

Recentni geomorfološki procesi i oblici u području Riječkog zaljeva

Čedomir Benac*

U radu su analizirani recentni geomorfološki procesi u obalnom području i podmorju Riječkog zaljeva (sjeverni Jadran). Od kraja posljednjega, virmaskog glacijala nastavilo se dizanje razine Jadranskog mora. Zato se mijenjala erozijska baza, energija reljefa te intenzitet erozije i sedimentacije u Riječkom zaljevu. Potopljeni su niži dijelovi brojnih dolina. Uz ušće Rječine te u dijelu Bakarskog zaljeva izraženo je naglo smanjenje dubine dna. U posljednjim tisućljećima postaje naglašenije djelovanje abrazije i bioerozije zbog usporenog rasta morske razine. Nastaju inicijalni oblici abrazijske terase. Abrazijski proces vrlo je selektivan. To zavisi od geološke građe te otpornosti naslaga u litoralnoj zoni, kao i od lokalnih maritimnih prilika. Reljef obalne zone u najvećem dijelu Riječkog zaljeva vrlo je malo izmijenjen djelovanjem mora. Oblik obale prije svega zavisi od lokalnoga strukturno-tektonskog sklopa. Na karbonatnim naslagama u litoralnoj zoni vidljiva je bioerozija. Na padinama Učke i na otoku Cresu bujični tokovi su aktivni, a na sjevernoj primorskoj padini i na otoku Krku uglavnom fosilni.

KLjučne riječi: recentni geomorfološki proces, marinska abrazija, litoralna sedimentacija, litoralna bioerozija, Riječki zaljev, Jadransko more.

The Recent Geomorphological Processes in the Area of the Rijeka Bay.

In this paper has been analysed a recent geomorphological processes in coastal area of Rijeka Bay (Northern Adriatic). The rapidly sea-level rise started from the end of last Würm glacial age. Therefore the erosion base, the relief energy and the intensity of the erosion and the sedimentation have changed. The lower parts of the numerous valleys have been submerged. The rapid sedimentation began near the Rječina River mouth. In the last milleniums there is expressive work of abrasion and bioerosion. The initial forms of the abrasion platform has been formed. The process abrasion is very selective. It primarily depends of geological structure and hardness of rocks in the littoral zone as well as of the local maritime conditions. A relief of the greatest part of the coastal area of Rijeka Bay depends primarily of local structural and tectonic rock fabric. In littoral zone of carbonate composition we have been seen processes of bioerosion. The processes of bioerosion are apparently in the carbonate rocks of littoral zone. The gullies are active on slopes of Učka Mountain and island Cres, but this are mainly fossil in northern coastland and island Krk.

Key words: recent geomorphological process, marine abrasion, littoral sedimentation, littoral bioerosion, Rijeka Bay, Adriatic Sea.

* Mr. dipl. ing. geologije, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 51000 Rijeka, V. Cara Ermina 5, Hrvatska

UVOD

O morfogenezi sjeveroistočne obale Jadrana postoje brojne nedoumice. Tako se vertikalne ili vrlo strme padine smatraju uglavnom klifovima. To znači da su nastale u ranom, ali ipak već uznapredovalom stadiju abrazijskog ciklusa, dakle razaranjem obale. Nasuprot tome, veći dio sjeveroistočne obale Jadrana u svjetskoj literaturi poznat je pod nazivom »dalmatinski tip obale«, gdje je pružanje obala i otoka približno paralelno reljefu i regionalnim geološkim strukturama (J. Withow, 1986). Po tom tumačenju radi se o potopljenoj tektonskoj obali. Isto se odnosi i na Riječki zaljev.

Neki geomorfološki procesi na obalama i podmorju Riječkog zaljeva upućuju na očigledan utjecaj hidrodinamike i promjene razine mora na oblikovanje obale i podmorja. Razdoblje na koje se odnose ta zbivanja pripada posljednjem kasnoglacijalnom i postglacijalnom razdoblju, odnosno kraju pleistocena te holocenu.

METODE ISTRAŽIVANJA

Osnovne metode rada bila su terenska istraživanja. Autor je obavio i brojne prospekcije podmorja uz pomoć aparata za autonomno ronjenje. Pritom su izvršena i detaljna kartiranja i mjerenja osobito interesantnih lokacija ili pojava.

Također su analizirane monokromatske fotografije snimljene iz zrakoplova, približnih mjerila 1 : 5 000, 1 : 10 000 i 1 : 32 000. To se pokazalo osobito korisnim za izdvajanje zona crvenice i bujičnih naplavina te dijelova reljefa koji indiciraju neotektonske pokrete. Upravo stoga izvršene su morfostrukturne analize talvega povremenih tokova bujičnog karaktera.

Pregledana je dokumentacija o geotehničkim istraživanjima pohranjena u arhivama »Rijekaprojekta«, »Luke«, »Vodoprivrede« i Građevinskog fakulteta u Rijeci. Pritom su posebno analizirani rezultati geoloških, sondažnih i geofizičkih istraživanja.

PRETHODNA ISTRAŽIVANJA

Već J. Cvijić (1922) govori o oblikovanju recentne abrazijske terase na istočnoj obali Jadrana. Pritom Bakarski zaljev i Tihi kanal smatra potopljenim dijelovima Kastavske zaravni koja je na tim područjima fleksurno povijena. I. Rubić (1937) upozorava na pojačanu abraziju u litoralnoj zoni. Smatra da je to posljedica kemijskog utjecaja morske vode i kišnice te djelovanja mikroorganizama. J. Roglić (1949. i 1967) smatra da je dinarski primorski pojas »djelomično« potopljen krški reljef, a današnji položaj obalne linije rezultat je mladoga, glacioeustatičkog izdizanja morske razine. M. Tešić (1956/57) uočava »nejednoliko pozitivno pomjeranje morske razine« na sjeveroistočnoj obali Jadranskog mora. T. Šegota (1968. i 1976) analizirajući

mareografske podatke na istočnoj obali Jadrana zaključuje da je nešto veći porast morske razine u Bakru posljedica epirogenetskog spuštanja kopna. A. Ž. Lovrić (1971) upozorava, na temelju specifičnog rasporeda pojedinih tipova biocenoza, na pojačanu abraziju ili akumulaciju dijelova obale kvarnerskog područja. A. Škrivanić i Z. Magdalenić (1979) tvrde da se sedimenti morskog dna u Kvarneru javljaju u dvije varijante: starijoj, detritičnoj, pleistocenske starosti i mlađoj, recentnoj i pretežno biogenoj. M. Juračić i V. Pravdić (1981) smatraju da je recentna sedimentacija slaba i ograničena na sjeverni dio Riječkog zaljeva. T. Segota (1982), na temelju usporedbe oscilacija morske razine i podataka bakarskog mareografa, upućuje na mogućnost postojanja fosilne marinske terase u Riječkom zaljevu. M. Kozličić (1986) u sklopu istraživanja antičke obale Istre govori i o pozitivnim pomacima morske razine i u Riječkom zaljevu, a na temelju kasnoantičkih arheoloških ostataka na lokacijama Sepen, Sršćica i Voz. Č. Benac (1989) smatra da su strme obale na području Kvarnera tektonski predisponirane. Č. Benac i T. Segota (1990), na temelju analize rezultata istražnih radova, otkrivaju abrazijsku terasu u podmorju ispred Rijeke za koju smatraju da je risvirmske starosti. Č. Benac i Ž. Arbanas (1990) opisuju nastanak dubokog zaljeva nastalog potapanjem kanjona Rječine zbog naglog podizanja morske razine. Također daju dokaze naglog oplićavanja dna te pomicanja riječnog ušća.

