

## Učinkovitost detekcije obalne linije pomoću video sustava - primjer plaže Ploče u Rijeci

Hanna Miličević<sup>1</sup>, izv. prof. dr. sc. Dalibor Carević<sup>2</sup>, dr. sc. Damjan Bujak<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, hanna.milicevic@grad.unizg.hr

<sup>2</sup>Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, dalibor.carevic@grad.unizg.hr

<sup>3</sup>Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, damjan.bujak@grad.unizg.hr

### Sažetak

Obalni upravitelji i inženjeri sve više trebaju informacije o obalnom stanju za vremensko razdoblje u danima, tjednima i mjesecima. Video sustav se smatra jednom od najpraktičnijih i najpouzdanijih metoda za praćenje prirodnih i antropogenih promjena obalne linije. Postupak uključuje osrednjavanje slika, georeferenciranje, te ekstrapolaciju obalne linije. Ova metoda nam omogućava efikasno proučavanje promjene obalne linije uz relativno nisku cijenu, korelaciju položaja obale s podacima o vjetru i valovima, te promatranje ponašanja plaže prilikom različitih klimatskih uvjeta u stvarnom vremenu.

*Cljučne riječi: video sustav, obalne linije, plaža Ploče, obrada slike, šljunčane plaže*

## Efficiency of shoreline detection by video monitoring systems – the example of Ploče beach in Rijeka

### Abstract

Coastal managers and engineers increasingly need coastal state information at the temporal scale of days to weeks and at the spatial scale of meters to kilometers. One of the most practical and reliable methods for assessing both natural and anthropogenic changes in the coastline is the video monitoring system. The method includes image averaging, georeferencing, and shoreline extrapolation. This technology allows the study of shoreline changes with a relative low cost, correlation of shoreline position with wind and wave data, and real-time monitoring of beach response to specific climatic conditions.

*Key words: video-monitoring system, shorelines, Ploče beach, image processing, gravel beaches*

## 1 Uvod

Mjerenje i praćenje položaja obale jedan je od temeljnih zadataka obalnih istraživača [1]. Osim znanstvene motivacije, kao što je proučavanje stvarnih učinaka morskih oluja, postoji i nekoliko praktičnih primjena povezanih s ovom aktivnošću koje uključuju: 1.) identificiranje i kvantificiranje erozije obale, 2.) procjenu učinka objekata za zaštitu obale i sl., stoga se praćenje ponašanja obale smatra osnovom za cjelokupno inženjersko projektiranje u obalnom području [2]. Od 1927. do 1980. godine, fotografije iz zraka bile su poznate kao jedini izvor proučavanja promjena na