

Dr.sc. **Čedomir BENAC**
Igor RUŽIĆ, dipl.ing.
Elvis ŽIC, dipl.ing.
Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci
Zavod za hidrotehniku i geotehniku,
Viktora Cara-Emina 5, 51000 Rijeka, Hrvatska

Ranjivost obala u području Kvarnera

Sažetak:

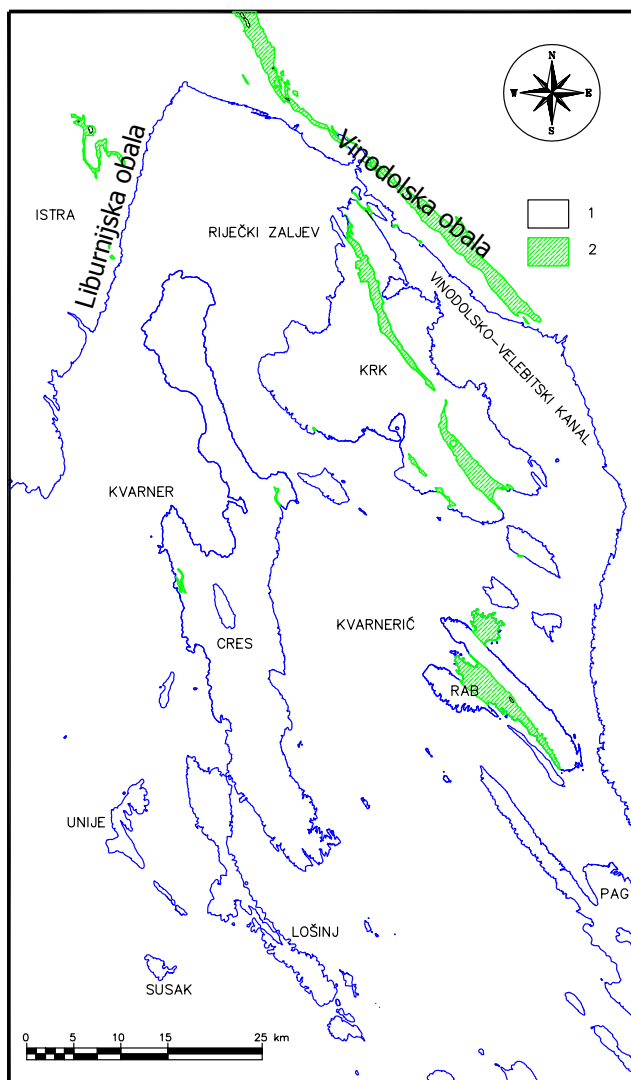
Područje Kvarnera je poluzatvoreni dio Jadranskog mora, smješten između liburnijske obale na istočnom dijelu istarskog poluotoka i vinodolsko-velebitske obale. Otočni nizovi Cres-Lošinj i Krk-Rab-Pag dijele to područje na Riječki zaljev, Kvarnerski zaljev (Kvarner *stricto*), Kvarnerić i Vinodolsko-Velebitski kanal. U obalnom pojasu područja Kvarnera (akvatorij sjevernog Jadrana između istarske i vinodolske obale, odijeljen otočkim nizovima Cres-Lošinj i Krk-Rab-Pag) karbonatne stijene prevladavaju, dok su siliciklastične stijene - fliš reducirane. Pleistocenski i holocenski sedimenti djelomično pokrivaju osnovne stijene. Sadašnji oblik stjenovitih karbonatnih obala prvenstveno je posljedica potopljenog krškog reljefa zbog rasta morske razine. U manje otpornim flišnim stijenama oblikovane su uvale i zaljevi, dok su zaravnjene obale djelomično zamočvarene. Valovima uzrokovana marinska erozija u području Kvarnera nije izražena na zaštićenim položajima. Zbog toga oblik obale prvenstveno ovisi o njenom litološkom sastavu. Prirodni šljunkovito-pjeskoviti žali čine mali dio ukupne duljine obale Kvarnera, no to su najatraktivnije, ali i najranjivije zone. U ovom radu su uspoređene Liburnijske i Vinodolske obale na kojima je jače izražen antropogeni utjecaj i devastacija obalnog okoliša pa tako i prirodnih žala. Također je uspoređeno stanje obalnog okoliša većih kvarnerskih otoka: Krka, Lošinja, Cresa i Raba. Najbolje je očuvana obala otoka Cresa, a Vinodolska obala je najviše izmijenjena građenjem. Najveći stupanj rizika, s obzirom na prognozirano podizanje morske razine, može se očekivati na obalama otoka Raba, koje su značajnim dijelom oblikovane u manje otpornim siliciklastičnim stijenama i kvartarnim tvorevinama.

Ključne riječi: obala, prirodni i antropogeni hazard, Jadransko more

1. Uvod

U razvijenim obalnim državama, gdje je naglašena litoralizacija, danas se posebna pozornost posvećuje upravljanju obalnim prostorom. Temeljna pretpostavka je prikupljanje i sistematizacija podataka o obalnom pojasu (*mapping*). Na tim temeljima mogu se predlagati i izvoditi tehnički zahvati (*coastal engineering*) te upravljati obalnim pojasom (*coastal zone management*) [7]. Međutim, zaštita jadranskog obalnog pojasa često nije odgovarajuće obrađena u prostornim planovima, a još se manje adekvatno i

dosljedno provodi. Slično je i s područjem kvarnerskog akvatorija smještenog između Istre, na zapadu, i vinodolsko-velebitske obale, na istoku, koji svojim najvećim dijelom pripada Primorsko – goranskoj županiji (Slika 1).