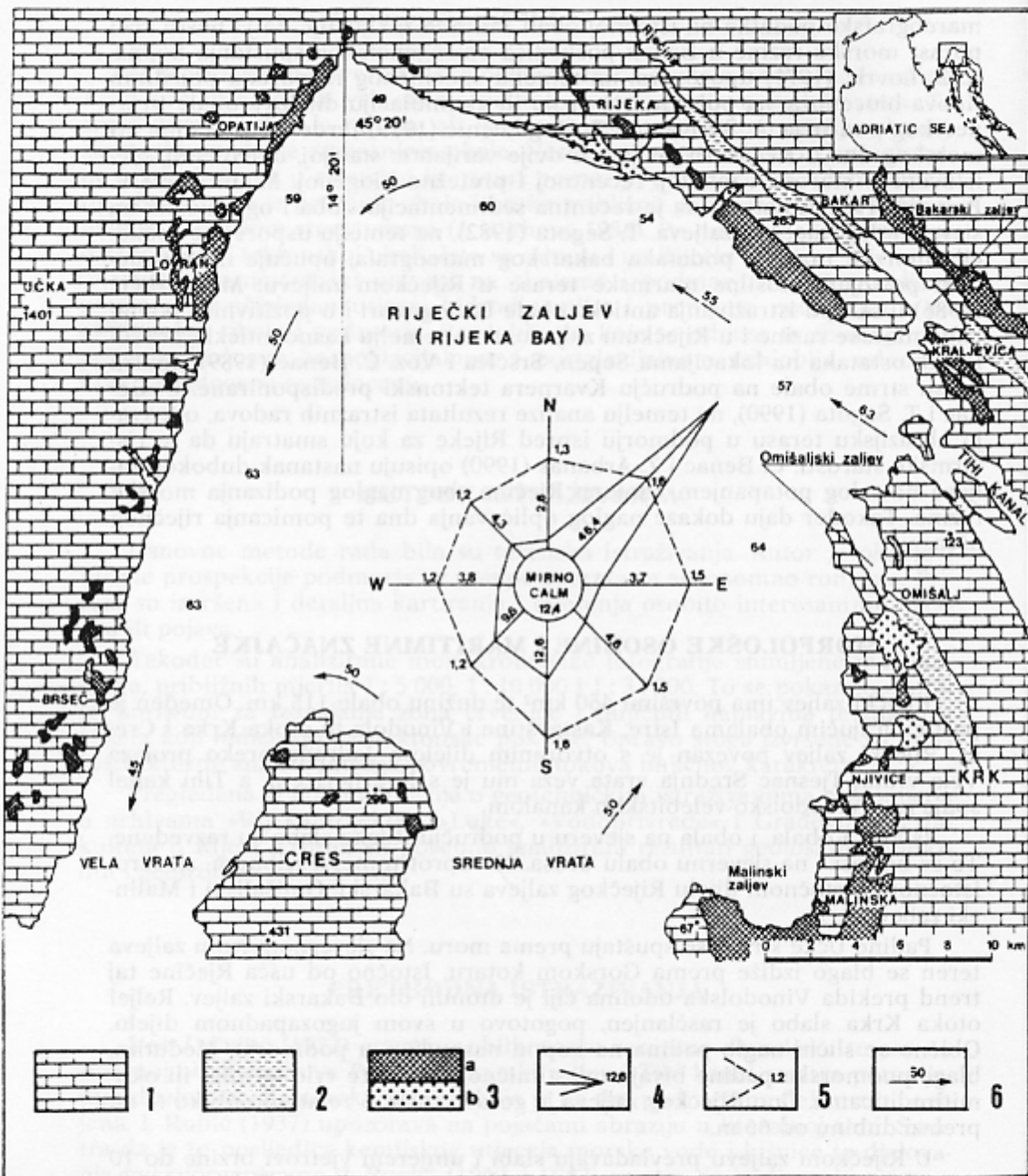
MORFOLOŠKE OSOBINE I MARITIMNE ZNAČAJKE

Riječki zaljev ima površinu 450 km² te dužinu obale 115 km. Omeđen je participirajućim obalama Istre, Kastavštine i Vinodola te otoka Krka i Cresa. Riječki zaljev povezan je s otvorenim dijelom Jadrana preko prolaza Vela vrata. Tjesnac Srednja vrata veza mu je s Kvarnerićem, a Tihi kanal spaja ga s Vinodolsko-velebitskim kanalom.

Istarska obala, i obala na sjeveru u području Rijeke slabo su razvedene. To se odnosi i na sjevernu obalu Cresa. Nasuprot tome, u rubnom, sjeveroistočnom i istočnom dijelu Riječkog zaljeva su Bakarski, Omišaljski i Malinski zaljev (sl. 1).

Padine Učke strmo se spuštaju prema moru. Na sjevernom rubu zaljeva teren se blago izdiže prema Gorskom kotaru. Istočno od ušća Rječine taj trend prekida Vinodolska udolina čiji je utonuli dio Bakarski zaljev. Reljef otoka Krka slabo je rasčlanjen, pogotovo u svom jugozapadnom dijelu. Obično se slični nagib padina na kopnu nastavlja i u podmorju. Međutim, blage podmorske padine bivaju mjestimično prekinute vrlo strmim ili okomitim liticama. Dno Riječkog zaljeva je gotovo ravno i relativno plitko te ne prelazi dubinu od 66 m.

U Riječkom zaljevu prevladavaju slabi i umjereni vjetrovi brzine do 10 m/s, dok su olujni vjetrovi brzine veće od 30 m/s rijetki (T. Tabain, 1976). Zbog kraćih privjetrišta valovi imaju manje visine pri istoj brzini vjetra. Najveću visinu imaju valovi iz jugoistočnog kvadranta (sl. 1). Mjerenjima ispred obale Rijeke ustanovljeno je da se kod olujnog juga brzine od 20 m/s mogu razviti valovi značajne visine $H^{1/3} = 3$ m, dok se uz obalu zbog deformacija



valna visina smanjuje na 2 m. Valne dužine su u takvim uvjetima $L=42$ m i 28 m, a najdublji doseg abrazijskog djelovanja valova 21 odnosno 14 m.

Dosadašnja istraživanja hidrodinamike vodene mase upućuju na velike sezonske i višegodišnje razlike u smjeru i brzini strujanja vode (M. Orlić i M. Kuzmić, 1980). Najčešći je zimski ciklonalni smjer kad voda ulazi u Riječki zaljev kroz Srednja vrata i Tih kanal, a izlazi kroz Vela vrata. Brzina morskih struja je 0,45 do 0,63 m/s (sl. 1). Ljeti se događa uglavnom obrnuta cirkulacija. Opisani smjerovi i brzine struja odnose se na površinu mora. U dubini smjer i brzina kretanja vode mogu biti bitno drugačiji. Značajniji površinski tokovi te priobalni i podmorski izvori i vrela najčešći su na zapadnoj i sjevernoj obali Riječkog zaljeva gdje utječe i jedini stalni vodeni tok: Rječina. U vrijeme obilnijih oborina i jačih dotoka, a to je obično zimsko razdoblje, može doći do značajnijeg raslojavanja vodenog stupca.

Morske mijene na Jadranu imaju poludnevne oscilacije s malim faznim zakašnjenjem. Prosječna oscilacija morske razine na Kvarneru iznosi 34 do 37 cm (M. Kasumović, 1976). Tako pravilan hod može biti poremećen promjenom atmosferskih prilika. Poznato je da se u vrijeme bure i visokoga atmosferskog tlaka razina mora može sniziti 40 cm, a u vrijeme juga i niskog tlaka zraka podići 70 cm iznad srednje razine.

