x 20 x 5 cm. Kako bi se odvojila posidonija od sedimenta, uzorke je bilo potrebno isprati (Slika 6). Ispiranje je provedeno u zdjeli obične vode pri čemu su odvojeni ostatci posidonije od sedimenta. Sediment je osušen (Slika 7) i izvagan. Dobivena količina sedimenta pomnožena je s 500 kako bi težina sedimenta bila iskazana u 1m³ banketa posidonije.



Slika 6. Ispiranje uzorka banketa.



Slika 7. Posidonija i sediment nakon ispiranja.

4.4. Profiliranje plaže

Prilikom svakog od četiri terenska izlaska obavljeno je profiliranje plaže duž tri profila (Slika 5). Profili prate promjenu visine plaže kroz vrijeme te pokazuju je li na njoj došlo do erozije ili akumulacije. Profili plaže povezani su s prirodom kretanja sedimenta nakon utjecaja morskih valova ili oluja, a promjene nakon snažnih oluja u profilu ostaju zapisane

i po nekoliko mjeseci (BIRD, 2008). Interpretacija i međusobna usporedba profila pokazat će događaju li se promjene količine sedimenta na plaži tijekom jesenskih mjeseci te koliki je njihov intenzitet. Profiliranje je obavljeno DGPS uređajem metodom preciznog pozicioniranja VRS RTK s korekcijom CROPOS VPPS servisa. Točnost mjerenja bila je dva centimetra horizontalno i četiri centimetra vertikalno. Koraci profiliranja ovisili su o jednoličnosti nagiba plaže i učestalosti promjena njene morfologije, tj. na svakoj primjetnoj promjeni visine plaže na profilu izmjerena je točka. Tijekom perioda praćenja najveća promjena u morfologiji plaže bila je pojava banketa posidonije. Duljina pojedinog ili svih mjerenih profila bila je otprilike jednaka ovisno o vremenskim i valnim prilikama te plimi u trenutku mjerenja. Dobiveni podatci s DGPS-a uneseni su u program Profiler (COHEN, 2014) u kojem su profili međusobno uspoređeni.

4.5. Izrada 3D modela

Tijekom svakog terenskog izlaska područje plaže Lojišće snimljeno je iz zraka dronom s visine od 40 m pri brzini letjelice od 2,1 m/s. Broj fotografija tijekom svih mjerenja kretao se u rasponu 70 – 120. Preklapanje fotografija bilo je > 60 %. Prije fotografiranja na plažu je postavljeno ukupno osam pomičnih markera (Slika 8), dok su četiri fiksna markera postavljena na nepomične plohe pri prvom terenskom izlasku u obliku crvene točke na vidljivom izdanku osnovne nepomične stijene. Precizna pozicija markera izmjerena je pomoću Trimble R8 GNSS prijemnika i CROPOS VPPS servisa za korekciju. Horizontalna i vertikalna točnost bile su dva, odnosno četiri centimetra. Fotografije su unesene u program Photoscan pomoću kojeg su izrađeni digitalni površinski modeli (*Digital Surface Model*) gdje su i georeferencirani. Tako dobiveni modeli dalje su obrađeni u programu Surfer gdje su međusobno uspoređivani pri čemu su dobiveni razlikovni modeli (*DSM of Difference; DOD*), a sve kako bi se definirale morfološke promjene na plaži tijekom jesenskih mjeseci.



Slika 8: Metalne ploče i crvene točke korištene kao pomični, odnosno fiksni markeri tijekom snimanja plaže.

4.6. Praćenje meteoroloških podataka

Izgled plaže u najvećoj mjeri oblikuje djelovanje morskih valova. Morske valove koji utječu na izgled plaže najčešće pokreće vjetar. Kako bi se znao smjer iz kojeg valovi dolaze, potrebno je znati smjer i brzinu vjetra koji je puhao tijekom jesenskih mjeseci. Tijekom tri jesenska mjeseca bit će praćeni podatci o smjeru i brzini vjetra na meteorološkoj postaji Veli rat Svjetionik. Meteorološki podatci o smjeru i brzini vjetra preuzeti sa stranice *MeteoAdriatic* (URL 2) bit će povezani s interpretacijom profila i modela te će tako dati odgovor na pitanje koliko je vjetar važan faktor u promjenama količine sedimenta na plaži.

4.7. Mikroskopiranje frakcija sedimenta

Svaka frakcija analiziranih uzoraka sedimenta pregledana je pod reflektiranim svjetlom svjetlosnog mikroskopa s povećanjem od 2,5 puta s ciljem određivanja porijekla čestica u pojedinim frakcijama uzorka. Prilikom mikroskopiranja napravljene su fotografije karakterističnih zrna sedimenta.

5. Rezultati

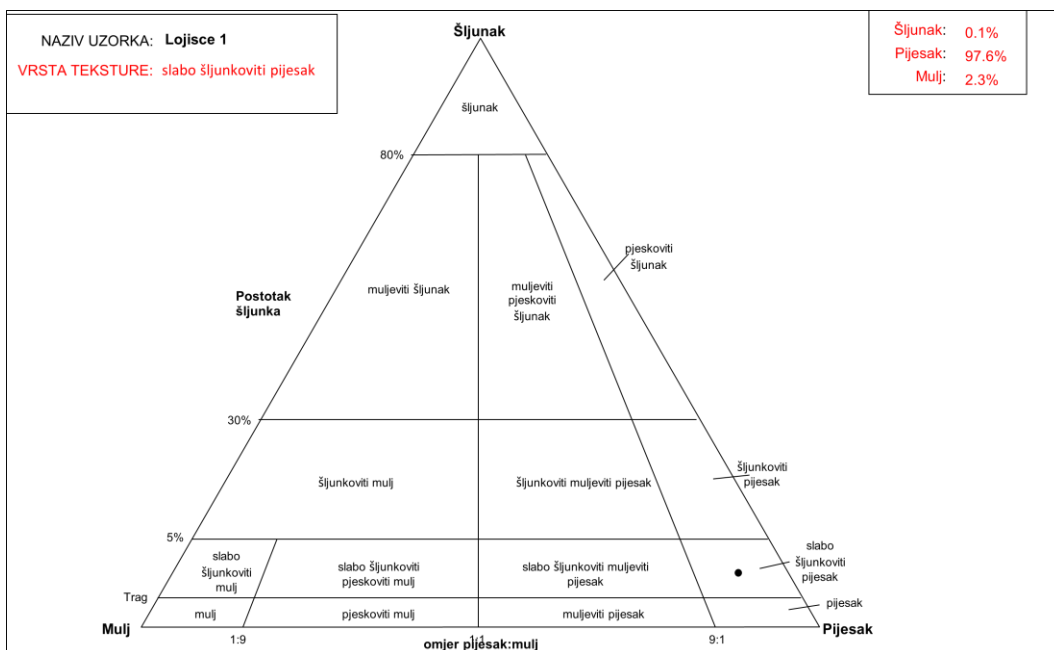
5.1. Analiza veličine zrna

Rezultati određivanja veličine zrna pokazali su da su sva tri uzorka sedimenta klasificirana kao slabošljunkoviti pijesci (Slike 9, 10, 11). Granulometrijski parametri sva tri uzorka (Tablica 1) pokazuju slične vrijednosti. Srednja i prosječna veličina zrna u svim uzorcima veće su od 250 μm te je prema Wentworthovoj klasifikaciji (WENTWORTH, 1922) definirano da se veličine zrna nalaze u frakciji srednjezrnastog pijeska. Sortiranost uzoraka Lojišće 1 i Lojišće 3 jest umjerena, dok uzorak Lojišće 2 pokazuje lošu sortiranost što znači da taj uzorak nema jednolično raspoređenu veličinu zrna kao preostala dva uzorka. Asimetričnost raspodjele pozitivna je u svim uzorcima, što znači da u sedimentu prevladava krupnija frakcija. Zaoštrenost krivulje u svim uzorcima pokazuje da je krivulja zaoštrena, što znači da je materijal raspoređen oko jedne veličine zrna.

Tablica 1. Granulometrijski parametri uzoraka sedimenta s plaže Lojišće.

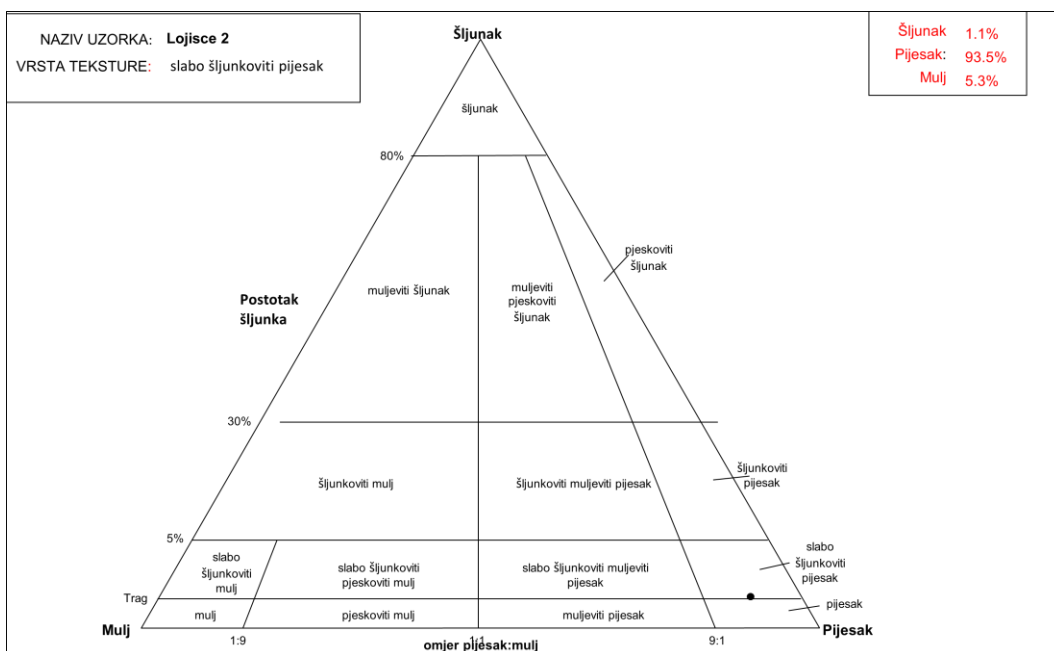
Granulometrijski parametar	Lojišće 1	Lojišće 2	Lojišće 3
srednja veličina zrna (μm)	294,5	384,6	339,4
prosječna veličina zrna (μm)	279,2	370,4	331,3
	srednje-zrnasti pijesak	srednje-zrnasti pijesak	srednje-zrnasti pijesak
sortiranost (\emptyset)	0,77	1,222	0,972
	umjereno sortiran	loše sortiran	umjereno sortiran
asimetričnost raspodjele (\emptyset)	0,057	0,172	0,099
	gotovo simetrična krivulja	pozitivno zakošena krivulja	vrlo pozitivno zakošena krivulja
zaoštrenost krivulje (\emptyset)	0,938	1,135	1,164
	srednje zaoštrena	zaoštrena krivulja	zaoštrena krivulja

Uzorak Lojišće 1 sadrži 0,1% šljunka, 97,6% pijeska i 2,3% mulja te je zato klasificiran kao slabošljunkoviti pijesak (Slika 9).