Slika 1. Pregledna geografsko-geološka karta Kvarnera

- 1 - karbonatne stijene (vapnenci, dolomitni vapnenci i kalcitno-dolomitne breče)
- 2 - siliciklastične stijene (fliš)

Nekontrolirana izgradnja obala i gatova na obalama Kvarnera često se obavlja vrlo nestručno, uz primjetno mijenjanje prirodnog izgleda obale. Prirodni žali su uglavnom rijetki, odnosno čine mali dio obale visokog stupnja ranjivosti. S druge strane, često su okosnica turističke ponude obalnih naselja kao najprivlačnije lokacije za kupanje. Zbog toga je posljednjih godina primjetan trend nasipavanja mora radi izgradnje novih ili proširenja postojećih žala. Rezultat je ponekad suprotan: zbiva se erodiranje prirodnih pjeskovitih ili šljunkovitih žala pa su neki od njih potpuno razoreni, a drugi se primjetno smanjuju. Ti nepovoljni učinci mogu se spriječiti pažljivim planiranjem i odgovarajućom zaštitom. Isto tako, može se povećati površina prirodnih žala odgovarajućim građevinskim zahvatima.

U ovom radu su uspoređene liburnijske i vinodolske obale koje su gušće naseljene i na kojima je vidljiv jači antropogeni utjecaj, a može se očekivati i ubrzana devastacija obalnog pojasa. Također su uspoređene obale velikih kvarnerskih otoka: Krka, Raba, Lošinja i Cresa koji imaju svoje prirodne specifičnosti te različit stupanj urbanizacije.

2. Područje istraživanja

2.1. Geografske i hidrografske značajke

Kvarnersko područje (Kvarner *sensu lato*) nalazi se između Istarskog poluotoka i Vinodolsko-velebitske obale. Otočki nizovi Cres-Lošinj i Krk-Rab-Pag dijele Kvarner na akvatoriju Riječkog zaljeva, Kvarnera (*sensu stricto*), Kvarnerića, te Velebitskog i Vinodolskog kanala. Te geomorfološke jedinice imaju dinaridski smjer pružanja SZ-JI, dok se istočna obala istarskog poluotoka pruža smjerom SSI-JJZ (Slika 1).

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 [28]. U relativno zatvorenim akvatorijima Kvarnera, privjetrišta su kraća u odnosu na otvoreni dio Jadranskog mora i stoga valovi imaju manje visine pri istoj brzini vjetra u odnosu na zatvoreni 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. Pri olujnom jugu brzine 20 m/s mogu nastati valovi visine do 5 m na otvorenoj zapadnoj strani Cresko-lošinjskog arhipelaga [15, 29]. Mjerenja su pokazala povećanje učestalosti puhanja juga tijekom posljednjih desetljeća u području Jadranskog mora [20].

2.2. Geološka građa

Na površini kopnenog dijela kvarnerskog područja nalaze se vapnenci donje krede, prijelazne kredne karbonatne breče, gornjokredni vapnenci i dolomiti u izmjeni te, također, gornjokredni rudistni vapnenci. Od paleogenskih naslaga zastupljeni su foraminiferski vapnenci i siliciklastične naslage (fliš) te karbonatne breče [16, 17, 18,

19, 25, 26, 27]. Karbonatne stijene su dominantne, dok je rasprostranjenost siliciklastičnih ograničena. Iznimka je otok Rab, koji je znatnim dijelom oblikovan u fliškim naslagama i po tomu jedinstven na hrvatskog dijelu Jadranskog mora. Karbonatne stijene tvore osnovnu stijensku masu koja je na kopnu djelomično pokrivena mlađim tvorevinama (Slika 1).

Kvartarne i recentne poluvezane do nevezane tvorevine su pokrivač na stjenovitoj podlozi. Vrlo su različitog postanka i litološkog sastava. Kvartarnim tvorevinama pripadaju: crvenica, les, vezani i aktivni sipar, deluvijalni nanos na flišu, potočni i riječni nanos, marinski sedimenti i antropogene tvorevine.

Kredne i paleogenske karbonatne stijene te paleogenske siliciklastične stijene (fliš) borane su i rasjednute. Budući da je područje Kvarnera imalo vrlo dinamičan tektonski razvoj, stijenski kompleks bio je tijekom geološke prošlosti podvrgnut stresu promjenljivih smjerova i intenziteta [6, 12, 22, 23]. To je uzrok nastanka često složenog strukturnog sklopa čije se značajke bitno razlikuju i na relativno malim udaljenostima. Uslijed boranja i rasjedanja stvoreni su genetski različiti sustavi pukotina koji karbonatnu stijensku masu dijele na monolite centimetarskih do metarskih dimenzija. Uz izraženije tektonske zone, prvenstveno navlačne, ali i zone velikih smičućih rasjeda sa subhorizontalnim kretanjima tektonskih blokova, stijenske mase bitno su jače zdrobljene. Na karbonatnim stijenama, poglavito vapnencima, česte su zone crvenice. Fliška stijenska masa je podložna ubrzanom trošenju pa je stoga uglavnom pokrivena glinovitim eluvijalnim tvorevinama [2]. Karbonatne stijene na otoku Susku te Velim i Malim Srakanama gotovo su u cijelosti pokrivena lesom. Veće nakupine tog sedimenta nalaze se na otocima Lošinju, Krku i Unijama.

