

RANJIVOST OBALA OTOKA RABA ZBOG RASTA RAZINE MORA

doc. dr. sc. Igor Ružić, dipl. ing. građ.
Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet
Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka
iruzic@uniri.hr

prof. dr. sc. Čedomir Benac, dipl. ing. geol.
Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet
Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka

U ovom je radu opisana ranjivost obala otoka Raba koja može biti prouzročena prognoziranom porastom razine mora do kraja 21. stoljeća. Opisane su posljedice koju taj prirodni fenomen može prouzročiti. Analizirana su tri scenarija pojava visoke razine mora: kod stagnacije globalne morske razine te kod porasta za 30 i 60 cm. Analize su napravljene na topografskim kartama mjerila 1:5000. Ustanovljene su najugroženije urbanizirane obalne zone: uvala Sv. Eufemija, luka grada Raba, Supetarska Draga i uvala Lopar. Procijenjen je utjecaj povišenja morske razine na djelovanje valova u istraženim obalnim zonama. Kao posljedica porasta morske razine može se očekivati širenje zaslanjenih priobalnih zona na poljoprivredne površine. Vjerojatno će se pojačati marinske erozije na obalama, što će prouzročiti nazadovanje klifova i/ili smanjenje tijela brojnih pjeskovitih žala. Problem može biti i otežana odvodnja s niskih i zaravnjenih dijelova terena kao i rad lokalne oborinske i fekalne kanalizacije. Mogu biti ugroženi i stambeni objekti koji su posljednjih desetljeća izgrađeni u niskim obalnim zonama, kao i neke građevine u srednjovjekovnoj gradskoj jezgri Raba.

Ključne riječi: rast razine mora, visoka voda, hazard, ranjivost, otok Rab, Jadransko more

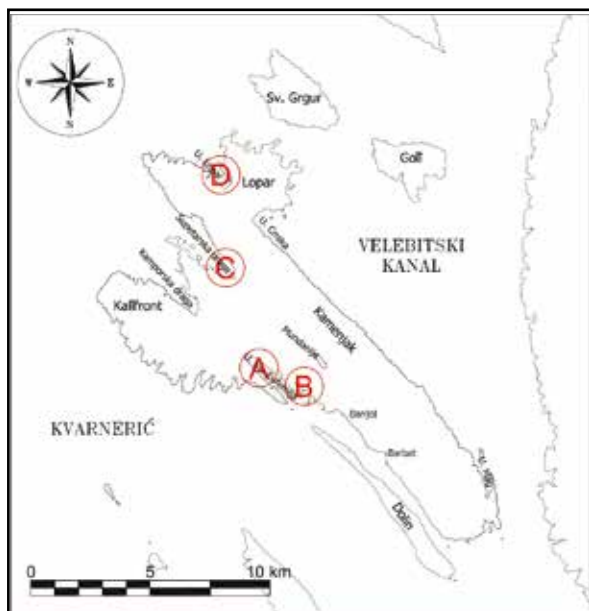
1. UVOD

Litoralizacija, odnosno boravak i djelovanje sve većeg broja ljudi u obalnom pojasu, danas je globalna pojava. Razvijene države, u sklopu upravljanja obalnim pojasom, posebnu pažnju posvećuju procjeni stupnja hazarda od očekivanog ubrzanog rasta morske razine, ali i rizika kao neminovne posljedice te pojave (Montgomery, 2011.). Promjena razine mora je globalna pojava (Pirazzoli, 1996.), a instrumentalno se opaža već od kraja 19. stoljeća, pri čemu su trendovi vrlo različiti (Church i White, 2011.). Na području Jadranskog mora zabilježeni su trendovi promjene morske razine u rasponu od $2,0 \pm 0,9$ do $3,4 \pm 1,1$ mm/god (Tsimplis et al. 2009.), što iznosi približno 20 do 34 cm do kraja 21. stoljeća. Prema novijim analizama, zbog globalnog zatopljenja, očekivani ubršani porast morske razine na globalnoj razini može biti 62 ± 14 cm također do kraja 21. stoljeća (Orlić i Pasarić, 2013.). To je zabrinjavajuća prognoza, pa stoga i rizik od plavljenja prouzročen porastom razine mora na

hrvatskom dijelu Jadranskog mora ne treba zanemariti. Na hrvatskoj obali Jadranskog mora izraženi su recentni tektonski pokreti, zbog čega je moguće utvrditi samo relativnu promjenu morske razine u usporedbi s globalnim promjenom (Prelogović et al., 2003.; Surić et al., 2014.).

Hazard je vjerojatnost pojavljivanja potencijalno štetnih prirodnih pojava (prirodni hazard) i/ili uzrokovanih ljudskom aktivnošću (antropogeni hazard) u određenom razdoblju i unutar nekog prostora. Hazardni svih tipova mogu imati primarne, sekundarne i tercijarne efekte. Rizik je očekivani stupanj štete kod pojave nekog oblika hazarda u odnosu na gubitak ljudskih života, imovine kao i štetan utjecaj na okoliš. Rizik uključuje kvantifikaciju vjerojatnosti događaja nekog oblika hazarda koji može imati štetne posljedice. U praksi se procjenjuje prihvatljiv stupanj rizika. Ranjivost je stupanj gubitaka određenih elemenata ili grupe elemenata kod pojave rizika određene magnitude (Bell, 2002.).

U ovom je radu obavljena analiza hazarda zbog očekivanog porasta razine mora, kao i moguće posljedice, odnosno stupanj ranjivosti koju taj prirodni fenomen može prouzročiti na obalama otoka Raba. Prethodno je obavljena preliminarna analiza cjelokupne obale Kvarnera (Benac et al., 2007.). Nakon toga je odabran upravo otok Rab, jer autori smatraju da je stupanj njegove ranjivosti veći, zbog njegovih prirodnih značajki, prvenstveno geomorfoloških i geoloških obilježja (Benac et al., 2012.). Na otoku su nakon analize cjelokupne obale odabrane četiri lokacije (uvala Sv. Eufemija, luka grada Raba, Supetarska Draga i uvala Lopar) za koje autori ovog rada procjenjuju da će očekivani utjecaji porasta razine mora bit najizraženiji zbog njihove naseljenosti i morfologije obale (slika 1).



Slika 1. Otok Rab s položajem istraženih lokacija: A - uvala Sv. Eufemija, B - luka grada Raba; C - Supetarska Draga; D - uvala Lopar

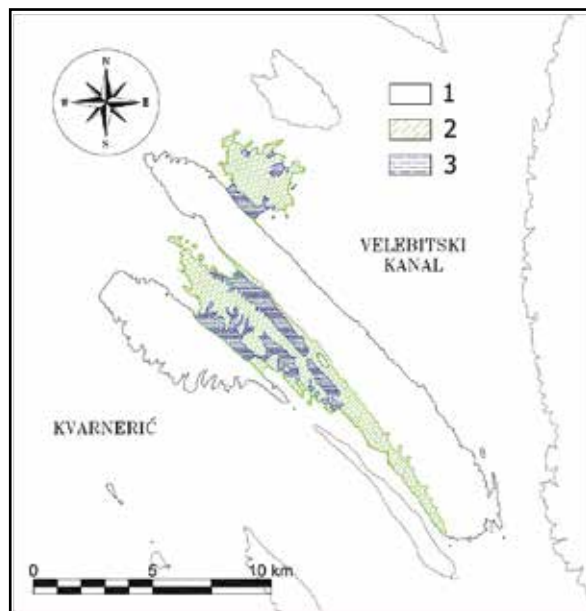
2. GEOMORFOLOŠKE ZNAČAJKE I GEOLOŠKA GRAĐA OTOKA

Otok Rab se nalazi u jugozapadnom dijelu kvarnerskog akvatorija. Oko otoka Raba nalazi se više nenaseljenih otoka i otočića. Otok Dolin je na jugozapadu, Sv. Grgur i Goli na sjeveroistoku. Otočići Mamon, Sridnjak i Šailovac su na sjeverozapadu, otočić Sv. Juraj (Tunera) je ispred rapske luke, otočić Mišnjak je na krajnjem jugoistoku (slika 1). Na Rabu boravi 9928 stalnih stanovnika (Državni zavod za statistiku, 2011.), a njihov broj se višestruko povećava tijekom ljetnih mjeseci. Otok Rab ima nepravilan oblik izdužen u pravcu SZ - JI (slika 1). Površina samog otoka Raba je 90,8 km², ukupna dužina obale je 123,8 km. Površina rapske otočne skupine je 115,62 km².

