

Procjena stabilnosti plaže Dugi Rat nakon korekcije prakse nasipavanja

Šeparović Markota, Kristina

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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:217:324554>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-04**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO - MATEMATIČKI FAKULTET
GEOLOŠKI ODSJEK

KRISTINA ŠEPAROVIĆ MARKOTA

PROCJENA STABILNOSTI PLAŽE DUGI RAT NAKON KOREKCIJE PRAKSE
NASIPAVANJA

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

Zagreb, 2019.

Ovaj diplomski rad izrađen je na Geološkom odsjeku pod vodstvom doc.dr.sc. Kristine Pikelj u sklopu diplomskog studija Geologija, na Prirodoslovno- matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

ZAHVALA

Ovom prilikom želim se zahvaliti svojoj mentorici doc.dr.sc. Kristini Pikelj na predloženoj temi, danoj podršci i pomoći, te velikom strpljenju prilikom izrade diplomskog rada. Iskreno hvala na prenesenom znanju.

Mojim kolegama, posebice onima koji su postali i prijatelji za cijeli život. Oni su učinili vrijeme studiranja ispunjenim radošću i prijateljstvom. Najveće hvala mojim curama, Maji, Manueli i Matei, na dijeljenju dobrih i manje dobrih trenutaka naših studentskih dana.

Hvala svim mojim prijateljima na otoku što su svaki moj povratak kući činili beskrajno radosnim. Luciji, Ani, Petri, Nikolini, Sari, i ostalim dragim osobama iz mog djetinjstva.

Neizmjerno i najveće hvala mojoj obitelji, sestrama Ines i Maji, majci Almiri, te svim osobama koje su u međuvremenu postale dio obitelji. Bez vas ništa od ovog ne bi bilo moguće. Hvala na životnim lekcijama, bezuvjetnoj ljubavi, strpljenju i utjesi koju ste mi pružili. Mojima vavi i dedi, na prenesenim vrijednostima koje ću čuvati za cijeli život. Iako većinu mog života daleko, srcu ste blizu.

Još jednom hvala mojoj stijeni majci, na snazi, volji i ljubavi koju je pružala svakog dana mog dječjeg i studentskog života.

I na kraju, mojima muškima čuvarima. Onom prvom i nikada zaboravljenom – tati. Hvala ti za život kakav danas imam. I onom drugom, Goranu, hvala za život koji tek ide.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno – matematički fakultet
Geološki odsjek

Diplomski rad

PROCJENA STABILNOSTI PLAŽE DUGI RAT NAKON KOREKCIJE PRAKSE NASIPAVANJA

KRISTINA ŠEPAROVIĆ MARKOTA

Rad je izrađen: Geološki odsjek, Geološko-paleontološki zavod, Horvatovac 102a, Zagreb

Sažetak:

Prirodne i umjetne plaže na Hrvatskoj obali izložene su brojnim pritiscima, povećan broj turista i vremenske prilike sve više dovode do poremećaja njihove stabilnosti. Plaža Dugi Rat jedna je od mnogih takvih plaža, umjetno izgrađena, zbog neprestane erozije i gubitka sedimenta, zahtjeva prihranjivanje na godišnjoj bazi. Analizom zrna i usporedbom sa okolnim sedimentima na plaži utvrđeno je kako se radi o neprikladnom materijalu. U travnju 2018. godine promijenjena je praksa nasipavanja plaže. Korišten je krupniji materijal, čime se problem konstantne erozije trebao ublažiti. Radi određivanja morfoloških promjena i promjena volumena materijala na plaži izrađeni su digitalni elevacijski modeli (DEM-ovi) uz pomoć metode SfM fotogrametrije. Rezultati koji su izvedeni iz 3D modela ukazali su kako je gubitak sedimenta i dalje prisutan uslijed dužobalnog transporta, a prividna akumulacija je rezultat nasipavanja i zapunjavanja erodiranih područja. Ipak korištena metoda se pokazala kao vrlo efikasna i brza, a sami rezultati naglasili su potrebu za daljnjim promatranjem i praćenjem plaže u Dugom Ratu, kao i mnogih drugih plaža diljem istočne jadranske obale.

Ključne riječi: plaža, digitalni elevacijski model, SfM fotogrametrija

Rad sadrži: VII + 52 stranica, 31 slika, 5 tablica, 38 reference

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je pohranjen u: Središnja geološka knjižnica Geološkog odsjeka PMF-a, Horvatovac 102a, 10000 Zagreb

Mentor: doc. dr. sc. Kristina Pikelj

Ocjenjivači: doc. dr. sc. Kristina Pikelj, prof. dr. sc. Marijan Kovačić, mr. sc. Dražen Kurtanjek

Rad prihvaćen: 11.10.2019.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geology

Master Thesis

STABILITY ASSESSMENT OF DUGI RAT BEACH AFTER THE REPLENISHMENT
PRACTICE CORRECITON

KRISTINA ŠEPAROVIĆ MARKOTA

Thesis completed in: Department of Geology, Division of Geology and Paleontology,
Horvatovac 102a, Zagreb

Abstract:

Natural and artificial beaches on the Croatian coast are exposed to numerous pressures, increased number of tourists and weather conditions are increasingly leading to their stability disturbance. Dugi Rat beach is one of many such beaches, artificially built, because of continuous erosion and sediment loss, requires nourishment on an annual basis. Grain analysis and adjacent beaches sediment comparision showed that used material was not suitable. In April 2018. beach replenishment practice was changed. Material with larger grain size was used which should have eased the problem of constant erosion. In order to detect morfological and volume changes on the beach, using SfM photogrammetry method, digital elevation models (DEMs) were made. Results derived from the 3D models showed that material loss is still present due to longshore sediment transport, and that apparent accumulation is a result of beach replenishment and eroded spots filling. Nevertheless, used method proved to be very effective and quick, and obtained results had highlighted the need for further observations and monitoring of Dugi Rat beach, as well as other numerous beaches along eastern Adriatic coast.

Keywords: beach, digital elevation model, SfM photogrammetry

Thesis contains: VII+ 52 pages, 31 figures, 5 tables, 38 references

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Central Geological Library, Horvatovac 102a, 10000 Zagreb

Supervisor: PhD Kristina Pikelj, Assistant Professor

Reviewers: PhD Kristina Pikelj, Assistant Professor, PhD Marijan Kovačić, Full Professor,
Mr. sc. Dražen Kurtanjek, Senior lecturer

Sadržaj

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | UVOD..... | 1 |
| 1.1 | Metode u istraživanju obala..... | 2 |
| 1.2 | Praćenje promjena na istočnoj obali Jadrana..... | 3 |
| 2 | METODE U ISTRAŽIVANJU PLAŽA | 5 |
| 2.1 | GPS profiliranje | 5 |
| 2.2 | Lasersko skeniranje..... | 6 |
| 2.3 | Fotogrametrija..... | 7 |
| 3 | GEOLOŠKE I GEOGRAFSKE KARAKTERISTIKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA ..9 | |
| 3.1 | Geološki razvoj istočne obale Jadranskog mora..... | 9 |
| 3.2 | Litologija i geomorfologija istočne obale Jadranskog mora..... | 10 |
| 3.3 | Geološki razvoj područja Dugi Rat | 11 |
| 3.4 | Geografski smještaj i gospodarstvo područja Dugi Rat..... | 13 |
| 3.4.1 | Plaža Dugi Rat..... | 14 |
| 4 | METODE I MATERIJALI..... | 16 |
| 4.1 | Terenski rad | 16 |
| 4.2 | Laboratorijske metode | 17 |
| 4.2.1 | Mjerenje pomičnim mjerilom..... | 17 |
| 4.2.2 | Analiza podataka programom GRADISTAT | 20 |
| 4.3 | Structure from motion (SfM)..... | 24 |
| 4.3.1 | Postupak izrade digitalnog elevacijskog modela u Agisoft PhotoScanu..... | 25 |
| 4.3.2 | Surfer Software..... | 27 |
| 5 | REZULTATI | 28 |
| 5.1 | Granulometrijska analiza | 28 |
| 5.2 | Razlike u morfologiji i volumenu plaže | 32 |
| 6 | RASPRAVA..... | 40 |
| 6.1 | Granulometrijska analiza | 40 |
| 6.2 | Morfologija i promjena volumena plaže..... | 41 |
| 6.2.1 | Južni dio plaže (DRS)..... | 41 |
| 6.2.2 | Razlikovni modeli DRS..... | 42 |
| 6.2.3 | Sjeverni dio plaže (DRN) | 43 |

| | | |
|-------|----------------------------|----|
| 6.2.4 | Razlikovni modeli DRN..... | 44 |
| 7 | ZAKLJUČAK..... | 46 |
| 8 | LITERATURA..... | 47 |

1 UVOD

Uloga plaža se može sagledati sa više aspekata, na prvom mjestu one su tampon zone između mora i obalnih naselja, štite od poplava i erozije, no imaju i društveno – rekreativnu ulogu, na način da pružaju mjesto rekreacije lokalnom stanovništvu kao i sve većem broju turista. Velika važnost plaža je i u njihovoj ulozi staništa brojnim biljnim i životinjskim organizmima (Cohen i Anthony, 2007). Plaža je prirodna ili umjetno izgrađena površina obale različitog sastava koja predstavlja pristup vodenoj površini. U ovom diplomskom radu riječ plaža upotrebljava se za sedimentno tijelo sastavljeno od rastresitog materijala, šljunka.

Obalni okoliši kao jedni od najdinamičnijih okoliša na Zemlji pod utjecajem su neprestanih promjena, što prirodnih, što onih od strane čovjekovog djelovanja. Erozijska obala u obalnim zonama diljem svijeta predstavlja sve veći problem i smatra se da oko 70% obala trpi eroziju (Bird, 1996; Anthony, 2005). Očekuje se da će se taj trend povećati pod utjecajem klimatskih promjena, odnosno rastuće morske razine. U mnogim obalnim regijama ovakva situacija danas predstavlja ozbiljan problem, jer se procjenjuje da oko 60% stanovništva svijeta danas živi u obalnim zonama (Al Tahir i Ali, 2004).

Obalna erozija rezultira gubitkom obalne kopnene mase uslijed transporta sedimenta morskim strujama, erozijom vjetrova i promjenom relativne morske razine. Erozijska obala tipično pokazuje sekularni, neciklični trend, kao i područja povećane aktivnosti koja se mogu javiti na mjestima batimetrijskih nepravilnosti, u „surf“ zoni gdje stvaraju takozvane erozijske točke (Finkl, 1996). Stjenski sastav, energija valova, morfologija obale, smjer vjetrova naspram obale, morske mijene, te veličina sedimenta od kojeg je plaža sastavljena i samo trajanje prijenosa velike količine energije na kopno diktiraju intenzitet erozije obale (Anthony, 2005). Unatoč tome što je promjena obalne linije prirodni fenomen izazvan variranjem morske razine, klime i ekosustava, u posljednje vrijeme ubrzana je čovjekovim djelovanjem (Addo, 2014).

Informacije o tome gdje je obalna linija, te gdje je bila u prošlosti, izuzetno je važna, kao i procjene stopa erozije ili akumulacije. Poznavanje ovih podataka pruža osnovu za primjenu pravilne strategije upravljanja obalom, zaštitu obalnih okoliša i održivi obalni razvoj i planiranje

(Addo, 2014). Efikasne strategije upravljanja su potrebne kako bi se pravilno nosili s rizicima obalne erozije.

1.1 Metode u istraživanju obala

Da bi bilo moguće primijeniti pravilnu strategiju upravljanja potrebno je koristiti odgovarajuće metode u istraživanju obala. Razvojem tehnologije razvijene su i brojne metode i tehnike mjerenja i istraživanja obala, a svaka od njih ima svojih prednosti i nedostataka, pa je danas teško koristiti samo jednu.

Metode se generalno mogu podijeliti na one *in situ* i daljinske metode u istraživanju geomorfoloških promjena. U *in situ* metode spadaju izrada profila žala, Emeryjeva metoda i GPS profiliranje, dok su daljinske metode aerofotografija, video snimanje, laserski skeneri i nama najvažnija metoda fotogrametrije. *In situ* metode su relativno dugotrajne, no cijenom pristupačne i jednostavno konstruirane, s druge strane daljinske metode su najbolje rješenje na teže pristupačnim terenima i prilikom rada u nepovoljnim uvjetima.

Profiliranjem plaža određuje se promjena granice obalne linije, oblik plaža te dubina doseg sedimenta plaže tijekom uobičajenog sezonskog kretanja (eng. *depth of closure*). Jednaki rezultat daje Emeryjeva metoda, na način da se koriste dva štapa povezana užetom poznate duljine koja predstavlja interval mjerenja za točke duž profila. Posljednja i najčešće primjenjivana *in situ* metoda je GPS (eng. *Global Positioning System*) profiliranje. Pomoću GPS uređaja montiranog na tripod ili monopod moguće je brzo, točno i sveobuhvatno izmjeriti promjene profilnih linija u danom vremenskom periodu obalnog okolišu. Uređaj je također prikladan za mjerenja u slabo osvijetljenim i strmim terenima (Bird, 1996; Emery, 1961; Kraus, 2005).

Aerofotografija koristan je alat za određivanje i praćenje pomicanja obalne linije snimanjem iz zraka ortogonalno prema tlu, dok je metodom video snimanja moguće kontinuirano praćenje promjena u obalnom pojasu na širokom području, moguće je odrediti nagib plaže, priobalnu dubinu, period i smjer vala.

Kako bi se nadgledala osjetljiva obalna područja korisno je izraditi digitalne elevacijske modele (DEM - *Digital elevation model*) i mozaike orto-slika tih područja uz pomoć fotogrametrijskih i tehnika laserskog snimanja. Prikupljanje visoko-rezolucijskih digitalnih elevacijskih modela do nedavno je bilo dominirano upotrebom LIDAR (eng. *Light detection and ranging*) letjelica, odnosno laserskim skeniranjem. S obzirom da je malo ljudske intervencije potrebno za dobivanje konačnog produkta u usporedbi s konvencionalnom analitičkom ili digitalnom fotogrametrijom, ova tehnologija je postala posebno zanimljiva u praćenju obalnih okoliša radi dobivanja volumnih promjena i morfološke evolucije plaža i pješćanih dina (Gonçalves & Henriques, 2015).

1.2 Praćenje promjena na istočnoj obali Jadrana

Hrvatska obala također je izložena mnogobrojnim pritiscima od strane prirode i čovjeka te je njena stabilnost posljednjih godina ugrožena. Istočna jadranska obala, korištena stoljećima, cijenjena je zbog svoje bioraznolikosti i privlačnih krških krajolika. Sve veća turistička potražnja ostavlja trag na krajoliku i bioraznolikosti obale na način da gradnja umjetnih i proširenje prirodnih plaža postaju sve češća praksa, koja se još i češće provodi bez prethodno potrebnih ispitivanja prikladnosti nasipavanja (Pikelj i dr., 2018). Uz to, jedan od problema je i nasipavanje plaža neprikladnim materijalom koji je najčešće dopreman iz kamenoloma i ne odgovara karakteristikama plaža u okolici. Prihranjivanje i ravnanje profila plaže, široko primjenjivano u Americi 60-ih godina, u zadnje vrijeme je postala prihvaćena praksa i na europskim obalama. Iako široko korištena, i dalje se raspravlja da li je praksa prihranjivanja plaža najbolje rješenje problema obalne erozije (Finkl, 1996).