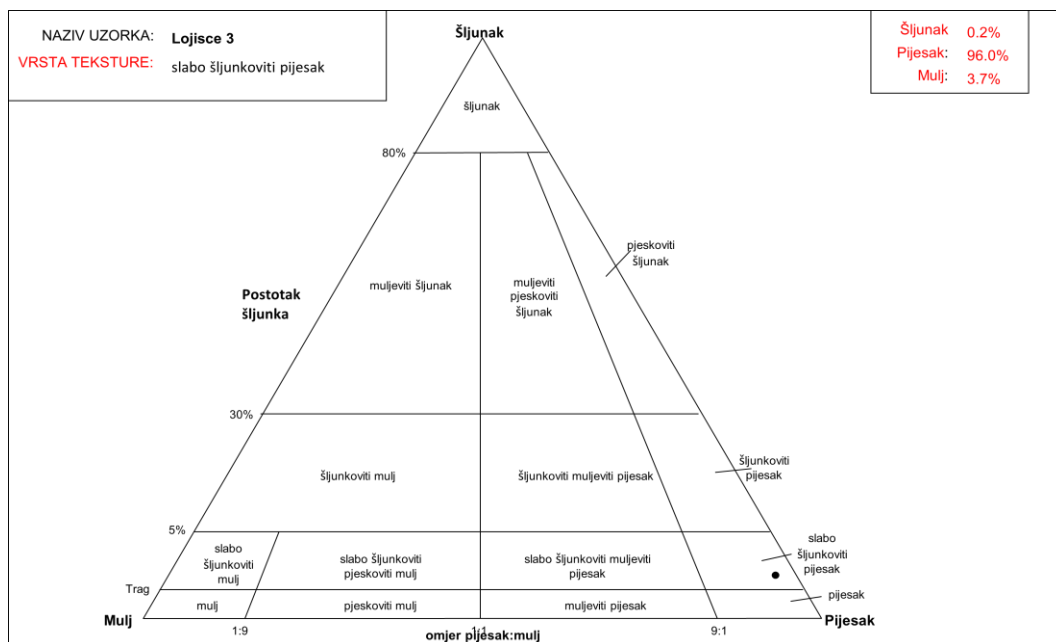
Slika 9. Trokomponentni dijagram uzorka Lojišće 1.

Uzorak Lojišće 2 sadrži 1,1% šljunka, 93,5% pijeska i 5,3% mulja i to je po sastavu slabošljunkoviti pijesak (Slika 10).



Slika 10. Trokomponentni dijagram uzorka Lojišće 2.

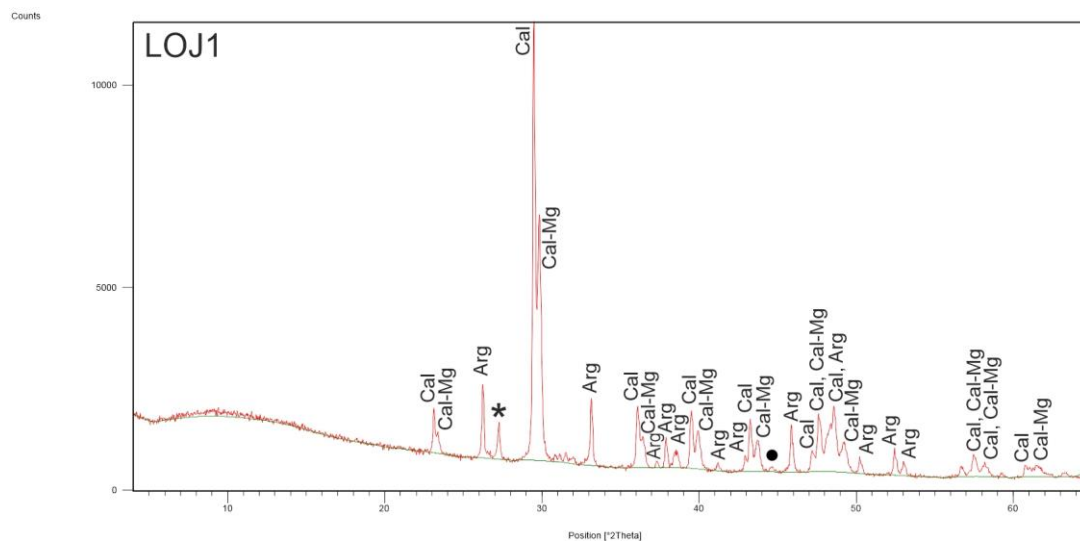
Uzorak Lojišće 3 sadrži 0,2% šljunka, 96% pijeska i 3,7% mulja i to je po sastavu slabošljunkoviti pijesak (Slika 11).



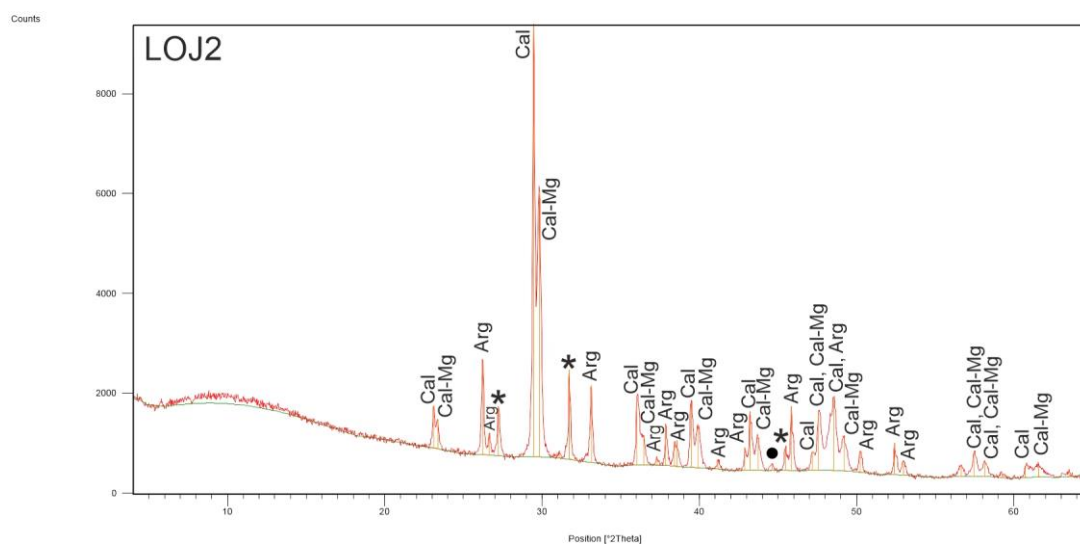
Slika 11. Trokomponentni dijagram uzorka Lojišće 3.

5.2. Određivanje mineralnog sastava sedimenta

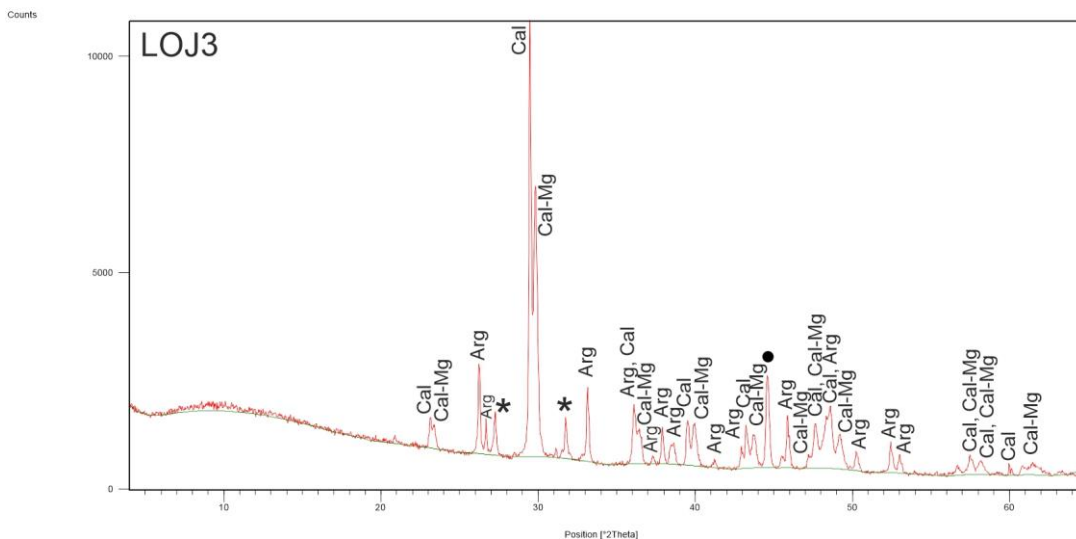
Difraktogrami sva tri uzorka su slični što pokazuje da je mineralni sastav uzoraka također sličan. Dominantni mineral u uzorku jest onaj čiji je pik na rendgenogramu najviši. U sva tri uzorka to je kalcit, a slijedi ga magnezijски kalcit kao drugi po zastupljenosti, dok se aragonit javlja kao sporedan mineral (Slike 12, 13 i 14). Na svim difraktogramima vidljiva je pojava zvjezdice i točkice. Zvjezdica predstavlja prisutnost halita u uzorku, dok se točkica odnosi na aluminiј iz nosača uzorka. Vidljivo je da u sedimentu očito dominiraju karbonatni minerali, dok terigeni minerali nisu identificirani.



Slika 12. Rendgenogram uzorka Lojišće 1.



Slika 13. Rendgenogram uzorka Lojišće 2.



Slika 14. Rendgenogram uzorka Lojišće 3.

