

UDK 551.4.06(497.5)

MORFOLOŠKA EVOLUCIJA RIJEČKOG ZALJEVA: UTJECAJ KLIMATSKIH I GLACIOEUSTATIČKIH PROMJENA

ČEDOMIR BENAC

Izvadak:

Ovaj rad razmatra obalno područje i podmorje Riječkog zaljeva. Recentni reljef u području Riječkog zaljeva posljedica je tektonskih pokreta, promjena klime i morske razine tijekom bliže geološke prošlosti, a također i egzogenetskih procesa. Klimatske promjene i glacioeustatičke oscilacije mora tijekom posljednjih 700 000 godina snažno su utjecale na promjene reljefa, pa su uništeni tragovi starijih morfogenetskih etapa. Na dnu Riječkog zaljeva vjerojatno su bila izolirana jezera na vrhuncu virmške regresije. Krški izvori bili su na kotama znatno nižim od današnjih. Sadašnji položaj i oblik obala koje okružuju Riječki zaljev, posljedica su ponajprije potapanja kopna poradi holocenske transgresije. Rijetki klifovi i uske marinske terase jasni su pokazatelji mladosti obalnog reljefa.

Gljučne riječi:

Morfogeneza, razina mora, klimatske promjene, kvartar, Riječki zaljev, Jadransko more.

MORPHOLOGICAL EVOLUTION OF THE RIJEKA BAY: THE INFLUENCE OF THE CLIMATIC AND GLACIOEUSTATIC CHANGES

Abstract:

This paper analyses the coastal and the submarine zones of the Rijeka Bay, part of the Kvarner Channel area in the North Adriatic. The recent relief of the Rijeka Bay area is the result of tectonic movements, climatic and sea level changes, as well as exogenetic processes, occurring during the early geological time. The climatic changes and glacioeustatic sea level oscillations for the past 700 000 years have strongly transformed the relief, and have also destroyed the remains of the older morphogenetic phases. Isolated lakes on the bottom of the Rijeka Bay possibly existed at the peak of Wurm regression. The riverbeds are deeply cut into the bedrock and karst springs were at much lower levels than today. The recent position of the coastal line is a result of the flooding of ancient land areas due to Holocene transgression. The clear indicators of the initial and youthful stage of the coastal relief are the rare cliffs and narrow marine terraces.

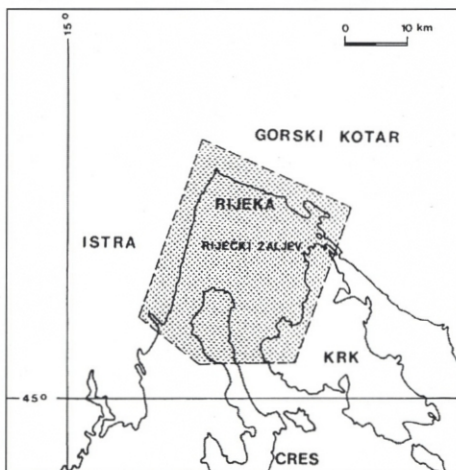
Key words:

Morphogenesis, sea level, climatic change, Quaternary, Rijeka Bay, Adriatic Sea.

Uvod

O morfološkoj evoluciji hrvatske obale Jadranskog mora, u čijem se sjeveroistočnom dijelu nalazi i Riječki zaljev, postoje brojne nedoumice. Tako su okomite ili vrlo strme padine smatrane klifovima, koji su pokazatelji već uznapredovalog stadija u ciklusu marinske erozije. Nasuprot tomu, veći dio sjeveroistočne obale Jadrana u svjetskoj literaturi je poznat pod nazivom "dalmatinski tip obale", gdje je pružanje obala i otoka približno paralelno reljefu i regionalnim geološkim strukturama (WHITTHOW, 1986.). Po tom tumačenju, radi se o reljefu obale utjecanom geološkim strukturama i mladim tektonskim pokretima. Po istom načelu, navedena tumačenja odnose se na Riječki zaljev.

Riječki zaljev se nalazi na sjevernom dijelu hrvatske obale Jadranskog mora. Ima površinu 450 km² te dubinu obale od 115 km. Omeđen je obalama Istre i Hrvatskog primorja te otoka Krka i Cresa. S otvorenim dijelom Jadranskog mora povezan je uskim kanalima (sl.1). Obale na istarskoj strani te na otoku Cresu uglavnom su vrlo strme. Reljef otoka Krka je zaravnjen, pogotovo



Sl. 1. Riječki zaljev: geografski položaj
Fig. 1. The Rijeka Bay: geographical position

u jugozapadnom dijelu. Dno Riječkog zaljeva je ravno i razmjerno plitko. Najveća dubina je 66 m.