obali. Međutim, broj potrebnih fotografija čak i na regionalnoj razini bio je prevelik [3]. Prikupljanje, analiziranje i rektifikacija fotografija je skup proces i oduzima puno vremena [4]. Također, korištenje crno-bijelih fotografija stvara i nekoliko dodatnih problema kao što su: kontrast između kopna i mora koji je minimalan posebno za mutnu vodu, nedostatak geometrijske točnosti, trošak analitičke opreme, potreba za kvalificiranim osobljem i sl. [4]. Uz navedena ograničenja ova metoda je i zastarjela [4]. Jedna od najpraktičnijih metoda u zadnjih nekoliko desetljeća za procjenu prirodnih i antropogenih promjena obale je primjena video nadzora. Tehnologija temeljena na video nadzoru koristi se fotografijama u boji, čime se prevladavaju problemi povezani s prethodnim metodama korištenja crno-bijelih fotografija. Također, korištenje videosnimki za praćenje promjena obalne linije nudi niz prednosti u usporedbi s konvencionalnim sustavima kao što je npr. globalni položajni sustav. GPS sustav za određivanje položaja obalne linije i njezinih promjena se obično vrši jednom ili dva puta godišnje zbog velikih troškova. S obzirom na to da se prirodni položaj obalne linije konstantno mijenja i ovisi o parametrima kao što su morske mijene, valovi i vjetar, takva metoda istraživanja može biti beskorisna za razumijevanje stvarnih pojava [5]. Razvojem digitalne tehnologije, obalni video sustavi omogućavaju automatizirano prikupljanje podataka, te mnogo veći vremenski i prostorni raspon nego što je ranije bilo moguće. Kontinuirano prikupljanje podataka s rezolucijom od nekoliko centimetara do nekoliko metara za plaže duge i do nekoliko kilometara sada se rutinski provodi na lokacijama u Europi, SAD-u, Australiji i Aziji [2]. Video sustav koristi geometrijske tehnike transformiranja i ispravljanja tzv. kosih slika u tlocrtni pogled, te se takve koriste u algoritmima [6] razvijenim za automatsko detektiranje obalne linije [7]. Prvi takav sustav koji omogućuje prikupljanje podataka i ispravljanje deformiranih (dvodimenzionalnih) slika u stvarni (trodimenzionalni) položaj je tzv. "Argus sistem" razvijen od strane Coastal Imaging Lab-a (CIL), državnog Sveučilišta Oregon (<http://cil-www.coas.oregonstate.edu>). Argus sistem se sastoji od niza video kamera spojenih na glavno računalo koje služi kao kontrola sustava i komunikacijska veza između kamera i arhive podataka [9]. Korištenje takvih metoda je olakšalo suočavanje s problemima vezanim za zaštitu obale, plovidbu, rekreaciju i sl. [8]. Nastavno na istraživanje u radu [10] u sklopu BEACHEX projekta, u kojem se pomoću numeričkog