5.3. Određivanje količine sedimenta u banketu posidonije

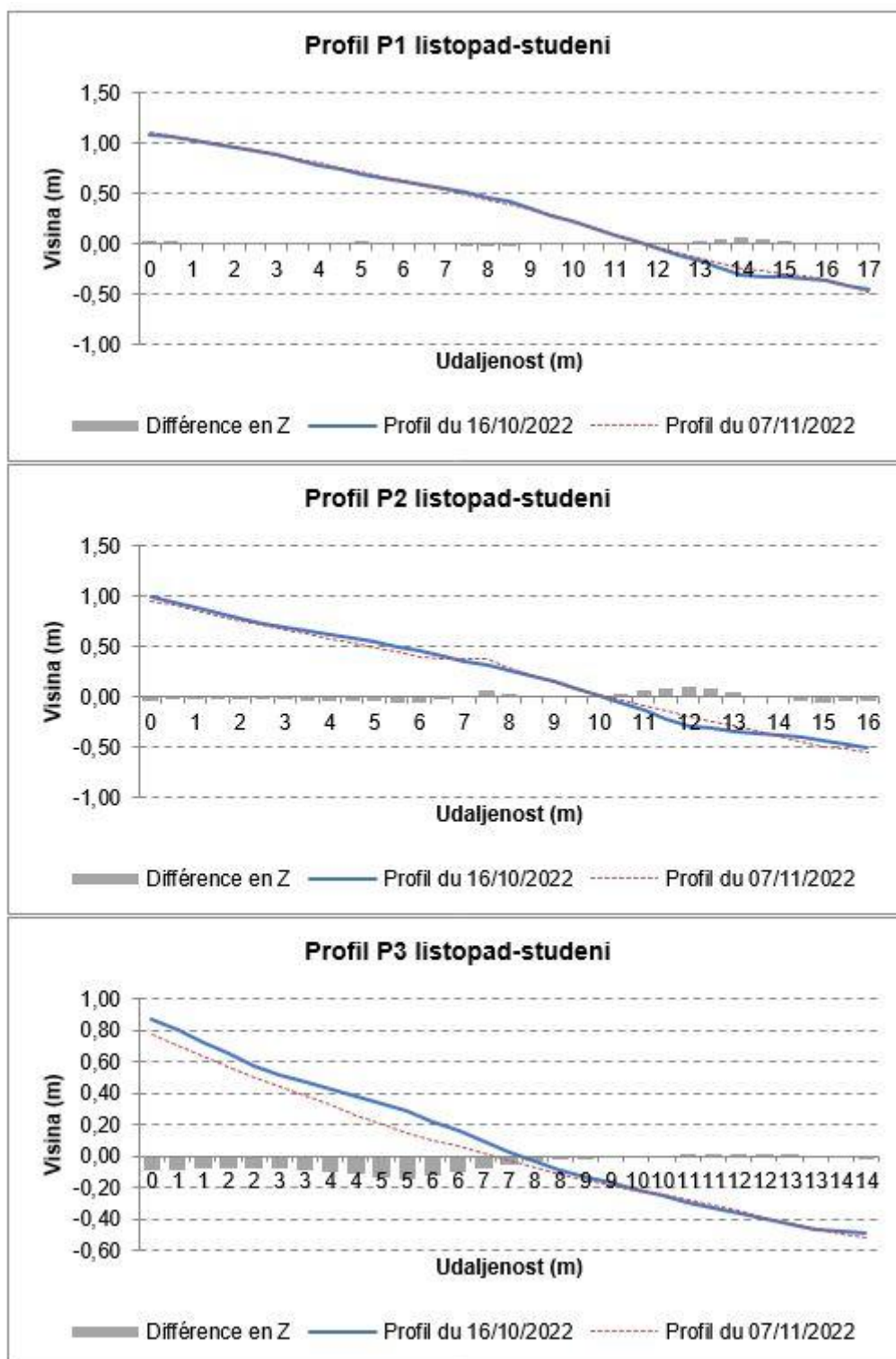
Mase sedimenta izražene su u kilogramima po 1 m^3 banketa posidonije, a visina banketa izražena je u centimetrima (Tablica 2). U listopadu je banket vrlo nizak. Njegova visina iznosi svega sedam centimetara, a u njemu je sadržano 562 kg sedimenta. Od listopada do studenog banket se značajno povisuje na 34 cm, no količina sedimenta drastično se smanjuje na 99 kg. U drugom dijelu mjeseca studenog banket je narastao na 52 cm, a masa sedimenta narasla je na visokih 2335 kg. U prosincu visina banketa raste na 67 cm, a masa sedimenta deseterostruko pada i iznosi 217,5 kg.

Tablica 2. Količina sedimenta u 1 m^3 banketa posidonije i maksimalne visine banketa.

Vrijeme uzorkovanja	Masa sedimenta u 1 m^3 banketa posidonije (kg)	Visina banketa (cm)
listopad (16.10.)	562	7
studen-a (7.11.)	99	34
studen-b (25.11.)	2335	52
prosinac (12.12.)	217,5	67

5.4. Profiliranje plaže

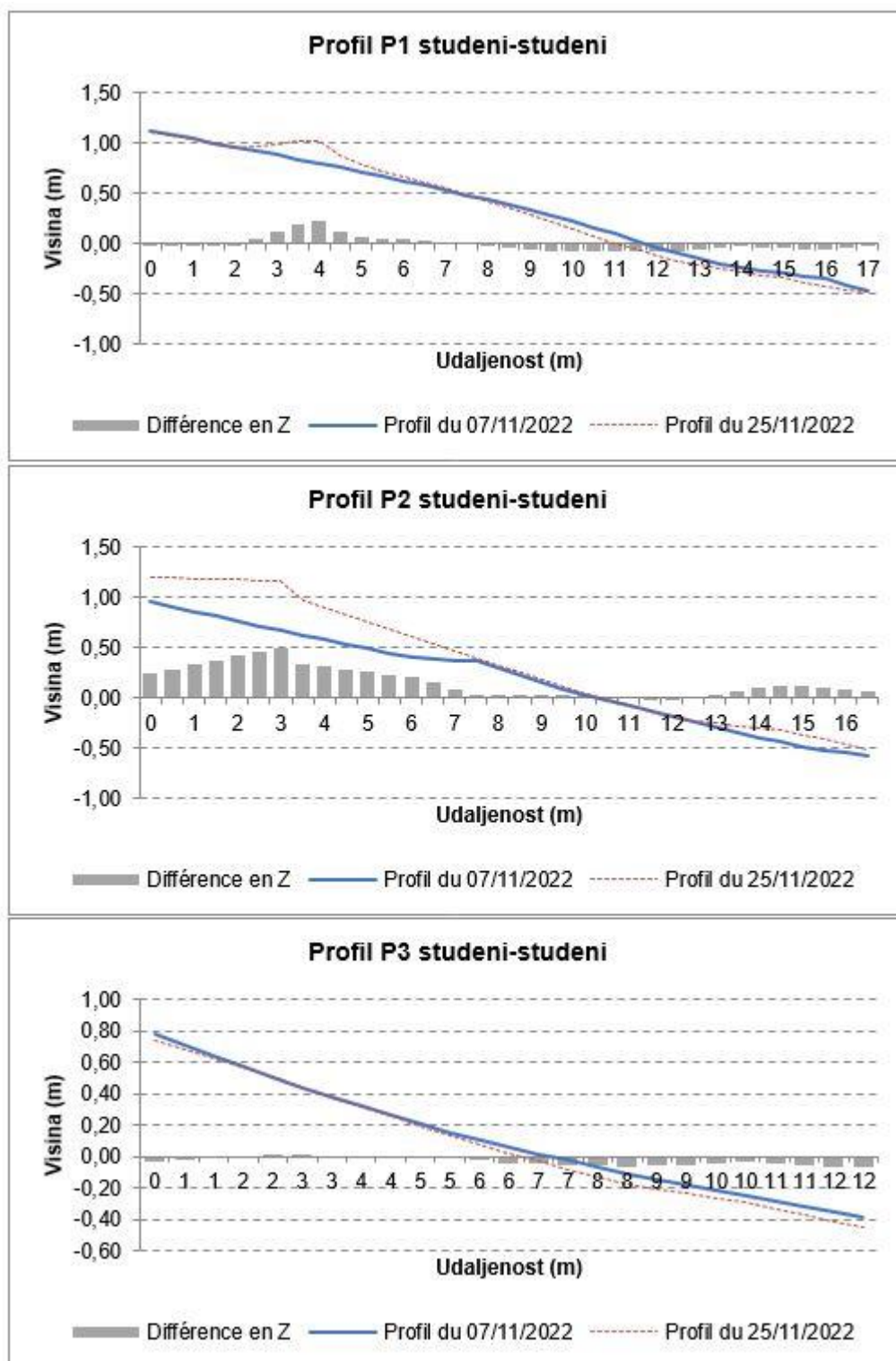
Profili prikazuju morfološke promjene (količine sedimenta, posidonije i drugih naplavina) na plaži u određenom periodu. Na svakom profilu linijama su prikazane morfološke promjene u praćenom razdoblju. Sivi stupci na grafu predstavljaju vertikalnu razliku između linija profila, odnosno prikazuju promjenu količine sedimenta duž profila u uspoređivanom razdoblju. Ako se stupac nalazi iznad x osi, znači da je došlo do akumulacije. Ako je stupac ispod x osi, njegova je vrijednost negativna i to znači da je došlo do erozije. Tri profila označena kao P1, P2 i P3 uspoređivana su između listopada i studenog (16.10. i 7.11.), dva mjerenja u studenom (7.11. i 25.11.) i između drugog mjerenja u studenom i mjerenja u prosincu (25.11. i 12.12.). Na profilu P1 između 16.10. i 7.11. nema izraženijih promjena, osim što se u podmorskom dijelu plaže vidi blaga akumulacija sedimenta (5 – 10 cm). Na profilu P2 u studenom dolazi uglavnom do blage erozije sedimenta s plaže što za posljedicu ima blagu akumulaciju (do 10 cm) u dijelu profila koji je pod morem. Na profilu P3 erozija je izražena 7.11. u odnosu na 16.10. te je odneseno i do 20 cm sedimenta s plaže (Slika 15).



Slika 15. Usporedbe profila P1, P2 i P3 između 16. listopada i 7. studenoga.