GEOLOŠKE OSOBITOSTI

U građi obalnog pojasa i podmorja Riječkog zaljeva sudjeluju bituminozni vapnenci donje krede, prelazne kredne karbonatne breče, gornjokredni dolomiti i vapnenci u izmjeni te rudistni vapnenci. Od paleogenskih naslaga zastupljeni su foraminiferski vapnenci i sitnoklastične naslage (fliš) te karbonatne breče (D. Sikić i dr., 1969; M. Sušnjar i dr., 1970; D. Sikić i dr., 1972). Karbonatne naslage su u obalnom pojasu prostorno dominantne, dok je rasprostranjenost fliša ograničena (sl. 1). Te naslage sačinjavaju osnovnu stijensku masu koja je na kopnu djelomično prekrivena mlađim tvorevinama. Na karbonatnim naslagama česte su zone crvenice, dok su fliške naslage prekrivene korom trošenja i padinskim tvorevinama. Na svim litološkim

Sl. 1. Pregledna geološka karta i maritimne značajke Riječkog zaljeva

- 1 - vapnenci, dolomiti i karbonatne breče (stijenska podloga)
- 2 - fliš (stijenska podloga)
- 3 - mlađe naslage: a) crvenica, b) riječne naplavine,
- 4 - razdioba srednje čestine smjerova gibanja valova (u %)
- 5 - razdioba srednjeg stanja mora
- 6 - smjer i srednja brzina morskih struja (u cm/s)

Fig. 1. The generalized geological map and the maritime conditions of Rijeka Bay

- 1 - limestones, dolomites and carbonate breccias (bedrock)
- 2 - flysch (bedrock)
- 3 - younger sediments: a) terra rossa, b) alluvial sediments
- 4 - wave directions mean frequency distribution (in %)
- 5 - distribution in the mean sea-condition
- 6 - direction and mean velocity of the seacurrents (in cm/s).

tipovima podloge susreću se aktivni i vezani sipari te potočni ili bujični nanos. Podmorje Riječkog zaljeva je gotovo u potpunosti prekriveno recentnim tvorevinama: uz obalu šljunkom i pijeskom, a u dubljim dijelovima muljem (A. Škrivanić i Z. Magdalenić, 1979; S. Alfirević, 1980; M. Juračić i V. Pravdić, 1981).

Riječki zaljev dio je Vanjskih Dinarida pa ima značajke strukturne građe karakteristične za tu tektonsku jedinicu: tangencijalni tip tektonike i s tim povezano tektonsko suženje prostora. Zato su nastale polegle i prevrnutе bore te reversni rasjedi longitudinalni u odnosu na pružanje struktura, a ima i elemenata koji upućuju na postojanje navlačenja. Zato su znatno reducirane pojave paleogenskog fliša. Opisani strukturni oblici poremećeni su poprečnim i dijagonalnim rasjedima pretežno neotektonskog postanka (D. Šikić i A. Polšak, 1973; I. Grimani i dr., 1973; D. Šikić i M. Pleničar, 1975; I. Blašković, 1991).

UTJECAJ GEOLOŠKIH ZBIVANJA NA RAZVITAK RELJEFA

Kvarner se nalazi na jugozapadnom rubu Dinarida u dodiru s Jadranskim bazenom. Upravo je sraz tih geotektonskih cjelina imao odlučujuću ulogu u geomorfološkoj evoluciji šireg područja Riječkog zaljeva (I. Blašković, 1990; M. Herak, 1991). Tektonski pokreti na prijelazu iz paleogena u neogen već su značajno utjecali na razvitak reljefa Riječkog zaljeva. Smatra se da je tada nastupila subdukcija jadranske karbonatne platforme zajedno s labilnim međuplatformskim pojasom, pod dinarsku karbonatnu platformu, pa se počinju izdizati Dinaridi i spuštati Jadranski bazen (M. Herak, 1986).

Smatra se da je u Riječkom zaljevu početkom neogena nastupila faza emerzije. Tada se odvijaju vrlo intenzivni egzogeni geomorfološki procesi (V. Kranjec i E. Prelogović, 1974). Neotektonski pokreti promjenljivog intenziteta i pretežno vertikalnog smjera nastavljaju se iz pliocena u pleistocen (E. Prelogović, 1975). Tada vjerojatno dolazi do tonjenja Riječkog zaljeva te izdizanja okolnog kopna (D. Šikić i M. Pleničar, 1975). Na spuštanje dna Riječkog zaljeva, uz istodobno dizanje kopna, upućuju i novija istraživanja (E. Prelogović i dr., 1981; Č. Benac i T. Šegota, 1990).

Razina Jadranskog mora varira između glacijala i interglacijala i do 100 m (C. D' Ambrosi, 1969). Izražene su i temperaturne varijacije (T. Šegota, 1963. i 1967). Takve promjene klime uzrokuju različit intenzitet egzogenih geomorfoloških procesa, sudeći po nalazima sedimenata u spiljama Istre (D. Rukavina, 1981). U razdoblju niže razine mora u području Riječkog zaljeva dolazi do usjecanja vodotoka u karbonatnu podlogu te intenzivne erozije i snižavanja reljefa, posebice na terenima fliškog sastava. Smatra se da je na dnu Riječkog zaljeva tada bila moguća čak i jezerska sedimentacija (E. Prelogović i V. Kranjec, 1983).

Pred približno 100 000 godina morska razina bila je nešto viša od današnje (T. Šegota, 1968). U maksimumu virmskog glacijala pred oko 25 000 godina more je bilo niže za 96 m. Posljednje, kasnopleistocensko i holocensko dizanje počelo je pred 16 000 godina. Transgresija se u početku odvijala

naglo pa je pred 10 000 godina morska razina bila niže za 30 m, pred 5 000 godina 7,5 m, a prije 2 000 godina oko 2 m. Transgresija traje i danas, iako smanjenim intenzitetom. To je vidljivo i po potopljenim kasnoantičkim građevinama na obalama Riječkog zaljeva (M. Kozličić, 1986).

REZULTATI ISTRAŽIVANJA

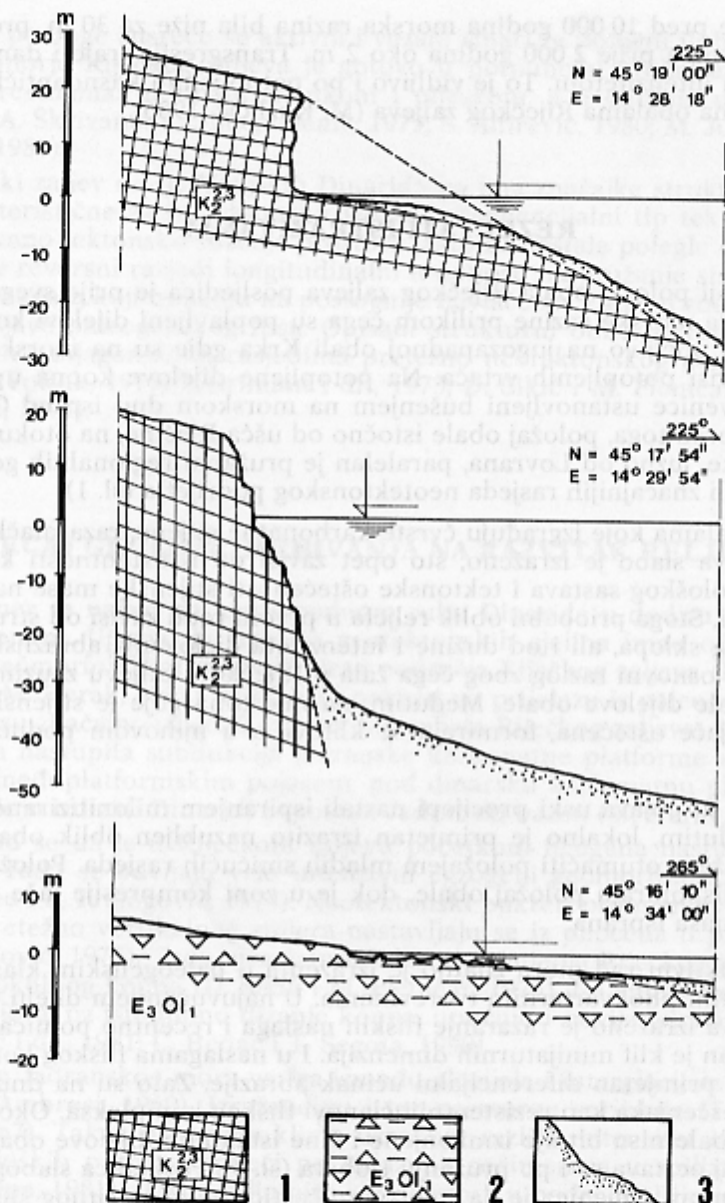
Sadašnji položaj obala Riječkog zaljeva posljedica je prije svega recentnog dizanja morske razine prilikom čega su poplavljeni dijelovi kopna. To je naročito uočljivo na jugozapadnoj obali Krka gdje su na morskom dnu vidljivi obrisi potopljenih vrtača. Na potopljene dijelove kopna upućuju i tragovi crvenice ustanovljeni bušenjem na morskom dnu ispred Opatije i Omišlja. Pored toga, položaj obale istočno od ušća Rječine, na otoku Cresu i podno Učke, južno od Lovrana, paralelan je pružanju regionalnih geoloških struktura ili značajnijih rasjeda neotektonskog podrijetla (sl. 1).