U podmorju Kvarnera (u širem smislu) nalazi se tri osnovna tipa morskoga dna: i) golo kamenito morsko dno nepokriveno sedimentom, ii) morsko dno prekriveno grubozrnastim pjeskovitim do šljunkovitim sedimentom, i iii) morsko dno prekriveno sitnozrnastim muljevitim sedimentom. Ti muljeviti sedimenti ustanovljeni su u Riječkom zaljevu, sjevernom dijelu Kvarnera (*sensu stricto*), Kvarneriću, te Vinodolskom i Velebitskom kanalu. Pjeskoviti sedimenti nađeni su uz južni dio otoka Krka, oko otoka Raba i Suska te jugoistočno od otoka Cresa i Lošinja prema otvorenom moru sjevernog Jadrana [12].

3. Geomorfološki procesi na obalama Kvarnera

More razara obalu kombinacijom hidrauličkog djelovanja vode (abrazija), habanjem čestica o podlogu (korazija) te kemijskim djelovanjem vode (korozija) i radom organizama nastanjenih na obalnom rubu (bioerozija). Intenzitet marinske erozije ovisi o brojnim čimbenicima među kojima su najznačajniji: lokalna vjetrovna i valna klima te litološki sastav i strukturni sklop naslaga na obali i morskome dnu [5, 9, 13].

U skladu s oscilacijama morske razine tijekom geološke prošlosti, mijenjao se raspored te intenzitet erozije i akumulacije u području Kvarnera. Zato su takve promjene morske razine ostavile tragove na obalama i podmorju [3].

Pretpostavljena morska razina u sjevernom dijelu Jadrana bila je za 40 m niža prije 10.000 godina (10 ka BP), -12 do -14 m (8 ka BP), -5 m (6 ka BP), -2 do -2.5 m (4 ka BP) i -0.5 to -0.75 m (1 ka BP) [14]. Tijekom holocenskog rasta morske razine u području sjevernog Jadrana pretpostavljeno je razdoblje stagnacije razine mora koje je trajalo nekoliko tisućljeća zbog uzajamnog suprotnog djelovanja fenomena tektonskog tonjenja i hidroizostatskog dizanja [21]. To je prouzročilo stvaranje plimskih potkapina kao pretežito bioerozijskih oblika na otpornim karbonatnim obalama [4], kao i istovremeno znatno usijecanje klifova i nastanak žala na manje otpornim karbonatnim i fliškim obalama, kao i onim oblikovanim u pliokvartarnim sedimentima [1, 3].

Budući da u relativno zatvorenim akvatorijima Kvarnera prevladavaju slabi i umjereni vjetrovi promjenjivog smjera, razorno djelovanje valova je slabo izraženo. To ovisi o rezistentnosti koja je u funkciji litološkog sastava te stupnju tektonske oštećenosti i okrštenosti. U istraženom području najrezistentniji su čisti vapnenci, nešto manje dolomitični vapnenci, zatim karbonatne breče, a najmanje flišna stijenska masa, poglavito sitnozrnasti članovi: pjeskoviti do glinoviti silititi. Kod toga je značajno da su, primjerice, obale otoka Cresa gotovo isključivo izgrađene od karbonatnih stijena, dok je u flišnoj stijenskoj masi oblikovano čak 23 % obale otoka Raba (Tablica 1).

Tablica 1. Litološki sastav obala u području Kvarnera

OBALNA ZONA		LIBURNIJA	VINODOL	OTOK CRES	OTOK LOŠINJ	OTOK KRK	OTOK RAB	
UKUPNA DULJINA(km)		31,7	82,3	258,4	118,0	210,3	114,6	
LITOLOŠKI SASTAV	KARBONATI	km	31,7	76,3	258,4	118,0	198,6	88,2
		%	100,0	92,7	100,0	100,0	94,4	77,0
	FLIŠ	km	0,0	6,0	0,0	0,0	11,7	26,4
		%	0,0	7,3	0,0	0,0	5,6	23,0

Sadašnji oblik stjenovitih karbonatnih obala prvenstveno je posljedica potopljenog krškog reljefa zbog rasta morske razine. Vrlo strmi do vertikalni dijelovi obale čija visina ponekad doseže nekoliko desetaka metara iznad srednje morske razine, najčešće nisu klifovi. Samo na onim lokacijama gdje je stijenska masa jače oštećena i okršena, nastali su klifovi, a u njihovom podnožju šljunkoviti žali. Razorno djelovanje valova pri istoj ili vrlo sličnoj lokalnoj valnoj klimi i na obalama oblikovanim u istovrsnom litogenetskom članu karbonatnog kompleksa može biti vrlo različito. U cjelini se može reći da su marinske terase slabo razvijene, nekontinuiranog pružanja i često širine manje od 10 m. Česta su pojava uski procjepi nastali ispiranjem milonitiziranog materijala iz rasjedne zone [1, 3].

