

# Analiza ranjivosti obala otoka Raba

## 8. Sabor hrvatskih graditelja

Andrea Tadić<sup>1</sup>, Čedomir Benac<sup>1</sup>, Vedrana Petrović<sup>2</sup>, Dado Jakupović<sup>2</sup>, Gorana Ljubičić<sup>2</sup>, Nino Krvavica<sup>1</sup>, Igor Ružić<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, Rijeka, Hrvatska

<sup>2</sup> JU Zavod za prostorno uređenje Primorsko-goranske županije, Splitska 2, Rijeka, Hrvatska

### Sažetak

Obalna ranjivost otoka Raba u ovom je radu određena definicijom indeksa ranjivosti obale (engl. *Coastal Vulnerability Index*, CVI) za svakih 25 m obalne linije otoka. Metodologija je uključila analizu pet različitih podindeksa (geološka građa, obalni nagib, značajna valna visina, obalno plavljenje i utjecaj žala) kao i definiranje formule kojom su se ove vrijednosti objedinile u zajednički indeks ranjivosti. Rezultati su pokazali da je 32,6 % obale otoka visoke i veoma visoke ranjivosti, što je prvenstveno posljedica nepovoljne geološke građe obale i reljefa. Analize su pokazale da je 23,6 % obalne linije veoma ranjivo na plavljenje. Zbog predviđenog rasta razine mora za 60 cm do kraja 21.stoljeća, taj indeks će se biti 29,6 %, a tijekom ekstremnih plima čak na 34 %.

*Ključne riječi: indeks obalne ranjivosti; klimatske promjene; marinska erozija; obalno plavljenje; rast morske razine*

## Analysis of coastal vulnerability of the Rab island

### 8<sup>th</sup> Congress of Croatian Builders

### Abstract

The coastal vulnerability of the Rab island is determined in this paper by defining the Coastal Vulnerability Index (CVI) for every 25 m of the island's coastline. The methodology involved the analysis of five different sub-indices (geological fabric, coastal slope, significant wave height, coastal flooding, and the impact of beaches) and the definition of a formula to combine these values into a common vulnerability index. The results showed that 32.6% of the coast of the Rab island is of high or very high vulnerability which is primarily a consequence of the unfavorable geological fabric and of the coastal relief. Also of concern is the fact that 23.6% of the coastline is highly vulnerable to flooding. If the sea level rises by 60 cm, this percentage will increase by another 6% and in the event of extreme tides 34% of the island's coastline will be very vulnerable to flooding.

*Key words: coastal vulnerability index, climate change, marine erosion, coastal flooding, sea-level rise*

## 1 Uvod

Jadranski obalni pojas ima izrazito strateško značenje za Republiku Hrvatsku. Ubrzani rast turizma prouzročio je pojačanu litoralizaciju pa se javlja potreba očuvanja priobalja. Već su vidljivi negativni učinci klimatskih promjena. Sve češća su snažna olujna nevremena, a u bliskoj budućnosti očekuju se negativne posljedice ubrzanog rasta morske razine od 60 +/- 14 cm do kraja 21. stoljeća i pojave sve češćih ekstremnih plima [1], [2]. Na području Kvarnera već sada su obalnim poplavama izložena naselja Mali Lošinj, Cres, Rab, Crikvenica, Rijeka i Opatija. Porast razine mora potencijalno je jedan od najskupljih učinaka klimatskih promjena na hrvatsku obalu [2].

Zbog nepovoljnih posljedica klimatskih promjena, sve više država u sklopu integralnog upravljanja obalnim područjem posvećuje pažnju i procjeni stupnja hazarda od očekivanog ubrzanog rasta morske razine, te analizama rizika kao neminovne posljedice te pojave [3]–[5].

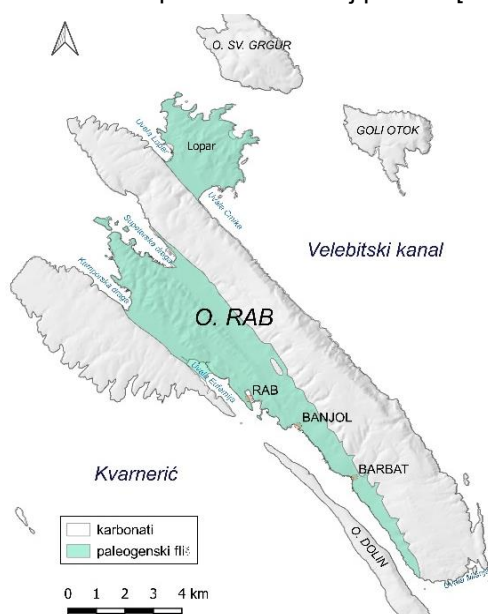
Usljed već izraženih klimatskih promjena i očekivanog ubrzanijeg podizanja morske razine, a na temelju ICZM Protokola o integriranom upravljanju obalnim područjem Sredozemlja iz 2008. godine [6], [7], mediteranske države izrađuju detaljne procjene ranjivosti obalnog pojasa [8]–[11].

Integralno upravljanje obalnim područjem u Republici Hrvatskoj je još uvijek u inicijalnoj fazi. Prostorni planovi daju prijedloge mjera za prilagodbu klimatskim promjenama, ali još uvijek ne obrađuju zaštitu obalnog pojasa i mora u mjeri u kojoj je to potrebno. Detaljna analiza ranjivosti obale do sada je napravljena samo za područje Šibensko-kninske županije [7] dok je obalni prostor Republike Hrvatske obrađenu u mjerilu 1 : 100 000 [12]. Na Kvarneru su obavljena brojna parcijalna istraživanja [13]–[22]. Većina istraživanja obalne ranjivosti kao osnovni problem navodi nedostatak dovoljno detaljnih podloga. Stoga upravna tijela nemaju pouzdane podloge za integralno gospodarenje obalnim prostorom [23].