Razumijevanje podrijetla i evolucije plaže izuzetno je bitno za njenu djelotvornu zaštitu unutar strategije upravljanja obalnim područjima. Što se tiče hrvatske obale, najprije je potrebno definirati osjetljiva obalna područja, a zatim primijeniti prikladan plan promatranja kako bi se prikupili željeni podaci (Pikelj i dr., 2018). Dinamična priroda obala oduvijek je predstavljala problem prilikom određivanja trenutne pozicije obalne linije, ponajviše zbog kratkoročnog utjecaja plime i oseke, no i zbog dugoročne promjene morske razine. Također, bitnu ulogu imaju i povratne i dužobalne struje, koje rezultiraju transportom sedimenata okomito na obalnu liniju

odnosno duž obale (Addo, 2014). Osim problematike dinamične obale, poteškoće odrađivanja erozijske stope leže i u ograničenim i rijetkim podacima koji su prikupljeni u kratkom vremenskom rasponu. Nedostatak setova podataka koji obuhvaćaju dulje vremenske periode predstavlja problem u procjeni stopa promjene. U svom radu iz 2014 Addo ističe važnost korištenja podataka koji obuhvaćaju dulji vremenski period da bi se mogao odrediti dugoročni trend erozije. Dulji vremenski raspon prikupljanja podataka važan je zbog utjecaja povremenih iznenadnih događaja, poput olujnih nevremena, koji mogu poremetiti erozijski trend.

Ponašanje prirodnih i umjetnih šljunčanih plaža na hrvatskoj obali tijekom različitih uvjeta u obalnom okolišu još uvijek je prilično nepoznato. Kako bi se to promijenilo, posljednjih godina korištena je metoda *Structure-from-Motion* (SfM) fotogrametrije, pomoću koje se dobivaju digitalni elevacijski modeli (DEM - *Digital elevation model*) (Ružić i dr., 2014; Pikelj i dr., 2018).

Prijašnja istraživanja na umjetnoj plaži Dugi Rat pokazala su kako pod utjecajem valova juga dolazi do dominantnog dužobalnog transporta materijala s jugoistoka na sjeverozapad. Uočen je konstantni gubitak sedimenta plaže tijekom promatranja u zadanom vremenskom razdoblju, unatoč višegodišnjem nasipavanju (Pikelj i dr., 2018). Glavni cilj ovog diplomskog rada bio je utvrditi da li je na umjetnoj plaži Dugi Rat došlo do usporavanja erozije nakon korekcije prakse nasipavanja, odnosno nakon nasipavanja plaže krupnijim materijalom (3-4 cm) tijekom 2018. i 2019. godine. Osnovna metoda korištena za dobivanje rezultata je *Structure-from-Motion* (SfM) fotogrametrija koja služi za dobivanje digitalnih elevacijskih modela (DEM) snimanjem i uparivanjem niza fotografija. Osim toga, korištena je i metoda granulometrije radi dobivanja raspona veličine zrna materijala korištenog za nasipavanje.

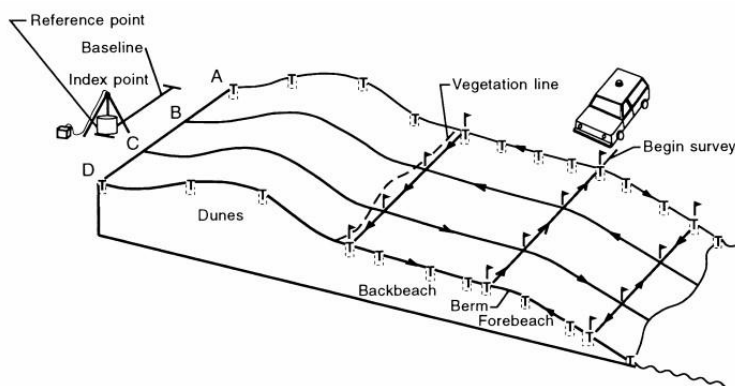
2 METODE U ISTRAŽIVANJU PLAŽA

2.1 GPS profiliranje

Najčešći i najjednostavniji način preciznog određivanja položaja na Zemlji je uz pomoć GPS (eng. *Global Positioning System*) uređaja. Mreža satelita koja stalno kruži oko Zemlje na visini od 20 000 km odašilje radijske signale i omogućuje GPS prijammniku da odredi svoj položaj. Da bi GPS prijammnik pravilno odredio poziciju treba znati gdje su sateliti te koliko su udaljeni. Barem četiri satelita su potrebna za određivanje koordinata (3D pozicije i vremena), no veći broj satelita povećava i točnost mjerenja (Morton i dr., 1993).

Oprema potrebna za profiliranje pomoću GPS-a sadrži disk-antenu montiranu na tripod ili monopod koja služi za primanje podataka od satelita, antenu koja prenosi informacije i odašiljač koji prikuplja podatke. Putem grafičkog sučelja (kontrolera) GPS upravlja korisnika uređaja duž rute, na taj način moguće je slijediti rutu i kontinuirano snimati potrebne koordinate zadanih točaka. Snimanjem niza točaka okomito na morsku liniju, duž unaprijed određenih linija, dobije se profil plaže.

Podaci dobiveni GPS mjerenjem na obalama mogu biti iskorišteni u razne svrhe, poput izračuna volumena plaža i kretanje materijala na plaži. Izrada profila pruža uvid i bolje razumijevanje ponašanja plaža nakon olujnih događaja. Mjerenje profila plaža moguće je i uz neprekinuto kretanje, na način da se GPS antena postavi na nosač na krovu automobila (Morton i dr., 1993) (Slika 1).



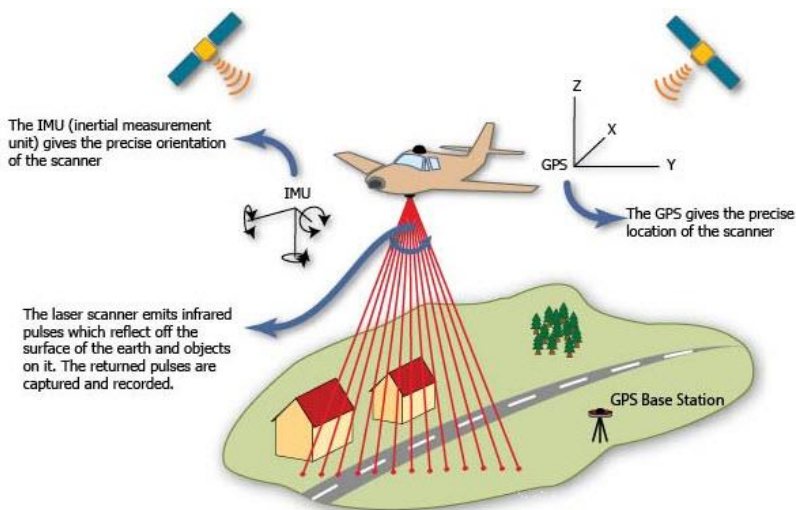
Slika 1. GPS profiliranje plaže kretanjem uz pomoć vozila (Morton, 1993).

2.2 Lasersko skeniranje

Široko primjenjivana metoda laserske tehnologije danas je u mnogim situacijama i prostorima nezamjenjiva, posebice na nepristupačnim terenima. Laserska snimanja odvijaju se brzo i daju podatke visoke točnosti, no isto tako zahtijevaju i specifične postavke tijekom prikupljanja podataka.

LIDAR (eng. *Light Detecting And Ranging*) je tehnika prostornog laserskog snimanja, bilo iz zraka ili sa zemlje, koja konačno daje digitalne modele površine i terena. Zračni laserski skeneri detektiraju udaljenost od letjelice, najčešće zrakoplova, do površine zemlje bilježenjem vremenske razlike između odaslanih i povratnih laserskih pulseva (Slika 2).

Lasersko snimanje mora biti napravljeno na više lokacija, što kasniji proces obrade čini dugotrajnijim. Također, oprema potrebna za prikupljanje podataka je teška, lomljiva i skupocjena. Prikupljanje visoko-rezolucijskih digitalnih modela površine (DSM – *Digital Surface Model*) do nedavno je bilo dominirano upotrebom LIDAR letjelica, no danas veću prednost imaju bespilotne letjelice opremljene fotogrametrijskom opremom.



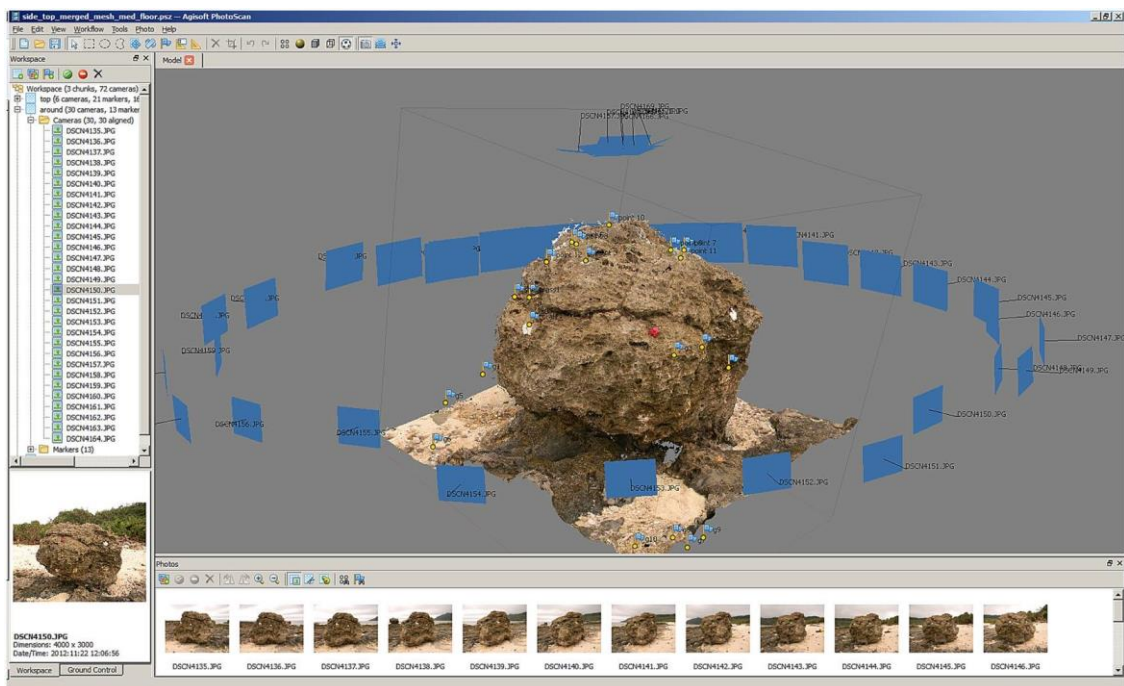
Slika 2. Grafički prikaz zračnog snimanja pomoću laserske tehnologije (LIDAR) (Internetski izvor 1).

2.3 Fotogrametrija

Tehnika dobivanja preciznih kvantitativnih informacija o fizičkim objektima na Zemlji i u okolišu, na način da se bilježe, mjere, analiziraju i interpretiraju fotografske snimke. Metodom fotogrametrije moguće je stvoriti trodimenzionalne modele površina (DSM-u) i orto-slike. Postoje dvije vrste snimanja, terestričko i zračno (aerofotogrametrija).

Za izradu 3D modela objekta ili površine potrebne su minimalno dvije snimke iz različitih pozicija i kutova – stereoparovi. Snimanje se provodi pomoću lako dostupnih i kalibriranih fotoaparata koji omogućuju automatsko generiranje snimljene geometrije i lokacije fotoaparata. Tehnologija koja to omogućuje zove se SfM (*Structure from Motion*) fotogrametrija.

Velika prednost SfM fotogrametrije je ta da rekonstrukcija može biti napravljena na licu mjesta i na standardnoj računalnoj opremi, s minimalno utrošenog vremena. Tehnika ne zahtijeva korištenje visoko napredne tehnologije i softvera, a ipak rezultira preciznim i realističnim prikazima puno složenijih objekata i okoliša (Slika 3), kao što su obalni (Gienko i Terry, 2014).



Slika 3. Produkt izrade modela karbonatne stijene. Na slici su vidljivi različiti položaji snimanja i broj fotografija korišten za izradu (Gienko i Terry, 2014).

3 GEOLOŠKE I GEOGRAFSKE KARAKTERISTIKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

3.1 Geološki razvoj istočne obale Jadranskog mora

Istočna obala Jadranskog mora, karakteristično razvedena i okršena, generalne orijentacije SZ – JI (Dalmatinski tip obale), počela je poprimati svoj izgled tijekom srednjeg trijasa, kada je započela plitka karbonatna sedimentacija na izoliranoj platformi jadranske mikroploče (Vlahović i dr., 2005). Ipak, neki raniji radovi navode gornji trijas kao početak taloženja naslaga izolirane karbonatne platforme (Gušić i Jelaska, 1993; Pamić i dr., 1998; Jelaska i dr., 2000). Taloženje plitkomorskih karbonata na siliciklastične i karbonatne facijese plitkomorske karbonatne platforme označilo je početak stvaranja izoliranog karbonatnog sustava. Ovaj razvoj bio je isprekidan nizom perioda izdizanja, spuštanja, te potapanja kopna, uslijed kojih su nastajale naslage paleokrša, boksita ili različite pelagičke taložine (Husinec i Jelaska, 2006).

Na prijelazu kreda-rani paleogen kompresijska tektonika, s maksimalnim pritiscima usmjerenim JZ–SI, obustavila je plitkovodnu sedimentaciju i omogućila početak izdizanja Dinarida, koji su se konačno izdignuli tijekom oligocen-miocena. Tektonski procesi uzrokovali su značajna boranja, rasjede i izdizanja terena planinskih i otočnih lanaca (Vlahović i dr., 2005). Okršavanje reljefa, započeto u miocenu (Mocochain i dr., 2009), odvija se i danas. Karbonati, koji su tipično kompleksno rasjednuti i navučeni, protežu se u smjeru SZ-JI, što je i konačna orijentacija hrvatske obale i otoka danas.

Osim tektonike, konačni izgled obale diktirala je klima, odnosno otapanje leda koncem zadnjeg glacijala. Početkom holocena razina mora porasla je za više od 100 m, tako su transgresijom nekadašnji planinski vrhovi postali otoci, a doline zaljevi i kanali. Okršeni i borani reljef, zajedno s brojnim špiljama i jamama, djelomično je potopljen, što je učinilo strmu i stjenovitu obalu istočnog Jadrana jednom od najrazvedenijih na svijetu (Surić i dr., 2005).

3.2 Litologija i geomorfologija istočne obale Jadranskog mora

Sastav stijena je dominantno karbonatan (90%), pri čemu dominiraju uglavnom vapnenci i dolomiti. Nešto su manje zastupljene karbonatne breče, dok su fliš, zemlja crvenica (*terra rosa*) i drugi pridruženi sedimenti i stjenski kompleksi mnogo manje zastupljeni. Vrlo malen dio istočne obale Jadranskog mora je izgrađen u magmatskim stijenama i piroklastitima (otoci Jabuka i Brusnik, uvala Komiža na otoku Visu). Fliš je mjestimično trošen i prekriven najmlađim naslagama (Pikelj i Juračić, 2013).

Sjeverni dio istočnog Jadrana je relativno plitak, dok je južni dio, bliže obali Crne Gore, puno dublji (do 1340 m). Dubine u neposrednoj blizini obale mogu doseći i do 100 m, što je još jedna od karakteristika istočne obale Jadranskog mora. Na stjenovitoj, strmoj i nepristupačnoj obali mjestimično su formirane visoke tektonski oblikovane kosine, posebice na otocima sjevernog Jadrana (Kornati, Dugi Otok). Na mnogim otocima i na kopnu prisutna su stjenovita kupališta, vapnenačke sub-horizontalne, prirodno predisponirane plaže (Pikelj i dr., 2013). Najbrojnije su tipične male šljunčane plaže koje su nastale kao završeci paleotokova ili su oblikovane u tektonski zdrobljenim i oslabljenim karbonatnim stijenama, koje su potom izložene radu valova pod utjecajem jakih, najčešće jugoistočnih vjetrova (jugo) (Pikelj i Juračić, 2013).

Zbog toga što su rijeke istočnog Jadrana kratkog toka, te nose male količine sedimenta, mali je udio obalnih područja riječnog postanka, u usporedbi s obalom Albanije (Juračić i Prohić, 1991; Vahtar, 2002; Sondi i dr., 2008). Karbonati duž obale Jadrana skloniji su procesima okršavanja nego li mehaničkom trošenju, stoga klasični obalni procesi gotovo i ne postoje kad se gleda ukupna duljina obale, a tipične plaže i klifovi su rjeđa i lokalizirana pojava. Terigeni materijal nošen rijekama, kao potencijalni sediment plaža, zanemariv je i većinom se zadržava na riječnim ušćima i estuarijima, primjerice kod obala s riječnim donosom Neretve i Cetine (Juračić i Prohić, 1991; Sondi i dr., 2008; Pikelj i Juračić, 2013).