Na obalama koje izgrađuju čvrste karbonatne stijene, razaralačko djelovanje valova slabo je izraženo, što opet zavisi od rezistentnosti koja je u funkciji litološkog sastava i tektonske oštećenosti stijenske mase na pojedinoj lokaciji. Stoga priobalni oblik reljefa u prvom redu zavisi od strukturno-tektonskog sklopa, ali i od dužine i intenziteta djelovanja abrazijskog procesa. To je osnovni razlog zbog čega žala u Riječkom zaljevu zauzimaju razmjerno male dijelove obale. Međutim, na mjestima gdje je stijenska masa tektonski jače oštećena, formiraju se klifovi, a u njihovom podnožju žala (sl. 2).

Češća su pojava uski procijepi nastali ispiranjem milonitiziranog materijala. Međutim, lokalno je primjetan izrazito nazubljen oblik obalne crte koji se može protumačiti položajem mladih smičućih rasjeda. Položaji paraklaza predisponiraju položaj obale, dok je u zoni kompresije jače ispucala stijenska masa isprana.

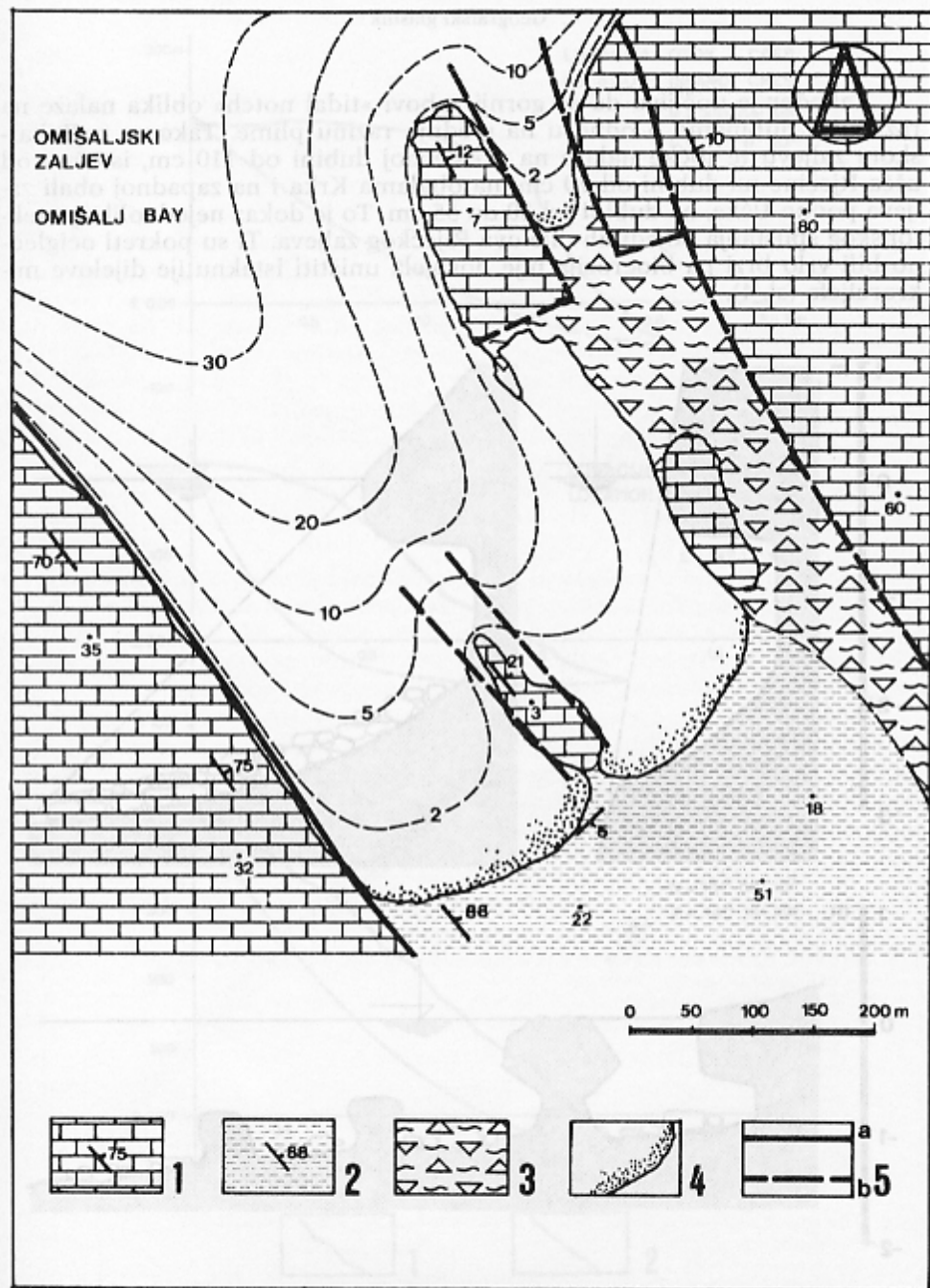
Destruktivni rad mora znatno je izraženiji u paleogenskim klastitima i slabovezanim pliokvartarnim tvorevinama. U najuvučenijem dijelu Omišaljskog zaljeva izraženo je razaranje fliških naslaga i recentno pomicanje obale. Formiran je klif minijaturnih dimenzija. I u naslagama fliškog kompleksa također je primjetan diferencijalni učinak abrazije. Zato su na dnu vidljivi izdanci pješčenjaka kao rezistentniji članovi fliškog kompleksa. Okolne vapnenačke obale nisu bitnije izmijenjene i čine istaknute dijelove obale, a njihov položaj ocrtava se i po pružanju izobata (sl. 3). Posljedica slabog učinka dinamike mora činjenica je da žalo tvore čestice veličine sitnog šljunka do krupnog pijeska, a na dubini od preko 10 m pojavljuje se pjeskoviti mulj.

Međutim, na karbonatnim obalama najjetno je djelovanje bioerozije. Primjeri bioerozije, odnosno pojava »tidal notch« oblika, vrlo su ilustrativni. Oni u Riječkom zaljevu tvore gotovo kontinuirani pojas u litoralnoj zoni. Ti oblici obalnog mikroljeljefa bolje su izraženi u vapnencima u odnosu na karbonatne breče i dolomite. Njihov oblik zavisi od nagiba obale te lokalnoga strukturnog sklopa (sl. 4).