U ovom radu ranjivost obala otoka Raba procijenjena je metodom izračuna indeksa obalne ranjivosti (engl. *Coastal Vulnerability Index*, CVI) što je najčešće korištena metodologija za procjenu ranjivosti uslijed podizanja razine mora [24].

## 2 Prirodne značajke otoka

Otok Rab nalazi se u jugozapadnom dijelu kvarnerskog akvatorija. Oko njega se nalazi više nenaseljenih otoka i otočića te hridi koje nisu uzete u obzir prilikom analiza provedenih u ovom radu. Analizirala se obala u dužini od 143 km, a površina otoka prema korištenoj podlozi [25] je 86,3 km<sup>2</sup>.



Slika 1. Pregledna geološka karta otoka Raba (prema [26])

Specifičan položaj i oblik rtova i zaljeva oko otoka rezultat je pružanja orografskih osi i osnovnih geoloških struktura (antiklinala i sinklinala) u smjeru SZ – JI (Slika 1). Vapnenačke gornjokredne stijene, a djelomično i paleogenske vapnenačke stijene, izgrađuju antiklinalne forme, a siliciklastične paleogenske stijene (fliš) tvore jezgre sinklinala. Linearno protezanje struktura mjestimice je deformirano zbog pomaka po rasjedima čije je pružanje poprečno do dijagonalno u odnosu na osnovni pravac pružanja struktura [26]. Pliće, priobalne zone oblikovane u karbonatnim stijenama, s kamenitim podmorskim padinama, pod utjecajem su erozijskog djelovanja valova. Sediment nastao marinskom erozijom mjestimično se nalazi kao pokrov na stjenovitoj podlozi. Uz obale oblikovane u siliciklastičnim stijenama, morsko dno je zaravnjeno i najčešće pokriveno pijeskom. Budući da je utjecaj marinske erozije na siliciklastičnu stijensku masu selektivan zbog njene litološke heterogenosti, dijelovi obale oblikovane u pješčenjacima tvore rtove, a u pretežito znatno mekšim silitima oblikovane su uvale s pješčanim žalima, što je posebno izraženo na poluotoku Loparu. Najniži dijelovi terena kao što je depresija između Kamporske drage i uvale Sv. Eufemija, te od Supetarske drage do Banjola i prevlaka između uvala Lopar i Crnika, pokriveni su naplavinama pijeska i mulja.

### 2.1 Oceanografske značajke

U području Kvarnera prevladavaju slabi i umjereni vjetrovi s čestim razdobljima tišine, dok su olujni vjetrovi brzine veće od 30 m/s rijetki i kratkotrajni [27], [28]. Najveću učestalost i najveću brzinu ima bura koja puše iz sjeveroistočnog smjera, ali vjetrovi koji pušu iz južnog kvadranta, poglavito jugo, generiraju najviše valove [29].

Prosječne plimne amplitude rastu od jugoistoka prema sjeverozapadu Jadrana (Dubrovnik 22 cm, Zadar 25 cm, Bakar 30 cm i Rovinj 47 cm). Tako pravilan hod može biti poremećen zbog meteoroloških pojava. U razdoblju izrazito visokog tlaka zraka razina mora može se sniziti za 40 cm, a u vrijeme niskog tlaka popraćenog jugom podići i do 70 cm iznad srednje razine [28].

Visoka voda ili *acqua alta* pojava je ekstremno visoke plime, a zabilježena je na više lokacija sjevernog Jadrana. Događa se najčešće tijekom jeseni i zime kada su uobičajene plime pojačane prolaskom ciklone, vjetrovima iz jugoistočnog kvadranta, te slobodnim oscilacijama Jadrana, odnosno pojavama seša [28]. *Acqua alta* često izaziva obalna plavljenja, oštećenja obalnih konstrukcija i eroziju obale. Rekordno visoke razine mora zabilježene su u posljednja dva desetljeća na području Kvarnera na mareografu u Bakru: 1.12.2008. + 117 cm, 1.11.2012. + 122 cm i 29.10.2018. + 127 cm iznad srednje razine mora [30].

## 3 Metodologija

U ovom istraživanju, ranjivost obalnog područja definirana je kao mogući stupanj promjena koji određeni dio obale može pretrpjeti pod djelovanjem različitih (prirodnih) utjecaja, izraženih određenim parametrima. Najčešće korišten način za procjenu obalne ranjivosti je pomoću jednodimenzionalnog indeksa obalne ranjivosti (CVI) [31]. Postupak procjene obalne ranjivosti je relativno jednostavan; sastoji se od određivanja više parcijalnih indeksa (podindeksa) čije su analize složene ukoliko je obalna linija razvedena, a geološka građa izrazito heterogena, kao i polje valova. Primjenom ove metode procijenjena je i ranjivost obale otoka Raba.