Otok Rab je morfološki vrlo raznolik. Glavne geološke strukture - antiklinale i sinklinale, imaju pružanje SZ - JI, koje je paralelno pružanju orografskih osi. Vapnenačke gornjokredne stijene, a djelomično i paleogenske vapnenačke stijene izgrađuju antiklinalne

forme, a siliciklastične paleogenske stijene (lapori i 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 (HGI, 2009.).

Morfološki najistaknutiji dio otoka je hrbat Kamenjak koji je oblikovan u vapnencima gornje krede. To je tipičan krški teren, a tu je ujedno i najviša kota otoka (409 m n.m.). U siliciklastičnim stijenama, koje imaju značajke fliša, oblikovani su niži dijelovi terena, ali i uzvišenja u središnjem dijelu otoka Raba kao i poluotok Lopar na sjeveru otoka. U naslagama fliša pretežito pješčenjačkog sastava, oblikovana su uzvišenja u središnjem dijelu otoka Raba, dio padina između Supetarske Drage i Banjola. U tom su litogenetskom tipu stijena također oblikovani morfološki oblici jedinstveni na hrvatskoj obali Jadranskog mora. To su: poluotok Lopar s nizom manjih rtova i nekoliko hridi, poluotok između Kamporske i Supetarske Drage s nekoliko otočića i hridi, kao i poluotok na kojem se nalazi srednjovjekovna jezgra grada Raba. Na uzvišenjima poluotoka Lopara osnovna siliciklastična stijena pokrivena je prapornim sedimentima višemetarske debljine (slika 2).



Slika 2. Pregledna geološka karta otoka Raba (prema: Benac et al, 2012); 1-karbonate stijene gornje krede i paleogene, 2-siliciklastične stijene paleogene, 3-kvartarne naplavine

Najniže dijelove terena u središnjem dijelu otoka Raba pokrivaju recentne naplavine pretežito pjeskovito-muljevitoog sastava. Površinski veće zone naplavina nalaze se u depresiji između Kamporske Drage i uvale Sv. Eufemija, a zatim od Supetarske Drage prema Banjolu. Manje zone naplavina nalaze se na više mjestima. Niska prevlaka između uvala Lopar i Crnika na polutoku Lopar, također je pokrivena naplavinama (slike 1 i 2).

Krška zaravan u predjelu Suha punta na jugozapadnom dijelu otoka Raba oblikovana je u vapnencima gornje krede koji su djelomice pokriveni praprom, a dna brojnih jaruga šljunkom i oblucima.

2.1 Obale

Sadašnji izgled reljefa obalnog područja i podmorja Kvarnera, pa tako i otoka Raba, posljedica je tektonskih pokreta, oscilacija morske razine, ali i morfo-genetskih procesa različitog intenziteta prouzročenih promjenama klime (Benac i Juračić, 1998.). U skladu s oscilacijama morske razine tijekom pleistocena i holocena mijenjao se raspored te intenzitet erozije i akumulacije u području Kvarnera. Zato su takve promjene morske razine ostavile tragove na obalama i podmorju oko otoka Raba (Juračić et al., 2009.; Benac et al., 2012.).

Osnovno pružanje orografskih osi otoka Raba SZ – JI, kao i opisana geološka građa ima za posljedicu položaj i oblik rtova i zaljeva oko otoka (slika 2). U plitkoj, priobalnoj zoni oblikovanoj u karbonatnim stijenama, podmorske padine su kamenite. To je litoralna i infralitoralna zona pod utjecajem erozijskog djelovanja valova. Na stjenovitoj podlozi mjestimice se nalaze sedimenti nastali marinskom erozijom obale ili pak doneseni s kopna.

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 siltitima oblikovane su uvala s pješčanim žalima, što je posebice izraženo na poluotoku Loparu.

Sjeveroistočne padine i obala hrpta Kamenjak, od uvale Crnika na prevlaci poluotoka Lopara pa sve do uvale Mag na jugoistoku, hridinaste su i vrlo strme. Obala otoka okrenuta otoku Dolinu blago je položena. Jugoistočni dio obala je hridinast. Dalje prema sjeverozapadu, uz naselja Barbat i Banjol, na obali se nalaze pjeskovito-šljunkovita žala s brojnim molovima. Obala između naselja Banjola i gradske luke dijelom je hridinasta, a u uvalama se nalaze pjeskoviti žali koji su ujedno i najvažnija mjesna kupališta. Obala u gradskoj luci preoblikovana je izgradnjom obala.

Uvučeni dio uvale Sv. Eufemija vrlo je plitak i zamočvaren, a bokovi hridinasti i strmi. Dubina mora ne prelazi 10 m čak 600 m od obalne crte. Obala krške zaravni Kalifront, smještene na zapadnom dijelu otoka Raba, hridinasta je, ali većinom blago položena. U reljefu se ističu suhe krške doline, čiji morem potopljeni nizvodni dijelovi tvore uske uvale. Na njihovim krajevima nalaze se šljunčani žali.

Uvale Kamporska i Supetarska Draga otvorene su prema sjeverozapadu. Njihovi uvučeni krajevi su zamočvareni, a dno vrlo plitko. U Kamporskoj Dragi obala je djelomično izmijenjena nasipavanjem, a u Supetarskoj dragi izgradnjom marine. Ovi zaljevi odijeljeni su rtom oblikovanom u siliciklastičnim stijenama. Na obalama oko rta mjestimice se nalaze pjeskoviti žali. Sjeveroistočne obale Supetarske drage hridinaste su i strme te teško pristupačne.

Poluotok Lopar jedinstvena je geomorfološka pojava u hrvatskome dijelu Jadranskog mora, uz već spomenuti

rt i otočiće između Kamporske i Supetarske drage. Rtovi su hridinasti i strmi, a na obalama brojnih uvala nalaze se pjeskoviti žali. Uvala Lopar, koja se nalazi na sjeverozapadnom dijelu prevlake, vrlo je plitka i potpuno izmijenjena nasipavanjem. U uvali Crnika na jugoistočnom dijelu prevlake poluotoka, nalazi se najduži pjeskoviti žal u području Kvarnera.

2.2 Klimatske i 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 (Tabain, 1997.; Penzar et al., 2001.). U relativno zatvorenim akvatorijama Kvarnera privjetrišta su kraća u odnosu na otvoreni dio Jadranskog mora i stoga valovi imaju manje visine pri istoj brzini vjetra u odnosu na otvoreni dio Jadranskog mora. Iako sjeveroistočni vjetar (bura) ima najveću učestalost i dosiže najveću brzinu, vjetrovi koji pušu iz južnog kvadranta, poglavito jugo, generiraju najviše valove (Leder et al., 1998.).

Jadransko more je po svom obliku izduženo i relativno uski epikontinentalni bazen položen u pravcu SZ-JI. Izmjena vodenih masa sa Sredozemnim morem odvija se kroz Otrantska vrata. Morske mijene u Jadranskom moru nastaju kao posljedica koosciliranja s Jonskim morem. Karakteristično je protusatno kruženje plimnog vala s periodom od 12,42 sata. 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 se može sniziti za 40 cm, a u vrijeme niskog tlaka, popraćenog jugom, podići i do 70 cm iznad srednje razine (Penzar et al., 2001.).

Visoka voda ili *acqua alta* pojava je ekstremno visoke plime u Jadranu koja svoj maksimum može doseći u Venecijanskoj laguni, gdje je dobila naziv. 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.