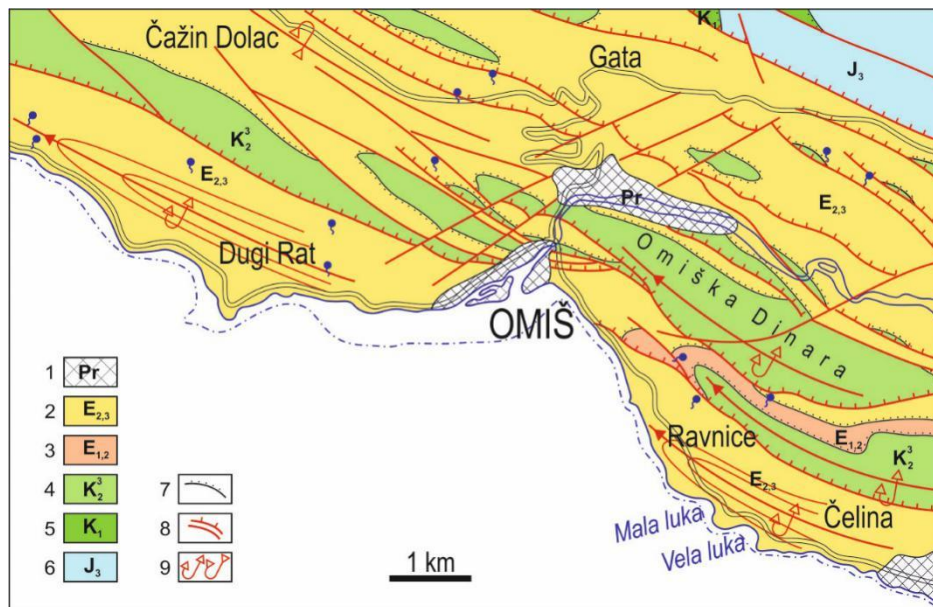
3.3 Geološki razvoj područja Dugi Rat

Uslijed kompleksnih geoloških zbivanja na širem području istraživanja od starijeg mezozoika do danas stvoren je strukturni sklop karakteriziran visokim stupnjem tektonske poremećenosti. Najstarije naslage na ovom području datiraju iz donjeg trijasa, a predstavljene su tinjčevim škrljalcima, laporovitim vapnencima i pješčenjacima (istočni rub Sinjskog polja kod sela Jabuka). Većinskim dijelom područje je izgrađeno od karbonatnih i klastičnih naslaga mezozojske i kenozojske starosti (Marinčić i dr., 1977).

Na prostoru Dugog Rata tijekom geoloških zbivanja moguće je pratiti od starijeg trijasa pa sve do kvartara. Pretpostavlja se da je trijas u transgresivnom odnosu na mlađem paleozoiku, nakon čega započinje porast karbonatne sedimentacije i smanjenje terigenog prinosa. Novoformirani plitkomorski mezozojski prostor zatim je poremećen tektonskim pokretima i emerzijom, da bi početkom jure došlo do transgresije i postepenog prijelaza u stabilne uvijete karbonatne sedimentacije. Tektonski pokreti krajem krede uzrokuju veće paleogeografske promjene, široki dijelovi tadašnjeg sedimentacijskog prostora oplićavaju i okopnjavaju te se formira krški reljef. Transgresija donjoeocenskog mora označava početak stvaranja terciarnog sedimentacijskog bazena. Za taj bazen vezani su jaki tektonski pokreti sa sjeveroistoka koji su izuzetno diferencirali prostor (planine Mosor, Biokovo, Kamešnica). Učestali pritisci dovode do formiranja prepoznatljive ljuskave građe, terena i navlaka (Marinčić i dr., 1977).

Tijek geološkog zbivanja i taložene naslage u užem području Dugog Rata (Slika 4) mogu se pratiti od gornje jure, koja je predstavljena s debelo uslojenim oolitičnim vapnencima (J_3). Na jugu, odnos naslaga gornja jura-donja krede je transgresivan, a javljaju se slabo uslojene bazalne vapnenačke breče s mjestimičnim lećama dolomita (K_1). Najveće rasprostiranje unutar krednih naslaga zauzimaju rudistni vapnenci sa sporadičnim ulošcima dolomita. Ovi slabo uslojeni bioakumulirani vapnenci (K^3_2), visokog udjela karbonatne komponente, su u erozijsko-diskordantnom odnosu sa slabo uslojenim foraminiferskim vapnencima ($E_{1,2}$) čiju glavnu stijensku masu čine brojne alveoline i numuliti. Uslojene vapenčke breče, dobroslojeni kalkareniti s česticama detritičnog porijekla te vapnenci i fliš-pješčenjaci u izmjeni s laporima ($E_{2,3}$) javljaju se u širokom području, posebice priobalnom pojasu. Laporiti su neuslojeni i izgrađuju većinski dio ovog kompleksa koji u najvećoj mjeri izdanjuje na području Dugog Rata.

Vidljiva je pravilna ciklička izmjena od detritičnih varijeteta preko kalkarenita do lapora koja ukazuje na ritmičku sedimentaciju fliša. Na području istraživanja je utvrđeno taloženje proluvijalnih pješčano-muljevutih nanosa s primjesom šljunka, koji predstavljaju najmlađe naslage kvartara na ovom području (Marinčić i dr., 1977).

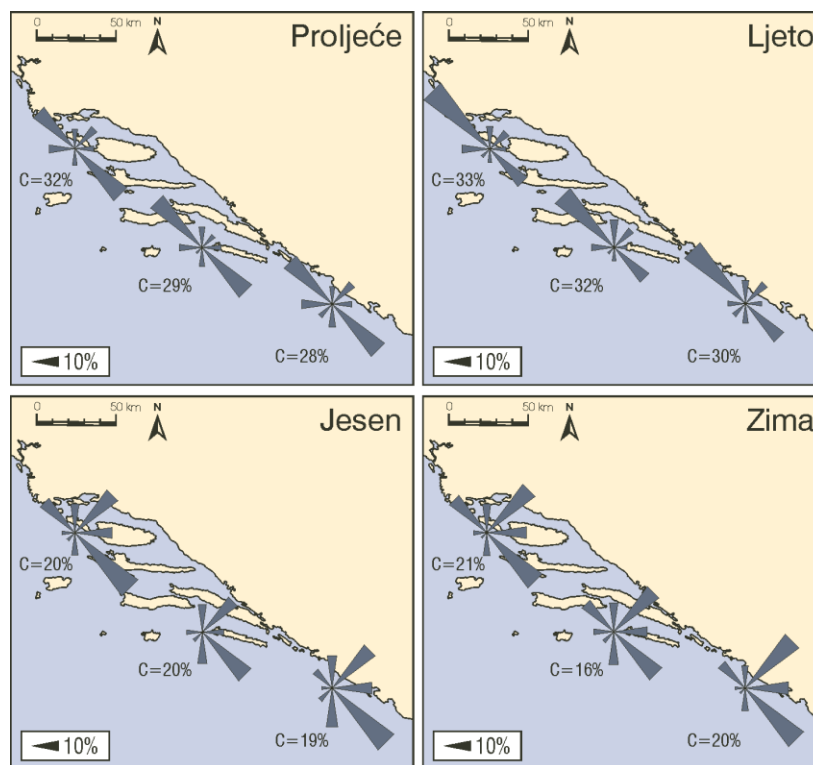


Slika 4. Pojednostavljena geološka karta istraživanog područja. Legenda: (1) Proluvijalni nanosi. (2) Izmjena vapnenačkih breča, biokalkarenita i fliša. (3) Foraminiferski vapnenci. (4) Bioakumulirani vapnenci. (5) Vapnenačke breče s lećama dolomita. (6) Oolitični vapnenci. (7) Erozijska granica. (8) Normalni rasjed i čela ljustaka. (9) Prebačene antiklinale i sinklinale (Šikić i dr., 1972).

3.4 Geografski smještaj i gospodarstvo područja Dugi Rat

Dugi Rat je općina smještena u srednjoj Dalmaciji, nalazi se 15 km jugoistočno od Splita i 3 km zapadno od Omiša, ukupne površine 15,6 km². U sastavu općine nalaze se još dva naselja, Jesenice i Duće. Prostire se od vrhova planine Mosor 2 km prema jugu do obale Bračkog kanala. U dužini od oko 9 km, od ušća Cetine do Općine Podstrana, obalna naselja su povezana Jadranskom autocestom (Baučić, 2000).

Zbog svoje reljefne izloženosti prema jugu i planine Mosor, koja predstavlja zaštitu od jakih i hladnih sjevernih vjetrova, na prostoru općine Dugi Rat prevladavaju povoljnija klimatska obilježja u hladnom dijelu godine za razliku od ostatka srednje Dalmacije, iznimka je istočni dio općine koji ima učestalije i jače vjetrove. Najčešći vjetrovi u zimskim mjesecima su sjeveroistočni (bura) i jugoistočni (jugo), od kojih jugo stvara veće valove većeg dohvata (Slika



Slika 5. Srednje sezonske frekvencije valova u srednjoj i južnoj Dalmaciji (HHI, 2002)

5). Jednako tako, istočni dio je izložen i nepovoljnim utjecajima juga (Baučić, 2000; Pikelj i dr., 2013).

Temeljni izvor egzistencije, od samoga početka, predstavljala je planina Mosor sa svojim ograncima i poljima. Osnovicu života tadašnjeg stanovništva činila je poljoprivreda, pretežito stočarstvo. Početkom 19. stoljeća prodorom francuske vojske područje se počinje značajnije iskorištavati u poljoprivredne svrhe, a gradi se i cesta uz more. Stanovništvo ubrzano naseljava morsku obalu, te se razvija trgovina putem mora i brodogradnja, a središte nove općine postaje Dugi Rat. Uslijed procesa naseljavanja obale i korištenja mora u gospodarske svrhe počinju se umjetno stvarati i graditi luke na kojima se razvijala poznata flota drvenih jedrenjaka (Petrić, 2000).

Jedno od prvih industrijskih postrojenja u Dalmaciji građeno je u Dugom Ratu 1912. do 1913. godine, a započelo je s radom 1914. godine. Industrijski kompleks proizvodio je kalcijev karbid i kalcijev cijanamid, što je zahtijevalo velike količine električne energije te vapnenac i koks. U svrhu iskorištavanja vodenih snaga rijeke Cetine podignuta je hidroelektrana što je dovelo do brojnih negativnih utjecaja na okoliš. Poslije drugog svjetskog rata započeo je značajniji razvoj turizma, grade se i adaptiraju hoteli i pansioni, a kasnije i odmarališta i kampovi (Petrić, 2000). Modernizacija i gradnja Jadranske ceste 1966. godine pridonijela je turističkom razvoju mjesta, ali i preobrazbi krajolika i povećanoj ljudskoj aktivnosti na obali. Raste broj građevinskih radova u neposrednoj blizini mora kao i količina odlaganog materijala. Sve to dovelo je, na mnogim mjestima unutar općine Dugi Rat i puno južnije od nje, do ometanja prirodnih procesa i prirodnog razvoja plaža (Rajčić i dr., 2010.).

3.4.1 Plaža Dugi Rat

Predmet istraživanja ovog rada je umjetna plaža Dugi Rat (Slika 6) duljine 80 m koja se nalazi u istoimenom naselju i pruža se u smjeru zapad-sjeverozapad, jug-jugoistok. Plaža je pregrađena kamenim perima sa obje strane, a na sredini je postavljen betonski mol koji je dijeli na dva dijela, sjeverozapadni i jugozapadni dio. Izgradnjom Jadranske ceste i potpornog zida

60-ih godina obala je značajno izmijenjena. Uslijedila je gradnja betonske šetnice početkom 80-ih godina, da bi tijekom 2000-ih godina počela izgradnja umjetne plaže nasipavanjem stijena i postavljanjem pera. Od tada se plaža godišnje nasipava sitnijim drobljenim materijalom iz kamenoloma. Nasuta plaža je prema prethodnim istraživanjima na godišnjoj razini bila kratkog vijeka (Tominić, 2017; Pikelj i dr., 2018), pa se nakon prvobitnog istraživanja stabilnosti i prezentacije rezultata u Općini Dugi Rat prešlo na nasipavanje krupnijim riječnim materijalom u istom razdoblju godine (proljeće – travanj – svibanj). Prvo takvo nasipavanje bilo je 2018., a drugo 2019. godine.



Slika 6. A-karta lokacije plaže Dugi Rat na istočnoj obali Jadranskog mora. B-izgled plaže 2005. godine. C-izgled plaže 2012. godine (B i C fotografije pokazuju isto kameno pero na jugoistočnom kraju južnog dijela plaže (Pikelj i dr., 2018).

4 METODE I MATERIJALI

4.1 Terenski rad

Radi određivanja granulometrijskih karakteristika materijala najprije je prikupljen sediment kojim je plaža prvotno bila nasipavana, onaj sitniji (< 1 cm), a zatim i novi krupniji materijal (3-4 cm). Potom je u više navrata, i u različitim vremenskim razmacima, tijekom 2016., 2017., 2018., i 2019. godine napravljeno fotografiranje plaže prije i poslije samog nasipavanja. Plaža je slikana sa strane mora i sa šetnice korištenjem monopoda (Slika 7), radi obuhvaćanja većeg dijela plaže i to iz ruke, fotoaparatom Canon 450D i Canon 600D. Pri svakom fotografiranju plaže prikupljeno je oko 1500 fotografija koje su kasnije obrađene u računalnom programu Agisoft PhotoScan.

Fiksne kontrolne točke, koje su korištene u ovom radu, prethodno su bile obilježene i izmjerene uz pomoć RTK GNSS prijamnika u HTRS96 koordinatnom sustavu prema Tominić (2017).



Slika 7. Rad na terenu (Dugi Rat, 2019).

4.2 Laboratorijske metode

Fizičke osobine sedimenta, koje su odraz taložnih i posttaložnih procesa, obuhvaćaju veličinu zrna, morfologiju zrna i građu sedimenta. Da bi bilo moguće odrediti uvjete i način njihovog postanka potrebno ih je istražiti uz pomoć različitih laboratorijskih metoda.

Pravilan odabir metode određivanja granulometrijskog sastava ovisi o rasponu veličine čestica i samoj namjeni istraživanja (Tominić, 2017).

4.2.1 Mjerenje pomičnim mjerilom

U svrhu određivanja fizičkih karakteristika sedimenta plaže korištena je metoda izravnog mjerenja pomičnim mjerilom. Na tri uzorka prikupljena s tri karakteristična profila (Slika 8) različitih dijelova plaže napravljena je analiza, mjerena je veličina i oblik zrna.



Slika 8. Mjesta na plaži s kojih je uzet sediment

Veličina zrna predstavlja promjer pojedinačne čestice u uzorku sedimenta ili litificirane čestice u stijeni. Odredbom veličine čestice može se dobiti informacija o geomorfološkom okruženju, procesu trošenja i eroziji, te dinamici fluida pomoću kojeg se čestica kreće. Najčešće korištena ljestvica za klasifikaciju i nomenklaturu sedimenata je Udden-Wentworthova (Slika 9), prema kojoj su sedimenti podijeljeni u tri glavne kategorije: šljunak, pijesak i mulj.