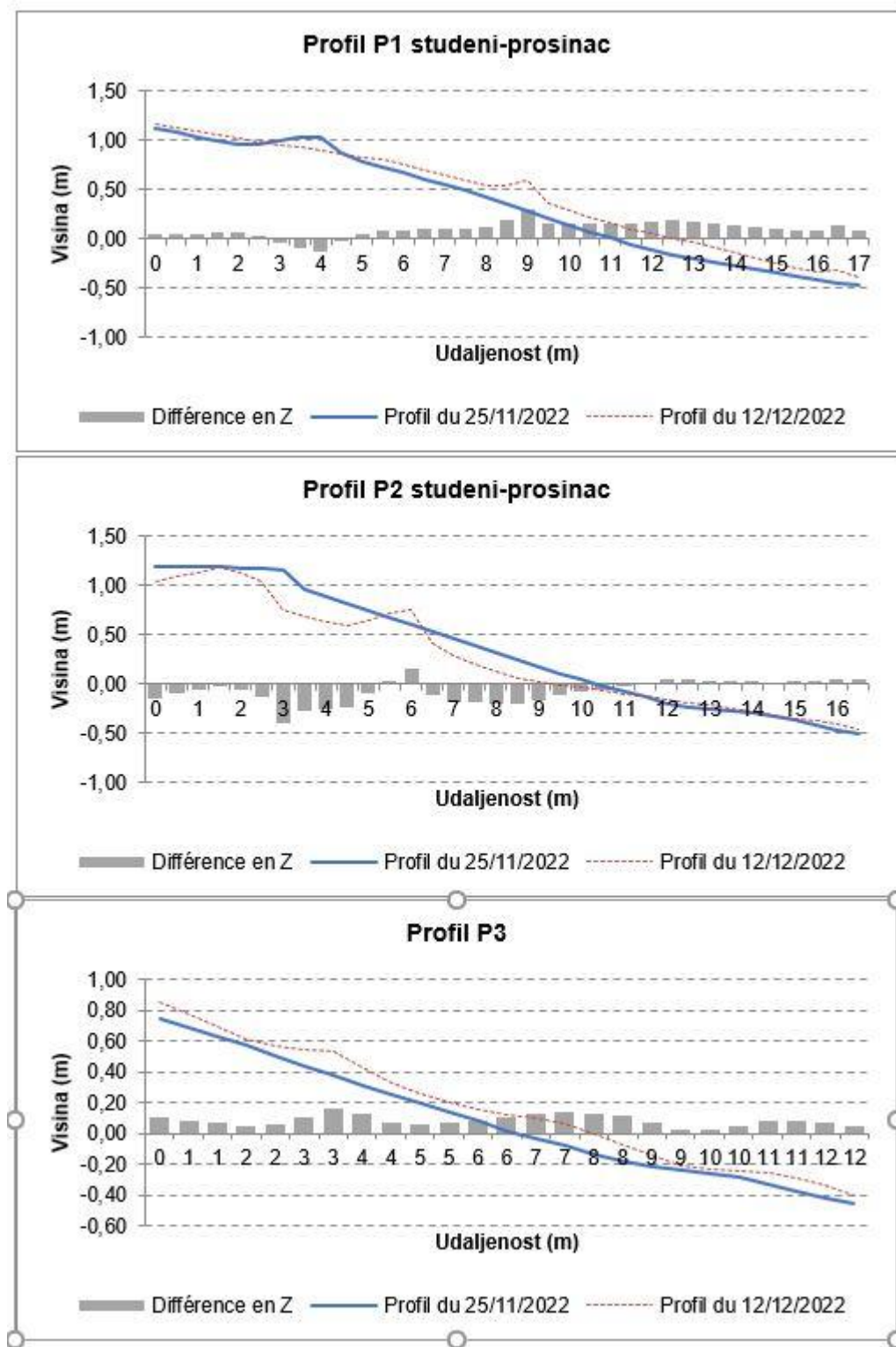
U razdoblju između 7.11. i 25.11. na sredini profila P1 vidljiva je akumulacija do 25 cm sedimenta zbog čega se na sredini linije profila pojavljuje omanja berma te linija profila

više nije ravna kao ona početkom studenog. Na profilu P2 25.11. izražena je povećana akumulacija i do pola metra što rezultira stvaranjem berme u stražnjem dijelu plaže. Linija profila P3 na kraju studenog pokazuje blagu eroziju duž cijelog profila, a linija profila ostaje zaravnjena (Slika 16).



Slika 16. Usporedbe profila P1, P2 i P3 između dva mjerenja u studenom (7.11. i 25.11.).

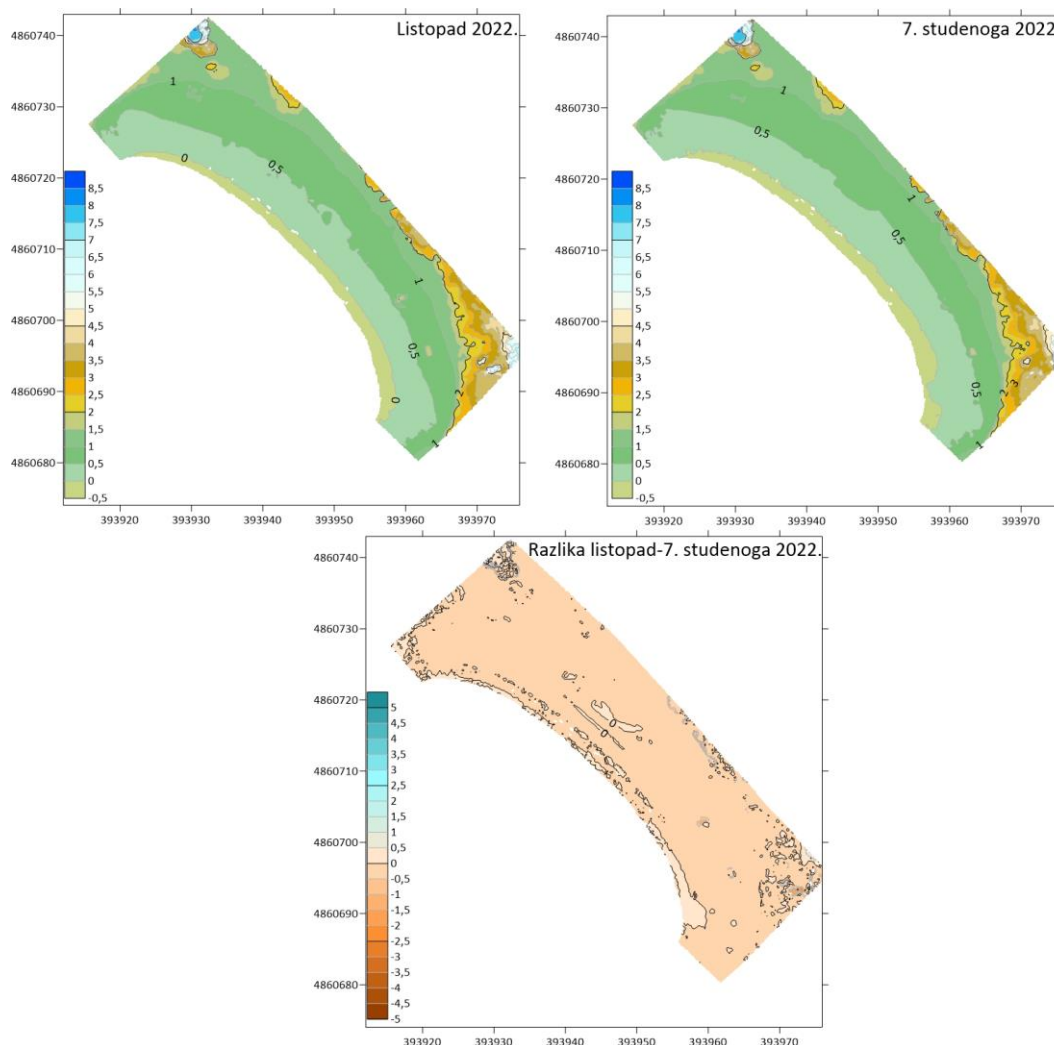
U prosincu su u odnosu na studeni na profilima vidljive najveće promjene. Na gornjem dijelu profila P1 dolazi do erozije, a na središnjem dijelu dolazi do akumulacije. Linija profila ima isti oblik kao linija na kraju studenog, ali vidljivo je da je uzvišenje pomaknuto za pet metara prema moru. Na profilu P2 u prosincu dolazi do znatnijeg snižavanja uslijed kojeg je na nekim mjestima odneseno i do 40 cm materijala. Na liniji profila P2 vidljiva su dva morfološka uzvišenja. Na profilu P3 u prosincu u odnosu na studeni dolazi do kontinuirane akumulacije materijala od 10 – 20 cm duž cijelog profila, a linija profila pokazuje na nastanak dva uzvišenja (Slika 17).



Slika 17. Usporedbe profila P1, P2 i P3 između 25. studenoga i 12. prosinca.

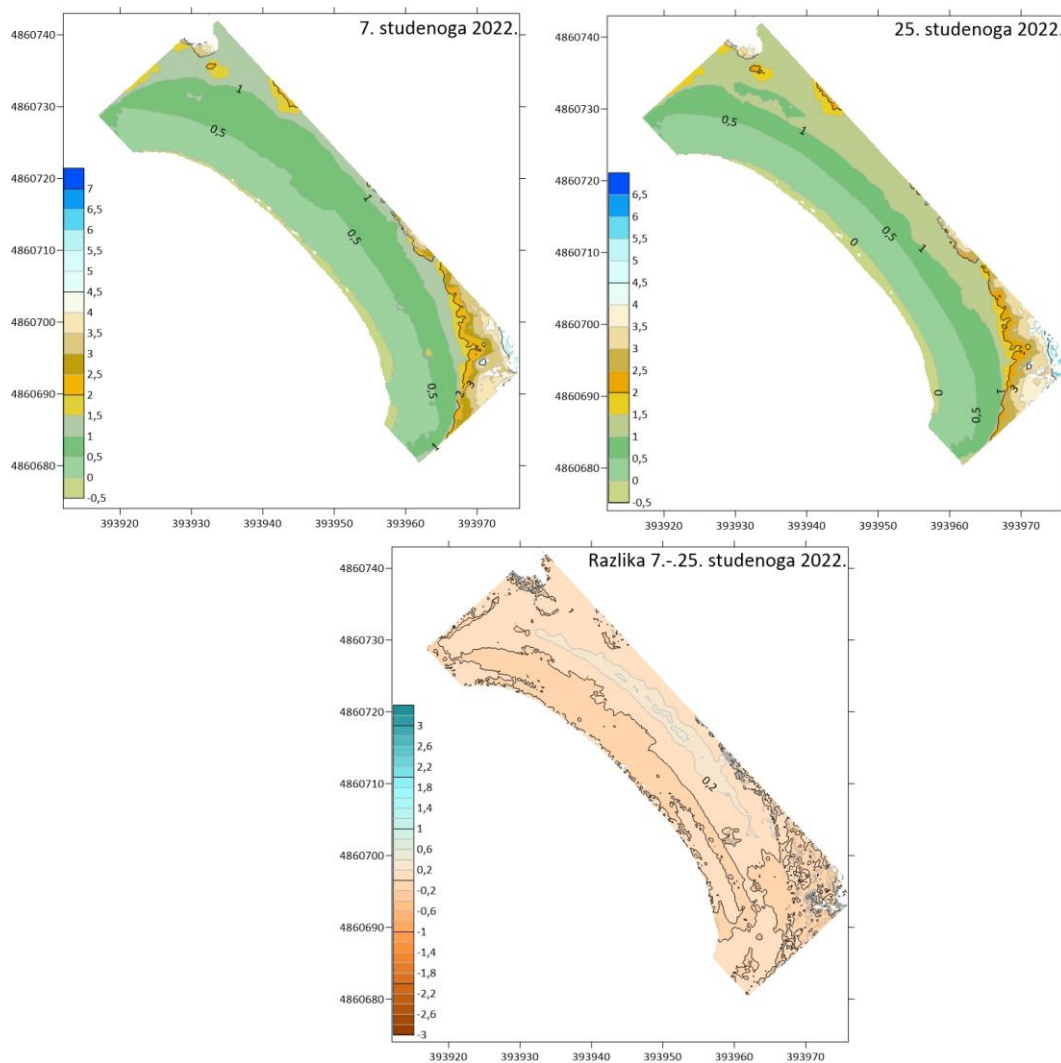
5.5. 3D modeli

Modeli prikazuju promjene izgleda plaže kroz tri jesenska mjeseca. Nakon svakog terenskog izlaska napravljen je model plaže te su modeli međusobno oduzeti kako bi se uočile morfološke promjene plaže. U listopadu je plaža prilično zaravnjena i visina joj se jednoliko povećava udaljavanjem od mora. Duž polovice plaže proteže se granica pojaseva visine 0 – 0,5 m i 0,5 – 1 m. Model koji se odnosi na početak studenog (7.11.) pokazuje sličnu raspodjelu visina kao i u listopadu. Razlika ovih dvaju modela pokazuje da nema značajnih promjena u prvom periodu praćenja (Slika 18). Tijekom listopada su na plaži primijećena tri izolirana uzvišenja s razlikama visine do 1,2 m u odnosu na ostatak plaže, a rezultat su antropogenog djelovanja (gradnja konstrukcija od naplavljenog drveta). U studenom su te konstrukcije niže što ukazuje na njihovo postepeno rušenje.