Rekordno visoke razine mora zabilježene su u posljednjem desetljeću i na području Kvarnera: na mareografu u Bakru 1. 12. 2008. razina od 117 cm iznad srednje razine mora i 1. 11. 2012. godine 122 cm (Ružić et al., 2015.).

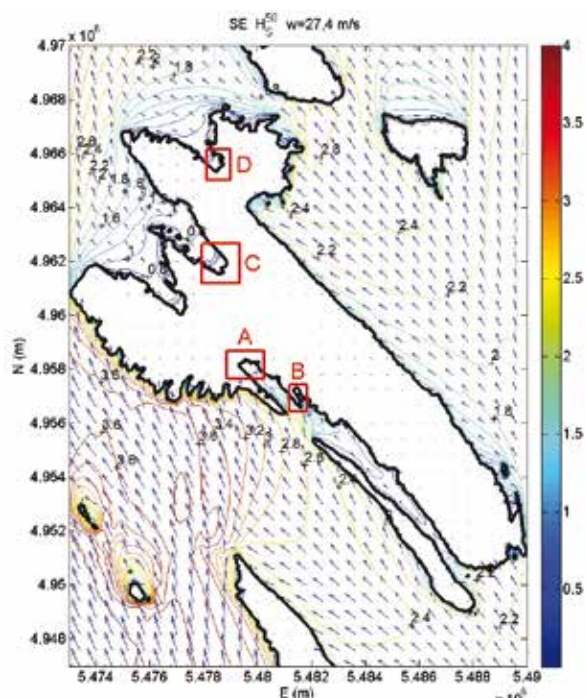
Ekstremno visoke razine mora mogu nastati zbog seša ili olujnog uspora. Seš ili šćiga je slobodna oscilacija razine vode koja se pojavljuje u Jadranskom moru uzrokovana vanjskom pobudom, često kao posljedica naglih promjena tlaka zraka i vjetra. Ekstremno visoki seši nazivaju se i meteo tsunami. Olujni uspor uzrokuje plavljenje obale zbog rasta razine mora uzrokovano niskim atmosferskim tlakom zbog snažne ciklone. Ta pojava se posebno izražena ako se usklade pojava plime, vjetrovni valovi i kretanje mase vode prema plitkoj obali (Penzar et al., 2001.).

3. METODOLOGIJA

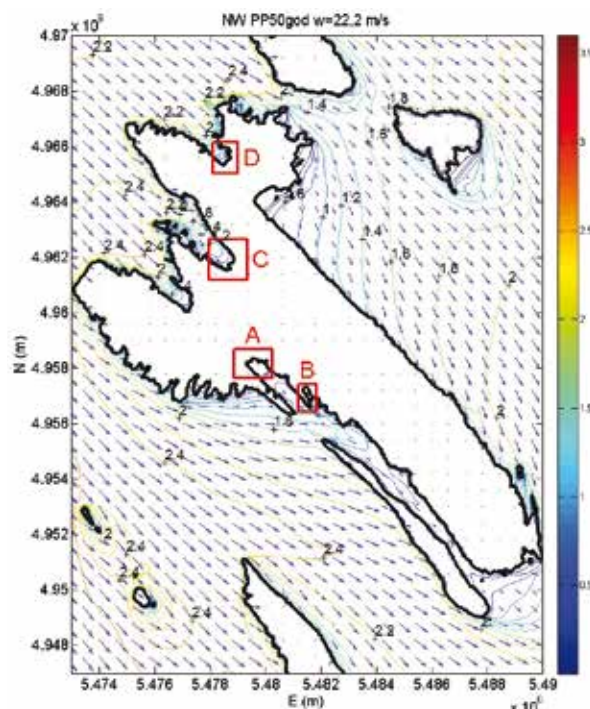
3.1 Numeričke simulacije valova

Numeričke simulacije valovanja provedene su pomoću numeričkog modela valovanja SWAN. Numerički model treće generacije za primjenu u obalnim područjima Simulating Waves Nearshore (SWAN) temelji se na Eulerovoj formulaciji ravnotežne jednadžbe spektralnog valnog djelovanja (Booij et al., 1999.). Kod modela SWAN uzeta su u obzir sljedeća fizikalna svojstva: širenje vala u vremenu i prostoru, oplicavanje valova, refrakcija uzrokovana strujama i dubinom, promjena frekvencije uslijed djelovanja morskih struja i promjenjiva dubina, generiranje valova vjetrom, nelinearna djelovanja: trostruka i četverostruka interakcija valova, površinski lom valova, trenje s dnom i lom uslijed promjene dubine, transmisija kroz prepreke, refleksija od prepreka i difrakcija. Model je nadograđen promjenom parametara valova u plitkom području – difrakcijom (Holthuijsen et al., 2003.). Za numeričke simulacije korišten je JONSWAP valni spektar s parametrom $\gamma = 3,3$. Numeričke simulacije valova provedene su do obale, odnosno do simulirane morske razine.

U radu su provedene numeričke simulacije valovanja istraženih lokacija za valove iz sjeverozapadnog (*eng. NW*) i jugoistočnog (*eng. SE*) smjera za 50-godišnji povratni period. Simulacije se odnose na sadašnju srednju morską razine, kao i za moguće povišenje morske razine od 30 i 60 cm. Cilj ovih simulacija je procjena povećanja značajnih visina valova, odnosno djelovanja valova na obalu. Moguće promjene značajnih visina valova prikazane su za slučaj povećanja morske razine od 60 cm za sve četiri analizirane lokacije. Za Supetarsku Dragu prikazane su promjene



Slika 3. Značajna visina (H_s) i smjer pružanja ($^\circ$) valova tramuntane (NW) 50-godišnjeg povratnog perioda, rezultati numeričkog modela SWAN. Simulacije su provedene za srednju morską razine.



Slika 4. Značajna visina (H_s) i smjer pružanja ($^\circ$) valova juga (SE) 50-godišnjeg povratnog perioda, rezultati numeričkog modela SWAN. Simulacije su provedene za srednju morską razine.

značajnih visina valova u slučaju povišenja morske razine za 30 i 60 cm, iz razloga što su na toj lokaciji uočljive razlike u slučaju povišenja morske razine za 30 cm.

Numeričke simulacije valovanja provedene su za vjetrove iz smjera sjeverozapada (*NW*) i jugoistoka (*SE*) jer imaju najveći utjecaj na istražene lokacije zbog njihovog položaja i orijentacije u odnosu na smjer propagacije valova (slika 1). Analize valova iz smjera sjeveroistoka (*eng. NE*, *bura*) nisu provedene jer su istražene lokacije zaštićene od valovanja iz tog smjera. Prikazani su rezultati numeričkih simulacija valovanja iz smjera sjeverozapada i jugoistoka za širi akvatorij oko otoka Raba sa konstantnim jačinama vjetra za 50-godišnji povratni period. Mjerodavne jačine vjetra odabrane su na osnovi podataka iz dostupne studije izrađene za Vinodolsko-velebitski kanal (DHMZ, 2006.). Značajne visine valova tramuntane (*NW*) za 50-godišnji povratni period simulirane su na osnovi uniformnog polja vjetra brzine od 22,2 m/s, dok je za jugo (*SE*) mjerodavna brzina vjetra od 27,4 m/s (slike 3 i 4).

Istražene lokacije Supetarska Draga i uvala Lopar otvorene su prema sjeverozapadu (*NW*) i stoga su izložene vjetrovima i valovima tog smjera. Potrebno je napomenuti da tramuntana na ovom dijelu Kvarnera puše iz tog smjera, a ne iz smjera sjevera i rijetko dostiže olujnu jačinu. Simulirane značajne visine valova za 50-godišnji povratni period (H_s^{50}) ispred uvale Supetarska Draga su oko 2,40 m, a ispred uvale Lopar oko 2,20 m. Smjer kretanja valova paralelan je uzdužnoj osi uvale (slika 3, 10 i 12).