Također, primjećuje se jače destruktivno djelovanje valova na obale oblikovane u dolomitima i karbonatnim brečama. Međutim, u međuplimskoj i potplimskoj zoni dominantnu ulogu u području vode niske energije, dakle tamo gdje nije izražena abrazijska, imaju procesi bioerozije [1, 3]. Prema obavljenim mjerenjima na zapadnoj obali Istre drži se da godišnje biva odneseno oko 11 kg materijala porijeklom iz vapnenačke

stijene po dužnom metru obale. Od te količine 10 do 30 % biva otopljeno, dok se 70 do 90 % taloži na dnu stvarajući nove sedimente [24]. Destruktivni rad mora znatno je izraženiji na obalama oblikovanim u naslagama fliša te u slabovezanim kvartarnim tvorevinama na kojima su češći klifovi, a u njihovom podnožju žali.

Dio sedimentata u tijelima žala dopremljen je kroz brojna korita povremenih bujičnih tokova ili pak padinskim procesima s hipsometrijski viših položaja. Zato se mogu razlikovati žala abrazijskog i akumulacijskog podrijetla.

U litoralnoj i sublitoralnoj zoni, odnosno u plićem, priobalnom dijelu podmorskih padina prevladavaju sedimenti nastali marinskom erozijom obale ili pak doneseni s kopna, bilo vodom ili gravitacijom. Ovisno o lokalnim hidrodinamičkim uvjetima, strukturnom sklopu i morfologiji obale, sedimentno tijelo čine poluzaobljeni do zaobljeni krupni šljunak i obluci, a ponegdje i veći odvaljeni blokovi. Dublje, gdje je utjecaj valova manji, prevladavaju sitni šljunak i krupni pijesak pomiješani s ostacima ljuštura. Sedimenti koji izgrađuju žalo znatno su sitnijeg zrna na obalama oblikovanim u siliciklastičnim flišnim stijenama.

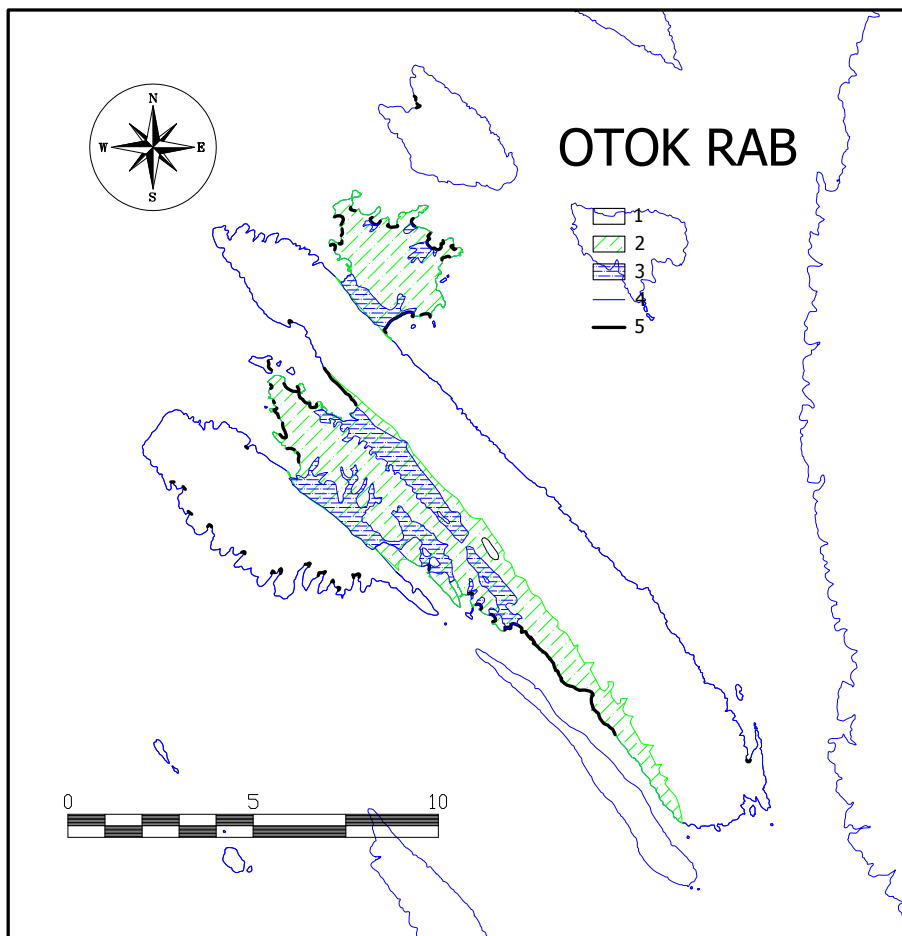
Zbog različite otpornosti naslaga od kojih je oblikovana obala, kao i akumulacijskih procesa, učešće žala na obalama jako varira (Tablica 2).