modela morfodinamike određivao transport sedimenta u uzdužnom smjeru s ciljem prepoznajna zona erozije i akumulacije, u ovom radu predstavljena je metoda određivanja položaja obalne linije pomoću koje će se u daljnjem istraživanju računati pronos sedimenta u poprečnom smjeru. Cilj ovog rada je predstaviti efikasnu metodu za praćenje promjene položaja obalne linije prilikom različitih klimatskih uvjeta u stvarnom vremenu iz tzv. timex i orto-ispravljenih fotografija na umjetnoj šljunčanoj plaži Ploče u Rijeci. U sljedećim poglavljima ćemo ukratko opisati mjesto istraživanja, korištenu metodu te dobivene rezultate.

## 2 Materijali i metode

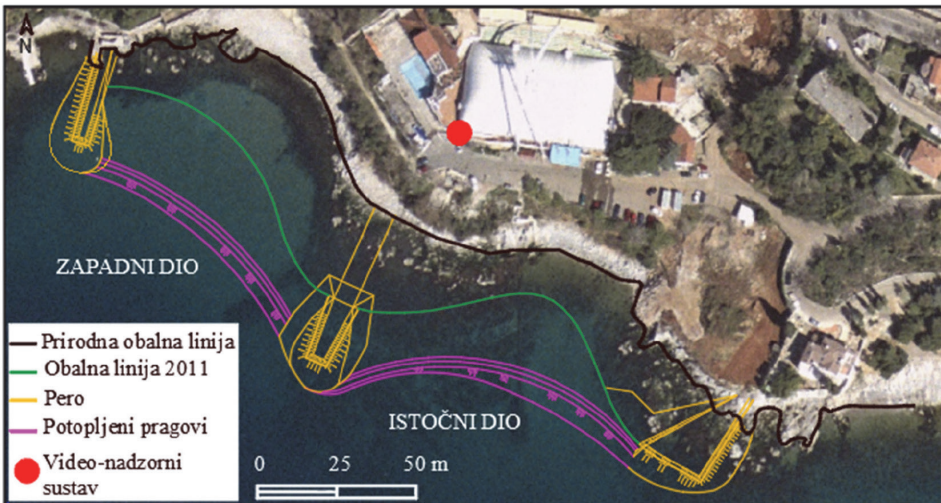
### 2.1 Plaža Ploče

Praćenje promjena obalne linije pomoću video sustava provedeno je na umjetnoj šljunčanoj plaži Ploče, na sjeverozapadnom dijelu grada Rijeke-Kantridi (slika 1. lijevo). To je najveća uređena plaža na riječkom području s površinom od otprilike 14.000 m<sup>2</sup> koja se sastoji se od pješačke staze, te zone iznad šetnice s Mediteranskim biljkama i klupama za odmor. Ukupna duljina plaže iznosi 320 m te je podijeljena s 30 m dugim centralnim perom izvedenim od kamenih blokova (školjera) na "zapadni" i "istočni" dio [10] (slika 2.). Veličina zrna se može klasificirati kao šljunak ( $D_{50} = 16-32\text{mm}$ ), što je tipično za šljunčane plaže u Hrvatskoj [11]. Za stabilizaciju materijala na prirodno strmom terenu, izgrađen je potopljeni prag, s krunom na dubini od 2,5 m ispod mirne razine mora (0 m). Nadomještanje odnesenog i poravnanje premještenog materijala tijekom zimskih mjeseci vrši se neposredno prije turističke sezone, u travnju ili svibnju i u nadležnosti je gradske uprave. Općenito, plaža ima male gubitke materijala tijekom zime te je prosječna vrijednost dohrane od 2015. do 2019. bila 111 m<sup>3</sup> [11].

Vjetrovi slabog do umjerenog intenziteta dominiraju tijekom godine, s povremenim olujnim događajima brzine vjetera koja prelazi i 30 m/s, te rijetko traje više od jednog dana [12]. Za mjerenje valova korišten je valograf tvrtke Datawell na poziciji V1 ( $\phi = 45^{\circ}19,588' \text{ N}$ ;  $\lambda = 14^{\circ}23,738' \text{ E}$ , WGS 84 (slika 1. desno), koji se sastoji od plutače (tipa DWR MKIII) s ugrađenim GPS prijemnikom i digitalnim uređajem za registriranje podataka [10]. Plutača s promjerom od 0,7 m uronjena je na dubinu od 57,5 m od strane Hidrografskog instituta Republike Hrvatske između prosinca 2019. i siječnja 2021. godine, te su na taj način dobiveni valni podatci (značajna valna visina, vršni period, smjer vjetera i temperatura površine mora, te drugi relevantni valni statistički parametri) za projekt BEACHEX.



Slika 1. Google karta Jadranskog mora i južnog Mediterana s naznakom lokacije provedenog istraživanja (slika lijevo), pozicija valografske postaje (slika desno)



Slika 2. Prirodna obalna linija iz zračnih snimaka (1968 g., crna linija), obala umjetno izgrađene plaže 2011 g. (zelena linija), pera (narančasta linija), izgrađeni potopljeni prag (ljubičasta linija), te postavljene video-nadzorni sustav (crveni krug) [13]