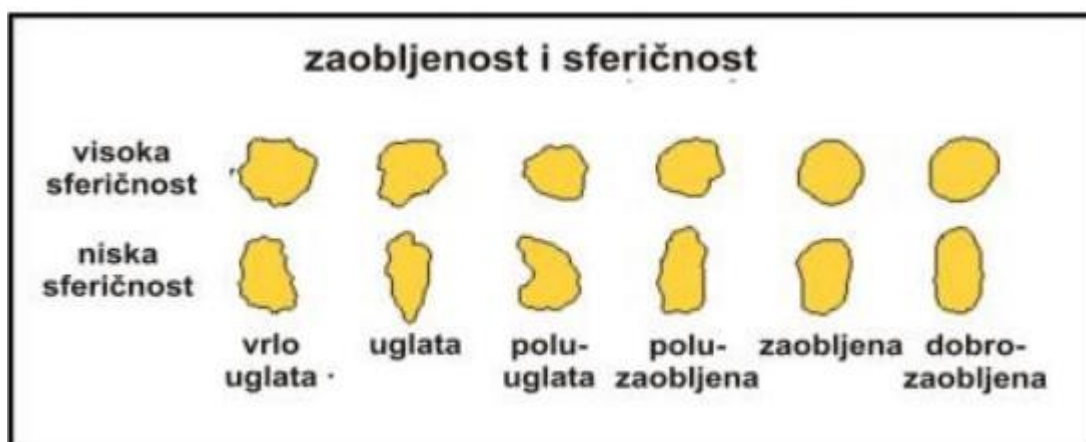
| Millimeters (mm) | Micrometers (μm) | Phi (ϕ) | Wentworth size class |
|------------------|-------------------------------|----------------|----------------------|
| 4096 | | -12.0 | Boulder |
| 256 | | -8.0 | Gravel |
| 64 | | -6.0 | |
| 4 | | -2.0 | |
| 2.00 | | -1.0 | |
| 1.00 | | 0.0 | Very coarse sand |
| 1/2 | 500 | 1.0 | Coarse sand |
| 1/4 | 250 | 2.0 | Medium sand |
| 1/8 | 125 | 3.0 | Fine sand |
| 1/16 | 63 | 4.0 | Very fine sand |
| 1/32 | 31 | 5.0 | Coarse silt |
| 1/64 | 15.6 | 6.0 | Medium silt |
| 1/128 | 7.8 | 7.0 | Fine silt |
| 1/256 | 3.9 | 8.0 | Very fine silt |
| 0.00006 | 0.06 | 14.0 | Clay |

Slika 9. Pojednostavljena Udden-Wentworthova tablica za klasifikaciju sedimenata

Oblik zrna otkriva informacije o transportu zrna i post-taložnom trošenju, a ovisi o udaljenosti, trajanju i tipu transporta. Sferičnost i zaobljenost su karakteristike oblika pojedinačnog zrna. **Zaobljenost** zrna je stupanj zaglađivanja čestice sedimenta uslijed njenog trošenja djelovanjem valova. **Sferičnost** zrna je mjera koliko je čestica približnog oblika kugle, to je omjer površine sfere u odnosu na površinu čestice, pri čemu obje imaju isti volumen (Slika 10).

Provedeno je i vaganje svakog pojedinog zrna uz pomoć digitalne vage u svrhu dobivanja težinskih postotaka udjela svake frakcije sedimenta u ukupnom uzorku.

Određivanje veličine i oblika zrna temelji se na duljini tri međusobno okomite osi: najdulje (a), srednje (b) i najkraće (c) osi. Sferičnost i zaobljenost procjenjuju se prema grafičkim prikazima (Slika 10).



Slika 10. Grafički prikaz tablice za odredbu zaobljenosti i sferičnosti prema Powers (1953)

Posljednji korak u analizi morfometrije zrna je računanje nominalnog promjera i spljoštenosti uz pomoć Excel programa.

Nominalni promjer je trodimenzionalna veličina koja opisuje veličinu čestica najmanjim karakterističnim promjerom. Ukoliko je volumen čestice od veće važnosti nego li dužina osi b ili promjer određen sitom, koristit će se nominalni promjer koji se računa kao (Bunte i Abt, 2001):

$$D_n = (a \cdot b \cdot c)^{1/3}$$

Spljoštenost zrna je stupanj koji definira odnos najduže, srednje i najkraće osi, to je mjera koliko je čestica približnog oblika pločice, a računa se kao (Tišljar, 1994):

$$S = a + b / 2c$$

Izrađena je krivulja raspodjele veličine zrna zbrajanjem težine svih zrna koja spadaju u jednu frakciju prema Udden-Wentworth-ovoj podjeli.

4.2.2 Analiza podataka programom GRADISTAT

Dobiveni podaci o veličini zrna u uzorcima obrađeni su uz pomoć statističkog programa GRADISTAT (Blott i Pye, 2001). Program znatno olakšava statistički izračun velikog broja podataka o veličini zrna u uzorcima, pa tako daje informacije o srednjoj i prosječnoj veličini

zrna, sortiranosti (Tablica 1), asimetričnosti krivulje (Tablica 2) i zaravnjenosti krivulje (Tablica 3). Podaci su prikazani koristeći logaritamske grafičke metode prema Folku i Wardu (1957).

Srednja veličina zrna (*median*) je vrijednost od koje je 50 % čestica veće, a 50 % čestica manje (ϕ_{50})

Prosječna veličina zrna (*mean*) je aritmetički izračunata prosječna veličina zrna izračunata kao:

$$M_z = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$$

Koeficijent sortiranosti (*sorting*) je pokazatelj distribucije veličine čestica (Tablica 1).

$$S_s = \frac{\phi_{16} + \phi_{84}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6}$$

Asimetričnost raspodjele (*skewness*) je pokazatelj simetričnosti distribucije čestica. Vrijednost koja pokazuje devijacije u raspodjeli čestica (Tablica 2). Ukoliko prevladava krupnija frakcija biti će pozitivne vrijednosti, a negativne za sitniju frakciju. Asimetričnost se računa kao:

$$Sk = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + (\phi_{95} - 2\phi_{50})}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$$

Zaoštrenost krivulje (*kurtosis*) ukazuje na raspršenost raspodjele materijala (Tablica 3). Kod zaoštrene krivulje (*leptokurtic*) materijal je raspoređen oko jedne veličine zrna, a kod zaravnjene (*platykurtic*) radi se o više granulometrijskih frakcija. Zaoštrenost se računa kao :

$$Kg = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2,44(\phi_{75} - \phi_{25})}$$

Tablica 1. Tablica sortiranosti sedimenta (Folk i Ward, 1957). Vrijednosti su prikazane logaritamski (standardna devijacija, ϕ)

| SORTIRANOST (S_o) | |
|---------------------------------------|-------------|
| Vrlo dobro sortirano | < 0,35 |
| Dobro sortirano | 0,35 – 0,50 |
| Umjereno dobro sortirano | 0,50 – 0,70 |
| Umjereno sortirano | 0,70 – 1,00 |
| Loše sortirano | 1,00 – 2,00 |
| Vrlo loše sortirano | 2,00 – 4,00 |
| Izuzetno loše sortirano | > 4,00 |

Tablica 2. Tablica asimetričnosti krivulje (Folk i Ward, 1957).

| ASIMETRIČNOST KRIVULJE (S_k) | |
|--|-----------------------------|
| -1,00 do -0,10 | Negativno zakošena krivulja |
| -0,10 do 0,10 | Gotovo simetrična krivulja |
| 0,10 do 1,00 | Pozitivno zakošena krivulja |

Tablica 3. Tablica zaoštrenosti krivulje (Folk i Ward, 1957)

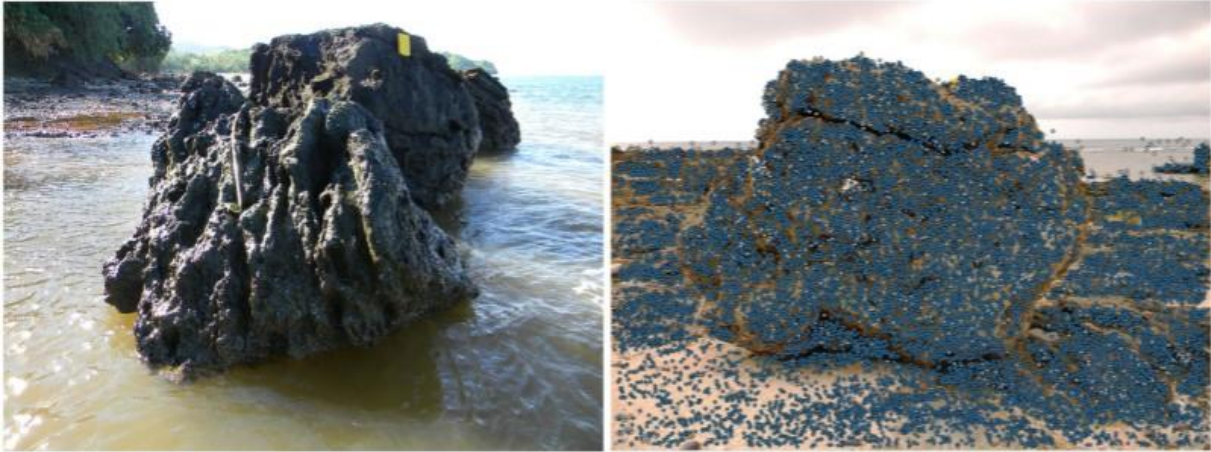
| ZAOŠTRENOST KRIVULJE (Kg) | |
|----------------------------------|---------------------|
| 0,67 do 0,90 | Zaravnjena krivulja |
| 0,90 do 1,11 | Srednje zaoštrena |
| 1,11 do 1,50 | Zaoštrena krivulja |

4.3 Structure from motion (SfM)

Kako bi se dobio uvid u promjene koje se događaju u morfologiji plaže korištena je metoda *Structure from Motion* (SfM) fotogrametrije. Tehnika se temelji na izradi 3D modela prostora iz niza fotografija snimljenih u pokretu i određivanju pozicije fotoaparata u trenutku slikanja uz pomoć prethodno određenih kontrolnih točaka na tlu kojima su poznate točne koordinate. Da bi se analizirale i protumačile morfološke promjene i procesi u priobalnim područjima, SfM proizvodi trodimenzionalne oblake točaka visoke razlučivosti i preciznosti. Algoritam SfM fotogrametrije temelji se na sličnim principima kao i klasična stereoskopska fotogrametrija, no najveća prednost SfM metode je ta da više nema potrebe za skupom i kalibriranom fotografskom opremom, velikim brojem poznatih kontrolnih točaka i njihovog označavanja tijekom obrade (Ružić i dr., 2018).

Osnovni preduvjet koji mora biti ispunjen prije daljnje obrade jest da susjedne fotografije u nizu imaju preklapanje $\geq 60\%$. Jednako bitno je i da na barem tri fotografije budu vidljive najmanje tri referentne točke, kojima je određen točan GPS položaj, kako bi moglo biti napravljeno naknadno georeferenciranje područja. Zbog visoke automatiziranosti, jednostavnog korištenja i cjenovne dostupnosti naprednih kamera, fotogrametrija postaje sve šire primjenjivana metoda, primjerice u mjerenjima terena, poljoprivredi, rudarenju, praćenju stanja okoliša i sl. (Gonçalves & Henriques, 2015).

Prilikom izrade 3D modela bitno je da softver prepozna zajedničke točke na parovima fotografija. Algoritmi za prepoznavanje odgovarajuće točke na susjednim snimkama osjetljivi su na geometrijske uvjete, broj slika i njihovo preklapanje (Gienko i Terry, 2014). Također, da bi algoritmi automatski prepoznali točke na površini objekta potrebno je prikladno osvjetljenje prilikom snimanja, kao i nepravilna, hrapava tekstura snimanog objekta (Slika 11). Dobivene oblake točaka zatim je potrebno prebaciti u poznati globalni koordinatni sustav te koristiti zemljišne kontrolne točke (GCP—*ground control points*) radi uspostave točnog odnosa između fotogrametrijskih parova snimaka, geometrije senzora i tla. Korištenjem većeg broja kontrolnih točaka smanjuje se broj pogrešaka u izračunu 3D modela. Konačni korak u izradi modela je davanje teksture površini uz pomoć originalnih fotografija. Nakon toga model odlazi na daljnje analize u neki od softvera (pr. u ovom radu korišten je Surfer).



Slika 11. Utjecaj svjetlosnih uvjeta na automatsko prepoznavanje točaka na snimanom objektu. Vulkanska stijena na otoku Fiji (lijevo) i karbonatna stijena na Taiwanu (desno). Obje stijene imaju nepravilnu površinu no samo je karbonatna stijena snimljena pod idealnim svjetlosnim uvjetima, što je u programu kasnije omogućilo automatsko prepoznavanje značajnih točaka (Gienko i Terry, 2014).

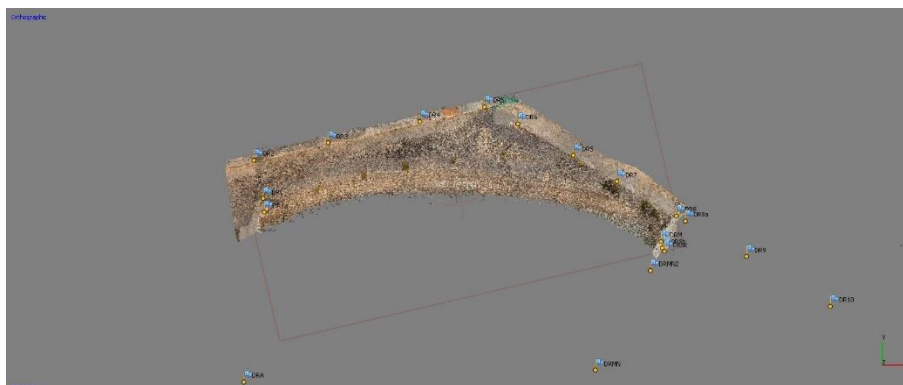
4.3.1 Postupak izrade digitalnog elevacijskog modela u Agisoft PhotoScanu

Za potrebe dobivanja rezultata ovog diplomskog rada korišten je program Agisoft PhotoScan. Ovaj računalni program služi za procesiranje i obradu fotografija koje će kasnije sačinjavati 3D model željenog objekta. Pomoću SfM (*Structure from Motion*) algoritma moguće je dobiti guste oblake točaka visoke razlučivosti.

Najprije je potrebno odvojiti slike za svaki dio plaže, sjeverni i južni. S obzirom na velik broj fotografija u ovom radu, one su podijeljene na nekoliko dijelova tzv. *chunkova* koji će kasnije biti spojeni. Za svaki *chunk* korišteno je 200-500 slika. Zatim slijedi pronalaženje zajedničkih točaka na susjednim fotografijama sa svakog dijela plaže. Redoslijed fotografija mora biti takav da se slike nadovezuju jedna na drugu, a njihovo preklapanje trebalo bi iznositi minimalno 60%. Takvim povezivanjem nastaje rijetki oblak točaka (*sparse point cloud*), što znači da objekt još uvijek nema detaljan izgled. (Slika 12). Nakon toga, provjerava se da li neke automatski spojene točke iskaču od modela i nisu dio stvarnog izgleda plaže. Izrada rijetkog oblaka točaka traje u prosjeku 1-2 sata.

Potom slijedi označavanje markera na fotografijama. Prije svega odabire se željeni referentni koordinatni sustav, a zatim i unaprijed georeferencirani markeri, koji se ubacuju u

model iz tekstualne datoteke. Svaka fotografija se otvara i pretražuju se i označavaju vidljivi markeri na njima. Potrebno je redovito optimizirati i voditi brigu da su greške pozicioniranja modela minimalne i to centimetarske vrijednosti, po mogućnosti <3 cm. Ubacivanje markera na slike traje oko 1 sat.