Tablica 2. Tipovi obala u području Kvarnera

OBALNA ZONA		LIBURNIJA	VINODOL	OTOK CRES	OTOK LOŠINJ	OTOK KRK	OTOK RAB		
UKUPNA DULJINA (km)		31,7	82,3	258,4	118,0	210,3	114,6		
KLASIFIKACIJA OBALE	PRIRODNA	STJENOVITA	km	23,2	63,5	244,8	111,1	190,0	84,5
			%	73,2	77,2	94,7	94,2	90,3	73,7
		KRUPNOZRN. ŽAL	km	3,8	4,3	10,4	2,1	5,4	0,6
			%	12,0	5,2	4,0	1,8	2,6	0,5
		SITNOZRN. ŽAL	km	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	23,2
			%	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	20,2
	MOČVARNO	km	0,0	0,0	0,5	0,0	1	2,6	
		%	0,0	0,0	0,2	0,0	0,5	2,3	
	UMJETNA	OBALNI ZIDOVI I NASIPI	km	4,7	14,5	2,7	4,8	11,4	3,7
			%	14,8	17,6	1,0	4,1	5,4	3,2

Na otoku Lošinju, čije su obale gotovo u cijelosti oblikovane u karbonatnim stijenama, prirodni žali čine svega 1.8 % ukupne duljine obale. Budući da su tu žala nastala pretežito akumulacijom bujičnog nanosa, u njima prevladavaju krupni šljunak i obluci. Nasuprot tomu, žali pokrivaju čak 26.3 % ukupne duljine obale. Većina njih je sitožrnasta jer je nastala erodiranjem i razaranjem siliciklastičnih sedimentnih stijena. U nešto otpornijim pješčenjacima oblikovani su poluotoci Gonar i Lopar, kao i

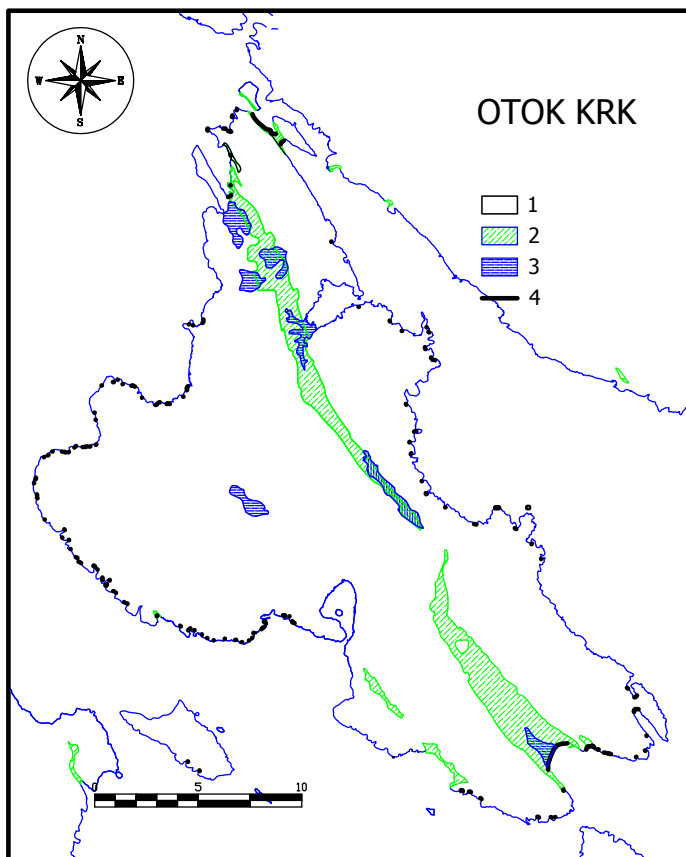
nekoliko otočića i hrđi uz njihove obale. To je jedinstvena takva pojava na hrvatskom dijelu jadranske obale (Slika 2).



Slika 2. Pregledna geološka karta otoka Raba

- 1 - karbonatne stijene (vapnenci, dolomitni vapnenci i kalcitno-dolomitne breče)
- 2 - siliklastične stijene (fliš)
- 3 - naplavine
- 4 - žali

Prirodni žali pokrivaju 10.7 % obala otoka Krka. U obalnoj zoni prevladavaju karbonatne stijene po kojima se pružaju brojne bujične jaruge. Zato su sedimenti u tijelima žala pretežito krupnozrnasti (Slika 3).



Slika 3. Pregledna geološka karta otoka Krka

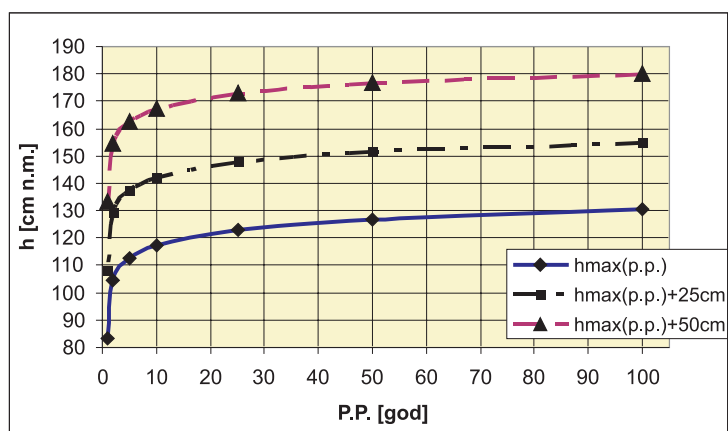
- 1 - karbonatne stijene (vapnenci, dolomitni vapnenci i kalcitno-dolomitne breče)
- 2 - siliklastične stijene (fliš)
- 3 - naplavine
- 4 - žali