## 2.2 Postavljanje kamere

Početak listopada 2020. godine na plaži Ploče postavljen je Argus sustav video-monitoringa plaže, koji se sastoji od dvije kamere na krovu sportsko-rekreativnog zabavnog kompleksa, bazeni Kantrida. Kamere se nalaze na visini od 13,8 m iznad srednje razine mora (slika 3.), te zasebno nadziru istočni i zapadni dio plaže. Zahvaljujući svom položaju, zapadni dio plaže ima potpunu pokrivenost dok istočni dio ima djelomičnu zbog vegetacije i drveća. U ovom projektu koristi se Blackfly S GigE kamera (BFS-PGE-122S6C-C) s rezolucijom od 4,096 x 3,000 piksela, koja omogućava kontinuirane video snimke visoke rezolucije snimljene pri 4 Hz. Ono što razlikuje ovu metodu od ostalih su dvije važne stvari: 1) tzv. Timex snimke (slika 4.), primarni produkt Argus sustava koji omogućava osrednjavanje niza fotografija u 10-minutnom intervalu za pužanje bolje preglednosti svake brze pojave na obali kao što je uspinjanje vala (wave run-up), spuštanje vala (wave run-down) i zapljuskivanje vala (wave swash), kao i točniju preglednost pozicije obalne linije [7], i 2) korištenje geometrijskih tehnika [14] za transformiranje/rektifikaciju tzv. kosih slika u tlocrt obalnog područja, tako da se kvantitativne informacije mogu dobiti u stvarnim koordinatama [7]. Originalne slike tzv. "kose slike" su georektificirane prije nego su obalne linije izvučene. Zbog fiksnog položaja senzora, samo karakteristike leće (radijalna distorzija) i kontrolne točke tla su potrebne za georektifikaciju fotografije. Georektifikaciju možemo opisati kao transformaciju koordinata iz piksela (U,V) u svjetske koordinate (x,y,z). Šest kontrolnih točaka za zapadni dio plaže i četiri točke za istočni dio su postavljene od strane Geodetskog zavoda u Rijeci. Kontrolne točke se postavljaju na fiksnim dijelovima kao što su stepenice, pero, betonske ploče i sl., te su prikazane pomoću Hrvatskog terestičkog referentnog sustava HTRS96 (EPSG:3765) u horizontalnoj ravnini i HRVS71 u vertikalnom smjeru. U poglavlju 3. prikazan je položaj kontrolnih točaka na zapadnom dijelu plaže.

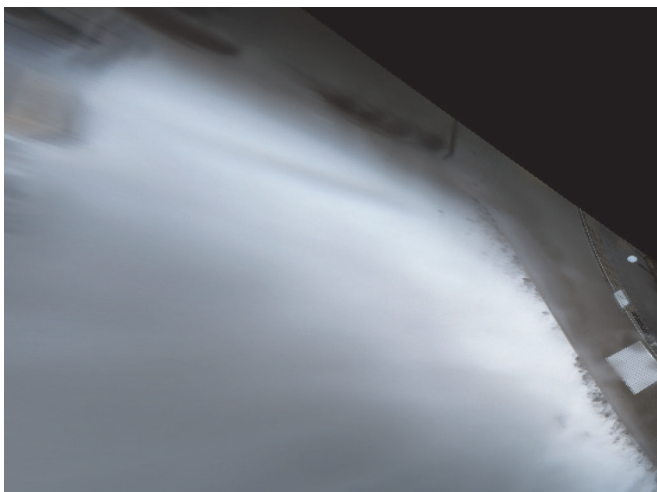
CoastSnap softverski paket, razvijen u okviru rada [15], koristi se za iscrtavanje obalnih linija sa zadovoljavajućih snimaka video nadzora. Od ukupnog broja snimaka koji se koriste za detekciju položaja obalne linije, iskoristive su samo snimke pri dnevnom svijetlu, bez odsjaja i sjena od sunca na površini mora [15].

Za potrebe softverskog paketa duž istočnog i zapadnog dijela obale položeno je niz presjeka okomito na obalu na razmaku od 2 m koji služe za određivanje položaja obalne linije (slika 5.). Sjecišta između dobivenih obalnih linija i niza postavljenih presjeka koriste se za buduće potrebe izračuna prosječne širine, površine i nagiba plaže.