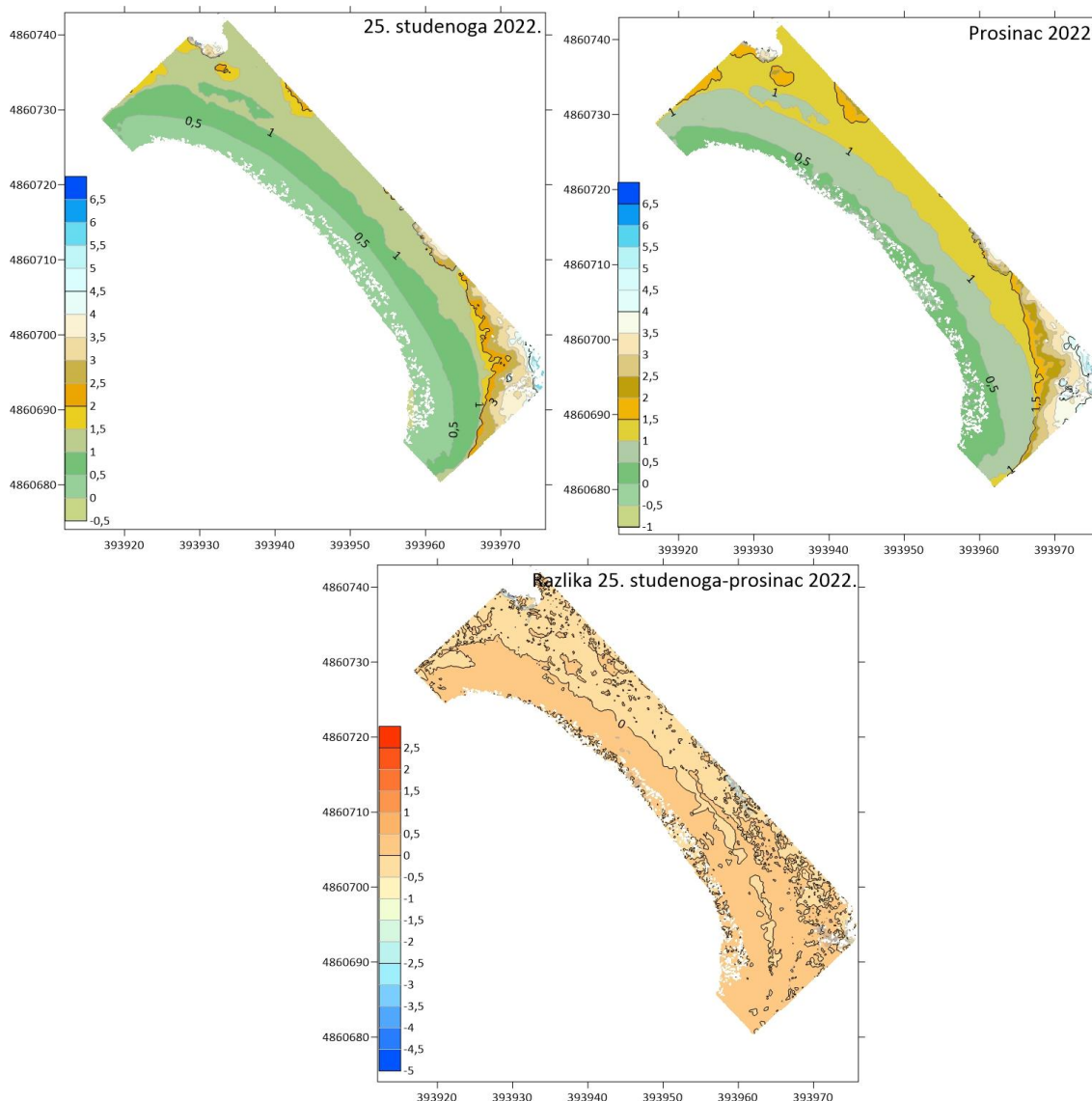
Slika 18. Usporedba modela između 16. listopada i 7. studenog.

Na početku studenog plaža je podijeljena u dvije visinske kategorije (visina između 0 i 0,5 m te visina između 0,5 m i 1 m). Na kraju studenog (25.11.) duž cijele se plaže i dalje nalaze dva visinska pojasa (0 – 0,5 m i 0,5 – 1 m), a pojavljuje se i dodatan pojas visine veće od jednog metra koji se proteže duž stražnjeg dijela plaže. Razlika dvaju mjerenja u studenom pokazuje akumulaciju od 20 cm na sredini stražnjeg dijela plaže (Slika 19). Što se tiče antropogenih konstrukcija, one su u međuvremenu srušene.



Slika 19. Usporedba modela u studenom.

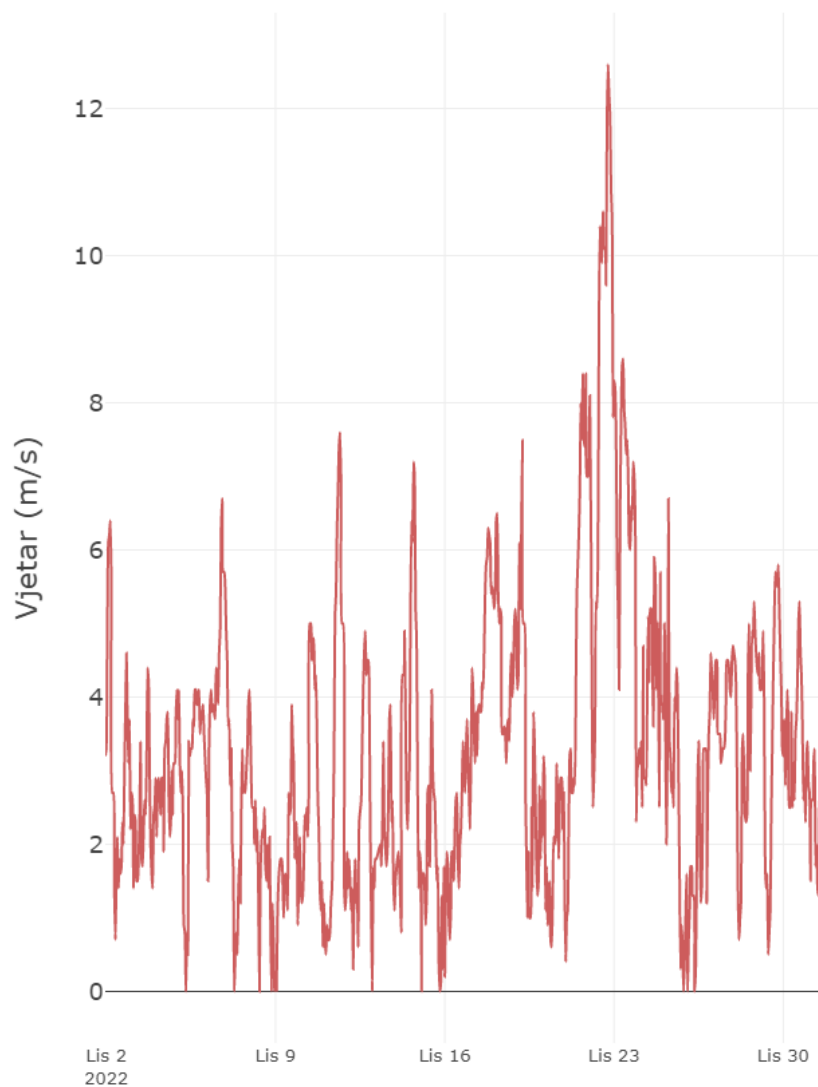
U odnosu na prethodna dva mjeseca, površina plaže u prosincu nešto je manja na modelu, što je odraz maksimuma plime u trenutku izlaska na teren i prisutnosti valova koje program nije mogao modelirati kao jednostavnu površinu. Model u prosincu pokazuje da je pojas visine 0 – 0,5 m vrlo uzak i nalazi se uz more. Slijedi ga najširi pojas visine 0,5 – 1 m, a iznad njega također je kao i krajem studenog prisutan pojas s visinama većima od jednog metra. Razlikovni model pokazuje da je u prosincu izražena akumulacija na svim dijelovima plaže i erozija samo na nekim njenim dijelovima (Slika 20).



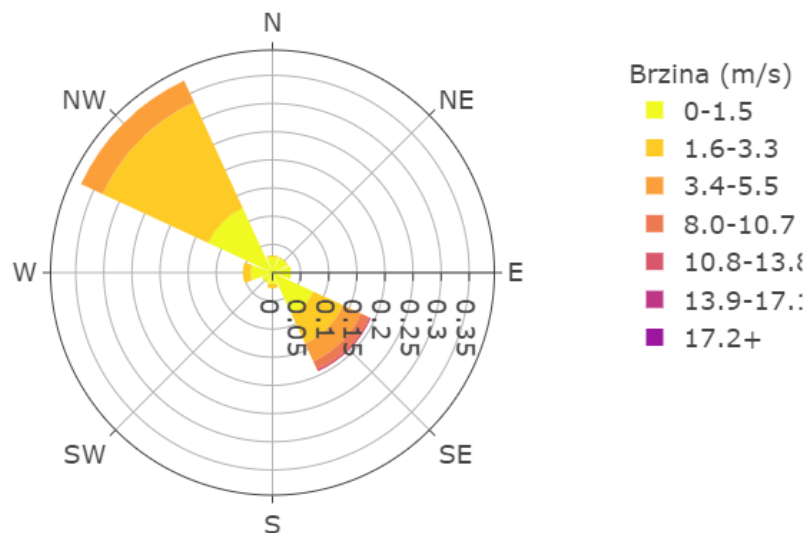
Slika 20. Usporedba modela u studenom i prosincu.