4. Ugroženost obala Kvarnera

Obale u području Kvarnera ugrožene su zbog prirodnih i antropogenih čimbenika, koji mogu djelovati svaki za sebe ili u kombinaciji. Pri tome posebno su ugroženi prirodni žali. Pod prirodnim čimbenicima prvenstveno se podrazumijeva očekivani porast morske razine prouzročen klimatskim promjenama. Instrumentalni podaci ukazuju na rast morske razine u središnjem Mediteranu od sredine 19. stoljeća [14]. Tako je, recentni glacioeustatički rast procijenjen na 1.26 mm/god. [20]. S druge strane, brojni

primjeri pokazuju da nekontrolirano ili nedovoljno stručno planirane gradnje također može imati znatne negativne posljedice.

Analiza pojava ekstremno visokih razina mora (*acqua alta*) na primjeru mareografa u Bakru pokazuje vjerojatnost znatno češćih plavljenja niskih i zaravnjenih predjela obale u odnosu na današnje stanje (Slika 4).



Slika 4. Vjerojatnost pojava ekstremno visoke razine mora na primjeru mareografa u Bakru

Budući da su obale u području Kvarnera pretežito strme i oblikovane u relativno otpornim karbonatnim stijenama, neznatan je geološki hazard od geodimaničkih procesa generiranih podizanjem morske razine. U mekšim siliciklastičnim stijenama, odnosno flišu, rast morske razine će prouzročiti povećanje marinske erozije i ubrzanje recesije klifova. Otok Rab će biti posebice izložen takvim procesima, zbog značajnog udjela siliciklastičnih stijena u građi obale (Slika 3, Tablica 3).

Tablica 3. Litološki sastav vs. geološki hazard i ranjivost obala u području Kvarnera

OBALNA ZONA		HAZARD	RANJIVOST
LITOLOŠKI SASTAV	KARBONATI	UGLAVNOM NEZNAČAJAN	SLABA
	FLIŠ	UGLAVNOM ZNAČAJAN	SREDNJA

Osim toga, češća pojava ekstremno visokih morskih razina može prouzročiti transformaciju prirodnih žala, a mjestimično i njihovo nestajanje. [10], kao što je već ustanovljeno na talijanskoj obali Jadranskog mora [8].

Brojni žali nastali u potopljenim krškim jarugama, čija se tijela sastoje od krupnog šljunka i oblutaka bit će preoblikovani. Pretežito pjeskoviti žali nastali erodiranjem flišnih obala imaju veći stupanj ranjivosti zbog rasta morske razine budući da je svaka promjena dinamike more u njima jače izražena odnosu na šljunkovita žala, a mnoga od njih mogu i nestati. Najugroženije su niske močvarne obale koje mogu biti u značajnoj mjeri poplavljene. Posebno treba istaći lesom pokrivene otoke kao što su Susak i jugozapadni dio Unija. Podizanje morske razine može izazvati značajnu eroziju slabovezanih lesnih naslaga i imati teško sagledive posljedice (Tablica 4).

Tablica 4. Tipovi obala vs. geološki hazard i ranjivost obala u području Kvarnera

OBALNA ZONA		HAZARD	RANJIVOST	
KLASIFIKACIJA OBALA	PRIRODNA	STJENOVITA	EROZIJA/ NESTABILNOST	SLABA - SREDNJA
		KRUPNOZRN. ŽAL	PREOBLIKOVANJE/ DJELOMIČNA EROZIJA	VISOKA
		SITNOZRN. ŽAL	PREOBLIKOVANJE/ ZNAČAJNA EROZIJA	VRLO VISOKA
		MOČVARNO	PLAVLJENJE / ZASLANJIVANJE	EKSTREMNO VISOKA
	UMJETNA	OBALNI ZIDOVI I NASIPI	DJELOMIČNO RAZARANJE / PLAVLJENJE	SREDNJE VISOKA

5. Zaključak

Podizanje morske razine je pojava globalnih razmjera i dugotrajan te relativno spor proces. Njen utjecaj na obale u području Kvarnera ne može se zaustaviti. Međutim, pažljivom analizom moguće je procijeniti stupanj geološkog hazarda i veličinu rizika koje mogu prouzročiti geodinamički procesi generirani podizanjem morske razine. S druge strane, naglašen je antropogeni utjecaj izazvan prvenstveno nekontroliranim građenjem, ali također i lošim planiranjem. Taj utjecaj, odnosno njegove posljedice osobito su izražene u obalnoj zoni Kvarnera gdje je nasipavanjem i betoniranjem potpuno izmijenjeno čak 17.6 % Vinodolske obale i 14.8 % Liburnijske obale. Taj proces je djelomice nekontroliran pa se devastiraju novi dijelovi, a među njima i prirodni žali. Ne treba zanemariti ni kvarnerske otoke, gdje je u nekim zonama značajan dio obale devastiran, iako je u cijelosti stanje bolje u odnosu na Liburnijsku i Vinodolsku obalu.