Opće poznata činjenica je da su klima i morska razina, uz mlade tektonske pokrete, važan modifikator egzodinamičkih procesa na nekom prostoru. Tijekom kvartara, posebice njegovog mladog dijela, na području Sredozemlja pa tako i sjevernog Jadrana, zbivale su se značajne i nagle klimatske promjene kao i kolebanja morske razine. Osim toga, neotektonski pokreti prouzročeni pomicanjem Jadranske ploče i odupiranjem mase Dinarida, izazvali su često vrlo nagle pomake stijenskih masa različitih smjerova i intenziteta.

Zato je svrha ovog rada, da se na cjelovit znanstveni način pokušaju objasniti utjecaji sva tri osnovna morfogenetska čimbenika: klimatskih promjena, glacioeustatičkih kolebanja morske razine i neotektonskih pokreta na morfološku evoluciju reljefa u području Riječkog zaljeva. To se posebice odnosi na zbivanja s kraja pleistocena i tijekom holocena, koja su, naravno, bila najznačajnija u oblikovanju današnjeg reljefa.

Rezultati objavljeni u ovom radu dio su istraživanja u znanstvenoistraživačkim projektima: "Fizičko-geološki procesi u priobalju i u podmorju Jadrana" (1-09-232) i "Hidrodinamička stabilnost obalne crte Jadranskog mora" (2-11-082) koji su financirani od Ministarstva znanosti i tehnologije Republike Hrvatske.

Klimatske promjene

Klima se neprekidno mijenjala još od vremena nastanka Zemljine kore. Ustanovljeno je da je tijekom tercijara, globalna klima bivala sve hladnija (FRAKES, 1979.). Isto se odnosi i na srednju Europu (BUEDEL, 1977.).

Na hrvatskoj obali Jadranskog mora, posredni dokazi toplije klime tijekom neogena, posebice pliocena, su široko rasprostranjene naslage crvenice (ŠINKOVEC, 1974.). Dokazi toplije klime također su slojevi

ugljena unutar slatkovodnih neogenskih naslaga (BLAŠKOVIĆ, 1983.).

Prema tomu, kvartarna oledba nije bila neočekivana i nagla pojava, već posljedica planetarnog zahlađenja. Obilježavaju je intenzivnije promjene temperature, a u Europi značajke veće kontinentalnosti i aridizacije (ŠEGOTA, 1988.).

Istraživanja su pokazala da na sjevernoj hemisferi, za razliku od južne, tijekom Matuyama paleomagnetnog razdoblja koje obuhvaća kalabriju, emiliju, siciliju i donji milacij (1 800 000 - 750 000), nisu postojali ledeni pokrovi većih razmjera. Zato su se u skladu s pulsiranjem antarktičkog ledenog pokrova izmjenjivala nešto hladnija i toplija razdoblja praćena i odgovarajućim pluvijalima i interpluvijalima, odnosno izmjenama humidnije ili aridnije klime (BOWEN, 1978.; FRAKES, 1979.).

Nalazi u spilji Šandalja u Istri ukazuju na tipičnu toplu stepsku klimu u najstarijem dijelu pleistocena (MALEZ, 1974.). Na temelju dosadašnjih spoznaja nadopunjenih analizom sedimentata s otoka Suska (BOGNAR & ZAMBO, 1992.), vjerojatno je da klima tijekom donjeg pleistocena (Matuyama razdoblje) u području Kvarnera nije bila osobito hladna, a povremeno je bila izraženije vlažnosti.

Na većem dijelu europskog kopna, tek u posljednjih 750 000 godina, ili u Brunhes paleomagnetnom razdoblju, javljaju se veća temperaturna kolebanja, praćena pojavom glacijala. To razdoblje se u alpskom području uobičajeno dijeli na glacijale ili ledena doba: ginc, mindel, ris i virn, a u mediteranskom području to je kraj milacija i tirenijen. Klimatske promjene bile su vrlo kompleksne, a dužina trajanja glacijala i interglacijala vrlo različita. Unutar glacijala susreću se hladniji stadijali i topliji interstadijali. Zahlađenja klime bila su praćena povećanjem aridnosti. U toplim razdobljima prosječna godišnja temperatura bila je 2-3°C viša, a u hladnim 8-10°C niža od današnje. Posljednji stadijal zadnjeg glacijala virna, s maksimumom prije 22 000 godina, bio

je najhladniji tijekom cijelog pleistocena (BOWEN, 1978.; FRAKES, 1979.).