Uvala Sv. Eufemija i luka uz grad Rab izložene su vjetrovima i valovima iz smjera jugoistoka (*SE*). Zbog veće učestalosti i relativno dugog privjetrišta valovi iz jugoistoka su znatno veći i češći u odnosu na one iz

sjeverozapada. Simulirane značajne visine valova juga su oko 2,60 m za 50-godišnji povratni period (H_{50}) ispred grada Raba (slika 4 i 8).

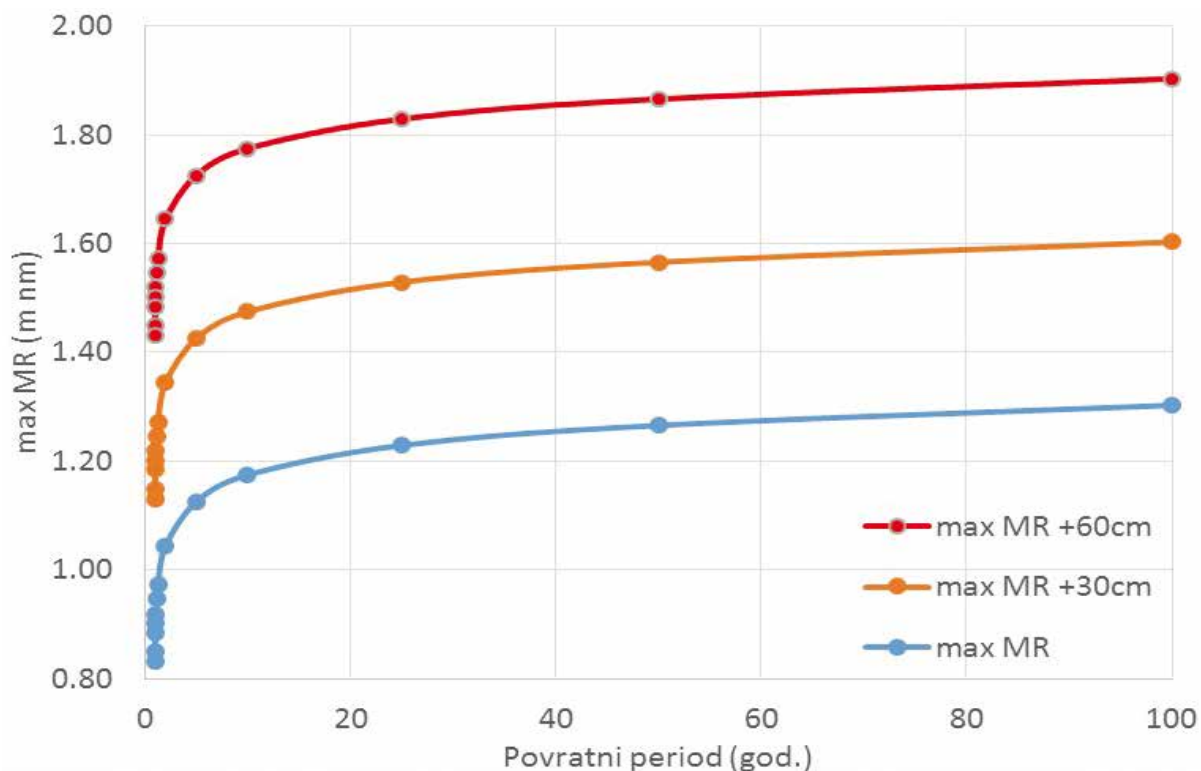
3.2 Promjene morske razine

Maksimalne morske razine u Bakru izračunate su na osnovi mareografskih podataka od 1954. do 2001. godine (Ružić, 2003.). Proračun maksimalnih godišnjih razina mora različitih povratnih razdoblja proveden je pomoću različitih krivulja raspodjele (Gaussova, Galtonova, Pearson 3, Gumbelova) na nizu maksimalnih godišnjih razina mora u Bakru. Najbolje prilagođena funkcija na promatrani niz empiričkih vrijednosti je funkcija Pearson 3 (tablica 1), što je potvrđeno i testom A. N. Kolmogorova (Ružić, 2003.).

Tablica 1. Proračun maksimalnih godišnjih nivoa mora različitih povratnih razdoblja u Bakru (Ružić, 2003.)

p (%)	povratni period (god.)	Niz ekstrema - Pearson 3 (m n. m.)
1	100	1,30
2	50	1,27
4	25	1,23
10	10	1,17
20	5	1,13
50	2	1,04
80	1,2500	0,97
90	1,1111	0,95
96	1,0417	0,92
98	1,0204	0,90
99	1,0101	0,88
99,9	1,0010	0,85
99,9	1,0001	0,83

p: vjerojatnost pojave



Slika 5. Prognoza visokih razina mora u Bakru (Ružić, 2003.) u slučaju stagnacije i povišenja morske razine za 30 i 60 cm.

Na temelju prognoze porasta razine mora napravljeni su dijagrami odnosa porasta morske razine i vjerojatnosti pojave visoke vode za povratni period od 100 godina (1,30 m n.m., tablica 1), odnosno približno do kraja 21. stoljeća (slika 5). Naime, za to razdoblje napravljene su prognoze porasta morske razine od 62 ± 14 cm (Orlić i Pasarić, 2013.). Pri tomu su analizirana tri moguća scenarija: stagnacija morske razine, kao i porast od 30 i 60 cm, te njihov učinak na plavljenje otoka Raba (slika 5).

3.3 Kartografske podloge

Kao podloga za analizu korištena je Hrvatska osnovna karta i Digitalna orto-foto karta iz 2004. godine u mjerilu 1:5000 (listovi Lopar 5-2-1-111-6, Lopar 5-3-1-111-6, Lopar 5-4-1-111-6, Lopar 5-5-1-111-6, Lopar 5-8-1-111-6, Lopar 5-9-1-111-6, Lopar 5-10-1-111-6, Lopar 5-13-1-111-6, Lopar 5-14-1-111-6, Lopar 5-15-1-111-6, Lopar 5-17-1-111-6, Lopar 5-18-1-111-6, Lopar 5-19-1-111-6, Lopar 5-20-1-111-6, Lopar 5-22-1-111-6, Lopar 5-23-1-111-6, Lopar 5-24-1-111-6, Lopar 5-25-1-111-6, Klada 5-21-2-111-6, Rab 5-3-3-111-6, Rab 5-4-3-111-6, Rab 5-5-3-111-6, Rab 5-10-3-111-6, Rab 5-15-3-111-6, Jablanac 5-1-4-111-6, Jablanac 5-2-4-111-6, Jablanac 5-6-4-111-6, Jablanac 5-7-4-111-6, Jablanac 5-11-4-111-6, Jablanac 5-12-4-111-6, Jablanac 5-16-4-111-6, Jablanac 5-17-4-111-6). Rezultati su prikazani na digitalnim orto foto kartama mjerila 1:5000 (slike 6, 7, 9 i 12).

Na osnovnim kartama mjerila 1:5000 ucrtane su linije maksimalnog mogućeg dosega plavljenja na temelju očekivanih maksimalnih razina mora za povratni period od 100 godina. Pretpostavljene kote plavljenja su 1,30 m