Sl. 2. Karakteristični profili karbonatnih obala u Riječkom zaljevu
 1 – vapnenci s prikazom glavnih diskontinuiteta (gornja kreda)
 2 – karbonatne breče (eocen-oligocen)
 3 – marinski talog (recentno)

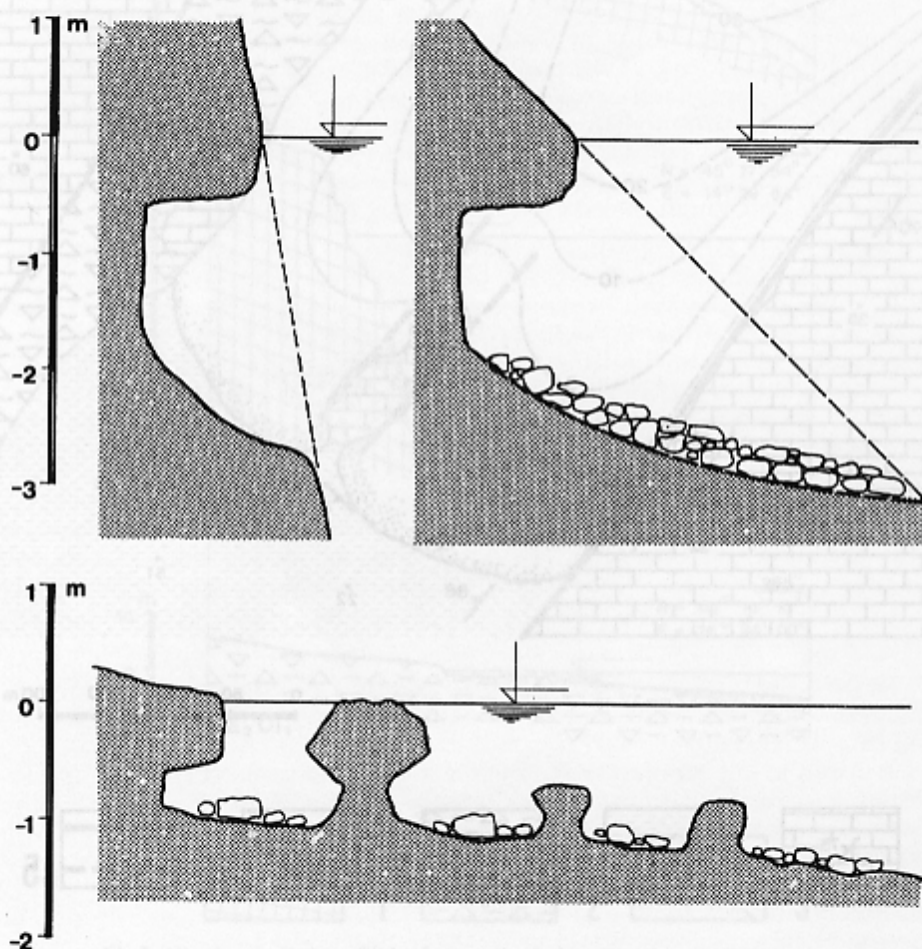
Fig. 2. The characteristic shape of the carbonate coasts in Rijeka Bay
 1 – limestones with relation main discontinuity (Upper Cretaceous)
 2 – carbonate breccias (Eocene-Oligocene)
 3 – marine sediment (recent)



Sl. 3. Razlika intenziteta abrazije u Omišaljskom zaljevu; 1 - vapnenci (stijenska podloga) s položajem slojeva; 2 - fliš (stijenska podloga) s položajem slojeva; 3 - padinske tvorevine (kršje i pjeskovita glina); 4 - marinski talog (pijesak); 5 - a) normalni rasjed, ustanovljen; b) normalni rasjed, približno postavljen

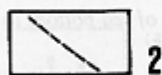
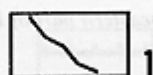
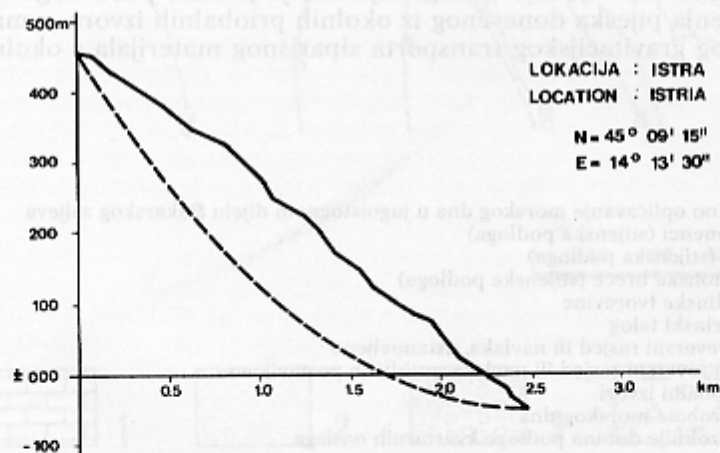
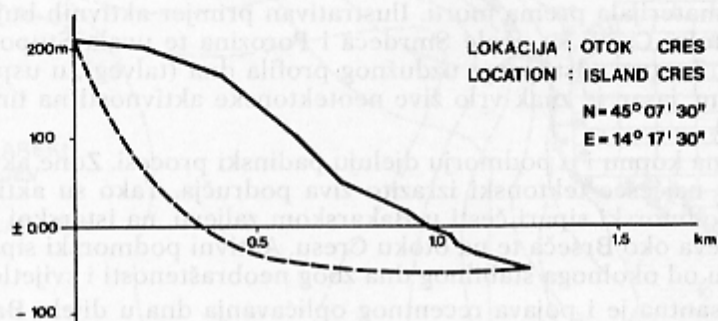
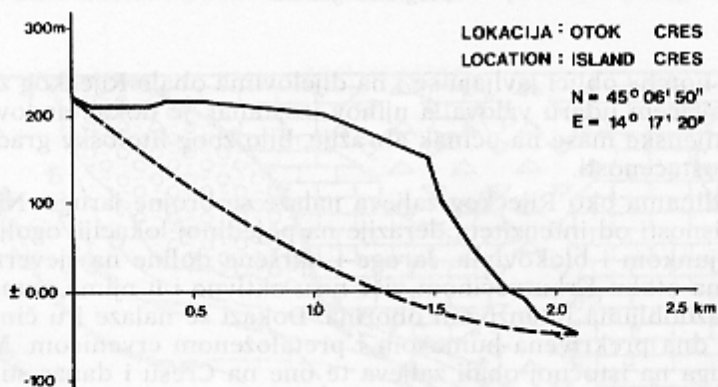
Fig. 3. The different intensity of abrasion in the Omišalj Bay; 1 - limestones (bedrock) with position of beds; 2 - flysch (bedrock) with position of beds; 3 - slope products (fragments and sandy clay); 4 - marine deposit (sand); 5 - a) normal fault, established; b) normal fault, assumed

Također je uočljivo da se gornji rubovi »tidal notch« oblika nalaze na različitim dubinama u odnosu na srednju razinu plime. Tako se u Bakarskom zaljevu te točke nalaze na prosječnoj dubini od 110 cm, istočno od ušća Rječine na dubini od 70 cm, na obalama Krka i na zapadnoj obali zaljeva podno Učke, na dubini od 50 do 55 cm. To je dokaz nejednolikoga tektonskog spuštavanja pojedinih dijelova Riječkog zaljeva. Ti su pokreti očigledno bili vrlo brzi pa bioerozija nije dospjela uništiti istaknutije dijelove mikrokreljefa (sl. 4).



Sl. 4. Karakteristični tipovi »tidal notch« oblika na obalama različitog nagiba u Riječkom zaljevu

Fig. 4. The characteristic type of shape of the tidal-notch on the coast of different slope in Rijeka Bay



Sl. 5. Karakteristični uzdužni profili vodotokova
 1 – stvarni profil
 2 – ravnotežni profil

Fig. 5. The characteristic longitudinal profiles (thalweg) of stream channels
 1 – true profile
 2 – balanced (equilibrium) profile

»Tidal-notch« oblici javljaju se i na dijelovima obale Riječkog zaljeva izloženim najjačem udaru valova, a njihov izostanak je dokaz nedovoljne otpornosti stijenske mase na učinak abrazije, bilo zbog litološke građe ili pak tektonske oštećenosti.

Na padinama oko Riječkog zaljeva nalaze se brojne jaruge. Njihova su dna, u zavisnosti od intenziteta derazije na pojedinoj lokaciji, ogoljela ili ispunjena šljunkom i blokovima. Jaruge i okršene doline na sjevernoj obali zaljeva te na otoku Krku većinom više nisu aktivne i u njima nema tokova čak ni u razdobljima intenzivnih oborina. Dokazi se nalaze i u činjenici da su njihova dna prekrivena humusom i pretaloženom crvenicom. Međutim, većina jaruga na istočnoj obali zaljeva te one na Cresu i danas su aktivne. Kroz njih povremeno teče voda atmosferskog podrijetla i vrši se derazija i transport materijala prema moru. Ilustrativan primjer aktivnih bujičnih tokova na otoku Cresu su uvale Smrdeća i Porozina te uvala Stupova južno od Brseča. Znatno odstupanje uzdužnog profila dna (talveg), u usporedbi s ravnotežnim, jasan je znak vrlo žive neotektonske aktivnosti na tim lokacijama (sl. 5).