Od mindela, razmjerna blizina Sredozemlja i povremeno zaleđenih Alpa nesumnjivo je utjecala na klimatski režim kvarnerskog područja. Prema rezultatima analize spiljskih sedimentata u Istri (RUKAVINA, 1981.), oko Lovrana i Kastva (MALEZ, 1987.), te naslaga na otoku Susku i u predjelu Baške na otoku Krku (BOGNAR et al., 1983.) mogle su se spoznati značajke i promjene klime na području Riječkog zaljeva. Za razdoblje mindelskog glacijala nisu do sada pronađeni pouzdani dokazi, dok je u mindel - riškom interglacijalu prevladavala topla klima povremeno izražene humidnosti. Donji dio riškog glacijala bio je povremeno jako vlažan i ne osobito hladan, za razliku od gornjega dijela kada je prevladavala hladnija i aridnija klima. Interglacial ris - virn bio je u početku vlažan s prosječnom temperaturom oko 2°C višom od današnje, da bi u svom kasnijem dijelu postao hladiji i sušniji.

Glacijal virn označuju tri hladnija stadijala i dva nešto toplija interstadijala. Humidnost klime smanjivala s opadanjem temperature. Kraj virna bio je po svemu sudeći osobito hladan i suh, a srednja godišnja temperatura niža 8-10°C u odnosu na današnju.

Sudeći prema faunističkim ostacima pronađenim na području Riječkog zaljeva, tu je u posljednjih 200 000 godina prevladavala stepska do stepsko - šumska vegetacija čije značajke su se mijenjale u skladu s oscilacijama temperature i količine padalina. Tragovi morena ustanovljeni su na Snježniku i Risnjaku (ŠIKIĆ & PLENIČAR, 1975.), te na sjevernom Velebitu (BOGNAR et al., 1991.).

Holocensko razdoblje počelo je prije 10 000 godina. Za njega je značajan nagli porast temperature. Česte su oscilacije klime (BOWEN, 1978.). Atlantski klimatski optimum bio je prije 5 000 do 6 000 godina, kada je temperatura vegetacijskog razdoblja u srednjoj Europi bila 1.5 - 2.4°C viša od današnje (ŠEGOTA, 1988.).

Taloženje sedre u koritima rijeka jadranskoga slijeva počelo je posljednjih 8 000 godina, što se smatra pouzdanim dokazom toplije klime (FRITZ, 1992.). Nalaz sloja treseta u priobalnom području Rijeke, čija starost iznosi oko 6 400 godina (BENAC & ŠEGOTA, 1990.), podudara se s atlantskim klimatskim optimumom.

Promjene morske razine

Razina mora znatno je varirala tijekom geološke prošlosti (HOSHINO, 1986.). Smatra se da je tijekom paleogena morska razina bila znatno viša od današnje (HAQ et al., 1987.). Međutim, krajem miocena Sredozemno more je gotovo potpuno presušilo, zbog prekida veze s Atlantskim oceanom. Proboj kroz gibraltarski prag zbio se vjerojatno tek početkom pliocena (RYAN, 1973.).

Postoje proturječni podaci o globalnoj razini mora na prijelazu iz pliocena u pleistocen. Ranije se smatralo da je morska razina bila 150 do 200 m viša od današnje. Prema novijim hipotezama, more je bilo znatno niže, a tek je u sicilijenu (Matuyama razdoblje) nastupila izrazita transgresija što se objašnjava podizanjem oceanskog dna (SEIBOLD & BERGER, 1996.). Od tog razdoblja, prije oko 1 200 000 godina, kada je razina bila 90 do 100 m iznad današnje, počelo je globalno sniženje morske razine (BOWEN, 1978.). Sukladno s oscilacijama Mediterana, nakon emerzije u gornjem pliocenu, počinje nova transgresija početkom pleistocena i od tada je Jadransko more jedinstven sedimentacijski bazen (PRELOGOVIĆ & KRANJEC, 1983.).

Kolebanja morske razine tijekom posljednjih 750 000 godina, dakle u doba značajnih glacijala u Europi, do danas nisu precizno određena. Smatra se da je na vrhuncima glacijala morska razina bila niža između 100 i 150 m, a u vrijeme starijih interglacijala i nešto viša od današnje (BOWEN, 1978.; SEIBOLD & BERGER, 1996.).