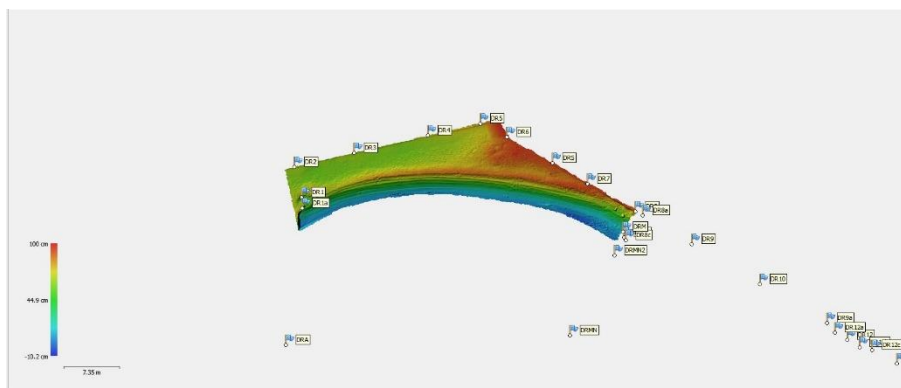


Slika 12. Izrada rijetkog oblaka točaka na primjeru sjevernog dijela plaže Dugi Rat (DRN) (Agisoft PhotoScan, 2019)

Sljedeći je *Multi View Stereo* (MVS) korak, u kojem se sastavljaju elementi objekta da bi se dobio gusti oblak točaka (eng. *dense point cloud*). Ovisno o broju slika, izrada gustog oblaka točaka traje 7-10 sati. Veća gustoća oblaka dati će detaljniji i točniji 3D model, a njegovu točnost će diktirati i srednja kvadratna pogreška (eng. *Root mean square error* – RMSE). U radu je pogreška dobivenih oblaka točaka iznosila 2,9-3,03 cm, što je u rasonu pogreške GDP pozicioniranja kontrolnih točaka.

Postupak dalje zahtjeva izradu mreže trokutastih elemenata iz gustog oblaka (eng. *mesh*), čija izrada uzima 20 minuta vremena. Potom slijedi izrada DEM-a (digitalni elevacijski model)

iz dobivene mreže elemenata (Slika 13), no prije toga potrebno je odrediti granice prema kojima će model biti napravljen. Kada je model završen, kasnije može biti obrađen u Surfer programu.



Slika 13. Prikaz izrade DEM-a iz mreže trokutastih elemenata (Agisoft PhotoScan, 2019)

4.3.2 Surfer Software

Dobiveni modeli iz Agisoft PhotoScana prebačeni su u Surfer kako bi bile izrađene konturne karte poznatih x, y, i z vrijednosti, pomoću kojih će biti moguće izračunati i vizualno prikazati visinske razlike za dane vremenske periode. Najprije je bilo potrebno odrediti iste granice svim modelima, definirale su im se točke iste geografske duljine i širine (x i y vrijednosti), a zatim su modeli oduzimani međusobno na način da se od kasnijeg datuma oduzeo raniji datum snimanja. Korištena je funkcija Grid-Math i izrađeni su modeli u obliku rešetaka.

5 REZULTATI

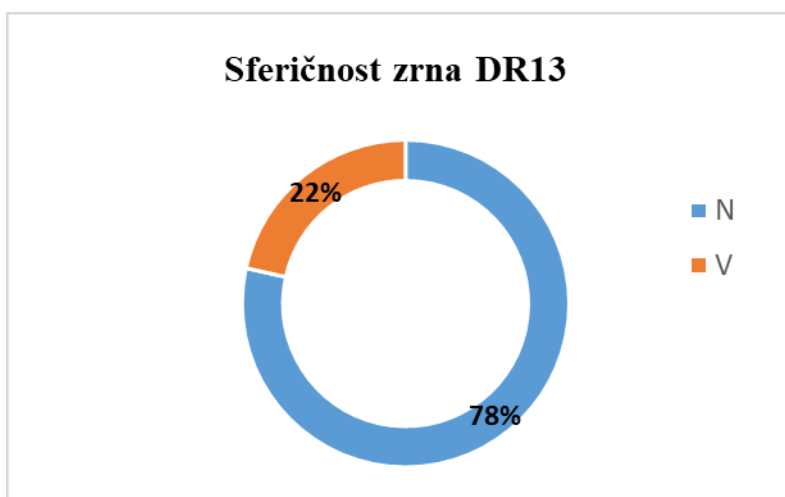
5.1 Granulometrijska analiza

Mjerenjem svakog pojedinog zrna pomičnim mjerilom iz tri različita uzorka i unošenjem podataka u GRADISTAT dobiveni su rezultati koji opisuju granulometrijske karakteristike sedimenta. Program je dao podatke o nazivu i vrsti sedimenta, srednjoj veličini zrna (Md), prosječnoj veličini zrna (Mz), sortiranosti sedimenta (So), asimetričnosti (Sk) i zaoštrenosti krivulje (Kg) (Tablica 4).

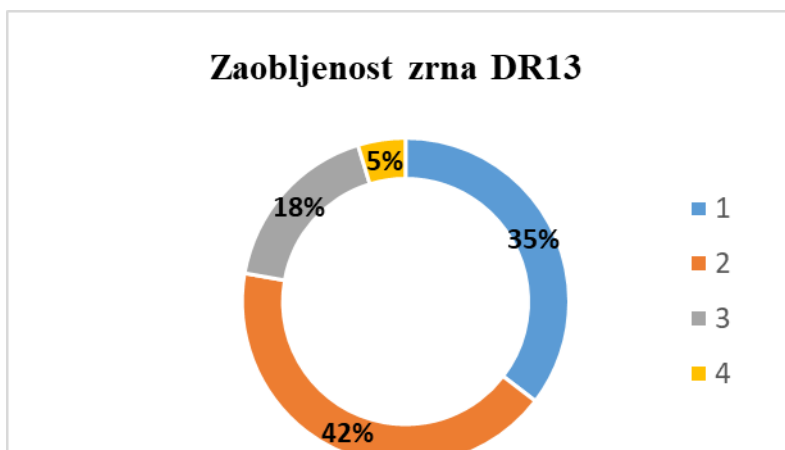
Tablica 4. Rezultati granulometrijske analize

| UZORAK | TIP SEDIMENTA | GRANULOMETRIJSKI PARAMETRI | | | | | | |
|-------------|------------------|----------------------------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|
| | | Md | | Mz | | So | Sk | Kg |
| | | ϕ | mm | ϕ | mm | ϕ | ϕ | ϕ |
| DR13 | Sitni šljunak | -3,02 | 8,11 | -3,05 | 8,26 | 0,70 | -0,11 | 0,83 |
| DR16 | Srednji šljunak | -3,35 | 10,17 | -3,26 | 9,60 | 0,36 | 4,90 | 0,11 |
| DRG | Krupni šljunak | -4,53 | 23,15 | -4,53 | 23,15 | 0,37 | -0,10 | 0,92 |

Rezultati analize za uzorak **DR13** pokazali su kako se radi o sitnom šljunku. Srednja veličina zrna (Md) iznosi 8,11 mm, a prosječna (Mz) 8,26 mm (Tablica 4). Sortiranost sedimenta je 0,70 ϕ , određena kao umjereno dobra (Tablica 1, Tablica 4). S obzirom na sferičnost i zaobljenost, u uzorku prevladavaju uglata zrna niske sferičnosti (Slika 9, Slika 10) prema Powers (1953) klasifikaciji. Koeficijent asimetričnosti iznosi -0,11 ϕ što je na samoj granici simetrične i negativno zakošene krivulje (Tablica 2, Tablica 4). Rezultati zaoštrenosti krivulje ukazuju na zaravnjenu krivulju (Tablica 3, Tablica 4).

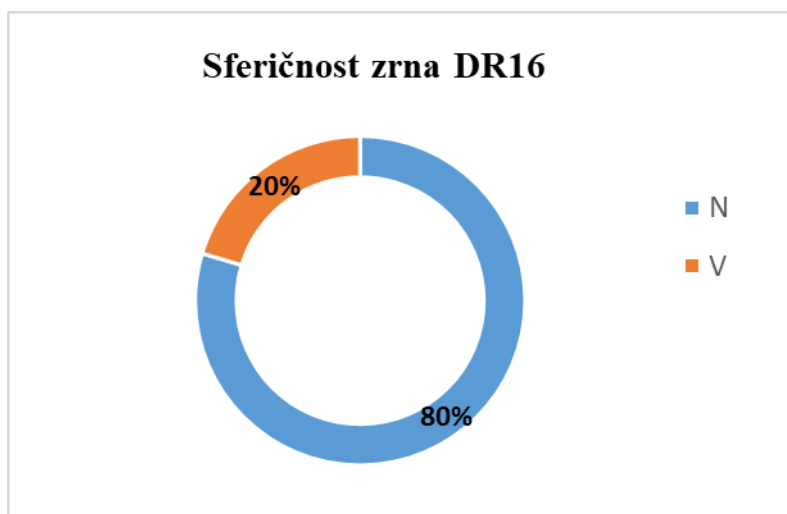


Slika 15. Sferičnost zrna u uzorku DR13. Plavo - Nisko sferično (N). Narančasto - Visoko sferično (V) (Powers, 1953).

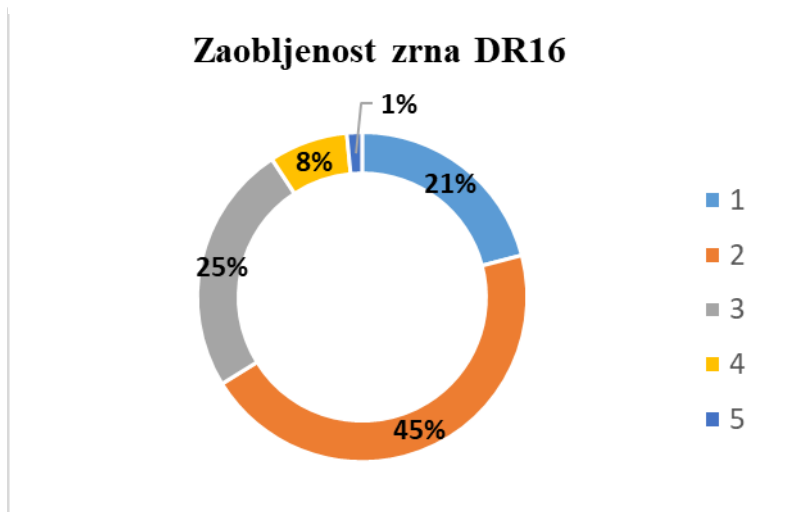


Slika 14. Zaobljenost zrna u uzorku DR13. Intenzitet zaobljenosti prema Powers (1953). 1 - Vrlo uglato, 2 - Uglato, 3 – Polu-uglato, 4 – Polu-zaobljeno.

Za uzorak **DR16** utvrđeno je da se radi o srednje-zrnastom šljunkku. Srednja veličina zrna (Md) iznosi 10,17 mm, a prosječna (Mz) 9,60 mm (Tablica 4). Sortiranost je dobra sa 0,36 ϕ (Tablica 1, Tablica 4). Sferičnost u uzorku je niska (Slika 11), a zrna su klasificirana kao uglata (Slika 12). Koeficijenti asimetričnosti i zaoštrenosti krivulje ukazuju da se radi o pozitivno zakošenoj i zaravnjenoj krivulji (Tablica 2, Tablica 3 i Tablica 4).

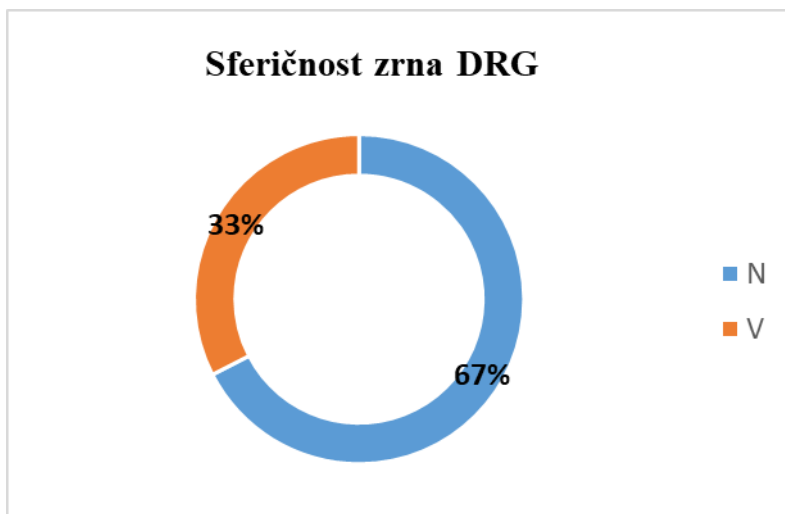


Slika 17. Sferičnost zrna u uzorku DR16. Plavo – Nisko sferično (N). Narančasto – Visoko sferično (V) (Powers, 1953).

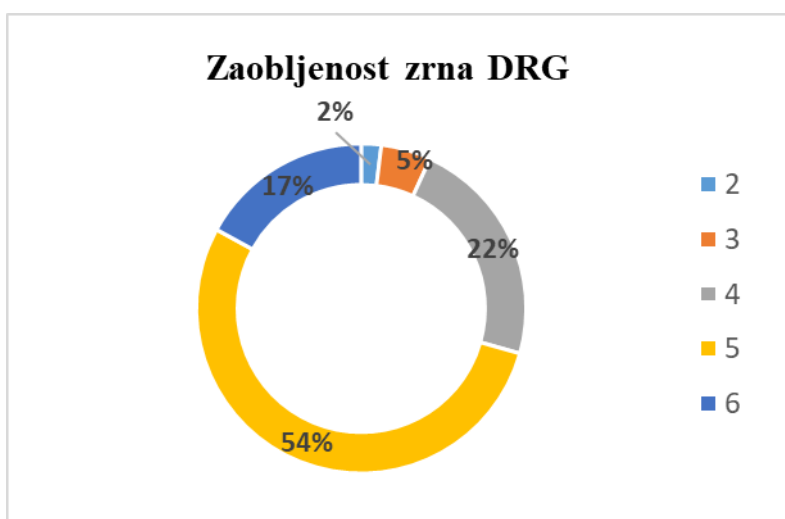


Slika 16. Zaobljenost zrna u uzorku DR16. Intenzitet zaobljenosti prema Powers (1953). 1 - Vrlo uglato, 2 - Uglato, 3 – Polu-uglato, 4 – Polu-zaobljeno, 5 – Zaobljeno.

Rezultati analize za uzorak **DRG** ukazuju kako se radi o krupnom šljunku. Srednja veličina zrna (Md), jednako kao i prosječna (Mz), iznosi 23,15 mm (Tablica 4). Sortiranost je dobra sa 0,37 ϕ (Tablica 1, Tablica 4), a prevladavaju zaobljena zrna niske sferičnosti (Slika 13, Slika 14). Koeficijent asimetričnosti iznosi graničnih -0,10 ϕ , što je između negativno zakošene i simetrične krivulje (Tablica 2, Tablica 4). S obzirom na zaoštrenost, krivulja je srednje zaoštrena (Tablica 3, Tablica 4).



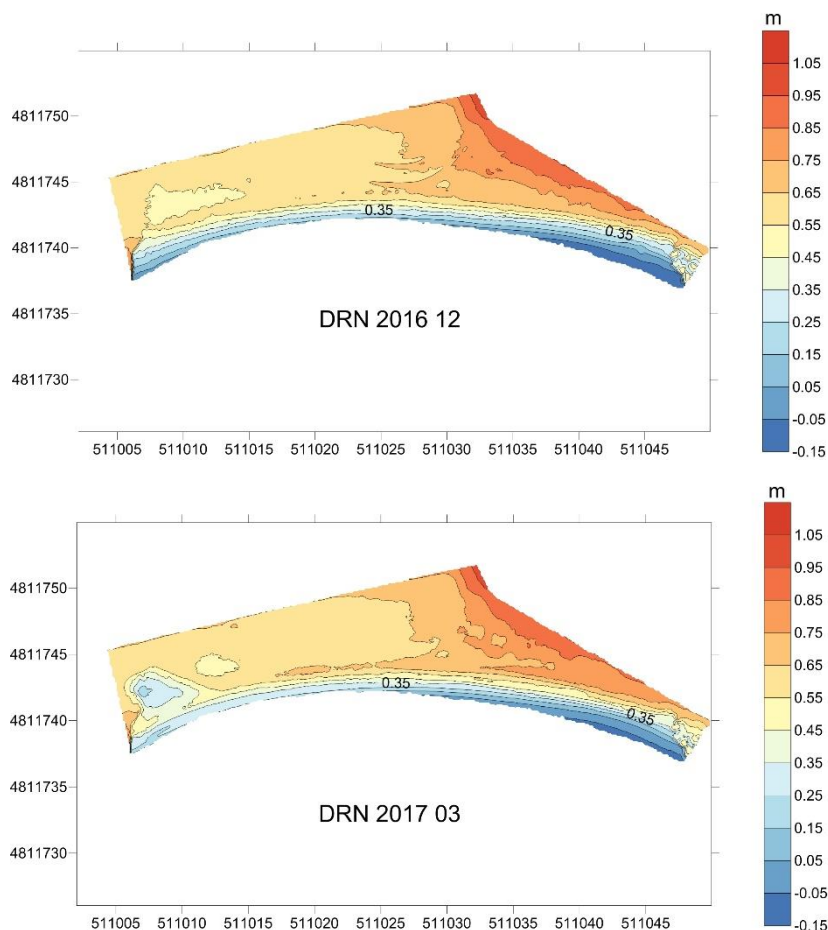
Slika 19. Sferičnost zrna u uzorku DRG. Plavo – Nisko sferično (N). Narančasto – Visoko sferično (V) (Powers, 1953).