Literatura

- [1] Č. Benac: Recentni geomorfološki procesi i oblici u području Riječkog zaljeva, *Geografski glasnik.*, 54, str. 1-18, Rijeka, 1992.
- [2] Č. Benac: Prostorni plan Primorsko-goranske županije: inženjerskogeološke podloge, *Zbornik radova 2. Hrvatskog geografskog kongresa*, (Lovran, rujan 1999), Hrvatsko geografsko društvo, Zagreb, str. 347-353, 2000.
- [3] Č. Benac i M. Juračić: Geomorphological indicators of the sea level changes during Upper Pleistocene (Wuerm) and Holocene in the Kvarner region, *Acta Geographica Croatica*, No. 33, str. 27-45, 1998.
- [4] Č. Benac, M. Juračić i T. Bakran-Petricioli: Submerged tidal notches in the Rijeka Bay NE Adriatic Sea: Indicators of relative sea-level change and of recent tectonic movements, *Marine Geology*, 212, str. 21-33, 2004.
- [5] E. Bird: *Coastal Geomorphology an Introduction*, J. Wiley and Sons, Chichester, 322 str., 2000.
- [6] I. Blašković: Tectonics of Part of the Vinodol Valley Within the Model of the Continental Crust Subduction, *Geologia Croatica*, 52 (2), str. 153-189, 1999.
- [7] B. Cicin-Sain i S. Belfiore: Linking marine protected area to integrated coastal and ocean management: A review of theory and practice, *Ocean and Coastal Management*, 48, str. 847-868, 2005.
- [8] P. Colantoni, D. Mencucci i O. Nesci: Coastal processes and cliff recession between Gabicce and Pesaro (northern Adriatic Sea): a case history, *Geomorphology*, 62 (3-4), str. 257-268, 2004.
- [9] P.J. Cowell i B.G. Thom: Morphodynamics of coastal evolution In: Carter, R.W.G., Woodroffe, C.D. (Eds.), *Coastal evolution*, Cambridge University Press, Cambridge, str. 33-86, 1997.
- [10] R. Dean: *Beach nourishment: theory and practice*, World scientific Publishing, Singapore, 399 str., 2002.
- [11] M. Herak: A new Concept of Geotectonics of the Dinarides, *Acta Geologica*, No. 16(1), str. 1-42, 1986.
- [12] M. Juračić, Č. Benac i R. Crmarić: Seabeded and surface sediments map of the Kvarner Bay, Adriatic Sea, Croatia, *Geologica Croatica*, 52, str. 131-140, 1999.
- [13] P.D. Komar: *Beach Processes and Erosion*, u: *CRC Handbook of Coastal Processes and Erosion*, P.D. Komar, ured., CRC Press, Boca Raton, str. 1-20, 1983.
- [14] K. Lambeck, F. Antonioli, A. Purcell i S. Silenzi: Sea-level change along the Italian coast for the past 10,000 yr., *Quaternary Science Reviews*, 23, str. 1567-1598, 2004.
- [15] N. Leder, A. Smirčić i I. Vilibić: Extreme values of surface wave heights in the Northern Adriatic, *Geofizika*, 15, str. 1-13, 1998.
- [16] N. Magaš: Osnovna geološka karta 1:100.000, list Cres, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd, 1968.
- [17] P. Mamužić: Osnovna geološka karta 1:100.000, list Lošinj, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd, 1968.
- [18] P. Mamužić, A. Milan, B. Korolija, I. Borović i Ž. Majcen: Osnovna geološka karta 1:100.000, list Rab, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd, 1969.
- [19] P. Mamužić, B. Sokač i I. Velić: Osnovna geološka karta 1:100.000, list Silba, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd, 1970.
- [20] P.A. Pirazzoli: *Sea Level Changes. The Last 20000 Years*, John Wiley & Sons Ltd., Chicester, New York, 211 str., 1996.
- [21] P.A. Pirazzoli: A review of possible eustatic, isostatic and tectonic contributions in eight late-Holocene sea-level histories from the Mediterranean area, *Quaternary Science Reviews*, 24, str. 1989-2001, 2005.

- [22] E. Prelogović, V. Kuk, D. Jamičić, B. Aljinović i K. Marić: Seizmotektonska aktivnost Kvarnerskog područja, Zbornik radova 1. Hrvatskog geološkog kongresa, Opatija, 1995., 2, str. 487-490, 1995.
- [23] E. Prelogović, V. Kuk i R. Buljan: The structural fabric and seismotectonic activity of northern Velebit: some new observations, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 10, str. 39-42, 1998.
- [24] J. Schneider i H. Torunski: Biokarst on limestone coasts, morphogenesis and sediment production, P.S.Z.N. I, Marine Ecology, 4(1), str. 45-63, 1983.
- [25] D. Šikić, M. Pleničar i M. Šparica: Osnovna geološka karta 1:100.000, list Ilirska Bistrica, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd, 1972.
- [26] D. Šikić, A. Polšak i N. Magaš: Osnovna geološka karta 1:100.000, list Labin, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd, 1969.
- [27] M. Šušnjar, J. Bukovac, L. Nikler, I. Crnolatac, A. Milan, D. Šikić, I. Grimani, Ž. Vulić i I. Blašković: Osnovna geološka karta 1:100.000, list Crikvenica, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd, 1970.
- [28] T. Tabain: Jadransko more (vjetrovi i valovi na Jadranu), u: Pomorska enciklopedija, svezak 3, Brajković, V., ured., str. 208-214, Jugoslavenski leksikografski zavod, Zagreb, 1976.
- [29] T. Tabain: Standard wind wave spectrum for the Adriatic Sea revised (1977-1997), Brodogradnja, 45, str. 303-313, 1997.