Spomenuti podindeksi biraju se s obzirom na prirodne karakteristike obale i sile koje djeluju na nju. Uobičajeni parametri koji se koriste za analize su: reljef, obalni nagib, pomicanje obalne linije, širina dina, širina žala, relativna promjena srednje morske razine, amplituda plime, srednja značajna visina

valova i širina vegetacije iza žala [10], [32]. Neka istraživanja proučavaju i socioekonomski i antropogeni utjecaj na obalu [11]. Svakom se segmentu obale na osnovu definiranih parametara dodjeljuje vrijednost ranjivosti 1 – 5, gdje viša vrijednost znači i viši doprinos ranjivosti. Skupni indeks obalne ranjivosti (CVI) može se izračunati na više načina, ali svi se izrazi moraju prilagoditi lokalnim prirodnim uvjetima značajkama kao što su oceanografske značajke, geološka građa, reljef i sl. [24]

Ograničavajući čimbenik pri odabiru parametara je dostupnost podloga. Problemi s preciznošću podloga naglašeni su i u drugim sličnim istraživanjima provedenima u Republici Hrvatskoj [2], [7].

Kada se sve navedeno uzme u obzir, podindeksi pomoću kojih je određena obalna ranjivost otoka Raba su: geološka građa, obalni nagib u odnosu na osjetljivost na pojavu nestabilnosti odrona i izloženosti marinskoj eroziji, značajna valna visina, izloženost obalnom plavljenju i utjecaj žala. Ranjivost se analizirala točkasto duž definirane obalne linije, na svakih 25 m, zbog razvedenosti obale i različitih prirodnih karakteristika priobalnog područja. Podindeksi za svaku točku određivali su se prema vrijednostima u tablici 1. Prikazana klasifikacija temeljila se na dosadašnjim klasifikacijama [33] kao i na spoznajama autora ovog rada, a prilagođena je prirodnim značajkama otoka Raba.

**Tablica 1.** Podindeksi obalne ranjivosti za analizirane varijable

| Ranjivost        | a - geološka građa                      | b - obalni nagib   |        |                                |        | c - značajna valna visina, $H_s$ |        | d - plavljenje |        | CVI - Zbirni indeks |      |
|------------------|---|--------------------|--------|--------------------------------|--------|----------------------------------|--------|----------------|--------|---------------------|------|
|                  |   | Karbonatne stijene |        | Siliciklastične stijene (fliš) |        | od [m]                           | do [m] | od [m]         | do [m] | od                  | do   |
|                  |   | od [°]             | do [°] | od [°]                         | do [°] |                                  |        |                |        |                     |      |
| Veoma niska (1)  | karbonatne stijene                      | 0.0                | 11.99  |                                |        | 0.0                              | 0.99   | 5              | >      | 0.0                 | 1.79 |
| Niska (2)        |   | 12.0               | 19.99  | 0.0                            | 4.99   | 1.0                              | 1.49   | 3.5            | 5.00   | 1.8                 | 2.19 |
| Umjerena (3)     | fliš                                    | 20.0               | 31.99  | 5.0                            | 11.99  | 1.5                              | 1.99   | 2.3            | 3.50   | 2.2                 | 2.61 |
| Visoka (4)       | naplavine: šljunak, obluci              | 32.0               | 69.99  | 12.0                           | 19.99  | 2.0                              | 2.49   | 1.3            | 2.30   | 2.6                 | 3.07 |
| Veoma visoka (5) | Naplavine: pijesak, mulj; les; crvenica | 70.0               | 90.00  | 20.0                           | 90.00  | 2.5                              | >      | 0              | 1.30   | 3.1                 | 4.20 |

Geološka građa (a) izražava relativnu erodibilnost različitih tipova tla, a ranjivosti prema ovoj varijabli definirane su na osnovi geološke karte otoka Raba na slici 1.

Obalni nagib (b) je u analizama provedenima u ovom radu razmatran u kontekstu erozije obale, budući da se povećanjem nagiba smanjuje stabilnost kosine na klizanje, prevrtanje i odrona, tj. povećava se ranjivost. Definiran je za dva tipa stijena: karbonatne i siliciklastične (fliš) (tablica 1). Područja građena u naplavinama nisu razmatrana zahvaljujući općenito blago položenim obalama. Nagibi su određeni iz digitalnog modela reljefa rezolucije 25 × 25 m, što je zadovoljavajuće mjerilo za regionalnu analizu, ali pregrubo za detaljnu analizu stabilnosti kritičnih kosina.

Značajna visina vala (c) je vrijednost koja se uobičajeno koristi za dimenzioniranje obalnih građevina. U nedostatku izravnih mjerenja valova vrijednosti značajnih valnih visina određene su numeričkim simulacijama valovanja u numeričkom modelu SWAN [34] na osnovu prognoze jačine polja vjetra, izrađene za područje Crikvenice (tablica 2) [35].

**Tablica 2.** Jačine vjetrova korištene za numeričke simulacije [35]

| Smjer           | N  | NE   | E  | SE   | S  | SW | W  | NW |
|-----------------|----|------|----|------|----|----|----|----|
| Brzina, w [m/s] | 18 | 27,4 | 20 | 24,3 | 25 | 20 | 15 | 20 |

Obalno plavljenje (d) uslijed povišenih razina mora ovisi o lokalnom obalnom reljefu. Ranjivost prema ovoj varijabli određena je prema visinama terena udaljenoga 25 m od obalne linije, a koje su pak definirane spomenutim digitalnim modelom terena. Terenskim analizama provedenim u sklopu izrade

studije „Analiza ranjivosti obalnog pojasa Primorsko-goranske županije zbog podizanja razine mora“ [36] utvrđeno je plavljenje većine obalne infrastrukture pri razini mora od + 1,30 m n. m. pa je ova visina definirana kao granica veoma visoke ranjivosti (tablica 1). Analize plavljenja provedene su i za dva scenarija podizanja mora: rast za 60 cm (očekivani porast srednje morske razine do kraja 21. stoljeća) i 120 cm (razine mora u slučaju visokih plima) [1].