5.6. Praćenje meteoroloških podataka

Početak listopada miran je što se tiče vjetra te puše samo slab do umjeren maestral. Nakon 20.10. počinje puhati jako jugo koje postiže brzinu i do 12 m/s. Jugo prestaje puhati 25.10. kada se situacija smiruje i ostaje mirna do kraja mjeseca (Slike 21 i 22).

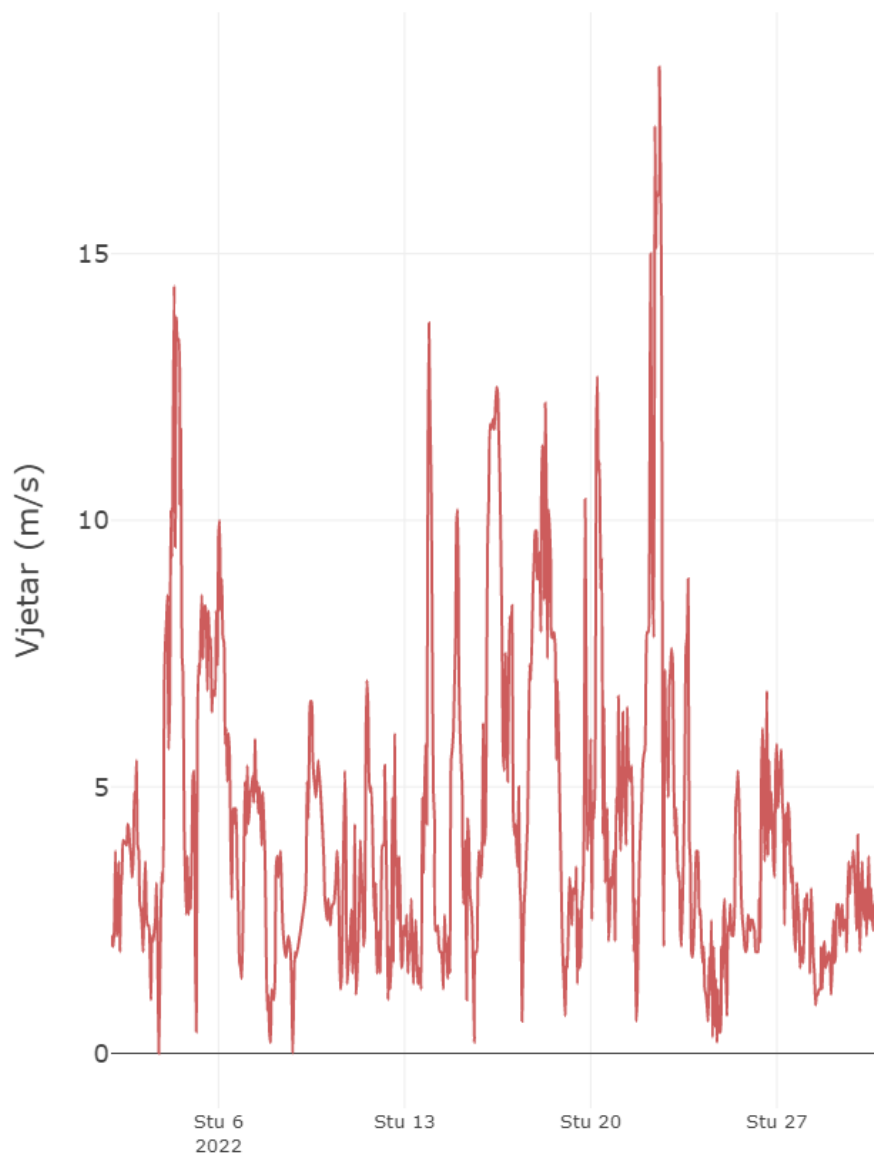


Slika 21. Brzina vjetra na meteorološkoj postaji Veli rat svjetionik u listopadu (URL2).

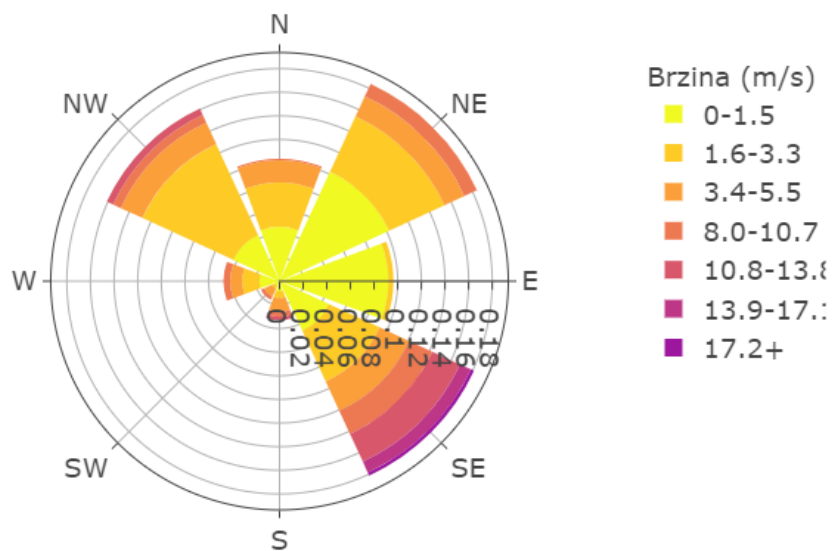


Slika 22. Brzina vjetra na meteorološkoj postaji Veli rat svjetionik u listopadu (URL2).

Studeni je u odnosu na listopad prilično vjetrovit. Na početku mjeseca puše jako jugo. Tjedan prije izlaska na teren na kraju mjeseca (25.11) izrazito je vjetrovit, a puše jako jugo brzine veće od 15 m/s koje slabi te okreće na buru nakon koje se situacija smiruje (Slike 23 i 24).

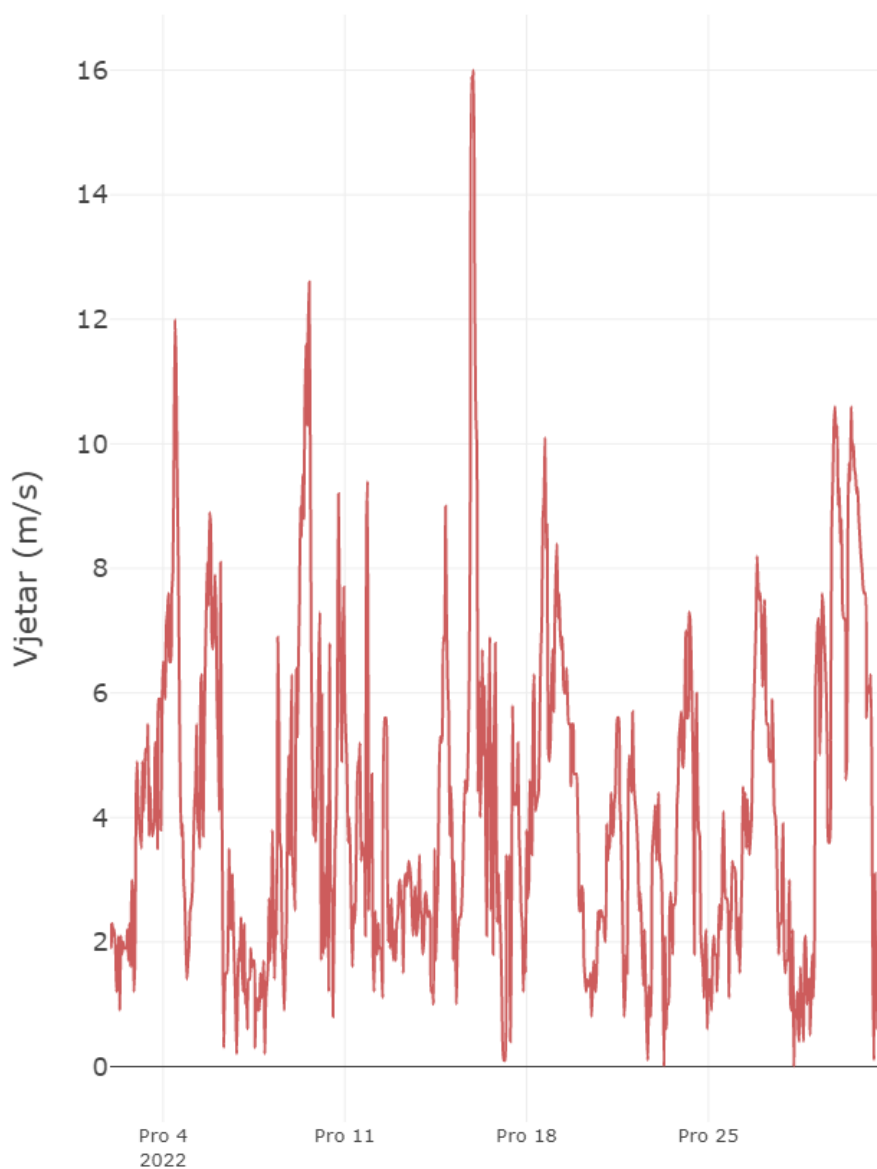


Slika 23. Brzina vjetra na meteorološkoj postaji Veli rat svjetionik u studenom (URL2).

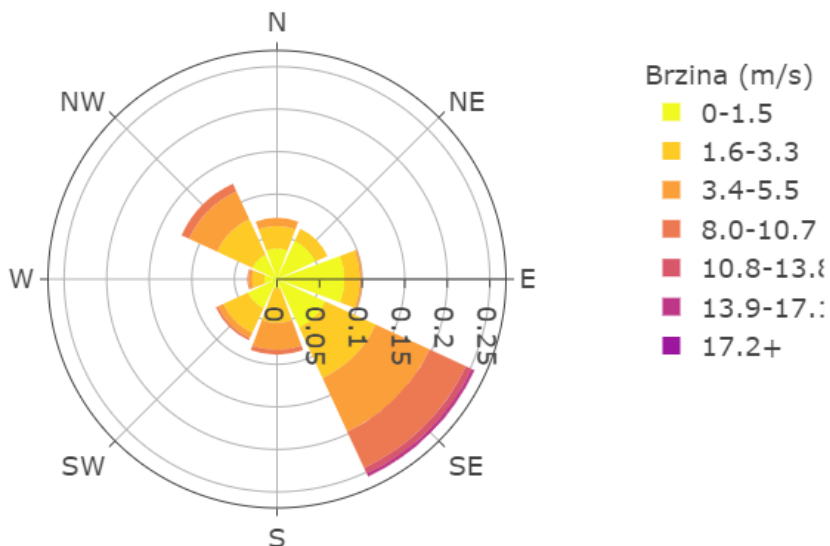


Slika 24. Smjer vjetra na meteorološkoj postaji Veli rat svjetionik u studenom (URL2).