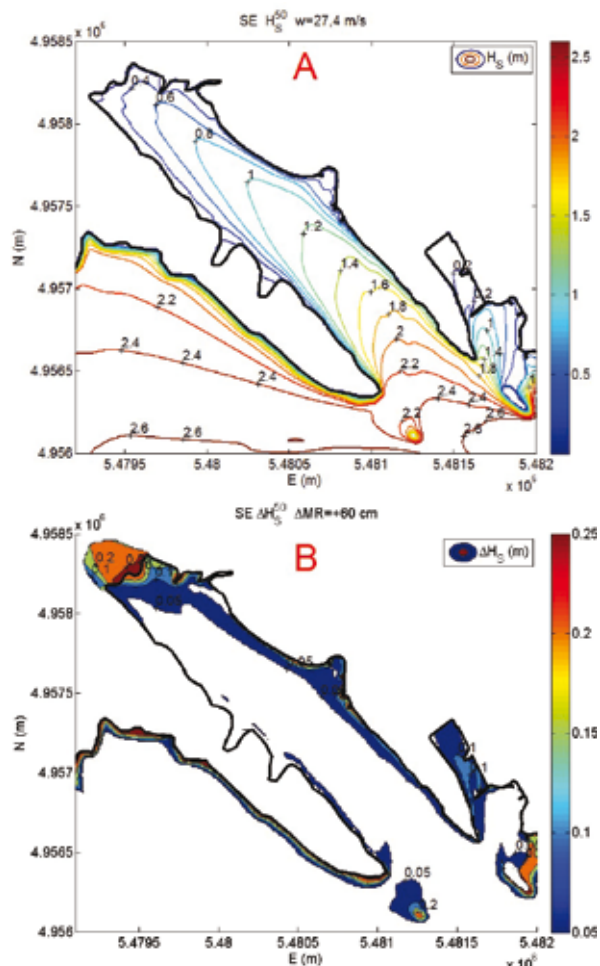


Slika 6. Uvala Sv. Eufemija: učinak plavljenja u slučaju visoke morske razine 100 godišnjeg povratnog perioda (1,30 m n.m.) i predviđenih povećanja visokih razina mora od 30 i 60 cm.

n.m. u slučaju stagnacije morske razine, odnosno 1,60 m n.m. i 1,90 m n.m. u slučaju povišenja morske razine za 30 i 60 cm (slike 6, 7, 9 i 12). S obzirom na relativno malu gustoću kota s apsolutnim visinama, mjestimice je izvršena interpolacija. Prilikom toga je analizirana cjelokupna obala otoka Raba. U ovom su radu prikazane samo lokacije na otoku Rabu gdje se smatra da će učinak porasta razine mora biti najizraženiji. To su: uvala Sv. Eufemija, luka Rab, uvala Lopar i Supetarska Draga (slika 1). Zbog veće preglednosti rezultati analiza prikazani su na orto-foto kartama istoga mjerila. Te karte sadrže nove podatke o stanju u prostoru, za razliku od osnovnih državnih karata mjerila 1:5000 čija je izrada završena u sedamdesetim godinama 20. stoljeća.



Slika 7. Luka grada Raba: učinak plavljenja u slučaju visoke morske razine 100 godišnjeg povratnog perioda (1,30 m n.m.) i predviđenih stagnacija i povećanja razina mora od 30 i 60 cm



Slika 8. a) Značajna visina (H_s) valova juga (SE) 50 godišnjeg povratnog perioda, uvala Sv. Eufemija i luka grada Raba; b) povećanja visine valova u slučaju povećanja morske razine za 0,60 m stagnacije i povećanja razina mora od 30 i 60 cm

4. PROCJENA HAZARDA I RANJIVOSTI ZBOG PORASTA MORSKE RAZINE

Nakon obavljene analize mogućih učinaka porasta morske razine na cjelokupnoj obali otoka Raba izdvojene su četiri lokacije koje su najviše izložene hazardu od plavljenja zbog ekstremno visokih razina mora. To su: uvala Sv. Eufemija, luka grada Raba, Supetarska Draga i uvala Lopar.

4.1. Uvala Sv. Eufemija i luka grada Raba

Ekstremne plime prouzročit će plavljenje djelomično zamočvarene površine uz sjeverozapadni i sjeveroistočni rub uvale Sv. Eufemija. Visoke vode mogle bi poplaviti i lokalnu cestu. Prilikom ekstremno visoke razine mora mogu biti ugroženi stambeni objekti i poljoprivredne površine uz sjeveroistočne obale uvale. Zbog uspora na ušću odvodnih kanala na sjeverozapadnom i sjeveroistočnom rubu uvale Sv. Eufemija također može doći do plavljenja terena (slika 6).

Zbog očekivanih ekstremno visokih razina mora mogu biti ugroženi relativno prostrani hipsometrijski niži dijelovi terena oko gradske luke. U odnosu na opisane



Slika 9. Supetarska Draga: učinak plavljenja u slučaju visoke morske razine 100 godišnjeg povratnog perioda (1,30 m n.m.) i predviđenih stagnacije i povećanja razina mora od 30 i 60 cm.

učinke plavljenja u uvali Sv. Eufemija, ovdje može biti ugroženo znatno više građevina, od kojih su neke i uz rub stare gradske jezgre (slika 7).

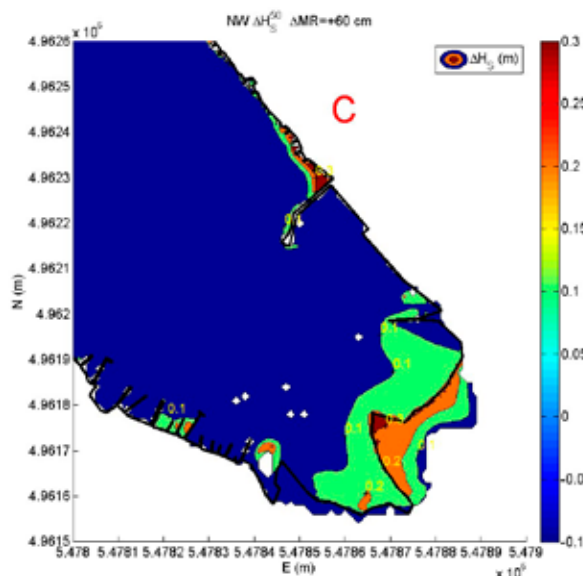
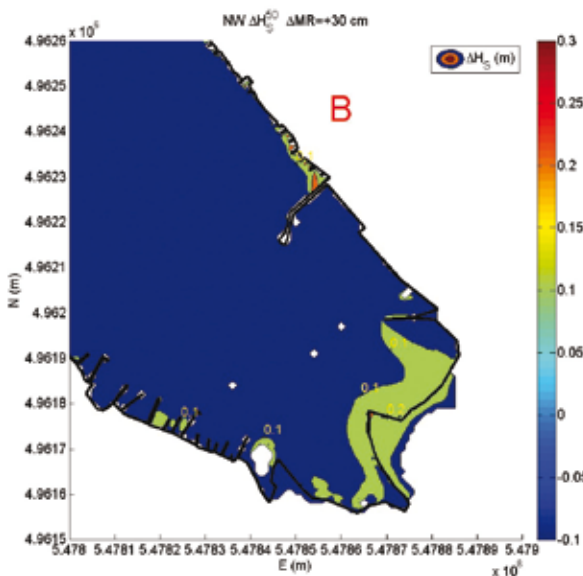
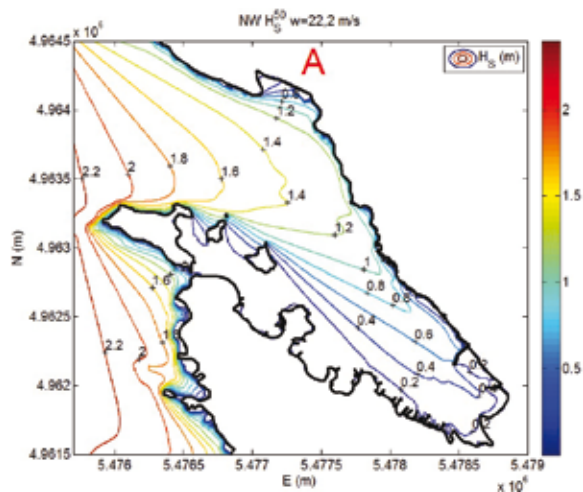
Jugo najjače djeluje na ulazu u uvalu Sv. Eufemija, gdje su značajne visine valova juga veće od 2 m. Simulirane značajne visine valova se smanjuju do najvučenijskog dijela uvale gdje su simulirane značajne visine valova oko 0,40 m (slika 8 a). Povećanje značajnih visina valova u slučaju povećanja morske razine za 60 cm prikazano je na slici 8 b.