Žala (e) smanjuju ranjivost na određenom dijelu obale s obzirom na to da dispiraju energiju valova i tako smanjuju nepovoljne obalne procese. U pravilu se utjecaj žala na ranjivost u obzir uzima pomoću parametra širine tijela žala [31], [37], [38], ali zahvaljujući grubom mjerilu dostupnih podloga nije bilo moguće odrediti širine mnogobrojnih žala formiranih duž obale otoka Raba. Iz toga razloga određene su samo površine na kojima su ona formirana i njihova vrsta, a kako bi se naglasio povoljan utjecaj na obalnu ranjivost, ova je varijabla dobila negativne vrijednosti podindeksa ranjivosti: šljunčana žala određena su s vrijednošću -2, a pješčana -1.

U okviru spomenute studije [36] testirano je više formula kojom su se ove vrijednosti objedinile u zbirni indeks obalne ranjivosti i kao konačno rješenje odabrana je sljedeća formula:

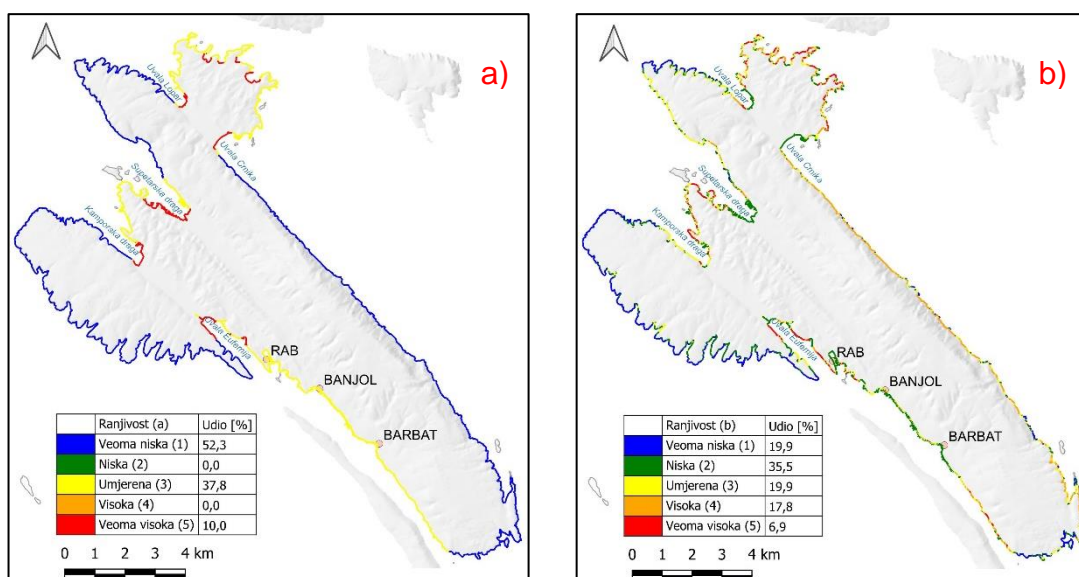
$$CVI = \sqrt{\frac{a^2 + b^2 + c^2 + d^2 - e^2}{5}} \quad (1)$$

Kategorije ranjivosti za zbirni CVI prikazane su u tablici 1. Određene su prilagodbom standardne Jenks klasifikacije za područje cijele Primorsko-goranske županije [36], a na temelju dosadašnjih istraživanja ranjivosti na Kvarneru [13]–[22].