**Slika 3. Položaj sustava video nadzora na rubu sportsko-rekreacijskog kompleksa bazeni Kantrida, dvije kamere koje zasebno nadziru istočni i zapadni dio plaže**



**Slika 4. Primjer 10-minutne timex fotografije, 28.12.2021. 15:50-16:00 h; prikazana je zona zapljusivanja za valove značajne valne visine od 2,3 m**

### 3 Rezultati

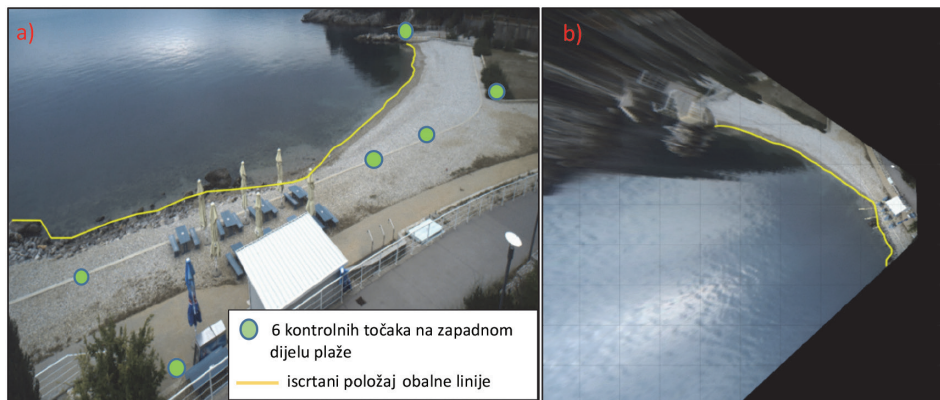
Softverski paket CoastSnap u programskom jeziku Matlab omogućio je poluautomatsko iscrtavanje položaja obalnih linija iz ortorektificiranih snimaka (slika 6.). Pogreška srednjeg kvadrata za rektifikaciju slike iznosila je 3,80 piksela, što odgovara udaljenosti od 8,5 cm na tlu. Postoje brojni pristupi za identifikaciju obalne linije kao što su grupiranje piksela na temelju nijanse i intenziteta [2], divergencija u RGB (engl. *Red-Green-Blue*) modelu boja [16], tehnike strojnog učenja i ostale. U dosadašnjim istraživanjima uspoređeni su različiti algoritmi za što točniju detekciju obalne linije i zaključeno je da se svaka od navedenih metoda najbolje ponaša u uvjetima okoliša u kojima je i razvijena [15].

Metoda detekcije obalne linije plaže Alimini u Italiji [1] temelji se na izoliranju piksela s vrijednostima unutar unaprijed postavljene tolerancije. To znači da se prvo odabere područje od interesa u kojem će se nalaziti i obalna linija, te se unutar tog područja označe točke koje predstavljaju kopno odnosno more. Takva metoda umanjuje trajanje sveukupnog procesa jer se svaka naknadna operacija vrši na području od interesa, a ne na cijeloj fotografiji. Ukoliko rezultati nisu zadovoljavajući, raspon boje sličnosti piksela se može izmijeniti ili se mogu odabrati druge točke i uključiti zone koje su prethodno bile zanemarene [8].

Za razliku od opisane metode na plaži Alimini u Italiji, u ovom radu položaj obalne linije temelji se na RGB modelu boja, tj. razlici crvenog i plavog kanala boja. Testiranjem je utvrđeno da takva dva kanala boja daju najizraženiji kontrast pri razlikovanju površine mora i kopna [15]. Pomoću procesa detekcije obalne linije koji je detaljno opisan u [15], prepoznavanje "mokrih" i "suhih" piksela olakšava određivanje položaja obalne linije. Ukoliko rezultati nisu zadovoljavajući, ručnom korekcijom može se riješiti tipičan problem ljetnih snimaka kada prisutnost turista, suncobrana i sl. može otežati točnost korištene metode [8]. Za prikaz detektiranih položaja obalnih linija u ovom radu provedeno je istraživanje od 30. rujna 2020. do 27. ožujka 2021., budući da u zimskom periodu dolazi do većeg broja razornih valova uzrokovanih olujama koji omogućavaju uočljivije promjene položaja obalne linije. Detektirani položaj obalne linije se također može ubaciti u AutoCAD/GIS softverski paket za preklapanje s dostupnom kartografijom [8]. Izvučeno je ukupno 135 fotografija istočne i zapadne obale iz video nadzornog sustava, te su obalne linije prikazane u softverskom paketu AutoCAD za lakšu vizualizaciju promjenjivosti položaja obale tijekom vremena (slika 5.). Takav prikaz olakšava uočavanje najvećih promjena obalne linije u odnosu na početni položaj bez ikakvih terenskih mjerenja, te točan izračun promjene širine/površine plaže kao jednog od najvažnijih parametara za prikaz intenziteta erozijskih procesa i potreba za dohranjivanjem.