Prosinac je također vrlo vjetrovit, a prije izlaska na teren 12.12. izraženo je puhanje jakog juga (Slike 25 i 26).



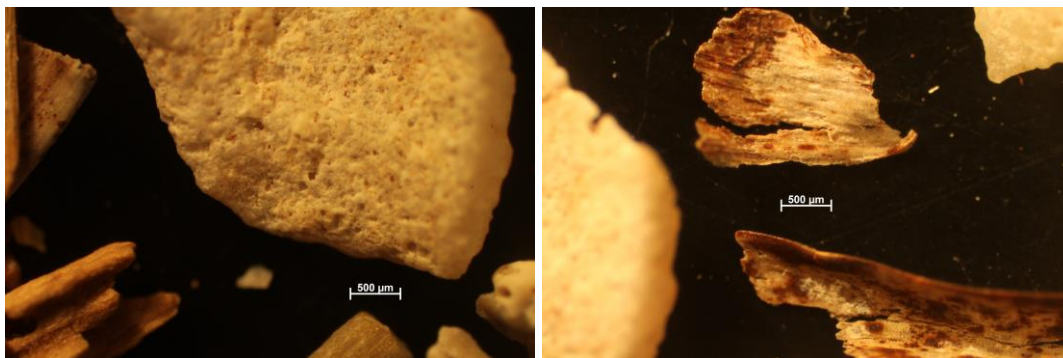
Slika 25. Brzina vjetra na meteorološkoj postaji Veli rat svjetionik u prosincu (URL2).



Slika 26. Brzina vjetra na meteorološkoj postaji Veli rat svjetionik u prosincu (URL2).

5.7. Mikroskopiranje frakcija sedimenata

Pregledom čestica sedimenta pod mikroskopom vidljivi su skeletni ostatci različitih morskih beskralješnjaka. U krupnijim frakcijama pijeska (> 4 mm te 2 – 4 mm) vidljivi su ostatci ježinaca, puževa i serpulida (Slike 27 i 28). Osim cijelih prepoznatljivih ljuštura vidljivi su i smrvljeni ostatci većih ljuštura, kao i usitnjeni ostatci listova posidonije. U sitnijim frakcijama uzoraka sedimenta češće se pojavljuju neprepoznatljivi i usitnjeni dijelovi skeleta, a prepoznatljivi ostatci pripadaju uglavnom foraminiferama i spikulama sužvi (Slike 29, 30, 31, 32). Pregledani uzorci pokazali su da se pijesak plaže Lojišće sastoji od čestica biogenog porijekla.



Slika 27. Usitnjeni neprepoznati skeletni ostatci (lijevo) i ostatci usitnjene posidonije (desno) u frakciji > 4 mm uzorka Lojišće 1.



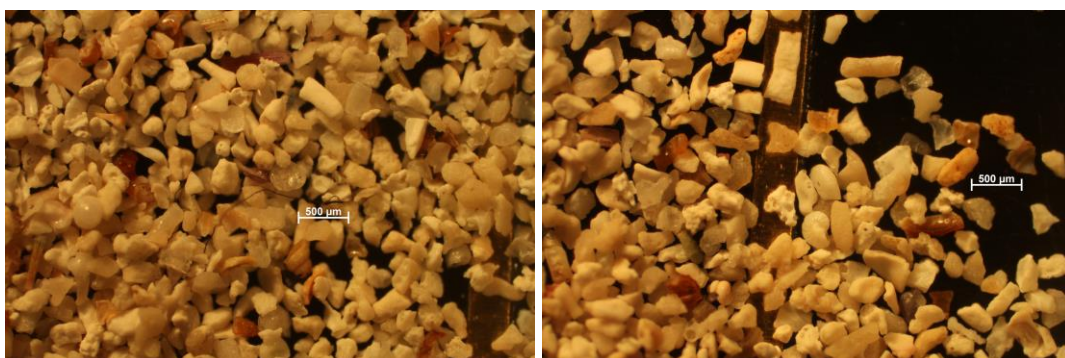
Slika 28. Skeletni ostatci ježinaca (gore lijevo), puževa (gore lijevo i dolje sredina) i serpulida (gore desno) u frakciji 1 – 2 mm uzorka Lojišće 1.



Slika 29. Usitnjeni neprepoznatljivi skeletni ostanci s prepoznatljivim ostacima ježinaca (desno) i puževa (lijevo i desno) u frakciji 0,5 – 1 mm uzorka Lojišće 2 (lijevo) i frakciji 0,5 – 1 mm uzorka Lojišće 3 (desno).



Slika 30. Usitnjeni neprepoznatljivi skeletni ostanci s prepoznatljivim foraminiferama u frakciji 0,25 – 0,5 mm uzorka Lojišće 1 (lijevo) i frakciji 0,25 – 0,5 mm uzorka Lojišće 2 (desno).



Slika 31. Usitnjeni i uglavnom neprepoznatljivi skeletni ostanci u frakciji 0,125 – 0,25 mm uzorka Lojišće 2 (lijevo) i Lojišće 1 (desno).



Slika 32. Usitnjeni i uglavnom neprepoznatljivi skeletni ostatci u frakciji 0,063 – 0,125 mm uzoraka Lojišće 2 (lijevo) i Lojišće 3 (desno). Sporadično su prepoznatljivi ostatci spikula spužvi i vrpce mikroplastike.

6. Rasprava

Praćenjem plaže Lojišće kroz tri jesenska mjeseca uočeno je da se plaža postepeno mijenja od listopada do prosinca. Kako bi se promjene mogle opisati i razumjeti, plaži je prvo bilo potrebno odrediti sedimentološke karakteristike. Analiza veličine zrna pokazala je da se radi o slabošljunkovitom pijesku čime su potvrđeni rezultati dobiveni u proljeće (VRABAC, 2022) te je na temelju toga utvrđeno da se sediment veličinom zrna ne mijenja tijekom godine. Analiza mineralnog sastava sedimenta pokazala je da se sediment u potpunosti sastoji od karbonatnih minerala, u najvećoj mjeri od kalcita, a slijede ga magnezijски kalcit te aragonit kao sporedni mineral. S obzirom na to da su stijene u podlozi plaže debelouslojeni vapnenci, očekivani rezultat bio bi terigeni karbonatni pijesak nastao trošenjem obalnih stijena. Karbonatni pijesak zaista je i pronađen, međutim rezultati mikroskopske analize frakcija sedimenata pokazali su da su čestice sedimenata biogenog porijekla i sastoje se uglavnom od ostataka ljuštura školjkaša, puževa, foraminifera, serpulida, bodlji ježinaca i spikula spužvi (Slike 27 – 32), a viđeni su i dijelovi koralja. Postavlja se pitanje gdje je i kako nastao sediment koji čini plažu i kako je on dospio na mjesto današnje plaže. Terigenog materijala u pregledanom sedimentu na plaži nije bilo što je u skladu s kemijskim trošenjem vapnenca u podlozi. Drugog terigenog izvora sedimenta nema u blizini. Dakle, sediment plaže Lojišće definitivno je nastao u moru i biogenog je porijekla, a identičan nalaz pokazala je i VRABAC (2022). Većina sedimenta mora taloženog na šelfu duž hrvatske obale biogenog je porijekla, a nastao je taloženjem karbonatnih ljušturica foraminifera, mekušaca, serpulida i spikula spužvi (PIKELJ i sur., 2016). Nadalje, po svom sastavu biogenih čestica sediment plaže Lojišće vrlo je sličnog mineralnog sastava i porijekla kao pješčana populacija sedimenta plaže Sakarun, a jedina razlika ovih dviju plaža jest što na Sakarunu postoji i šljunčana populacija sedimenta nastala mehaničkim trošenjem osnovne stijene (GODEC, 2021). Međutim, i dalje ostaje otvoreno pitanje kako je taj biogeni sediment iz mora došao na mjesto na kojem je danas plaža. Odgovor na to pitanje nalazi se na istom mjestu gdje je sediment nastao, a to je more. Vanjski dio uvale Lojišće dubok je do 15 m, a njegovo dno prekriva pijesak na kojem raste posidonija. Kako je livada posidonije prostor na kojem se sediment aktivno nakuplja, velika je vjerojatnost da je upravo taj pijesak more valovima izbacilo na obalu i formiralo plažu. Jugo, kojem je uvala izložena, stvara snažne i visoke valove i češći je od lebića kojem je plaža direktno izložena, pa se pretpostavlja da je glavni mehanizam prijenosa sedimenta upravo jugo. Valovi olujnog juga postižu valne duljine po nekoliko

desetaka metara. Valna baza iznosi polovicu valne duljine te valna baza valova juga od 15 m i više može jednostavno dosegnuti morsko dno ispred uvale i na vanjskom dijelu uvale. To znači da valovi juga dopiru do samog dna mora i sa sobom na obalu nose sediment i ostatke posidonije te tako formiraju prirodnu pješčanu plažu s pronađenim banketima. Sada kada je razriješeno pitanje postanka sedimenta i njegovog donosa na plažu, moguće je s razumijevanjem pratiti morfološke promjene plaže tijekom određenog perioda, a to su bili jesenski mjeseci (listopad, studeni i prosinac). Budući da je pijesak sediment koji se lako pokreće, logično je pretpostaviti da se izgled plaže mijenja prvenstveno djelovanjem morskih valova koje uzrokuju vremenske prilike, a prvenstveno je to vjetar. Valja napomenuti da se plaža Lojišće nalazi na nenaseljenom dijelu Dugog otoka te da je udaljena i teže dostupna jer se do nje s kopna može doći samo planinarskim putem. Na plaži nema nikakve stalne infrastrukture, tj. plaža je u potpunosti prirodna, a navedenu drvenu konstrukciju su ljudi složili od drvenih naplavina. U periodu listopad – početak studenog situacija na plaži prilično je mirna (Slika 33). Linija profila plaže zaravnjena je i pravilna, a na modelu se vide tri odvojene konstrukcije od drvenih naplavina. Sredinom listopada počinje vjetrovito razdoblje. Puše jako jugo koje će puhati i neposredno prije izlaska na teren 7.11. Na profilu P1 nije došlo do značajnih promjena dok se na profilu P2 vidi blaga erozija, a na profilu P3 erodirano je i do 20 cm sedimenta (Slika 15). Model 7.11. (Slika 18) ne razlikuje se pretjerano od modela u listopadu te je prisutna ravnomjerna raspodjela pojaseva visina 0 – 0,5 m i 0,5 – 1 m. Banket u listopadu bio je visok sedam centimetara i sadržavao je 562 kg sedimenta u 1 m³ posidonije. Visina banketa 7.11. narasla je na 34 cm, a masa sedimenta pala je na 99 kg. Ovakvo povećanje visine banketa i smanjenje udjela sedimenta u njemu ukazuje na taloženje novih i svježih listova posidonije na plaži. Konstrukcije izgrađene od drvenih naplavina postaju sve niže, što ukazuje na njihovo postepeno rušenje (Slika 34). Studeni nastavlja biti izrazito vjetrovit, a prije samog izlaska na teren 25.11. opet puše jako jugo (Slike 23 i 24) koje je jače od prethodnog. Na profilima plaže na kraju studenog (25.11.) profil P1 25.11. pokazuje akumulaciju do 25 cm i nastanak berme, profil P2 izražava akumulaciju i do pola metra i nastanak berme, a profil P3 pokazuje blagu eroziju i zaravnjenost linije profila (Slika 16). Na modelu 25.11. pojavljuje se novi pojas visina većih od jednog metra, a proteže se stražnjim dijelom plaže (Slika 19). Konstrukcije od drvenih naplavina sada su u potpunosti uništene (Slika 35). Banket na kraju studenog visok je 52 cm i sadrži 2335 kg sedimenta. Sva tri profila ukazala su na daljnje nakupljanje banketa posidonije te je stepenica primijećena na plaži