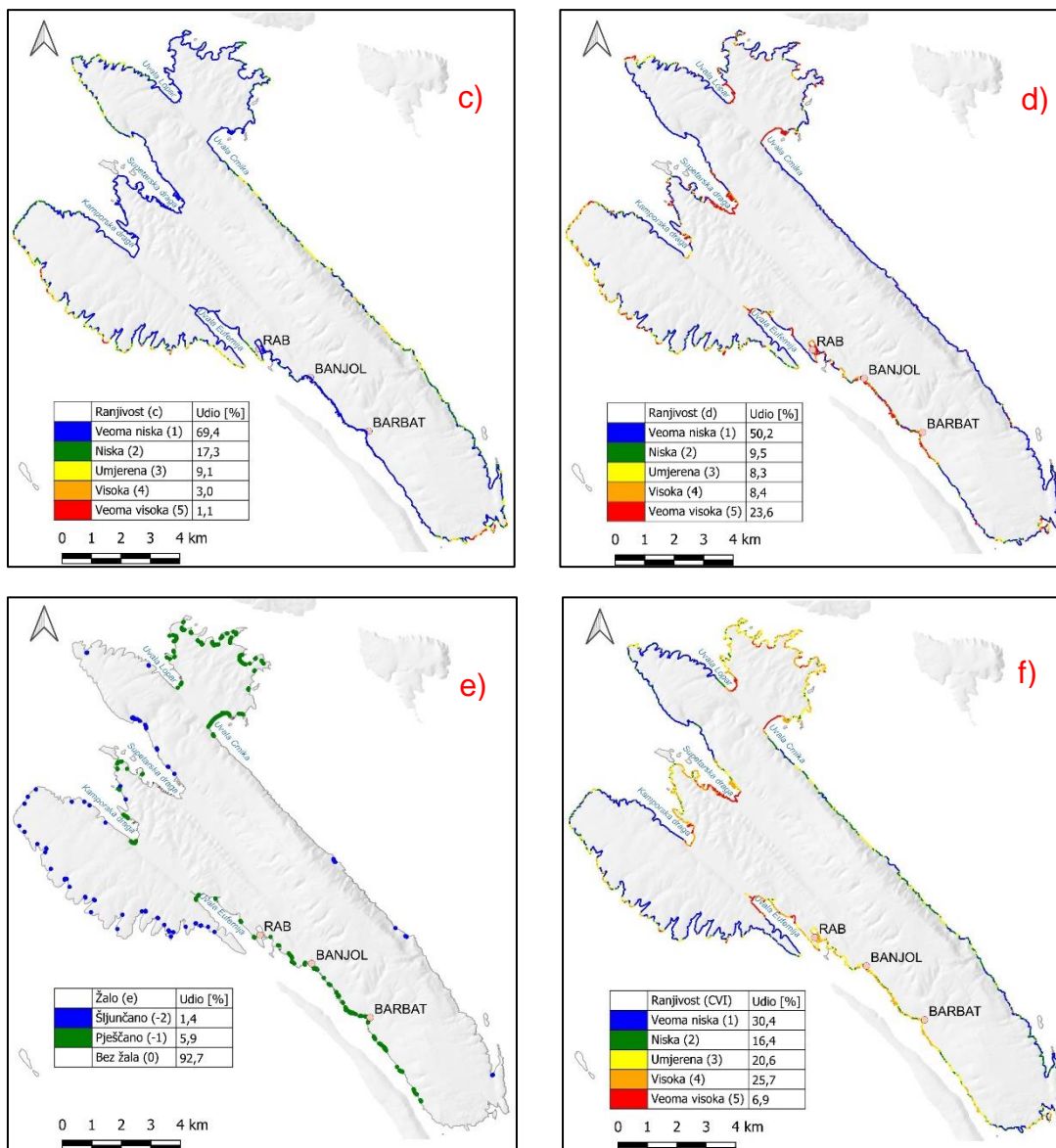
## 4 Rezultati

U ovom poglavlju prikazani su rezultati analize ranjivosti obalnog pojasa otoka Raba, najprije prema pojedinim varijablama, a na koncu je dat i konačni indeks ranjivosti obale (CVI) otoka Raba.

Slika 2a prikazuje kartu obalne ranjivosti otoka Raba s obzirom na varijablu geološke građe. Prosječna vrijednost podindeksa obalne ranjivosti za parametar geološke građe je 2,15 što predstavlja nisku ranjivost, a posljedica je povoljne geološke građe većeg dijela obale (52,3 %). Ostatak obale je umjerene do veoma visoke ranjivosti. Ugrožene su uvale poluotoka Lopara na sjeveru otoka, kao i Supetarska draga, Kamporska draga i Uvala Sv. Eufemija.







**Slika 2.** Obalna ranjivost za varijable a) geološka građa, b) obalni nagib, c) značajne visine vala, d) obalno plavljenje, e) žala i f) zbirni indeks ranjivosti

Obalna ranjivost otoka Raba u odnosu na obalni nagib i rizik od odrona i klizanja prikazana je kartom ranjivosti na slici 2b. Prosječna vrijednost je 2,56, što je umjerena ranjivost. Veoma visoku i visoku ranjivost ima nešto manje od 25 % obale, a ta se područja nalaze na sjevernom i sjeveroistočnom dijelu otoka. Najugroženiji je poluotok Lopar i područje između Kamporske i Supetarske zbog nepovoljne geološke građe. Na sjeveroistočnom dijelu otoka su moguće pojave lokalnih nestabilnosti poput odrona stijena u inače stabilnoj vapnenačkoj obali građe zbog velikih obalnih nagiba.

Karta obalne ranjivosti otoka Raba u odnosu na djelovanje valova prikazana je na slici 2c, a prosječna vrijednost podindeksa je 1,49 što je veoma niska ranjivost. Izravnom djelovanju visokih valova izloženo je tek 4,1 % obale otoka, i to uglavnom na zapadu. Na ovim je mjestima prije gradnje obalnih građevina poput lukobrana, obalnih zidova i kupališta potrebno provesti detaljna istraživanja i analize.

Niska područja blagih nagiba u velikom su riziku od obalnog plavljenja za vrijeme visokih razina mora. Obalna ranjivost s obzirom na parametar obalnog nagiba prema plavljenju prikazana je na karti na slici 2d. Iako je većina otoka (59,2 %) niske i veoma niske ranjivosti u odnosu na plavljenje i prosjek indeksa

ranjivosti iznosi 2,46 (niska ranjivost), čak jedna petina obale veoma je visoke ranjivosti. Kada se pridodaju i lokacije visoke ranjivosti, jako ranjivi udio raste na 28 %. Pogledom na kartu ranjivosti na slici 2 uočava se da su ugrožena područja uglavnom ona građena u fliškoj stijenskoj masi, a najveći problem predstavlja činjenica da plave priobalna naselja: grad Rab, Banjol, Barbat.

Tablica 3. prikazuje ranjivosti varijable obalnog plavljenja za dva slučaja rasta morske razine. Za slučaj očekivanog podizanja srednje morske razine za 60 cm do kraja stoljeća ranjivost raste s prosječne vrijednosti 2,46 na 2,63. Očekivano smanjenje udjela veoma niske i niske ranjivosti iznosi 4 %, dok će udio obale veoma visoke ranjivosti istovremeno rasti za 5,1 %. Uzmu li se u obzir ekstremne razine mora tijekom olujnih uspora, kada će povećanje razine mora dosežati 1,20 m, predviđa se smanjenje udjela niske ranjivosti za dodatnih 4,1 % i povećanje veoma visoke za još 5 %. Podindeks ranjivosti će za otok Rab u tom slučaju iznositi 2,79.