Kao i na kopnu i u podmorju djeluju padinski procesi. Zone aktivnih sipara prate najčešće tektonski izrazito živa područja. Tako su aktivni nadmorski i podmorski sipari česti u Bakarskom zaljevu, na istarskoj obali Riječkog zaljeva oko Brseča te na otoku Cresu. Aktivni podmorski sipari jasno se razlikuju od okolnoga stabilnog dna zbog neobraštenosti i svijetle boje.

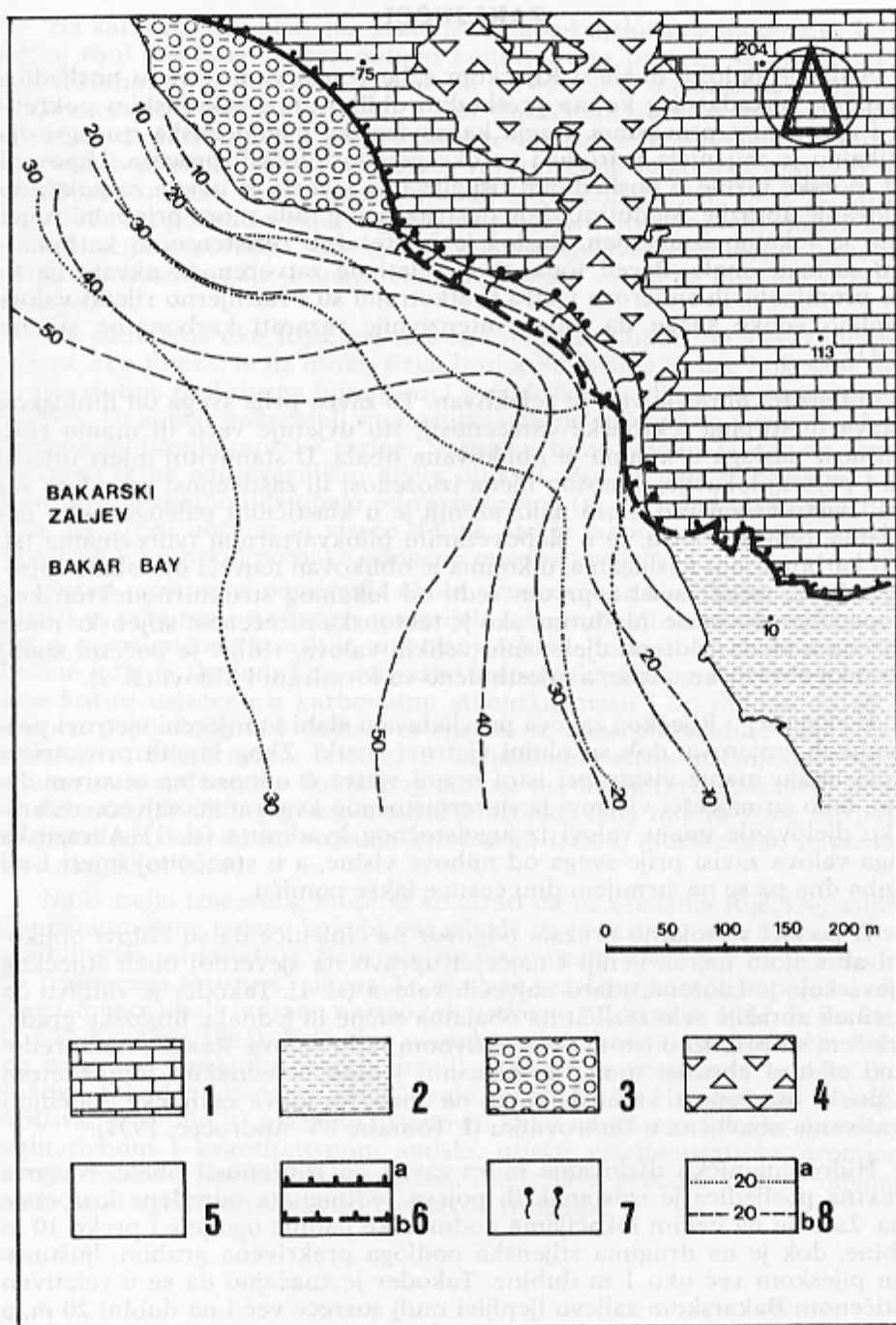
Interesantna je i pojava recentnog oplićavanja dna u dijelu Bakarskog zaljeva. Tijekom posljednje transgresije dno je postalo pliće za gotovo 50 m zbog taloženja pijeska donesenog iz okolnih priobalnih izvora, a manjim dijelom i zbog gravitacijskog transporta siparišnog materijala s okolnih padina (sl. 6).

Sl. 6. Recentno oplićavanje morskog dna u jugoistočnom dijelu Bakarskog zaljeva

- 1 - vapnenci (stijenska podloga)
- 2 - fliš (stijenska podloga)
- 3 - tektonske breče (stijenska podloga)
- 4 - padinske tvorevine
- 5 - marinski talog
- 6 - a) reversni rasjed ili navlaka, ustanovljeno
- b) reversni rasjed ili navlaka, približno postavljeno
- 7 - priobalni izvori
- 8 - a) izobate morskog dna
- b) izolinije dubina podloge kvartarnih naslaga

Fig. 6. The recent shallowing of sea-bottom in the southeastern part of Bakar Bay

- 1 - limestones (bedrock)
- 2 - flysch (bedrock)
- 3 - tectonics breccia (bedrock)
- 4 - slope product
- 5 - marine deposit
- 6 - a) reverse fault or overthrust, established
- b) reverse fault or overthrust, assumed
- 7 - coastal springs
- 8 - a) isobaths of sea-bottom
b) isobaths of bedrock of the Quaternary deposits.



ZAKLJUČCI

Sadašnji položaj obale u Riječkom zaljevu u prvom je redu posljedica potapanja nekadašnjeg kopna prethodno oblikovanog tektonskim pokretima i egzogenim procesima. Nagla kasnovirmska i holocenska transgresija radikalno je mijenjala prirodu i uzroke geomorfoloških procesa. Usporeni rast morske razine u posljednjim tisućljećima stvorio je uvjete za pojačano djelovanje abrazije. Međutim, zbog destruktivnog rada mora priobalni reljef samo je lokalno izmijenjen. Razlog je u pretežno rezistentnom karbonatnom sastavu obale. Pored toga, zbog relativne zatvorenosti akvatorija te vrlo promjenljivih smjerova vjetra kratkotrajni su i razmjerno rijetki valovi dovoljno velike snage da mogu intenzivnije razarati karbonatne stijene (sl. 1).

Intenzitet abrazije vrlo je selektivan. To zavisi prije svega od litološkog sastava te stupnja tektonske oštećenosti, što uvjetuje veću ili manju rezistentnost naslaga u kojima je oblikovana obala. U stanovitoj mjeri utjecaj ima i položaj lokacije, odnosno njena izloženost ili zaštićenost od udara valova. Destruktivni rad mora najizraženiji je u klastičnim paleogenskim naslagama, odnosno flišu, te u slabovezanim pliokvartarnim tvorevinama (sl. 3). U karbonatnim naslagama, u kojima je oblikovan najveći dio obale Riječkog zaljeva, reljef zavisi u prvom redu od lokalnog strukturno-tektonskog sklopa stijenske mase. Međutim, ako je tektonska oštećenost stijenske mase izražena a obala izložena djelovanju velikih valova, vidljiv je početni stadij nastanka abrazijske terase, a mjestimično su formirani i klifovi (sl. 2).

U akvatoriju Riječkog zaljeva prevladavaju slabi i umjereni vjetrovi promjenljivih smjerova, dok su olujni vjetrovi rijetki. Zbog kraćih privjetrišta valovi imaju manje visine pri istoj brzini vjetra u odnosu na otvoreni Jadran. Iako su najčešći vjetrovi iz sjeveroistočnog kvadranta, najveće razaralačko djelovanje imaju valovi iz jugoistočnog kvadranta (sl. 1). Abrazijska snaga valova zavisi prije svega od njihove visine, a u stanovitoj mjeri i od nagiba dna pa se na strmijem dnu čestice lakše pomiču.