bila odraz stvaranja novih banketa. Značajan udio sedimenta u banketima ukazuje na višestruko miješanje sedimenta s ostatcima posidonije, odnosno na značajno djelovanje valova manje energije. Takvim valovima, dakle, sediment nije erodiran, nego je zamiješan u banket. U prosincu se u odnosu na studeni na plaži događaju najveće promjene (Slika 36). U prosincu kontinuirano puše jako jugo (Slike 25 i 26) koje uzrokuje značajne promjene na profilima i modelima. Na stražnjem dijelu profila P1 dolazi do blagog spuštanja visine plaže koje se ne odnosi na eroziju, već na premještanje banketa. Na središnjem dijelu dolazi do akumulacije, odnosno nakupljanja novih naslaga posidonije, što rezultira pomakom ruba banketa za oko pet metara prema moru. Na profilu P2 u prosincu vidljivo je snižavanje terena i do 40 cm, a linija profila sadrži dva uzvišenja. Na profilu P3 izražena je kontinuirana akumulacija i do 20 cm materijala (Slika 17). Model u prosincu pokazuje površinom nešto manju plažu što je rezultat maksimuma plime, a na modelu se pojavljuje novi pojas s visinama većim od jednog metra. Takve visine postignute su upravo taloženjem novih naslaga banketa (Slika 36). Na to ukazuje i visina banketa: visok je 67 cm i sadrži 217,5 kg sedimenta što je deset puta manje sedimenta nego u studenom (25.11). Iz svega navedenog proizlazi zaključak da na morfološke promjene plaže najviše utječu valovi koje stvara jako jugo.

Miješanje sedimenta i ostataka posidonije stvara bankete koji igraju značajnu ulogu u morfologiji plaže tijekom različitih vremenskih i valnih prilika. Takve su strukture, kao i kod plaže Sakarun, biogeomorfološke tvorevine u kojima se pijesak može zadržati i dulje vrijeme (GODEC, 2021). Pokrivenost sedimenta banketima ili njegova inkorporacija u bankete smanjuje mogućnost erozije pri nailasku olujnih valova. Plaža Lojišće, kako je napisano, udaljena je plaža te je vjerojatnost uklanjanja banketa ovdje mala. Ono što može poremetiti strukture banketa i plaže općenito su povremeni dolasci kupaca i izvlačenje drvenih naplavina kojima se grade privremene konstrukcije.



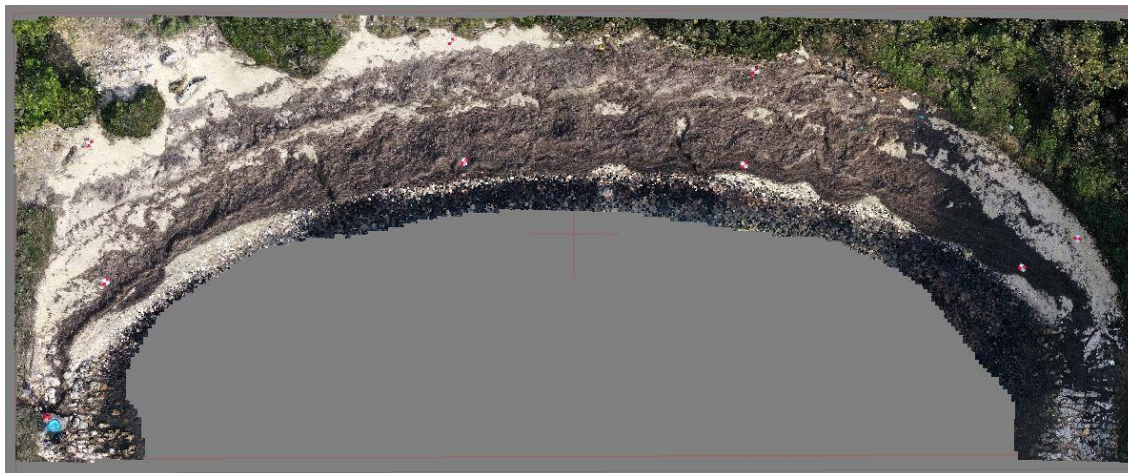
Slika 33. Izgled plaže Lojšče u listopadu.



Slika 34. Izgled plaže Lojšče na početku studenog (7.11.).



Slika 35. Izgled plaže Lojšče na kraju studenog (25.11.).



Slika 36. Izgled plaže Lojišće u prosincu.

7. Zaključak

Predmet ovog istraživanja bila je plaža Lojišće na Dugom otoku. Cilj ovog diplomskog rada bio je istražiti morfološke promjene na plaži Lojišće s naglaskom na ulogu sedimenta i ostataka posidonije u njenom sastavu. U tu svrhu provedeno je istraživanje sastava sedimenta plaže, uloge količine pijeska u banketima te je na kraju napravljeno profiliranje plaže i izrada 3D modela iz 2D slika. Analiza sastava sedimenta pokazala je da plažu čini slabošljunkoviti pijesak koji se sastoji od kalcita, magnezijskog kalcita i aragonita. Svi identificirani minerali su karbonatni, dok oni terigeni nisu identificirani. Porijeklo sedimenta je biogeno, a sediment su iz mora na kopno donijeli valovi jakog juga čija valna baza vrlo vjerojatno dopire do dna vanjskog dijela uvale. Praćenje morfoloških promjena plaže tijekom jesenskih mjeseci pokazalo je da valovi juga najviše oblikuju plažu. Period od sredine listopada pa sve do kraja prosinca bio je izrazito vjetrovit, a prevladavalo je jako jugo. Profili i modeli plaže prate promjene te pokazuju da se one postepeno povećavaju kontinuiranim puhanjem juga. Najveće promjene vidljive su u prosincu kada je izražena akumulacija te je plaža tamna jer je skoro u potpunosti prekrivena posidonijom. Zaključno, najvažniji faktor oblikovanja plaže jesu valovi juga, a posidonija ima važnu ulogu u prirodnoj zaštiti plaže od erozije. Kao i na plaži Sakarun, i na plaži Lojišće sediment s banketima posidonije čini važne biogeomorfološke strukture koje čuvaju sediment plaže, odnosno umanjuju mogućnost njegova odnošenja.

8. Literatura

BIRD, E. (2008): Coastal Geomorphology, An Introduction. Wiley and Sons, Second Edition, 411 str.

BLOTT, S. J. i PYE, K. (2001): GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms* 26, 1237-1248.

BOGNAR, A. (2001): Geomorfološka regionalizacija Hrvatske. *Acta Geographica Croatica* 34, 7-29.

BOUDOURESQUE, C. F., PERGENT, G., PERGENT-MARTINI, C., RUITTON, S., THIBAUT, T., VERLAQUE, M. (2015): The necromass of the *Posidonia oceanica* seagrass meadow: fate, role, ecosystem services and vulnerability. *Hydrobiologia* 781, 25–42.

COHEN, O. (2014): Profiler 3.1 XL, a free software for topographical profile construction and analysis in Microsoft Excel ©. Proceedings of 5th International Symposium Monitoring of Mediterranean coastal areas: problems and measurement techniques, Livorno, Italy, 17-19 June, 2014. Benincasa, Fabrizio (ur.), Firenca: CNR-IBIMET Florence, 2014., 645-654.

FOLK, R.L. (1954): The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. *Journal of Geology*, 62, 344-359.

FOLK, R. L. i WARD, W. C. (1957): Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27, 3-26.

FUČEK, L., JELASKA, V., PRTOLJAN, B., KOROLIJA, B., OŠTRIĆ, N., GUŠIĆ, N. (2016): Osnovna Geološka karta Republike Hrvatske – Dugi otok. M 1:50 000. Zavod za Geologiju Hrvatskog geološkog Instituta.

GODEC, P. (2021): Sedimentološke i geomorfološke posljedice uklanjanja naslaga morske cvjetnice *Posidonia oceanica* na primjeru plaže Sakarun. Diplomski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 72+XXI str.

KRETZ, R. (1983): Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist* 68, 277-279.

PIKELJ, K. i JURAČIĆ, M. (2013): Eastern Adriatic Coast (EAC): Geomorphology and Coastal Vulnerability of a Karstic Coast, *Journal of Coastal Research* 29, 944-957.

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

RIĐANOVIĆ, J., 2002. *Geografija Mora*. Zagreb: Hrvatski Zemljopis, Dr. Feletar: Copygraf, 214 str.

SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, J. F., SÁNCHEZ-ROJAS, V., MEMOS, C. D. (2011): Wave attenuation due to *Posidonia Oceanica* meadows. *Journal of Hydraulic Research*.

SIMEONE, S., DE FALCO, G. (2013): *Posidonia oceanica* banquette removal: sedimentological, geomorphological and ecological implications. *Proceedings 12th International Coastal Symposium (Plymouth, England), Journal of Coastal Research, Special Issue No. 65, 1045-1050.*

SIMEONE, S.; PALOMBO, A.G.L.; ANTOGNARELLI, F.; BRAMBILLA, W.; CONFORTI, A.; DE FALCO, G. Sediment Budget Implications from *Posidonia oceanica* Banquette Removal in a Starved Beach System. *Water* 2022, 14.

SURIĆ, M. (2002): Submarine karst of Croatia —evidence of former lower sea levels. *Acta Carsologica*, 31(3), 89–98.

VON RICHTHOFEN, F. (1901): *Führer für Forschungreisende*. Hannover, Germany: Verlag Von Gebrudek Janecke, 734 str.

VRABAC, I. (2022): *Proljeťne promjene sedimentoloških i biogeomorfoloških karakteristika plaže Lojišće (Dugi otok)*. Diplomski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, str.

WENTWORTH, C.K. (1922): A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30, 377-392.

Internetski izvori:

URL1: <https://webapp.navionics.com> (pristupljeno 31. svibnja 2022.)

URL2: <https://www.meteoadriatic.net/meteoroloski-podaci> (pristupljeno 5. siječnja 2023.)