**Tablica 3.** Ranjivosti obale za varijablu obalnog plavljenja u slučaju podizanja srednje razine mora

|   |              | povećanje MR |        |        |
|---|--------------|--------------|--------|--------|
|   |              | +0,00m       | +0,60m | +1,20m |
|   | Ranjivost    | (%)          | (%)    | (%)    |
| 1 | Veoma niska  | 50,2%        | 46,4%  | 42,7%  |
| 2 | Niska        | 9,5%         | 9,7%   | 9,2%   |
| 3 | Umjerena     | 8,3%         | 7,7%   | 7,8%   |
| 4 | Visoka       | 8,4%         | 7,5%   | 6,6%   |
| 5 | Veoma visoka | 23,6%        | 28,7%  | 33,7%  |

Slika 2e prikazuje lokacije na otoku Rabu gdje su formirana žala. Ukupna zastupljenost žala iznosi 7,3 %, ali uzme li se u obzir mjerilo korištenih podloga i veliki broj minijaturnih žala, vjerojatno je ovaj udio i veći. Zahvaljujući specifičnoj geološkoj građi otoka, većina tijela žala je pjeskovita i nalaze se na obalama oko grada Raba, uz obalu Banjola i Barbata te u brojnim uvalama poluotoka Lopara.

Prema provedenim analizama podindeksa ranjivosti i pomoću formule (1), određen je zbirni indeks ranjivosti obale (CVI), a karta ranjivosti prikazana je na slici 2f. Niske i veoma niske ranjivosti je 46,8 % obalne linije, ali je čak 32,6 % visoke i veoma visoke ranjivosti. Prosječna ranjivost je 2,62, što odgovara umjerenom ranjivosti. Najranjivijim područjima pokazale su se uvale Lopar i Sv. Eufemija, te Supetarska i Kamporska draga.

## 5 Rasprava

Relativno visoka ranjivost otoka Raba rezultat je specifične geološke građe i obalnog reljefa. Obale su dobrim dijelom izgrađene od siliciklastičnih stijena koje su manje otporne na marinsku eroziju [15], [18]. Blagi nagibi obala pogodovali su razvoju prvih naselja na otoku Rabu, a danas su te lokacije izložene obalnom plavljenju pri višim razinama mora. Zbog velikog utjecaja na svakodnevni život i potencijalno velike materijalne štete plavljenje se pokazalo kritičnim parametrom ranjivosti [36]. Podizanjem morske razine naselja će plaviti sve češće, a halofilna vegetacija karakterističnih močvarnih staništa u uvalama Sv. Eufemija, Lopar i Supetarska draga će se proširiti na postojeća obradiva zemljišta [19]. Obalna plavljenja mogu povremeno prouzročiti poremećaj u radu sustava odvodnje i prekid prometa pojedinim prometnicama. Za vrijeme veće valne aktivnosti zone u naplavinama bit će izložene i ubrzanom eroziji. Marinskoj eroziji izložene su i obale poluotoka Lopara građene u flišu (Slika 2b). U većini spomenutih istraživanja obalni nagib nije razmatran s aspekta stabilnosti, nego isključivo u odnosu na obalno plavljenje. Strmim obalama se povećanjem nagiba smanjuje stabilnost na klizanje, prevrtanje i odron, a

posebna opasnost prijeti u slučaju podizanja razina podzemnih voda [39]–[41]. Podizanje razine podzemnih voda, između ostaloga, bit će uzrokovano rastom morske razine te povećanjem intenziteta i količina oborina, što su neminovne posljedice globalnih klimatskih promjena. Odroni se bilježe već sada duž obale Kvarnera [36], [42]. Na ugroženim područjima trebalo bi ograničiti sve zahvate kojima bi se moglo utjecati na razine podzemnih voda, kao i zabraniti gradnju neposredno uz obalnu liniju kako bi se spriječilo stvaranje rizičnih obalnih područja naselja. Potrebno je naglasiti kako su odroni kosina prirodan proces i često se na taj način u podnožjima klifova formiraju žala koja štite obalnu liniju i smanjuju ranjivost. Na takvim mjestima trebale bi se izvršiti detaljne analize na kvalitetnijim podlogama kako se eventualnim zahvatima ne bi narušila ravnoteža sustava.

Promjenom morske razine i uvjeta valovanja promijenit će se i parametri na koje su dimenzionirane obalne građevine pa će se redovito i detaljno morati provoditi njihov monitoring. Posebno bitno je zaštititi žala, i prirodna i nasuta, regulacijom materijala kojim se vrši dohrana i nasipavanje.

## 6 Zaključak

U ovom radu određena je ranjivost obala otoka Raba. Postupak ocjenjivanja ranjivosti sastojao se od pojedinačnih analiza pet podindeksa (geološka građa, obalni nagib, značajna valna visina, obalno plavljenje i utjecaj žala) kao i definiranja formule kojom su se ove vrijednosti objedinile u zajednički indeks ranjivosti (CVI) na svakih 25 m obalne linije otoka. Prikazane rezultate potrebno je sagledati u kontekstu mjerila korištenih podloga i složenih prirodnih karakteristika otoka (razvedena obala, raznolika geološka građa). Usprkos grubom mjerilu, dobiveni podaci dovoljno su indikativni i prepoznaju najugroženije lokacije na istraženom području, a to su uvale poluotoka Lopara, Supetarska draga i područja oko grada Raba, što se podudara s prethodnim istraživanjem [16], [19].