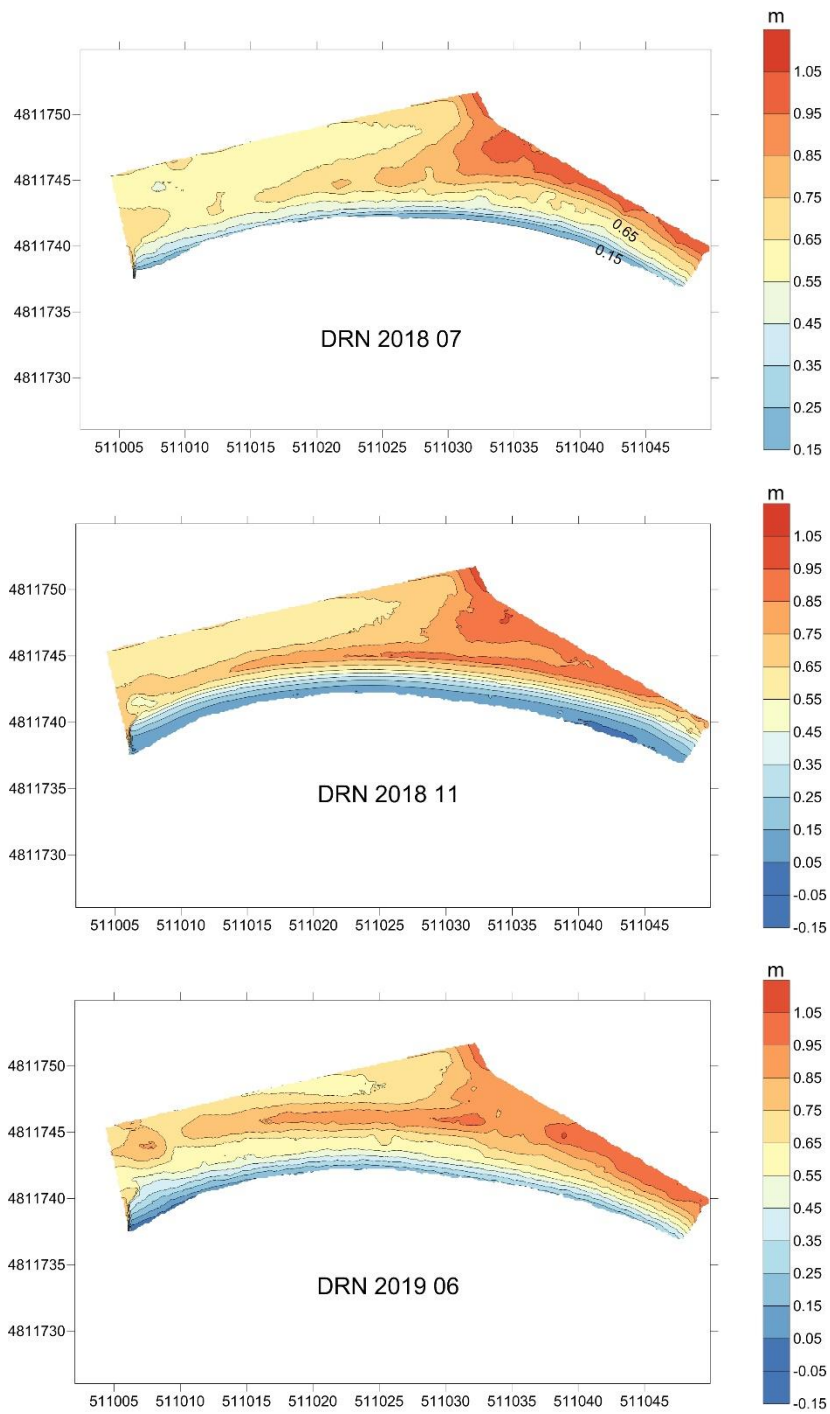


Slika 18 Zaobljenost zrna u uzorku DRG. Intenzitet zaobljenosti prema Powers (1953). 2 - Uglato, 3 – Polu-uglato, 4 – Polu-zaobljeno, 5 – Zaobljeno. 6 – Dobro zaobljeno.

5.2 Razlike u morfologiji i volumenu plaže

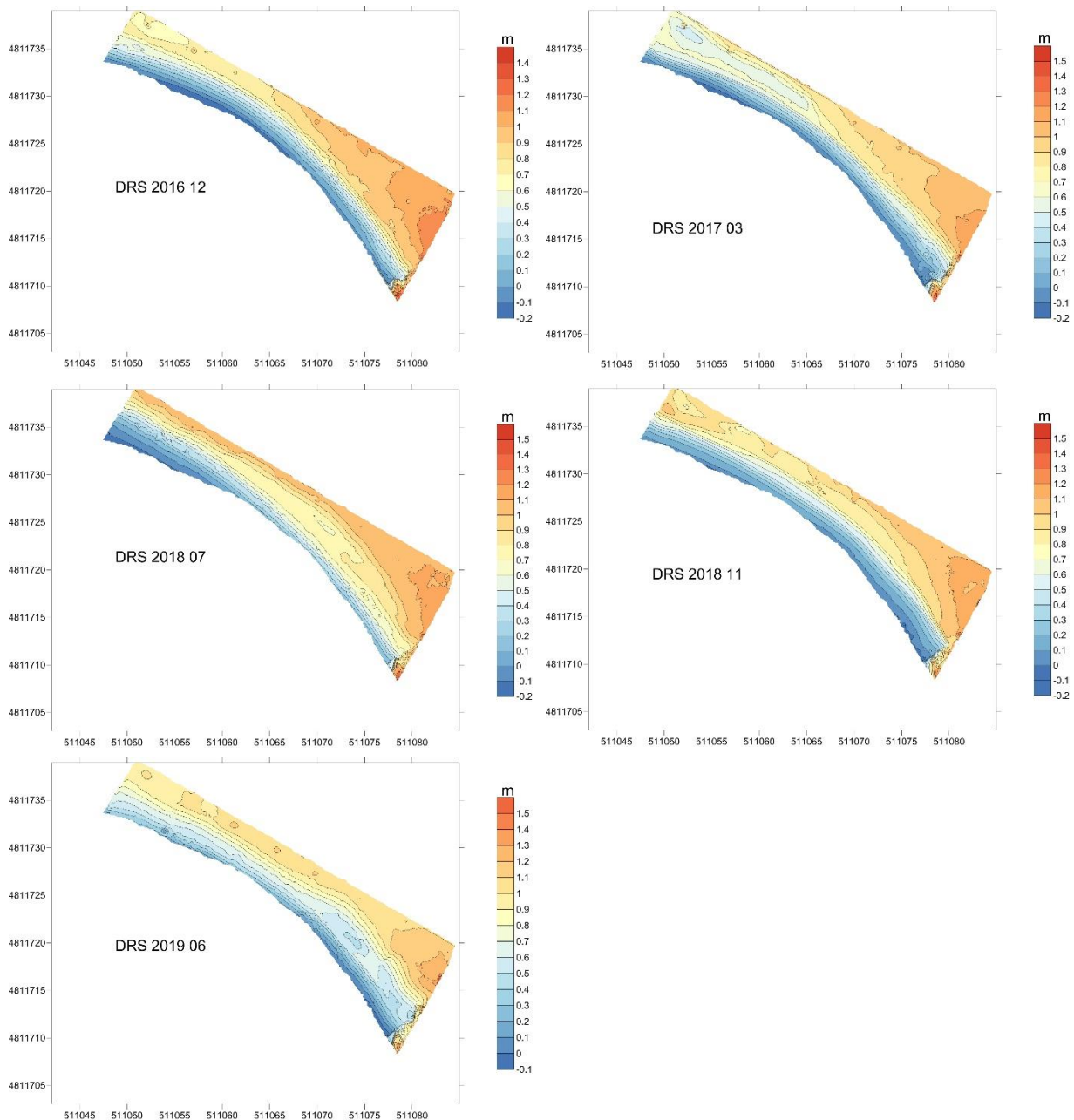
Kako bi razlike u morfologiji i volumenu bile vidljive izrađeni su digitalni elevacijski modeli (DEM-ovi) za sjeverni (DRN) i južni (DRS) dio plaže (Slika 20, Slika 21), uz pomoć metode SfM fotogrametrije. Na modelima **sjevernog** dijela plaže koji su snimani u zimskim mjesecima vidljiva je izražena ustrmljenost u intertajdalnu duž cijele plaže (Slika 20). Na tim modelima je jugoistočni dio plaže, neposredno nakon betonskog mola, erodiran radom valova i stijene su izložene površini (Slika 29). Također, na modelima iz ožujka 2017. i studenog 2018. godine na sjeverozapadnom dijelu vidljivo je lokalno iskapanje sedimenta oko zaostalih komada stijena (Slika 27). Ostala dva modela sjevernog dijela plaže, iz srpnja 2018. i lipnja 2019. godine ukazuju na jednolik i prošireni izgled plaže (Slika 20).





Slika 20. Digitalni elevacijski modeli sjevernog dijela plaže.

Na modelima južnog dijela plaže generalno je vidljivo stanjivanje plaže u središnjem i proširenje na sjeverozapadnom dijelu prije betonskog mola u hladnijim mjesecima. Populacija sedimenta koja zapunjava sjeverozapadni dio plaže uglavnom je sitniji drobljenac, dok je krupnozrnati materijal stacioniran duž većeg dijela plaže na oko 20-30 cm iznad razine mora i neposredno ispod razine mora (Slika 24). Model iz srpnja 2018. godine ukazuje na zapunjenost sedimentom sve do vrha betonske šetnice dužinom cijele plaže, a uz betonski mol primjetno je

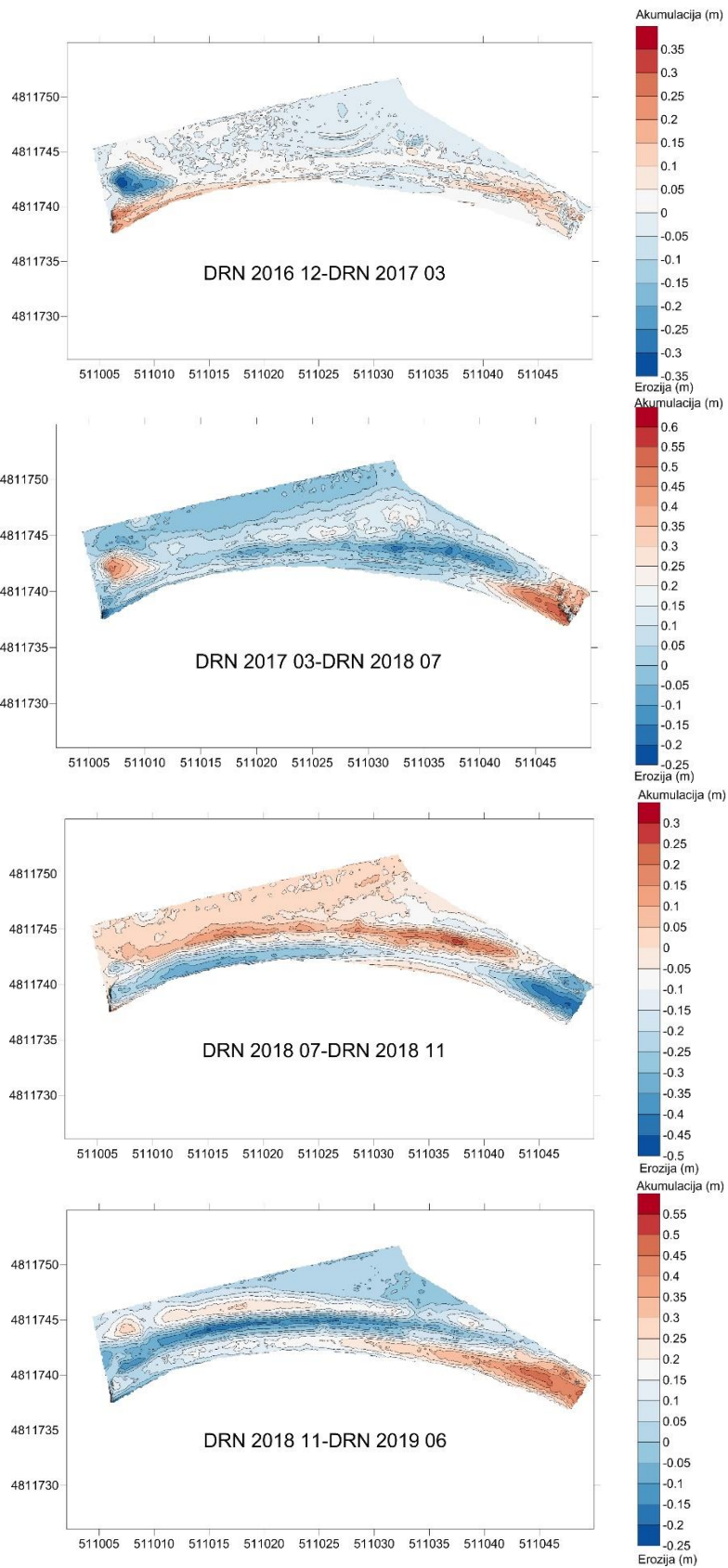


Slika 21. Digitalni elevacijski modeli južnog dijela plaže.

naglo spuštanje plaže na 0 m (Slika 21). U ljetnim mjesecima, nakon nasipavanja, plaža je većinskim dijelom prekrivena i više je jednolike visine (Slika 25).