U slučaju povećanja morske razine za 60 cm neće doći do značajnog povećanja visina valova u luci grada Raba i uvali Sv. Eufemija zbog relativno velike dubine akvatorija u odnosu na visinu valova. Najveće povećanje visina valova od oko 20 cm može se očekivati na sjeverozapadnom dijelu uvale Sv. Eufemije, gdje može doći do plavljenja zamočvarenog dijela (slike 6 i 8). Na tom dijelu obale nema građevina, obala je blago položena, pa nije realno očekivati značajne materijalne štete.

4.2 Supetarska Draga

Ekstremne plime prouzročit će plavljenje djelomično zamočvarene površine uz uvučeni jugoistočni dio uvale, koji ima znakovit naziv Soline. Visoke vode poplavit će lokalnu cestu i ugroziti županijsku cestu Rab-Lopar. Osim toga mogu biti ugroženi stambeni objekti i poljoprivredne površine na jugozapadnom dijelu uvale. Zbog uspora na ušću odvodnog kanala također može doći do plavljenja terena (slika 9).

Simulirane značajne visine valova (H_s^{50}) u uvali Supetarska Draga su u rasponu od 1,80 do 0,50 m na jugoistočnoj obali uvale (slika 10). Valovi najjače djeluju na sjeverozapadni dio uvale Supetarska Draga, gdje se mogu očekivati značajne visine valova od 1,20 do 0,60 m (slika 10 a). Taj dio obale je relativno strm, te se procjenjuje da neće doći do plavljenja većih površina u slučaju predviđenog porasta morske razine. Valovi na tom dijelu obale mogu prouzročiti manja oštećenja na mulićima, okućnicama i stambenim objektima uz more, ali i na obližnjoj županijskoj cesti.



Slika 10. a) Značajna visina (H_s) valova tramuntane (NW) 50-godišnjeg povratnog perioda, Supetarska Draga; b) povećanja visine valova u slučaju povišenja morske razine za 0,30 m; c) povećanja visine valova u slučaju povišenja morske razine za 0,60 m;



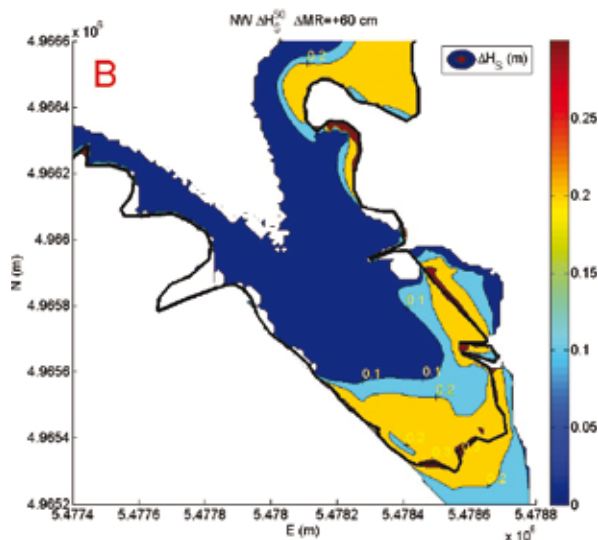
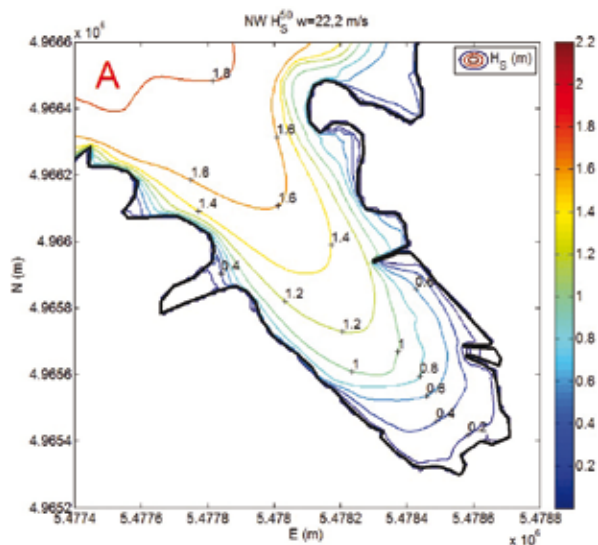
Slika 11. Supetarska Draga, jugoistočni, najjuvučeniji dio uvale

U slučaju povišenja morske razine za 30 cm doći će do povećanja visina valova na najjuvučenijem jugoistočnom dijelu uvale između 10 i 20 cm. U ostalim dijelovima povećanja značajnih visina valova tramuntane (NE) 50 godišnjeg povratnog perioda nisu izražene (slika 10 b). U slučaju povišenja morske razine za 60 cm doći će do izraženijeg povećanja visina valova (slika 10 c). Na sadašnjoj obali u jugoistočnom dijelu uvale (slika 11) moglo bi doći do povećanja značajnih visina valova od oko 30 cm (slika 10 c). Na tom dijelu značajne visine valova sa sadašnjom morskom razinom su manje od 20 cm (slika 10 a), što znači da bi došlo do povećanja visina valova od oko 150%, što može imati značajan utjecaj na eroziju obale (slika 11).

Povećanja značajnih visina valova u ostalim dijelovima uvale su manje od 20 cm, te se pretpostavlja da ne bi trebale imati značajniji utjecaj na obalu.



Slika 12. Uvala Lopar: učinak plavljenja u slučaju visoke morske razine 100 godišnjeg povratnog perioda (1,30 m n.m.) i predviđenih stagnacija i povećanja razina mora od 30 i 60



Slika 13. a) Značajna visina (H_s) valova tramuntane (NW) 50 godišnjeg povratnog perioda, uvala Lopar;
b) povećanja visine valova u slučaju povećanja morske razine za 0,60 m

4.3 Uvala Lopar

U uvučenom, jugoistočnom dijelu, koji je djelomično nasipan, a djelomično ima poljoprivrednu namjenu, može se očekivati plavljenje relativno velike površine tijekom očekivanih ekstremno visokih razina mora. Mogu biti ugroženi i stambeni objekti. Budući da sredinom tog područja prolazi odvodni kanal, negativni efekti visokih razina mora mogu biti vidljivi i uzvodno, odnosno može doći do plavljenja terena zbog uspora na ušću (slika 12).

Simulirane značajne visine valova (H_s^{50}) u uvali Lopar kreću se od 1,70 do 0,50 m (slika 13 a). Jugoistočno od trajektnog pristaništa visine valova značajno se smanjuju zbog plitkog dna u tom dijelu uvale. Na tom dijelu može doći do najvećih povećanja visina valova, od 10 do 25 cm, u slučaju povišenja morske razine od 60 cm (slika 13 b). To bi moglo imati utjecaj na dinamiku plitkog pješanog dna.

5. DISKUSIJA

Rezultati geomorfoloških i arheoloških istraživanja neosporno dokazuju da je morska razina na području sjevernog Jadrana bila niža oko dva metra (208 +/-60 cm) početkom nove ere, pri čemu se veći dio pripisuje tektonskom spuštanju, a manji dio glaciozostatskim procesima (Antoniol et al., 2007.). Položaj i oblik plimskih potkapina na području Kvarnera upućuje na razmjerno dugo razdoblje stagnacije morske razine, tijekom kojeg su mogle nastati u procesu bioerozije na karbonatnim obalama (Benac et al., 2004.; 2008.). Prema kasnijim analizama uzrok se može pripisati koseizmičkom spuštanju prouzročenom izrazito jakim potresom čiji je epicentar bio u području Bakarskog zaljeva (Stiros i Moschas, 2012.). Smatra se da su na hrvatskoj obali Jadranskog mora izraženi recentni tektonski pokreti (Prelogović et al., 2003.; Surić et al., 2014.). Zbog toga je moguće utvrditi samo relativnu promjenu morske razine u usporedbi s globalnim promjenom. Rezultati maregrafskih opažanja ukazuju na relativan porast razine mora na sjeverozapadnom dijelu hrvatske obale Jadranskog mora (uz izuzetak područja Bakarskog zaljeva, kao i relativnu stagnaciju jugoistočnog dijela (Surić, 2009., Tsimplis et al., 2009.).