Uslijed rasta morske razine i sve češćih ekstremnih plima može se očekivati i češće plavljenje priobalnih naselja. Gotovo trećina obale (32 %) već sada ima visoku i veoma visoku ranjivost na ovaj parametar, a dizanjem mora za 60 cm trenutna vrijednost prosječnog podindeksa ranjivosti s obzirom na plavljenje povećat će se s 2,46 na 2,63. Tijekom ekstremnih plima ova će vrijednost dodatno rasti na 2,79 i 40 % obalne linije otoka Raba postat će izrazito ranjivo.

Sjeverne i istočne obale otoka ranjive su na eroziju uslijed nepovoljnih nagiba koji su na poluotoku Loparu povezani i s pretežno flišnom geološkom građom. Čak 24,7 % obale otoka karakterizira visoka ili veoma visoka ranjivost na odrone i klizanja zbog obalnog nagiba pa se na tim dijelovima ne preporučuje gradnja u blizini obalne linije.

Sveukupna ranjivost otoka Raba ocijenjena je umjerenom, s vrijednošću indeksa ranjivosti obale od 2,62. Ranjivost kritičnih područja potrebno je dodatno istražiti na detaljnijim topografskim, geološkim i oceanografskim podlogama, a rezultati će poslužiti kao prvi korak i ulazni podatak za održivo dugoročno upravljanje obalnim prostorom. Detaljnije analize ranjivosti potrebne su kako bi se mogle provesti odgovarajuće, prvenstveno prostorno-planske, mjere za umanjeno rizika, pogotovo na lokacijama karakteriziranim visokim vrijednostima indeksa obalne ranjivosti. Adekvatne prostorno-planske mjere mogu najbolje minimizirati troškove očekivanih posljedica klimatskih promjena.



## Zahvala

Ovaj rad je sufinanciran iz Programa „Znanstvena suradnja Hrvatske zaklade za znanost koji je financirala Europska unija iz Europskog socijalnog fonda u sklopu Operativnog programa Učinkoviti ljudski potencijali 2014. – 2020. (PZS-2019-02-3081) kao i iz projekta „Ranjivost obala Kvarnera u odnosu na klimatske promjene i podizanje morske razine“ Sveučilišta u Rijeci (Uniri-tehnic-18-97 1232).

Javna ustanova Zavod za prostorno uređenje Primorsko-goranske županije financirala je istraživanja kroz projekt „Analiza ranjivosti obalnog pojasa Primorsko-goranske županije (PGŽ) zbog podizanja razine mora.“

Autori se zahvaljuju Geofizičkom zavodu Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu na ustupljenim podacima s mareografske postaje u Bakru

## Literatura

- [1] Republika Hrvatska: *Strategija prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu*, 2020.
- [2] UNDP: *Dobra klima za promjene*, 2009.
- [3] Davoudi, S., Crawford, J., Mehmood, A.: *Planning for Climate Change*, eds. S. Davoudi, J. Crawford & A. Mehmood, Routledge, London, 2009.
- [4] Wilson, E., Piper, J.: *Spatial Planning and Climate Change*, Routledge, 2010.
- [5] Montgomery, C.W.: *Environmental Geology*, McGraw-Hill, New York, 2011.
- [6] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, <https://mingor.gov.hr/o-ministarstvu-1065/djelokrug-4925/vode-i-more/konvencija-o-zastiti-morskoga-okolisa-i-obalnog-podrucja-sredozemlja-barcelonska-konvencija/1438>, 01.07.2021.
- [7] Šibensko-kninska županija: *Plan integralnog upravljanja obalnim područjem Šibensko-kninske županije*, 2015.
- [8] Antonioli, F., Silenzi, S.: Variazioni relative del livello del mare e vulnerabilità delle pianure costiere italiane, *Quaderni della Societa geologica Italiana*, 2, pp. 1-29, 2007.
- [9] Koroglu, A., Ranasinghe, R., Jiménez, J.A., Dastgheib, A.: Comparison of Coastal Vulnerability Index applications for Barcelona Province. *Ocean and Coastal Management*, 178, 2019.
- [10] Torresan, S., Critto, A., Rizzi, J., Marcomini, A.: Assessment of coastal vulnerability to climate change hazards at the regional scale: The case study of the North Adriatic Sea. *Natural Hazards and Earth System Science*, 12(7), pp. 2347-2368, 2012.
- [11] Tragaki, A., Gallousi, C., Karymbalis, E.: Coastal Hazard Vulnerability Assessment Based on Geomorphic, Oceanographic and Demographic Parameters: The Case of the Peloponnese (Southern Greece), *Land*, 7(2), 56, 2018.
- [12] EMODnet Geology, *Coastal behaviour*, <https://www.emodnet-geology.eu/>, 2019.
- [13] Benac, Č.: Rast morske razine i promjene na obalama Kvarnera. *Pomorski zbornik*, 34, pp. 345-359, 1996.
- [14] Benac, Č., Ružić, I., Žic, E.: Ranjivost obala u području Kvarnera. *Pomorski zbornik*, 44, pp. 201-214, 2007.
- [15] Benac, Č., Ružić, I., Žic, E., Gržančić, Ž., Kraljić, R.: Ranjivost prirodnih žala u području Kvarnera, *Prirodoslovna istraživanja riječkog područja II*, eds. M. Arko-Pijevac & B. Surina, Prirodoslovni muzej Rijeka, Rijeka, pp. 97-107, 2010.
- [16] Benac, Č., Ružić, I., Ljutić, K., Ferenac-Grubišić, A.: Ranjivost obala otoka Raba. *Rapski zbornik II*, eds. J. Andrić & R. Lončarić, Ogranak Matice Hrvatske u Rabu, Zagreb, pp. 235-243, 2012.
- [17] Benac, Č., Dugonjić Jovančević, S., Ružić, I., Vivoda, M., Peranić, J.: Marine erosion and slope movements: SE coast of the Krk island, *Landslide Science for a Safer Geoenvironment: Volume 3: Targeted Landslides*, eds. K. Sassa, P. Canuti & Y. Yin, Springer, Cham, pp. 563-567, 2014.
- [18] Juračić, M., Benac, Č., Pikelj, K., Ilić, S.: Comparison of the vulnerability of limestone (karst) and siliciclastic coasts (example from the Kvarner area, NE Adriatic, Croatia), *Geomorphology*, 107(1-2), pp. 90-99, 2009.
- [19] Ružić, I., Benac, Č.: Ranjivost obala otoka Raba zbog rasta razine mora, *Hrvatske vode*, 24(97), pp. 203-214, 2016.