Ti podaci vjerojatno pružaju odgovor na činjenice da su klifovi oblikovani abrazijom najrazvijeniji i najčešći upravo na sjevernoj obali Riječkog zaljeva koja je izložena udaru najvećih valova (sl. 1). Također je vidljivo da je učinak abrazije vrlo različit na obalama slične ili jednake litološke građe, a izloženi su približno istom destruktivnom radu valova. Razlike u napredovanju ciklusa abrazije mogu se objasniti jedino nejednakim intenzitetom tektonske oštećenosti stijenske mase na obali. Na takve zaključke upućuju i istraživanja obavljena u Dubrovniku (I. Tomašić i V. Andročec, 1991).

Hydrodinamičko djelovanje mora zavisi od izloženosti obale. Njegova direktna posljedica je izostanak ili pojava sedimenata određene krupnoće zrna. Zato su na nekim lokacijama podmorske padine ogoljele i preko 10 m dubine, dok je na drugima stijenska podloga prekrivena grubim, ljušturastim pijeskom već oko 1 m dubine. Također je značajno da se u relativno zaštićenom Bakarskom zaljevu ljepljivi mulj susreće već i na dubini 20 m, a na valovima izloženim istarskoj obali oko Brseča i otoka Cresa na dubini većoj od 50 m.

Na karbonatnim obalama jasno je vidljivo i djelovanje bioerozije. U litoralnoj zoni Riječkog zaljeva gotovo kontinuirano protežu se »tidal-notch« oblici. Njihov spljošteni konkavni oblik (sl. 4) očit je dokaz usporenog podizanja razine mora (P. A. Pirazzoli, 1986). Različita apsolutna dubina na kojoj se nalaze ti oblici upućuje na nejednolike vertikalne komponente recentnih tektonskih pomaka. Slične posljedice razaralačkog rada organizama u litoralnoj zoni uočene su na zapadnoj obali Istre (J. Scheider, 1976; H. Torunski, 1979). Na području Riječkog zaljeva prisustvo »tidal-notch« oblika jasna je indicacija otpornosti stijenske mase na djelovanje abrazije. Nasuprot tome, oni izostaju gdje je snaga valova dovoljno velika da mehanički razara naslage.

Na padinama oko Riječkog zaljeva brojne su bujice. Na sjevernoj obali zaljeva, oko Rijeke, te na otoku Krku brojne su fosilne jaruge i okršene doline čija su dna prekrivena humusom i pretaloženom glinom te obrasla vegetacijom. To je očit pokazatelj smanjenja energije reljefa kao posljedica holocenskog podizanja morske razine. Nasuprot tome, većina jaruga na zapadnoj obali te na najsjevernijem dijelu otoka Cresa i danas su aktivne, a uzdužni profili znatno odstupaju od ravnotežnog (sl. 5). Iznad obale oko Brseča te na Cresu uočene su viseće doline, što je također pokazatelj izrazitih recentnih tektonskih pomaka odnosno mladosti reljefa.

Pored pozitivnog pomicanja obale, uzrokovanog abrazijom, u Riječkom zaljevu je prisutan i transport materijala s kopna koji uzrokuje oplićavanje dna, a mjestimično i izrazitije mijenjanje obale. Ilustrativan je primjer ušća Rječine gdje je tijekom kasnovirmsko-holocenske transgresije zatrpano fosilno korito usječeno u karbonatnu stijensku masu i do dubine od 60 m. Samo u posljednjih 400 godina to riječno se ušće pomaknulo oko 500 m prema otvorenom moru. Pritom su uzdužobalne struje premještale velike količine suspendiranoga fluvijalnog nanosa prema sjeverozapadu (Č. Benac i Ž. Arbanas, 1990). U jugoistočnom dijelu Bakarskog zaljeva, zbog zatrpavanja pijeskom donesenim vodama priobalnih izvora, morsko dno je postalo pliće oko 50 m (sl. 6).

Na temelju iznesenog može se smatrati da na obalama Riječkog zaljeva nisu ustanovljene pojave koje bi pokazivale da je razina mora tijekom kvartara bila viša od sadašnje. Naprotiv, na više mjesta vidljivo je da je »usporena« transgesija prisutna i danas. To se slaže s mišljenjima da je položaj obale na istočnoj obali Jadrana nastao tek nedavno (T. Šegota, 1982; E. Prelogović i V. Kranjec, 1983). Vrlo živa neotektonska aktivnost u području Riječkog zaljeva, s izraženim pozitivnim ili negativnim pomacima te rotacijom blokova, također utječe na oblikovanje reljefa obale i podmorja. U daljim istraživanjima bilo bi značajno ustanoviti kako na geomorfološke procese u kvalitativnom i kvantitativnom smislu, utječu glacioeustatičke promjene morske razine i neotektonski pomaci. Dakle, dva procesa koja se odvijaju istodobno i uglavnom nezavisno jedan od drugoga.

LITERATURA

- Alfirević, S. (1980): Sedimentološko kartiranje bentoskih biocenoz u kanalima sjeveroistočnog Jadrana. Geol. vjesnik 32, 15–32, Zagreb.
- D'Ambrosi, C. (1969): L' Adriatico nel Quaternario. Atti Mus. Civ. St. Nat. 26(5), 129–175, Trieste.
- Benac, Č. (1989): Morfogeneza vrlo strmih i okomitih obala na području Kvarnera. Pomorski zbornik 27, 485–495, Rijeka.
- Benac, Č. i Arbanas, Ž. (1990): Sedimentacija u području ušća Rječine. Pom. zbornik 28, 593–609, Rijeka.
- Benac, Č. i Segota, T. (1990): Potopljena ris-virmska abrazijska terasa u podmorju ispred Rijeke. Geol. vjesnik 43, 43–52, Zagreb.
- Blašković, I. (1990): Nova globalna tektonika i primjena koncepcije na području Jadranskog mora. Pomorski zbornik 28, 555–581, Rijeka.
- Blašković, I. (1991): Raspored uzdužnih, reversnih i normalnih rasjeda i konstrukcija oblika i dubina ploha podvlačenja. Geol. vjesnik 44, 247–256, Zagreb.
- Cvijić, J. (1922): Abraziona serija jadranske obale i epirogenetski pokreti. Glasnik Geograf. društva 7/8, 71–89, Beograd.
- Grimani, I., Sušnjak, M., Bukovac, J., Milan, A., Nikler, L., Crnolatac, I., Sikić, D. i Blašković, I. (1973): Tumač za list CRIKVENICA. Sav. geol. zavod, Beograd.
- Herak, M. (1986): A new concept of geotectonics of the Dinarides. Acta geologica 16(1) JAZU, 1–35, Zagreb.
- Herak, M. (1991): Dinaridi. Mobilistički osvrt na genezu i strukturu. Acta geologica 21(2) JAZU, 35–117, Zagreb.
- Juračić, M. i Pravdić, V. (1981): Geochemical and physico-chemical studies on sediments of the Rijeka Bay. The properties of sediments as depositories of pollutants. Thalassia Jugoslavica 17(3/4), 339–349, Zagreb.
- Kasumović, M. (1976): Jadransko more (morske mijene). Pomorska enciklopedija 3, 199–200, JLZ, Zagreb.
- Kozličić, M. (1986): Antička obalna linija Istre u svjetlu hidroarheoloških istraživanja. Izd. Hrv. arheološkog društva 11/2, Zagreb.
- Kranjec, V. i Prelogović, E. (1974): O paleogeografskim i neotektonskim odnosima u tercijaru i kvartaru na teritoriju SR Hrvatske. Geol. vjesnik 27, 95–112, Zagreb.
- Lovrić, A. Z. (1971): Coenodynamique et pedodynamique du mode battu par rapport a la bora et a l'abrasion. Thalassia Jugoslavica 7(1), 195–200, Zagreb.
- Orlić, M. i Kuzmić, M. (1980): A contribution to the understanding of the kinematics of surface currents in the Rijeka Bay. Thalassia Jugoslavica 16(1), 31–49, Zagreb.
- Pirazzoli, P. A. (1986): Marine notches. In: Sea-level research: a manual for the collection and evaluation data, 361–400. UNESCO-IGCP, Geo Books, New York.
- Prelogović, E. (1975): Neotektonska karta SR Hrvatske. Geol. vjesnik 28, 97–108, Zagreb.
- Prelogović, E., Blašković, I., Cvijanović, D., Skoko, D. i Aljinović, B. (1981): Seizmotektonske značajke vinodolskog područja. Geol. vjesnik 33, 75–93, Zagreb.
- Prelogović, E. i Kranjec, V. (1983): Geološki razvitak područja Jadranskog mora. Pomorski zbornik 21, 387–405, Rijeka.
- Roglić, J. (1949): Geomorfološka istraživanja na kvarnerskim otocima i zadarskom primorju. Ljetopis JAZU 55, 161–167, Zagreb.
- Roglić, J. (1967): Prilog poznavanju reljefa jadranskog priobalnog dna. Rad JAZU 345, 39–54, Zagreb.
- Rubić, I. (1937): Mali oblici na obalnom reljefu istočnog Jadrana. Geograf. vestnik 1936–1937, 1–53, Ljubljana.
- Rukavina, D. (1981): Sedimenti istarskog podzemlja i rekonstrukcija klime tijekom pleistocena. Liburnijske teme 4, Opatija.
- Scheider, J. (1976): Biological and inorganic factor in the destruction of limestone coasts. Cont. Sedimentology 6, 1–112, Stuttgart.
- Segota, T. (1963): Geografske osnove glacijala. Radovi Geograf. inst. 4, 1–119, Zagreb.
- Segota, T. (1967): Promjene temperature u kvartaru. Rad JAZU 345, 5–38, Zagreb.
- Segota, T. (1968): Morska razina u holocenu i mlađem virmu. Geograf. glasnik 30, 15–39, Zagreb.
- Segota, T. (1976): Promjene razine Jadranskog mora prema podacima mareografa u Bakru i Splitu. Geograf. glasnik 38, 301–312, Zagreb.
- Segota, T. (1982): Razina mora i vertikalno gibanje dna Jadranskog mora od ris-virmskog interglacijala do danas. Geol. vjesnik 35, 93–109, Zagreb.
- Sikić, D. i Pleničar, M. (1975): Tumač za list ILIRSKA BISTRICA. Sav. geol. zavod, Beograd.