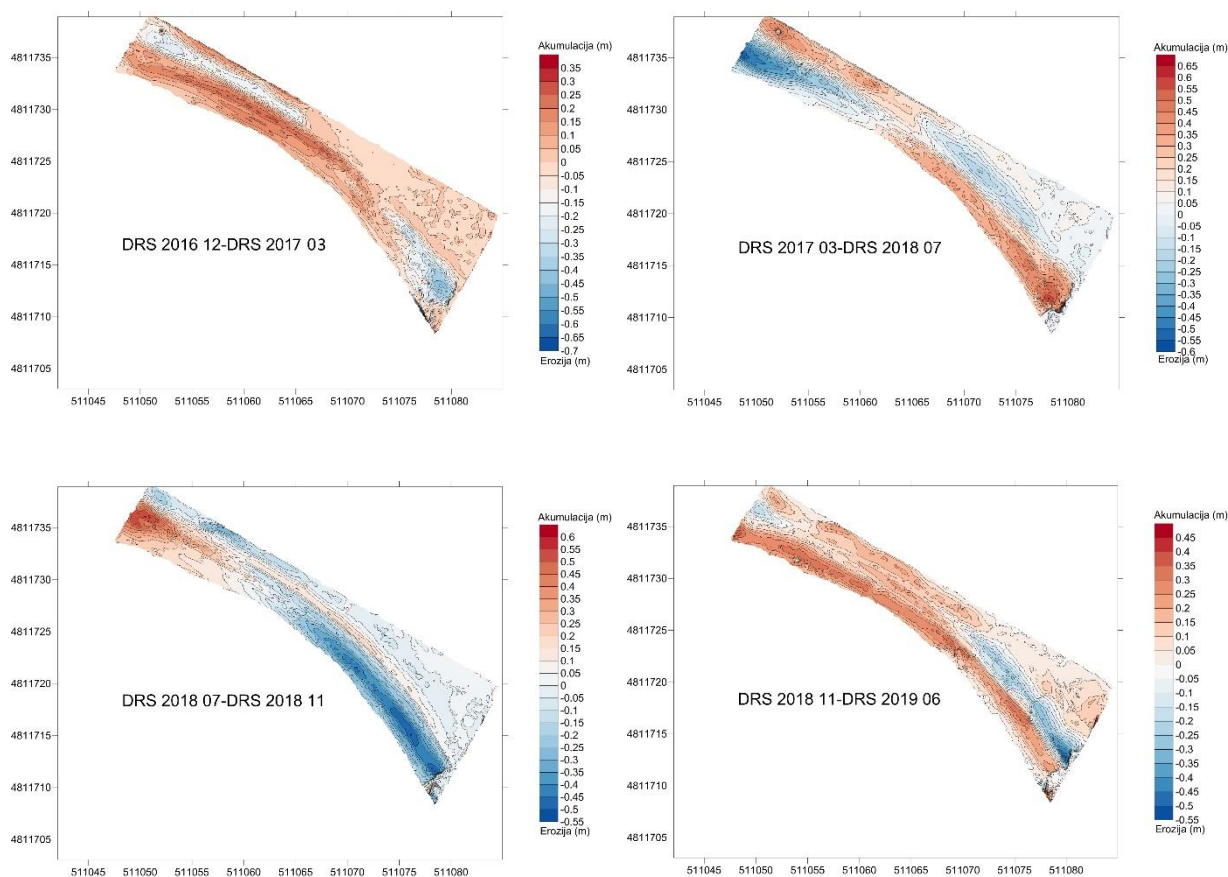
Vremenski modeli izrađeni su kako bi ukazali na procese koji su doveli do promjena na plaži. Za oba dijela plaže generirani su razlikovni modeli oduzimanjem sukcesivnih datuma slikanja plaže, na način da se od kasnije snimanog oduzeo ranije snimani model (Slika 21, Slika 22). Snimanja su provedena s razmakom od 3 do 9 mjeseci, stoga se i dobiveni modeli trebaju promatrati s oprezom, s obzirom da nisu pokazatelji stvarne situacije u svakom trenutku.

Na prvom modelu sa **sjevernog** dijela plaže, snimanom u periodu 12/2016 – 03/2017, primjetna je akumulacija sedimenta na krajnjem zapadnom i istočnom dijelu DRN. Vidljiva je i pojačana erozija u jednoj točki na zapadnom dijelu plaže, što je pokazatelj oblika lokalnog iskapanja. Na ostatku plaže nisu zabilježene značajnije promjene u gubitku i nakupljanju materijala (0-5 cm), osim dviju istaknutih paralelnih linija koje su odraz parkiranja automobila i izvlačenja brodica na plaži krajem 2016. godine (Slika 26), neposredno prije fotografiranja. Na modelu iz razdoblja 03/2017 – 07/2018, koji je sniman nakon prvog nasipavanja plaže krupnijim materijalom, odsutni su tragovi lokalnog iskapanja na istoku. Štoviše, na tom dijelu primjećuje se značajnija akumulacija materijala (50 cm viša plaža). Na ostatku DRN prevladava blaga akumulacija raspona 0-25 cm. Sediment je u razini sa šetnicom što je i vidljivo na fotografijama plaže (Slika 28). U periodu prije turističke sezone zasađena su i stabla koja su trebala poslužiti kao mehanizam stabilizacije plaže. U razdoblju 07/2018 – 11/2018, snimanom poslije turističke sezone, prevladava erozija u uskom dijelu uz more, dok na ostatku plaže dominira akumulacija, posebice na dijelu plaže u kontinuiranoj liniji gdje su zasađena stabla. Akumulacija materijala vidljiva je i u području uz šetnicu (Slika 22). Posljednji razlikovni model koji pokriva razdoblje 11/2018 – 06/2019 prikazuje povećanu akumulaciju materijala na istočnom dijelu plaže, a na zapadnom dijelu vidljiva je erozija. Ostatak plaže je nepromijenjenog stanja ili bilježi blago spuštanje razine plaže (Slika 22).



Slika 22. Razlikovni modeli sjevernog dijela plaže za navedena razdoblja.

Situacija na **južnom** dijelu plaže je slična. U prvom razdoblju snimanja 12/2016 – 03/2017 uočljiva je sveukupna akumulacija materijala na plaži, dok je samo na jugoistočnom dijelu primjetna umjerena erozija. Dio plaže uz betonski mol na zapadu je nešto niži od jugoistočnog (Slika 23). Razlikovni model za razdoblje 03/2017 – 07/2018 ukazuje na pojačanu akumulaciju materijala na jugoistočnom dijelu, a eroziju materijala na zapadnom dijelu DRS, što je suprotno uobičajenom kretanju materijala na plaži. Dio plaže uz šetnicu do polovice plaže je zapunjen sedimentom do vrha. Model koji obuhvaća razdoblje 07/2018 – 11/2018 ukazuje na tipičan gubitak na jugoistoku i akumulaciju materijala na sjeverozapadu (Tominić, 2017; Pikelj i dr., 2018). Na istom modelu vidljivo je nakupljanje materijala u neprekinutoj liniji duž sredine plaže (Slika 23). Posljednji model iz razdoblja 11/2018 – 06/2019 prikazuje pojačanu akumulaciju u intertajdalu i vidljivo proširenje plaže. Sjeverni dio plaže uz šetnicu također je povišen (Slika 23).



Slika 23. Razlikovni modeli južnog dijela plaže za navedena razdoblja.

Tablica 5. Izračunati volumeni materijala u m³ na pojedinim dijelovima plaže u Dugom Ratu.

| Datumi snimanja | DRS (m ³) | DRN (m ³) |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| 2016 12 | 170,8 | 172 |
| 2017 03 | 170,3 | 174,5 |
| 2018 07 | 194,4 | 197,4 |
| 2018 11 | 187,7 | 180,3 |
| 2019 06 | 209,7 | 210,8 |



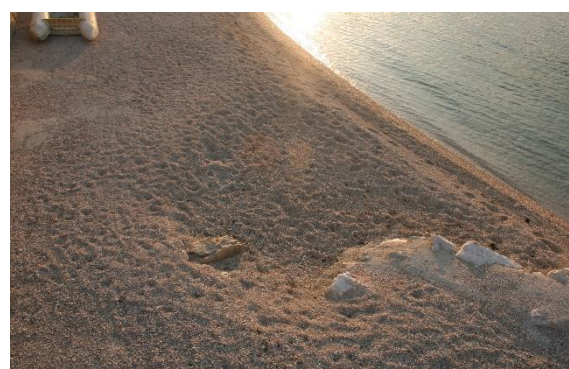
Slika 24. Odvajanje krupnijeg i sitnijeg materijala na DRS (4.11.2018.).



Slika 25. Prekrivenost krupnijim šljunkom do razine betonskog mola DRS (16.6.2019.).



Slika 26. Trag antropoturbacije na DRN (18.12.2016.).



Slika 27. Lokalno iskapanje sedimenta na sjevernom dijelu DRN (15.3.2017.).



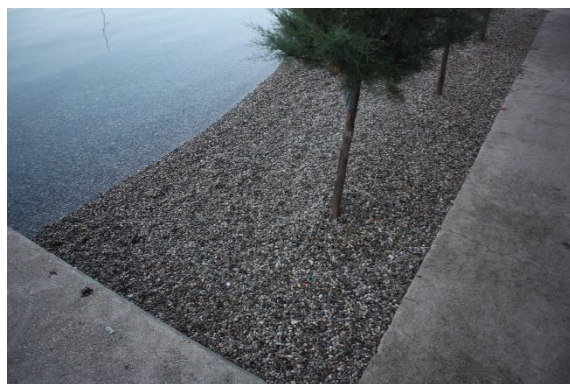
Slika 28. Zapunjenost sedimentom do razine šetnice na DRN (2.7.2018.).



Slika 29. Otkrivenost stijena i stanjenost plaže uz betonski mol na DRN (4.11.2018.).



Slika 30. Izražena zimska berma sastavljena od krupnijeg šljunka koji je prekriven sitnijim materijalom (4.11.2018.).



Slika 31. Prekrivenost DRN novonasutim materijalom (16.6.2019.).

6 RASPRAVA

6.1 Granulometrijska analiza

Materijal korišten za nasipavanje plaže u Dugom Ratu prije promjene prakse nasipavanja, točnije kameni agregat drobljenog vapnenca, ima raspon veličine zrna 4-8 mm. Međutim, rezultati analize ukazivali su na širi raspon veličine zrna, što se moglo objasniti na više načina.

Pri industrijskom sijanju materijala iz kamenoloma frakciju nije moguće u cijelosti razdvojiti, stoga sve frakcije sadrže manji dio one susjedne (maksimalno 10-15%). Također, krupnija zrna u uzorcima mogu biti donešena trošenjem podloge plaže, koja se sastoji od krupnozrnastijeg kršja, a sitniji sediment moguće je nastao trošenjem zrna obalnim procesima. Iz prijašnjih rezultata istraživanja Tominić (2017), iz procijene sferičnosti vidljivo je kako u svim uzorcima prevladavaju zrna visoke sferičnosti te sferoidalnog, a zatim diskoidalnog i pločastog oblika, što upućuje na početni proces drobljenja vapnenca u kojem ona još zadržavaju slojevitost. Još jedan razlog zastupljenosti krupnijeg materijala je i gradnja betonskog mola koji je poremetio prirodnu cirkulaciju sedimenta. Uzorci s južnog dijela plaže, neposredno prije mola, su sitnije frakcije, dok su uzorci nakon mola ponovno krupniji, što znači da dolazi do prekida gradacije veličine zrna. (Tominić, 2017).

Usporedbom plaže Dugi Rat sa obližnjim prirodnim plažama, primjerice plaža Glavica, vidljiva je velika razlika u veličini zrna. Na tim prirodnim plažama još uvijek je prisutan originalni sediment i primjetna je veća sferičnost zrna, koja je rezultat rada valova. Može se zaključiti kako je sediment tih prirodnih plaža puno stabilniji i prikladniji, pa nema potrebe za prihranjivanjem (Tominić, 2017; Pikelj i dr., 2018).

U travnju 2018. godine primijenjena je nova praksa nasipavanja plaže krupnijim šljunkom raspona 30-40 mm. Tipičan smjer kretanja materijala plaže je s jugoistoka na sjeverozapad, pa se materijal lokalno nakuplja na njenom sjeverozapadnom dijelu (Tominić, 2017; Pikelj, 2018.). Svake godine plaža se nasipava u isto doba, neposredno prije turističke sezone, a osim

nasipavanja materijal se poravnava i proširuje uz pomoć strojeva, posebice na mjestima na kojima je erozija najizraženija (jugoistočni dio plaže).

6.2 Morfologija i promjena volumena plaže

Proučavanjem dobivenih modela za sjeverni i južni dio plaže, vidljive su značajne promjene u morfologiji i volumenu. Iako je ljudski učinak konstantan, vremenske prilike su ipak najvažniji faktor promjene izgleda plaže.

6.2.1 Južni dio plaže (DRS)

Južni dio plaže u 2016. i 2017. godini još uvijek je bio nasipavan drobljenim vapnencem iz kamenoloma. U vremenu nakon turističke sezone, i neposredno prije utjecaja valova juga, vidljiva je erozija, no ne i nakupljanje materijala prije betonskog mola. Štoviše, nasipavani materijal na jugoistoku plaže dopire do ruba šetnice, dok je na dijelu plaže prije betonskog mola razina sedimenta 30-40 cm niža (Slika 21, Slika 23). Moguće je da je sitniji materijal koji je najprije donesen na sjeverozapadni dio plaže, kasnije, zbog veće pokretljivosti, odnesen u dublje dijelove mora.

Uvođenjem nove prakse nasipavanja, prije turističke sezone u 2018. godini, plaža je zapunjena krupnijim sedimentom koji doseže do vrha novog betonskog mola. Početkom godine, zbog rekonstrukcije mola, donesena je značajna količina materijala za potrebe kretanja radnih strojeva. Po završetku radova većinski dio materijala je odnesen, no neki komadi stijena su zaostali. Zbog rada valova i prakse novog nasipavanja vidljivo je naglo spuštanje plaže na 0 m (Slika 21, Slika 23).

Model plaže iz studenog 2018. godine ukazuje na povećanu eroziju u njenom središnjem dijelu, a akumulaciju neposredno prije betonskog mola, što je tipičan dokaz dužobalnog transporta materijala s jugoistoka na sjeverozapad (Pikelj i dr., 2018; Tominić, 2017). Krupniji materijal smješten je duž većeg dijela plaže, 20-30 cm iznad razine mora i neposredno ispod razine mora, dok je sitniji drobljeni vapnenac, zbog veće pokretljivosti, zaostao na vršnom dijelu

plaže uz šetnicu (Slika 24). Na jugoistočnom dijelu plaže prevladava nanoseni materijal na čijoj je površini krupniji sediment (Slika 21, Slika 23). Moguće je da krupniji materijal ima veću stabilnost i da razorni valovi juga ne mogu dohvatiti dio plaže uz klupu i kafić.

Slična situacija vidljiva je i na modelu iz lipnja 2019. godine (Slika 21, Slika 23). Jugoistočni dio plaže i dalje je prekriven krupnijim šljunkom do razine šetnice, kao i dio prije betonskog mola (Slika 25). Ova situacija je vjerojatno odraz slabijeg djelovanja valova u periodu prije turističke sezone.

6.2.2 Razlikovni modeli DRS

Vremenski model iz razdoblja 12/2016 - 03/2017 ukazuje na pojačanu akumulaciju materijala na zapadnom i središnjem dijelu uz more (Slika 23). Model obuhvaća zimski period u kojem su najčešći udari juga, koji i najviše pridonose kretanju materijala plaže s njenog jugoistočnog na sjeverozapadni dio (Tominić, 2017; Pikelj i dr., 2018). Nedostatak sedimenta na sjeverozapadnom dijelu DRS moguće je posljedica veće pokretljivosti sitnozrnatog materijala kojim se plaža ranije nasipavala.

Razlikovni model za razdoblje 03/2017 – 07/2018 prikazuje postojanje značajnije količine materijala na jugoistočnom dijelu, kao i sjevernom dijelu plaže uz šetnicu. Ovakva situacija je posljedica nasipavanja plaže novim krupnijim materijalom u travnju 2018. godine. Na istom modelu vidljiva je pojačana erozija na sjeverozapadnom dijelu (Slika 23), što je objašnjivo činjenicom da se početkom godine odvijala rekonstrukcija betonskog mola uslijed koje je plaža bila nasipavana krupnijim materijalom za potrebe kretanja kamiona po plaži. Po završetku radova najveći dio nasutog materijala je uklonjen.

U razdoblju 07/2018 – 11/2018 prisutan je već otprije dokazan transport materijala s jugoistoka na sjeverozapad (Tominić, 2017; Pikelj i dr., 2018). Osim toga, primjetno je i nakupljanje materijala duž neprekinute linije na središnjem dijelu plaže, što je najvjerojatnije posljedica stvaranja zimske berme lošeg vremena. Jednako kao i na DRN prisutno je ustrmljivanje plaže (Slika 22, Slika 23).

Na posljednjem razlikovnom modelu iz razdoblja 11/2018 – 06/2019 uočljiva je akumulacija na širokom području DRS (Slika 23). Cijela dužina plaže u dodiru s morem bilježi

povećan donos materijala, kao i dio plaže uz šetnicu, a tek manji dijelovi uz betonski mol na zapadu i linija iznad intertajdala na istoku bilježi gubitak. Ovakva situacija je posljedica najnovijeg nasipavanja krupnijim sedimentom i poravnavanja plaže za predstojeću turističku sezonu.