Slika 5. Okomito položeni presjeci uzduž obale za procjenu položaja obalne linije (crvene linije) i položaj obalnih linija u promatranom razdoblju prikazane u AutoCad-u (crne linije)



Slika 6. Primjer procesa georektifikacije fotografije dobivene pomoću video sustava: a) "Kosa" slika umjetne šljunčane plaže Ploče, sa 6 kontrolnih točaka tla (GCP); b) ista slika georektificirana u referentne koordinate  $(x,y,z)$

## 4 Zaključak

S obzirom da djelovanje valova uzrokuje morfološku aktivnost u obliku erozije i sedimentacije (akumulacije) nasipnog materijala [7], kontinuirano proučavanje i procjena obalnog stanja imaju temeljnu ulogu [17]. Uloga Argus video nadzornog sustava je omogućiti jeftin i pristupačan sustav za dugotrajno praćenje ponašanja plaže pri različitim prirodnim i antropogenim [7] promjenama. U ovom radu predstavljen je obalni video sustav na umjetnoj šljunčanoj plaži Ploče u Rijeci koji pruža mogućnost automatiziranog prikupljanja podataka, obuhvaćajući mnogo veći vremenski i



prostorni raspon nego što je to prije bilo moguće. Uz tzv. timex snimke koje s bijelim "trakama" uzduž obale jasno označavaju lokaciju loma vala, te pokazuju točniju poziciju obalne linije, ova metoda omogućava i nadgledanje obale i prilikom loših vremenskih uvjeta što je s drugim metodama teško postići. Iscrtavanjem različitih položaja obalnih linija iz ortorektificiranih slika određuju se promjene širine plaže, odnosno ukupna promjena površine plaže uzrokovana pronosom materijala u poprečnom smjeru. Kako bi se postigao veći potencijal rekreacijskih usluga na samoj plaži, često se prirodna obalna linija dodatno nasipava šljunčanim materijalom [16]. Usporedbom višemjesečnih promjena položaja obalne linije može se računski i vizualno na slici zaključiti u kojim dijelovima plaže dolazi do najvećih promjena te tako s obzirom na visoku cijenu dohrane plaže olakšati odabir pozicije nasipavanja materijala bez ikakvih terenskih mjerenja. Jedan od glavnih ciljeva BEACHEX projekta je minimizirati gubitke materijala žala uzrokovane erozijom tijekom nepovoljnih klimatskih utjecaja najčešće u zimskim olujnim mjesecima, te se ovakva metoda ispostavila izrazito učinkovitom. Jednostavnost i robusnost prikupljanja slika, te velika količina informacija u vremenskom razdoblju u danima, tjednima i mjesecima, kao i prostornom rasponu u metrima i kilometrima učinile su Argus sustav vrlo uspješnim alatom za nadziranje promjena na obali.

Kroz daljnje istraživanje planirano je poboljšanje točnosti procjene položaja obalne linije korištenjem konvolucijskih neuronskih mreža. Digitalnom analizom slike, tj. treniranjem neuronskih mreža za razlikovanje kopna i mora, doprinijelo bi se značajnijem smanjivanju vremena detekcije položaja obalne linije i poboljšanju trenutnog načina iscrtavanja koji zahtjeva i ručne korekcije.