- Sikić, D., Plenićar, M. i Šparica, M. (1972): OGK SFRJ L33-89 ILIRSKA BISTRICA 1:100.000. Sav. geol. zavod, Beograd.
- Sikić, D. i Polšak, A. (1973): Tumač za list LABIN. Sav. geol. zavod, Beograd.
- Sikić, D., Polšak, A. i Magaš, N. (1969): OGK SFRJ L-33-101 LABIN 1:100.000. Sav. geol. zavod, Beograd.
- Skrivanić, A. i Magdalenić, Z. (1979): Cruises of the Research Vessel Vila Velebita in the Quarner Region of the Adriatic Sea. IX Quarernary Sea-bottom sediments. *Thalassia Jugoslavica* 15(1/2), 149-166, Zagreb.
- Sušnjar, M., Bukovac, J., Nikler, L., Crnolatac, L., Milan, A., Sikić, D., Grimani, I., Vulić, Ž. i Blašković, I. (1970): OGK SFRJ L-33-102 CRIKVENICA, 1:100.000. Sav. geol. zavod, Beograd.
- Tabain, T. (1976): Jadransko more (vjetrovni valovi na Jadranu). *Pom. enciklopedija* 3, 208-214, JLZ, Zagreb.
- Tešić, M. (1956/57): O postglacijalnom pozitivnom pomeranju obalne linije na istočnoj obali Jadranskog mora. *Hydrograf. godišnjak*, 1956-57, 153-162, Split.
- Tomašić, I. i Androžec, V. (1991): Utjecaj strukturno-petrografskih, hidrodinamičkih i ostalih čimbenika na trošenje stijena u temelju dubrovačkih zidina. *Rud.-geol.-naftni zbornik* 3, 35-43, Zagreb.
- Torunski, H. (1979): Biological Erosion and its Significance for the Morphogenesis of Limestone Coasts and for Nearshore Sedimentation (Northern Adriatic). *Senckenbergiana maritima* 11, 193-265, Frankfurt.
- Withow, J. (1986): *Dictionary of Physical Geography*. 591 pp, Penguin books, Harmondsworth.

SUMMARY

The Recent Geomorphological Processes in the Area of the Rijeka Bay

by
Cedomir Benac

Rijeka Bay is situated at the northern part Croatian coast of Adriatic sea. It has area of 450 km² and long coast of 115 km. It is bordered by the coasts of Istria, Hrvatsko Primorje, islands Krk and Cres. It is linked with open part of Adriatic Sea by narrow channels.

Western and northern coast of Rijeka Bay indented weakly. The same relates to the north coast of island Cres. In the opposite of them, north-eastern and eastern part of Rijeka Bay there are Bakar Bay and Omišalj Bay. The coasts on Istrian side and on island Cres are mainly very steep. The relief of island Krk is rejuvenated, especially in the southwestern part. The sea-bottom of Rijeka bay is levelled and relatively shallow and it doesn't cross over a deep of 66 m.

In the area of Rijeka Bay, Cretaceous, Paleogene, Quaternary and recent formation are discovered. Cretaceous formations are: limestones, dolomites and carbonate breccias. Paleogene deposits are: limestones, flysch and carbonate breccias. The carbonate formations are dominant spacially in coastal area, while wide-spread of flysch is restricted. These deposits are consisting bedrock, which is on the land covered partly by younger formations. The carbonate rocks frequently are zone of terra rossa. The flysch formation are covered by weathered zone and slope products. In all lithological types of bedrock there are active and fossil talus and proluvial deposit. The sea-bottom of Rijeka Bay is already completely covered by Quaternary and recent deposits: near on coast by gravel and sand, but in deeper parts by mud.

The recent position of coastal line of Rijeka Bay is cause submerged of ancient land because of quickly rise of the sea-level from the end of Würm and during Holocene. The coastal relief is only locally changed by the marine erosion, because the hardness and resistant rock fabric. High waves are not frequently by reason of relatively small area of Rijeka Bay and very variable direction of wind.

The processes of coastal destroying, because of mechanical work of waves, are very selective. It depends priority of resistivity deposits: lithological fabric and intensity of joints. The coastal destroying is especially apparently in Paleogene flysch and Quaternary deposits. The coastal relief priority depends of structural and tectonic fabric in resistant carbonate rocks. However, if the location exhibited of strong waves and the rock mass is jointed intensively, the initial stage of abrasion terrace are apparently. The cliffs have formed sporadically in this places.

The processes of bioerosion are apparently clearly in the coasts of carbonate rock fabric. The tidal-notch are extending predominantly continually. They have flat concave shape and sporadically different deep in relation on the mean sea-level. There are evidence of rise of sea-level and differential tectonic movements.

Many rills have cut in the coast of Rijeka Bay. Water flow make erosion in the bed of this in the slopes of Učka Mountain and Cres island during rain period. The rills are always dry in coast of Krk and northern coast. These are geomorphological evidences of changing energy relief because change of erosion base and tectonic movements.

Ancient river bed of Rječina, was cut in carbonate bedrock in old times, covered by fluvial deposit during Holocene. The mouth of Rječina river dislocated 1 000 m in last 2 000 years. The sea-bottom became more shallow for 50 m in south-eastern part of Bakar Bay, because of the sedimentation of sand, carried by groundwater.

Many of geomorphological phenomena are evidences that the sea-level fluctuated considerably during the Pleistocene and Holocene. Last Holocene transgression is continuing and today, although slowed down intensity.

Primljeno: 2. lipnja 1992.

Received: June 2, 1992.