6.2.3 Sjeverni dio plaže (DRN)

Na modelima iz prosinca 2016. i ožujka 2017. godine vidljiva je erozija i značajno stanjenje dijela plaže neposredno nakon betonskog mola. Na tom mjestu stijene su izložene na površini, što je tipičan znak već spomenutog dužobalnog transporta s jugoistoka na sjeverozapad (Tominić, 2017; Pikelj i dr., 2018). Također, može se primijetiti ustrmljenost u intertajdalu dužinom cijele plaže, što je znak generalne erozije u hladnijem dijelu godine (Slika 20). Osim toga, za vrijeme snimanja bio je vidljiv umjetan trag na sredini plaže koji je nastao vađenjem brodica i parkiranjem ostalih vozila (antropoturbacija) (Slika 26). U ožujku, sjeverozapadni dio plaže je proširen nakupljanjem transportiranog materijala, a vidljivo je i lokalno iskapanje (*scouring*) sedimenta oko stijene radom valova (Slika 20, Slika 27).

U srpnju 2018. godine plaža je u cijelosti prekrivena krupnijim riječnim materijalom i jednolike je visine (Slika 28). Uz rub šetnice, koji je izvan dosega valova juga, nalazi se nešto veća količina materijala. Na jugoistočnom dijelu plaže na kojem su ranije uslijed erozije bile vidljive stijene, sada su prekrivene i taj dio plaže je proširen (Slika 20). Sve ovo je odraz nasipavanja tri mjeseca prije i izostanka jačih valova juga (ruža vjetrova). Plaža je dodatno stabilizirana sadnjom tamarisa (*Tamarix dalmatica*) cijelom dužinom ispod šetnice.

Nakon turističke sezone, na modelu iz studenog 2018. godine, vidljiva je pojačana erozija plaže. S pojavom učestalijih vjetrova na ovom dijelu plaže ponovno se vidi uobičajeni transport sa jugoistoka na sjeverozapad. Na fotografijama je jasno vidljivo kako je odnešen krupniji i sitniji sediment, kao i ponovna otkrivenost stijena i stanjenost plaže uz betonski mol (Slika 29). Plaža je generalno ustrmljena, a vidi se i postepena izgradnja zimske berme građena od krupnijeg materijala koji je prekriven sitnijim pokretnijim materijalom (Slika 30). Također, na sjeverozapadnom dijelu plaže ponovno je vidljivo blago iskapanje sedimenta (Slika 20).

U lipnju 2019. godine, dva mjeseca nakon novog nasipavanja, plaža je najvećim dijelom prekrivena novim krupnozrnatim šljunkom (Slika 31). Stijene na dijelu plaže prije betonskog mola nisu vidljive zbog umjetnog proširivanja i nasipavanja, no na sjeverozapadnom dijelu vidi se značajna akumulacija sitnozrnatog materijala (Slika 20), što ukazuje na veću stabilnost novonasutog šljunka.

Sjeverni dio plaže generalno ima veće količine materijala koje se više zadržavaju (Tablica 5). Takva situacija je moguće nastala sadnjom stabala koja su stabilizirala plažu u njenom gornjem dijelu. Općenito povećanje volumena u odnosu na 2018. godinu može upućivati na znakove stabilizacije plaže nakon promjene prakse nasipavanja.

6.2.4 Razlikovni modeli DRN

Prvi razlikovni model iz razdoblja 12/2016 - 03/2017 (Slika 22) obuhvaća zimski period u kojem je i očekivan utjecaj valova juga. Posljedica tih valova je dužobalni transport koji prenosi materijal od istoka prema zapadu. Takva erozija, kao i akumulacija materijala na istočnoj strani plaže DRN, u skladu je i sa prijašnjim istraživanjima (Tominić, 2017; Pikelj i dr., 2018). Akumulacija je posljedica prebacivanja sedimenta preko i oko betonskog mola, naročito u zimskom periodu, također radi djelovanja dužobalne struje.

U razdoblju 03/2017-07/2018. plaža je generalno zabilježila akumulaciju (Slika 22). To je vrlo vjerojatno posljedica nasipavanja, koje se odvijalo u travnju 2018. godine. Prilikom takvog nasipavanja plaža se umjetno ravna, sva udubljena se zapunjavaju, a izbočenja ravnaju. Izražena akumulacija stoga je vrlo vjerojatno posljedica jednog takvog nasipavanja i ravnjanja (Slika 28). Ovaj razlikovni model potrebno je promatrati s velikim oprezom jer odražava veću razliku između dva datuma između kojih se odvijala turistička sezona, kao i vrijeme zimskih olujnih pojava, i nasipavanje tijekom travnja 2018. godine.

Razlikovni model 07/2018 - 11/2018 pokriva dio turističke sezone u kojem je značajna antropoturbacija, pojačana koncentracija ljudi na plaži i njeno korištenje, ali pokriva i vrijeme prvih mogućih značajnijih pojava juga i valova uzrokovanih njime. Formiranje berme lošeg vremena ukazuje na tipičan zimski izgled plaže (Slika 22), sa vidljivim ustrmljivanjem i

erozijom u području intertajdala (Slika 29). Podudaranje linije zasađenih drveća i formiranja berme je vrlo vjerojatno slučajnost, no prema prijašnjim opažanjima na terenu, nakupljanje materijala možda može biti olakšano u području oko svakog drveta, koji može služiti kao zamka za sediment. Uočljiva je akumulacija materijala uz obalni zid na donjem dijelu intertajdala, dok je ranije primijećeno značajnije nakupljanje sitnozrnatog materijala uz zid na zapadnom dijelu plaže (Tominić, 2017). Pretpostavlja se da je uslijed djelovanja valova sitnozrnastija frakcija već povučena u dublje dijelove, dok je krupnozrnastija djelomično prebačena na bermu.

Rezultat razlikovnog modela za razdoblje 11/2018 - 06/2019 prikazuje zapunjenost plaže sedimentom što je posljedica najvažnijeg procesa koji se odvio dva mjeseca prije snimanja plaže (Slika 22). U lipnju 2019. godine plaža je fotografirana, a u travnju iste godine plaža se nasipavala i poravnavala, pri čemu je istočni dio plaže koji inače bilježi eroziju tada zapunjen novim materijalom.

Prema rezultatima iz Tablice 5. očigledno je povećanje volumena materijala na DRS u ljetnim mjesecima i njegovo smanjenje u zimskim mjesecima, što je posljedica već dokazanog transporta materijala duž i preko plaže. Dobiveni podaci su rezultat nasipavanja i proširivanja plaže novim materijalom tri mjeseca prije snimanja i gubitka materijala nakon olujnih nevremena u hladnijem dijelu godine. Osim toga, smanjenje volumena materijala plaže nakon ljeta moguće je nastupilo uslijed povećane ljudske aktivnosti na njoj.

7 ZAKLJUČAK

Dobiveni rezultati i dalje ukazuju na jak utjecaj dužobalnog transporta materijala pod utjecajem valova juga, s južnog na sjeverni dio plaže u Dugom Ratu. Unatoč nasipavanju plaže u dva navrata tijekom promatranja vidljiv je gubitak sedimenta, ponajviše u zimskom dijelu godine. Prilikom olujnih nevremena u zimskim mjesecima, najveća erozija odvija se na jugoistočnom, a najveća akumulacija na sjeverozapadnom dijelu plaže (Tominić, 2017; Pikelj i dr., 2018). Isto tako, kao i ranije, primijećeno je kako se najveće količine sedimenta na plaži zadržavaju u periodu neposredno nakon nasipavanja i ravnjanja profila plaže. Poravnavanje plaže nakon nasipavanja provodi se zapunjavanjem erodiranih područja i snižavanjem izdignutih područja, kako bi se dobila što veća površina plaže za potrebe turističke sezone. Ipak, promjena, odnosno povećanje volumena materijala na plaži od 2018. godine ukazuje na znakove njezine stabilizacije.

Kako je krupniji materijal kojim je plaža nasipavana od travnja 2018. godine drugačijeg sastava od onog karbonatnog iz prethodne prakse nasipavanja, očekuje se kako će i trajnost novog materijala biti dulja. Erozija zrna novonasutog materijala, prilikom kretanja po plaži, trebala bi biti manja u odnosu na prethodno korištena karbonatna zrna.

S obzirom na veliku raznolikost geomorfoloških oblika, a relativno malen broj plaža u ukupnoj duljini istočne jadranske obale, posebnu pažnju treba obratiti na pravilno promatranje i istraživanje obalnih okoliša. U tu svrhu izuzetno su bitne informacije o podrijetlu, evoluciji plaža i procesima koji se odvijaju na njima. Praćenjem stanja prirodnih i umjetnih plaža treba težiti pronalasku dugoročnih rješenja koje će dovesti do njihovog očuvanja, a izbjegavati ona kratkoročna, poput nasipavanja i ravnjanja profila.

Provedenim istraživanjem također je ustvrđeno kako je metoda SfM fotogrametrije veoma korisna i pristupačna metoda za istraživanje umjetnih i prirodnih plaža na istočnoj jadranskoj obali.

8 LITERATURA

Addo, A., K. (2014): Managing shoreline change under increasing sea-level rise in Ghana. *Coastal Management*, Volume 42, 6, 555-567.

Al-Tahir, R., Ali, A. (2004): Assessing Land Cover Changes in the Coastal Zone Using Aerial Photography. *Surveying and Land Information Science*, Volume 64, 107-112.

Anthony, E.J. (2005): Beach erosion. In: Schwartz, M.I., *Encyclopedia of coastal science*. The Netherlands: Springer Science & Business Media, 140.

Baučić, I. (2000): Položaj, priroda, stanovništvo i naselja. In: Općina Dugi Rat, Dugi Rat, Poglavarstvo općine Dugi Rat, 7-14.

Bird, E.C.F. (1996): *Beach Management*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 23, 5, 281 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.

Bunte, K., Abt, R., S. (2001): *Sampling Surface and Subsurface Particle-Size Distributions in Wadable Gravel- and Cobble-Bed Streams for Analyses in Sediment Transport, Hydraulics, and Streambed Monitoring*. General Technical Report, United States Department of Agriculture, Forest Service, 428 str.

Cohen, O., Anthony, J., E. (2007): Gravel beach erosion and nourishment in Nice, French Riviera. *Méditerranée (online)*, 108, 99-103.

Emery, K.O. (1961): A simple method of measuring beach profiles: *Limnology and Oceanography*, 6, 90-93.

Finkl, C. W., Walker, H.J. (2002): Beach nourishment. U: Chen, J., Eisma, D., Hotta, K., Walker, H.J. (ur.): *Engineered coasts, Coastal systems and continental margin*, Volume 6, 1-22.

Folk, R.L., Ward, W.C. (1957): Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Sediment Petrol*, 27, 3-26.

Gienko, A., G., Terry, P., J. (2014): Three-dimensional modeling of coastal boulders using multi-view image measurements. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39, 853-864.

Gonçalves, A., J., Henriques, R. (2015): UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 104, 101-111.

Gušić, J., i Jelaska, V. (1993): Upper Cenomanian-Lower Turonian sea-level rise and its consequences on the Adriatic-Dinaric carbonate platform. *Geol. Rundschau*, 82, 676-686.

Husinec, A., Jelaska, V. (2006): Relative sea-level changes recorded on an isolated carbonate platform: tithonian to cenomanian succession, southern croatia. *Journal of Sedimentary Research*, 76, 1120-1136.

Jelaska, V., Benček, C., Čosović, V., Gušić, I., Matičec, D., (2000): Upper Cretaceous–Paleogene resedimented carbonates: their significance for the dynamics of the Adriatic–Dinarids carbonate platform. *Symposium Quantitative models on Cretaceous carbonates and the Eastern margin of the Apulia platform*. Sažetak, str. 12.

Juracic, M. i Prohic, E. (1991): Mineralogy, sources of particles and sedimentation in the Krka River estuary (Croatia). *Geološki Vijesnik*, 44, 195-200.

Kraus, N.C. (2005): Profiling, Beach, In: Schwartz, M.I., *Encyclopedia of coastal science*. The Netherlands: Springer Science & Business Media, 781 str.

Marinčić, S., Korolija, B., Mamužić, P., Magaš., N., Majcen, Ž., Brkić, M. i Benček., Đ. (1976): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, List Omiš L33-22., Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1968-1969); Savezni geološki institut, Beograd

Marinčić, S., Korolija, B., Mamužić, P., Magaš, N., Majcen, Ž., Brkić, M. i Benček, Đ. (1977): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Omiš L33-22., Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1968-1969); Savezni geološki institut, Beograd, 51 str.

Mochain, L., Audra, P., Clauzon, G., Bellier, O., Bigot, J.Y., Parize, O. i Monteil, P. (2009): The effect of river dynamics induced by the Messinian Salinity Crisis on karst landscape and

caves:example of the Lower Ardeche River (mid Rhone Valley). *Geomorphology*, 109(12), 46-61.

Morton, R.A., Leach, M.P., Paine, J.G., i Cardoza, M.A. (1993): Monitoring beach changes using GPS surveying techniques. *Journal of Coastal Research*, 9(3), 702-720.

Pamić, J. Gušić, I., Jelaska V. (1998): Geodynamic evolution of the central Dinarides. *Tectonophysics*, 297, 251-268.

Petrić, I. (2000): *Gospodarstvo općine Dugi Rat*, U: Općina Dugi Rat, Poglavarstvo općine Dugi Rat, Dugi Rat, 7-14.

Pikelj, K.; Dragnić, V., & Malovrazic, N. (2013): Eastern Adriatic. Pranzini, E. i Williams, A.T. *Coastal Erosion and Protection in Europe*. Oxford, UK: 333-336.

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., Ružić, I., Ilić, S., James, M.R., Kordić, B. (2018): Implementing an efficient beach erosion monitoring system for coastal management in Croatia. *Ocean and Coastal Management*, 156, 223-238.

Powers, M.C. (1953): A new roundness scale for sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Petrology* 23(2), 117-119.

Rajčić, T., S., Faivre, S., Buzjak, N. (2010): Promjene žala na području Medića i Mimica od kraja šezdesetih godina 20. stoljeća do danas. *Hrvatski geografski glasnik* 72/2, 27-48.

Ružić, I., Benac, Č., Ilić, S., Krvavica, N., Rubinić, J. (2018): Geomorfološke promjene minijaturnog žala na kršu. *Hrvatske vode*, 26, 27-34.

Sondi, I., Lojen, S., Juracic, M. and Prohic, E. (2008): Mechanisms of land-sea interactions: the distribution of metals and sedimentary organic matter in sediments of a river-dominated Mediterranean karstic estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 80, 12-20.

Surić, M., Juračić, M., Horvatinčić, N., Krajcar Bronić, I. (2005): Late Pleistocene - Holocene sea-level rise and the pattern of coastal karst inundation – records from submerged speleothems along the Eastern Adriatic Coast. *Marine Geology*, 214, 163-175.

Šikić, K., Basch, O., Šimunić, A. (1972):): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, List Zagreb L33-80., Institut za geološka istraživanja, Zagreb; Savezni geološki institut, Beograd

Tišljar, J. (1994): Sedimentne stijene. Školska knjiga, Zagreb. 89 str.

Tominić, T. (2017): Varijabilnost morfologije i volumena žala Dugi Rat temeljena na SfM fotogrametriji. Diplomski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 55 str.

Vahtar, M. (2002): Slovenian coast (Slovenia). Report of UAB Pilot Sites. EUROSION, Draft Volume 3, 1-20.

Vlahović, I., Tišljar, J., Velić, I., Matičec, D. (2005): Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: Palaeogeography, main events and depositional dynamics Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 220 (2005) 333–36

Internetski izvori:

- (1) <https://spationetblog.wordpress.com/2016/05/31/algorithms-used-in-the-airborne-lidar-processing-system-alps/>