- [20] Ružić, I., Dugonjić Jovančević, S., Benac, Č., Krvavica, N.: Assessment of the Coastal Vulnerability Index in an Area of Complex Geological Conditions on the Krk Island, Northeast Adriatic Sea, *Geosciences*, 9(5), pp. 219, 2019.
- [21] Ružić, I., Benac, Č., Ilić, S., Sušanj, I., Ljutić, K.: Promjene korištenja zemljišta i regulacija bujičnih vodotoka: utjecaj na žala Liburnije i otoka Cresa, *Hrvatske vode*, 94, pp. 771-779, 2011.
- [22] Ružić, I., Ilić, S., Benac, Č., Krvavica, N.: Observations of shoreline changes on a pocket gravel beach: Baška beach, Croatia, *Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime Edition 4*, Split, pp. 73-78, 2018.
- [23] Pikelj, K., Ružić, I., Ilić, S., James, M.R., Kordić, B.: Implementing an efficient beach erosion monitoring system for coastal management in Croatia, *Ocean and Coastal Management*, 156, pp. 223-238, 2018.
- [24] Ramieri, E., Hartley, A.J., Barbanti, A., Santos, F.D., Gomes, A., Hilden, M., Laihonon, P., Marinova, N., Santini, M.: Methods for assessing coastal vulnerability to climate change, *European Environment Agency, European topic centre on climate change impacts, vulnerability and adaptation*, pp.1-93, 2011.
- [25] PAP/RAC: *Monitoring of IMAP Common Indicator 16: Length of Coastline Subject to Physical Disturbance Due to the Influence of Manmade Structures – Primorje-Gorski Kotar County*, 2019.
- [26] HGI: *Geološka karta Republike Hrvatske 1:300.000*, 2009.
- [27] Tabain, T.: Standard wind wave spectrum for the Adriatic Sea revisited (1977-1997), *Brodogradnja*, 45, pp. 303-313, 1997.
- [28] Penzar, B., Penzar, I., Orlić, M.: *Vrijeme i klima hrvatskog Jadrana*, Hrvatski hidrografski institut, Nakladna kuća 'Dr. Feletar', Zagreb, pp. 258, 2001.
- [29] Leder, N., Smirčić, A., Vilbić, I.: Extreme values of surface wave heights in the northern Adriatic, *Geofizika*, 15, pp. 1-13, 1998.
- [30] Ružić, I., Benac, Č., Dugonjić Jovančević, S., Radišić, M.: The Application of UAV for the Analysis of Geological Hazard in Krk Island, Croatia, Mediterranean Sea, *Remote Sensing*, 13 (1790), pp. 1-14, 2021.
- [31] Gornitz, V.: Global coastal hazards from future sea level rise, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (Global and Planetary Change Section)*, 89(4), pp. 379-398, 1991.
- [32] Gornitz, V.: Vulnerability of the east coast, USA to future sea-level rise, *Journal of Coastal Research*, Special is, pp. 201-237, 1990.
- [33] Bognar, A.: Inženjerskogeomorfološko kartiranje, *Acta geographica Croatica*, 27, pp. 173-185, 1992.
- [34] Booij, N., Ris, R.C., Holthuijsen, L.H.: A third-generation wave model for coastal regions 1. Model description and validation, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 104, pp. 7649-7666, 1999.
- [35] DHMZ: *Vjetrovalna klima za područje uvale kod ušća Dobračine u Crikvenici*, 2006.
- [36] Ružić, I.: *Analiza ranjivosti obalnog pojasa Primorsko-goranske županije zbog podizanja razine mora*, 2020.
- [37] Ružić, I., Benac, Č., Ilić, S., Krvavica, N., Rubinić, J.: Geomorfološke promjene minijaturnog žala na kršu, *Hrvatske vode*, 26(103), pp. 27-34, 2018.
- [38] ETC CCA: *Methods for Assessing Coastal Vulnerability to Climate Change. ETC CCA Technical Paper 1/2011*, 2011.
- [39] Dugonjić Jovančević, S.: *Procjena hazarda pojave klizanja u flišu*, Građevinski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2013.
- [40] Trenhaile, A.S.: Shore platform erosion and evolution: Implications for cosmogenic nuclide analysis, *Marine Geology*, 403, pp. 80-92, 2018.
- [41] Trenhaile, A.S., Gagnon, J., Prestanski, K.J., Porter, N.I.: Cliff notch formation along the sub-tropical La Paz Peninsula, Southern Baja California, Mexico, *Marine Geology*, 368, pp. 15-24, 2015.
- [42] Jutarnji list, <https://www.jutarnji.hr/vijesti/crna-kronika/odron-kamenja-ubio-madara-na-divljoj-plazi/2824958/>, 01.07.2021.