## Literatura

- [1] Damiani L., Mossa M.: A video-based technique for shoreline monitoring in Alimini (LE), 2<sup>nd</sup> International Conference on the Application of Physical Modelling to Port and Coastal Protection: Coastlab'08, Bari, Italy, pp. 153-156, 2008.
- [2] Aarninkhof S.G.J., Turner I.L., Dronkers T.D.T., Caljouw M., Nipius L.: A video-based technique for mapping intertidal beach bathymetry, *Coastal Engineering* 49 (2003) 4, pp. 275–289.
- [3] Lillesand T.M., Kiefer R.W., Chipman J.W.: *Remote sensing and image interpretation*, Hoboken NJ 07030, USA: John Wiley and Son, 2004.
- [4] Alesheikh A.A., Ghorbanali A., Nouri N.: Coastline change detection using remote sensing, *Int. J. Environ. Sci. Tech.* 4 (2007) 1, pp. 61-66.
- [5] Kroon A.: Application of remote sensing video systems to coastline management problems, *Coastal Engineering* 54 (2007) 6-7, pp. 493–505.

- [6] Plant N. G., Aarninkhof S.G., Turner I.L., Kingstont K.S.: The Performance of Shoreline Detection Models Applied to Video Imagery, *Journal of Coastal Research* 1 (2007) 3, pp. 658–670.
- [7] Harley M. D., Andriolo U., Armaroli C., Ciavola P.: Shoreline rotation and response to nourishment of a gravel embayed beach using a low-cost video monitoring technique: San Michele-Sassi Neri, Central Italy, *Journal of Coastal Conservation* 18 (2014) 5, pp. 551–565.
- [8] Gianluca M., Valentini N., Damiani L.: Coastal Video Monitoring system: results and perspectives, 1<sup>st</sup> Workshop on the state of the art and challenges of research efforts at POLIBA Bari, Italy, pp. 509-513, 2014.
- [9] Holman R. A., Stanley J.: The history and technical capabilities of Argus, *Coastal Engineering* 54 (2007) 6-7, pp. 477–491.
- [10] Kalinić F., Lončar G.: Morfodinamika i održivost nasipane šljunčane plaže - the example of Ploče beach in Rijeka, 6. Simpozij doktorskog studija građevinarstva: Zbornik radova, Zagreb, Hrvatska, pp. 85–96, 2020.
- [11] Bogovac T., Carević D., Bujak D., Ilić S., Vukovac M.: Održivost dohranjivanja plaza u Hrvatskoj, 8. Sabor hrvatskih graditelja, Vodice, pp. 1-10, 2021.
- [12] Tabain T.: Standard wind wave spectrum for the Adriatic Sea revisited, *Brodogradnja* 45 (1997), pp. 303–313.
- [13] DGU Geoportal Available online: <https://geoportal.dgu.hr/>
- [14] Holland K.T., Holman R.A., Lippmann T.C., Stanley J., Plant N.: Practical Use of Video Imagery in Nearshore Oceanographic Field Studies, *IEEE Journal of Oceanic Engineering* 22 (1997) 1, pp. 81-91.
- [15] Harley M.D., Kinsela M.A., Sánchez-García E., Vos K.: Shoreline change mapping using crowd-sourced smartphone images, *Coastal Engineering* 150 (2019), pp. 175–189.
- [16] Turner I. L., Harley M.D., Short A.D., Simmons J.A., Bracs M.A., Philips M.S., Splinter K.D.: A multi-decade dataset of monthly beach profile surveys and inshore wave forcing at Narrabeen, Australia, *Scientific Data* 3 (2016):160024, pp. 1-13.
- [17] Valentini N., Damiani L., Molfetta M. G., Saponieri A.: New coastal video-monitoring system achievement and development, *Proceedings of 35<sup>th</sup> Conference on Coastal Engineering*, Antalya, Turkey, pp. 11-21, 2016