Zemlje Europske unije, kao što je susjedna Italija, već određeno vrijeme izrađuju procjene ugroženosti obala zbog očekivanog porasta razine mora (Antonioni i Silenzi, 2007.). Nažalost, na području hrvatskog dijela Jadranskog mora do sada nisu napravljena cjelovita istraživanja koja bi ukazala na izloženost i ranjivost obala, kao i procijenile stupanj hazarda i rizika. Takove studije u pravilu ne bi trebale biti stvar pojedinačnog znanstvenog istraživanja, nego prije svega zadatak na regionalnoj i državnoj razini.

Grafički prikazi očekivanog porasta morske razine napravljeni su na temelju novih prognoza, prema kojima očekivani rast morske razine može biti do 62 +/- 14 cm do kraja 21. stoljeća (Orlić i Pasarić, 2013.). Zbog toga su za povratni period od 100 godina, odabrana tri scenarija pojava visoke vode: kod stagnacije morske razine, kod porasta za 30 i 60 cm (slika 5). Kao što je već napomenuto, analize su napravljene na listovima Hrvatske osnovne karte mjerila 1:5000. Stoga su i ucrtane izolirane samo približne, ali su dovoljno indikativne da se jasno mogu izdvojiti najugroženije lokacije na otoku Rabu (slika 1, 6, 7, 9 i 12). Na temelju provedenih numeričkih simulacija valovanja (slike 3 i 4), utjecaj povišenja razine mora neće imati značajan utjecaj na povećanje značajnih visina valova (slike 8, 10 i 13), no mogao bi imati lokalno nepovoljan učinak.

Osobito opasane mogu biti pojave olujnih uspora, ako koincidiraju s plimom, vjetrovnim valovima i kretanjem mase vode prema plitkoj obali (Penzar et al., 2001.). Stoga nije isključeno da se mogu pojaviti i više razine mora od prognoziranih, kao što je već zabilježeno na mareografu u Bakru: 2008. i 2012. godine, ali i plavljenja obale u luci Malog Lošinja 2008. i 2010. godine (Ružić et al., 2014. i 2015.).

Otok Rab je karakterističan po zamočvarenim zonama na kraju plitkih uvala, kao što su Supetarska Draga, Sv. Eufemija i uvala Lopar (slike 1, 6, 9, 11 i 13). Ta područja imaju znakovit naziv Soline s posebnom halofitnom vegetacijom. Na tim područjima može doći do značajnih povećanja djelovanja valova u slučaju povišenja morske razine (slike 8, 10 i 12), koja mogu nepovoljno utjecati na vegetaciju. Zbog očekivanog porasta morske razine i sve češćih ekstremnih plima (*acqua alta*) može se očekivati širenje zaslanjenih zona s halofilnom vegetacijom na sada obrađenim površinama.

Otok Rab je po svojoj geološkoj građi, odnosno velikom učešću siliciklastičnih stijena i geomorfološkim značajkama, jedinstven na hrvatskoj obali Jadranskog mora. Duljina obale otoka Raba je oko 123,80 km, a prirodni pjeskoviti žali protežu se čak na 22,41 km ili na više od 18% ukupne duljine obale. Manja rezistentnost siliciklastičnih stijena na učinke marinske erozije, kao i brojni žali, čine obale otoka Raba vrlo ranjivim, zbog očekivanog ubrzanog rasta morske razine. Tomu pridonosi i antropogeni utjecaj, prvenstveno vidljiv u stihijskoj ili nestručno obavljenoj izgradnji, što često remeti hidrodinamičku stabilnost tijela žala i utječe na njihovo smanjivanje (Benac et al., 2012.).

U slučaju predviđenih povećanja morskih razina, visine valova neće se značajno povećati do same obale, no na samoj će obali doći do povećanja visina valova (slike 8, 10 i 13). Ali i relativno malo povećanje valova u kombinaciji s predviđenim porastom morske razine može imati izrazito nepovoljne učinke zbog povećane erozije obala (Trenhaile, 2002.; Davidson-Arnott, 2010.). To može biti posebice izraženo na dijelovima obale koji su oblikovani u manje rezistentnim siliciklastičnim stijenama i kvartarnim tvorevinama kao što je ustanovljeno kod naselja Stara Baška na jugozapadnoj obali otoka Krka (Ružić et al. 2014. i 2015.).

U slučaju prognoziranih porasta morske razine mogu se očekivati poteškoće u funkcioniranju oborinske odvodnje. Također je zapaženo značajno povećanje površinskog otjecanja s novih urbaniziranih zona na otoku Rabu, budući da nije usporedno izgrađena odgovarajuća odvodnja.

6. ZAKLJUČAK

Analizirana je ranjivost obala otoka Raba zbog mogućeg hazarda od očekivanog porasta morske razine uz odabran povratni period do kraja 21. stoljeća. Analizirana su tri scenarija pojava visoke razine mora: kod stagnacije te kod porasta morske razine za 30 cm i 60 cm. Prilikom toga su uzeti u obzir i mogući lokalni učinci prouzročeni reljefom obale i morskog dna kao i lokalnom vjetrovalnom klimom. Iako su analize napravljene na listovima Hrvatske osnovne karte u mjerilu 1:5000, dobiveni podatci su dovoljno indikativni da se jasno mogu razaznati najugroženije lokacije na otoku Rabu. To su priobalna područja oko uvale Sv. Eufemije, luke grada Raba, Supetarske Drage i uvale Lopar.

Zbog očekivanog povišenja morske razine i sve češćih ekstremnih plima (*acqua alta*) može se očekivati širenje zaslanjenih zona s halofitnom vegetacijom i na sada obrađenim površinama. Vjerojatno će se pojačati učinak marinske erozije na obalama, uz moguće smanjenje tijela brojnih pjeskovitih žala koje čine jedan od temelja turističke ponude otoka Raba.

Stambeni objekti koji su posljednjih desetljeća izgrađeni u niskim obalnim zonama mogu biti ugroženi, kao i građevine uz sjeveroistočni rub srednjovjekovne gradske jezgre Raba. U slučaju povećanja morske razine mogu se javiti određeni problemi u vidu

funkcioniranja lučke infrastrukture.

Znanstvena procjena izloženosti i ranjivosti otoka Raba zbog hazarda od očekivanog i vrlo vjerojatnog porasta morske razine je nužna. Na temelju toga se može oblikovati strategija umanjivanja i izbjegavanja rizika bez čega nije moguće dobiti podatke za učinkovito prostorno planiranje, kao i za stratešku procjenu održivog razvoja otoka Raba. Metodologija primijenjena u ovom radu može biti doprinos i poticaj da se pokrenu sveobuhvatne analize rizika i ranjivosti zbog očekivanog povećanja hazarda prouzročenog porastom razine mora. ■

LITERATURA

Antonoli, F; Silenzi, S. (2007.): *Variazioni relative del livello del mare e vulnerabilità delle pianure costiere italiane. Quaderni della Societa geologica Italiana*, 2, 1-29.

Antonoli, F; Antidei, M; Lambeck, K; Auriemma, R; Gaddi, D; Furlani, S; Orrù, P; Solinas, E; Gaspari, A; Karinja, S; Kovačić, V; Surace, L. (2007.): Sea-level change during the Holocene in Sardinia and in the northeastern Adriatic (central Mediterranean Sea) from archaeological and geomorphological data, *Quaternary Science Reviews*, 26, 2463-2486.

Bell, F.G. (2002.): *Geological Hazards. Their assessment, avoidance and mitigation*. E & FN Spon, London-New York.

Benac, Č; Juračić, M. (1998.): Geomorphological indicators of the sea level changes during Upper Pleistocene (Wurm) and Holocene in the Kvarner region. *Acta Geographica Croatica*, 33, 27-45.

Benac, Č; Juračić, M; Bakran-Petricioli, T. (2004.): Submerged tidal notches in the Rijeka Bay NE Adriatic Sea: Indicators of relative sea-level change and of recent tectonic movements. *Marine Geology*, 212, 21-33.