Čedomir Benac, Igor Ružić, Elvis Žic

Coast Vulnerability Within the Kvarner Littoral

Summary

The Kvarner littoral represents a semi closed part of the Adriatic Sea lying between the Liburnian (i.e. eastern part of the Istrian peninsula) and the Vinodol-Velebit coastlines. It is divided by the island chains of Cres-Lošinj and Krk-Rab-Pag into the Rijeka Bay, the Kvarner Bay (Kvarner *sensu stricto*), the Kvarnerić and the Velebit-Vinodol Channel.

The Kvarner littoral is dominated by carbonate rocks whereas siliciclastic or flysch rock outcrops are restricted. Pleistocene and Holocene deposits partly cover this bedrock substrate.

The recent shape of the carbonate rocky coast is primarily the result of the foundered karst relief caused by the rising sea level. The less resistant structure of flysch rocks allowed for the formation of depressions and bays, whereas the flat coast surfaces partly developed swamps. Marine abrasion caused by the impact of wave activity is not very much pronounced in the Kvarner area due to its sheltered position. The coast shape is primarily owed to the lithological structure.

Natural sandy and gravel beaches make just a small part of the Kvarner coastline. Their formation followed two natural processes. One of them was the activity of marine erosion and the other one was the accumulation of proluvial and alluvial sediments. Natural beaches are the most attractive and also the most vulnerable segment of the Kvarner littoral.

This paper deals with a comparison between the Liburnian and the Vinodol coasts, where the anthropogenic influence and devastation of the coastal environment and natural beaches are particularly distinctive. The frequency of natural beaches differs significantly between different parts of the Kvarner littoral. Only the 4 % portion of the total coastal length on the Island of Cres is covered by largely coarse-grained natural beaches. In contrast, the portion exceeding 20 % of the Island of Rab total coast length is covered by largely fine-grained natural beaches.

In addition, the paper also deals with environmental comparison between Kvarner's major islands (Krk, Lošinj, Cres and Rab). The best preserved coastline belongs to the Island of Cres (just 1% of the total coastline is covered by the fill or concrete), whereas the Vinodol coast has the strongest anthropomorphic influence (more than 17 % of the total coastline). Natural beaches have the highest degree of hazard due to the anticipated sea level rise, in addition to flat marsh zones.

Key words: coastline, natural and anthropomorphic hazards, the Adriatic Sea

Vulnerabilità della costa Quarnerina

Sommario

Il Quarnero è la parte semichiusa del mare Adriatico, situato tra la costa liburnica ad oriente della penisola istriana e la costa di Vinodol e del Velebit. La successione delle isole Cherso-Lussino e Veglia-Arbe-Pago dividono la regione in golfo del Quarnero, Quarnerolo e il canale di Vinodol-Velebit. La fascia costiera della zona quarnerina è prevalentemente costituita da rocce calcaree ed in forma ridotta da rocce sedimentarie detritiche - Flysch-siliceoclastiche. Sedimenti pleistocenici e olocenici ricoprono in parte le rocce di base. La forma attuale della costa formata da rocce calcaree è dovuta in primo luogo alla sommersione del rilievo carsico in seguito all'aumento del livello del mare. La minor consistenza delle rocce sedimentarie detritiche - Flysch hanno dato origine alla formazione di baie ed insenature, mentre la costa bassa è parzialmente paludosa. L'erosione marina provocata dal moto ondoso risulta meno marcata nelle zone riparate ed è per questo motivo che la configurazione della costa dipende in prevalenza dalla sua composizione petrografica. Le spiagge naturali ghiaioso-sabbiose costituiscono la parte minore della costa quarnerina in proporzione alla sua lunghezza complessiva ed esercitano una forte attrazione ma sono nel contempo le zone più vulnerabili. Nell'articolo si effettua una comparazione tra la costa liburnica e quella del Vinodol, cioè i lidi più esposti agli effetti di antropizzazione e devastazione dell'ambiente e delle spiagge naturali. Si raffrontano inoltre lo stato dell'ambiente litoraneo delle isole maggiori: Veglia, Lussino, Cherso ed Arbe. Il tratto costiero meglio conservato risulta essere quello dell'isola di Cherso, mentre il litorale che subito le maggiori alterazioni in seguito a costruzioni indiscriminate risulta quello di Vinodol. In previsione di un innalzamento del livello marino il litorale dell'isola di Arbe potrebbe correre il maggior rischio essendo formato prevalentemente da rocce siliceo-clastiche dell'era quaternaria.

Parole chiave: costa, naturale e rischio di antropizzazione, mare Adriatico