Benac, Č; Ružić, I; Žic, E. (2007.): Ranjivost obala u području Kvarnera. *Pomorski zbornik*, 44, 201-214.

Benac, Č; Juračić, M; Blašković, I. (2008.): Tidal notches in Vinodol Channel and Bakar Bay, NE Adriatic Sea: Indicators of recent tectonics. *Marine Geology*, 248 (3-4), 151-160.

Benac, Č; Ružić, I; Ljutić, K; Ferenac-Grubišić, A. (2012.): Ranjivost obala otoka Raba. *Rapski zbornik*, 11, 235-243.

Booij, N; Ris, R.C; Holthuijsen, L.H; (1999.): A third-generation wave model for coastal regions, Part 1, Model description and validation. *Journal of Geophysical Research*, 104 (C4), 7649-7666.

Church, J. A; White, N. J. (2011.): Sea-level rise from the late 19th to the early 21st century. *Surveys in Geophysics*, 32, 585-602.

Davidson-Arnott, R. (2010.): *An Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

DHMZ (2006.): Vjetrovalna klima za područje uvale kod ušća Dubračine u Crikvenici. *Izješće*, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb

Državni zavod za statistiku (2011.) *Popis stanovništva, kućanstava i stanova 2011. godine*. Državni zavod za statistiku, Zagreb.

HGI (2009.): Geološka karta Republike Hrvatske 1:300.000. Hrvatski geološki institut, Zagreb, Hrvatska.

Holthuijsen, L.H; Herman, A; Booij, N. (2003.): Phase-decoupled refraction-diffraction for spectral wave models. *Coastal Engineering*, 49, 291-305.

Juračić, M; Benac, Č; Pikelj, K; Ilić, S. (2009.): Comparison of the vulnerability of limestone (karst) and siliciclastic coasts (example from the Kvarner area, NE Adriatic, Croatia). *Geomorphology*, 107 (1-2), 90-99.

Leder, N; Smirčić, A; Vilibić, I. (1998.): Extreme values of surface wave heights in the Northern Adriatic. *Geofizika*, 15, 1-13.

Montgomery, C.W. (2011.): *Environmental Geology*. McGraw Hill, New York, U.S. A.

Orlić, M; Pasarić, Z. (2013.): Semi-empirical versus process-based sea-level projections for the twenty-first century. *Nature Climate Change*, 3, 735-738.

Penzar, B; Penzar, I; Orlić, M. (2001.): *Vrijeme i klima hrvatskog Jadrana*, Biblioteka Geographia Croatica, 16, Hrvatski hidrografski institut, Split, Hrvatska.

Pirazzoli, P.A. (1996.): *Sea Level Changes. The Last 20.000 Years*. John Wiley & Sons, Chichester - New York, U.S.A.

Prelogović, E; Pribičević, B; Ivković, Ž; Dragičević, I; Buljan, R; Tomljenović, B. (2003.): Recent structural fabric of the Dinarides and tectonically active zones important for petroleum-geological exploration in Croatia. *Nafta*, 55 (4), 155-161.

Ružić, I. (2003.): Analiza razina mora sjevernojadranskog područja i njihova međuodnosa s pojavama visokih razina voda u vodotocima na primjeru ušća Dubračine. Diplomski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka

Ružić, I; Marović, I; Benac, Č; Ilić, S. (2014.): Coastal cliff geometry derived from structure-from-motion photogrammetry at Stara Baška, Krk Island, Croatia. *Geo-Marine Letters*, 34, 555-565.

Ružić, I; Benac, Č; Marović, I; Ilić, S. (2015.): Stability assessment of coastal cliffs using digital imagery. *Acta Geotechnica Slovenica*, 2015/2 (12), 25-35.

Stiros, S.C; Moschas, F. (2012.): Submerged notches, coastal changes and tectonics in the Rijeka area, NW Croatia. *Marine Geology*, 329-331, 103-112.

Surić, M. (2009.): Rekonstruiranje promjena morske razine na istočnoj obali Jadrana (Hrvatska) – pregled. *Geoadria*, 14(2), 181-199.

Surić, M; Korbar, T; Juračić, M. (2014.): Tectonic constraints on the late Pleistocene-Holocene relative sea-level change along the north-eastern Adriatic coast (Croatia). *Geomorphology*, 220, 93-103.

Tabain, T. (1997.): Standard wind wave spectrum for the Adriatic Sea revised (1977-1997), *Brodogradnja*, 45, 303-313.

Tsimplis, M.N; Raicich, F; Fenoglio-Marc, L; Shaw, A.G.P; Marcos, M; Somot, S; Bergamasco, A. (2009.): *Recent developments in understanding sea level rise at the Adriatic coasts*. Physics and Chemistry of the Earth Parts A/B/C, 40-41, 59-71.

Trenhaile, A.S. (2002.): Rock coasts, with particular emphasis on shore platforms. *Geomorphology*, 48(1-3), 7-22.

VULNERABILITY OF THE RAB ISLAND COASTLINE DUE TO SEA LEVEL RISE

Abstract. The paper describes the vulnerability of the Rab island coastline which may be caused by the forecast sea level rising by the end of the 21st century, including the consequences potentially resulting from this natural phenomenon. Three scenarios of high sea level occurrence were analysed: the case of stagnating global sea levels and the cases of sea level rising by 30 and 60 cm. The analyses were conducted on topographic maps in scale 1:5000. The following urbanised coastal zones were established: Sv. Eufemija cove, Port Rab, Supetarska Draga and Lopar cove. The impact of rising sea levels on the wave action in the investigated coastal zones was estimated. Due to rising sea levels, it can be expected that the salinized coastal zones will spread to agricultural land. It is probable that the marine erosion of the coastline will increase, causing a decline in cliffs and/or decrease in the size of numerous sandy beaches. Further problems may consist in a more difficult drainage of low and flat parts of the terrain and the functioning of the local stormwater and faecal sewerage. Additionally, residential buildings constructed in low-lying coastal zones in the recent decades may be threatened as well, including some structures in the medieval historic centre of the town Rab.

Key words: sea level rise, floods, hazard, vulnerability, Rab island, Adriatic sea

EMPFINDLICHKEIT DER KÜSTE DER INSEL RAB GEGENÜBER DEM STEIGENDEN MEERESPIEGEL

Zusammenfassung. Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Empfindlichkeit der Küste der Insel Rab gegenüber dem vorhergesagten Meeresspiegelanstieg bis Ende des 21. Jahrhunderts. Es werden die Folgen beschrieben, die durch diese natürliche Erscheinung verursacht werden können. Drei Szenarien wurden analysiert: Stagnation des globalen Meeresspiegels, Meeresspiegelanstieg um 30 cm und Meeresspiegelanstieg um 60 cm. Die Analysen wurden an topographischen Karten im Maßstab 1:5000 durchgeführt. Als die gefährdetsten urbanisierten Küstenzonen konnten die Bucht Hl. Eufemia, der Hafen der Stadt Rab, Supetarska Draga und die Bucht Lopar festgestellt werden. Der Einfluss des Meeresspiegelanstiegs auf die Wirkungen der Wellen in den untersuchten Küstenzonen wurde abgeschätzt. Wegen des Meeresspiegelanstiegs kann man die Ausbreitung von versalzten Küstenzonen auf landwirtschaftliche Flächen erwarten. Die Meereseosion an der Küste wird wahrscheinlich stärker sein, was zu Zurückweichen von Kliffen und/oder Verminderung zahlreicher Sandküsten führen wird. Erschwerte Entwässerung von niedrigen und flachen Teilen der Gelände wie auch das Funktionieren der lokalen Niederschlagswasserableitung und Schmutzkanalisation könnten als Probleme auftreten. Die in den letzten Jahrzehnten in den niedrigen Küstenzonen gebauten Wohnhäuser sowie einige Wohngebäude im mittelalterlichen Kern der Stadt Rab könnten auch gefährdet werden.

Schlüsselwörter: Meeresspiegelanstieg, Hochwasser, Gefahr, Empfindlichkeit, Insel Rab, Adriatisches Meer