Pretpostavlja se da je tijekom mlađeg pleistocena razina Jadranskog mora varirala i do 150 m (VAN STRAATEN, 1970.), što je prouzrokovalo barem tri emerzije i četiri transgresije, uključujući i posljednju, holocensku. Većina istraživača se slaže da je u maksimumu virna more bilo niže oko 100 m, pa su vjerojatno na većem dijelu sjevernoga Jadrana vladali kopneni uvjeti (D'AMBROSI, 1969.; VAN STRAATEN, 1970.; ŠEGOTA, 1982.).

Dokazi su pronađeni u duboko usječnim koritima Raše (BENAC et al., 1991.), Plominskog zaljeva (BENAC, 1995.) te Rječine (BENAC & ARBANAS, 1990.) i Dubračine (BENAC et al., 1992.), a koja su ispunjena recentnim sedimentima. Na talijanskoj obali geofizičkim su istraživanjima ustanovljene potopljene terase na dubini od oko 60 m (VAN STRAATEN, 1970.). Na području Ravnih kotara ustanovljena je zona povećane poroznosti u karbonatnim naslagama na apsolutnoj dubini -50 do -80 m. Ta pojava se tumači promjenom morske razine tijekom mlađeg pleistocena (FRITZ, 1992.).

Posljednja, kasnovirsko-holocenska transgresija je najbolje istražena. Na vrhuncu virna prije 25 000 godina razina mora bila je oko 100 m niža od današnje, a početkom holocena prije 10 000 godina oko 31 ispod današnje. Rast je u početku bio vrlo nagao da bi u posljednjih 4 000 do 6 000 godina more počelo stagnirati pa se od početka nove ere more podiglo za oko 2 m. Unatoč stalnom uzlaznom trendu, rast je prije bio skokovit nego ravnomjeran (ŠEGOTA, 1982.; KIDSON, 1986.). Također je nepobitno dokazano da, unatoč atlantskom klimatskom optimumu, tijekom holocena morska razina nije nikada bila viša od današnje (KIDSON, 1986.), iako je lokalno taj proces mogao biti vrlo različit (SEIBOLD & BERGER, 1996.).

Vjerojatno je, da je razina Jadranskog mora pratila rast globalne morske razine. Ona se u posljednjih 16 000 godina podizala u početku vrlo naglo, a zatim sve usporenije

(ŠEGOTA, 1982.). Recentni rast morske razine Jadrana potvrđen je analizom mareografskih podataka (ŠEGOTA, 1982.) te otkrivanjem potopljenih arheoloških nalazišta (KOZLIČIĆ, 1986.; ŠEGOTA & FILIPČIĆ, 1991.). Na to ukazuju i promjene hidrogeoloških odnosa na hrvatskoj obali Jadranskoga mora (FRITZ, 1992.).

Geološka obilježja

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 (ŠIKIĆ et al., 1969.; ŠUŠNJAR et al., 1970.; ŠIKIĆ et al., 1972.). Karbonatne naslage u obalnom su pojasu prostorno dominantne, dok je rasprostranjenost fliša ograničena. Ove naslage sačinjavaju osnovnu stijensku masu koja je na kopnu djelomično pokrivena mladim tvorevinama. Na karbonatnim naslagama česte su zone crvenice, dok su na flišu kora fizičko-kemijskog raspadanja i padinske tvorevine. Na svim litološkim tipovima podloge, susreću se aktivni i vezani sipari te potočni ili bujični nanos. Podmorje Riječkog zaljeva gotovo je u potpunosti pokriveno recentnim tvorevinama: uz obalu šljunkom i pijeskom, a u dubljim dijelovima muljem (ALFIREVIĆ, 1980.; JURAČIĆ & PRAVDIĆ, 1981.; BENAC, 1992.).

Podvlačenje Jadranske karbonatne ploče pod Dinaride u izravnoj je svezi s tektogenom šireg područja Riječkog zaljeva. Pokreti početkom oligocena prouzročili su tektonsko suženje šireg područja te stvaranje navlaka i reversnih struktura. Zbog promjene smjera kretanja Jadranske ploče prema sjeveru, došlo je od sredine miocena do promjene smjera globalnog stresa (PRELOGOVIĆ et al., 1995.) kao i izdizanja zone Visokog krša i tonjenja Jadranske depresije (HERAK, 1991.). Takav trend, na regionalnom

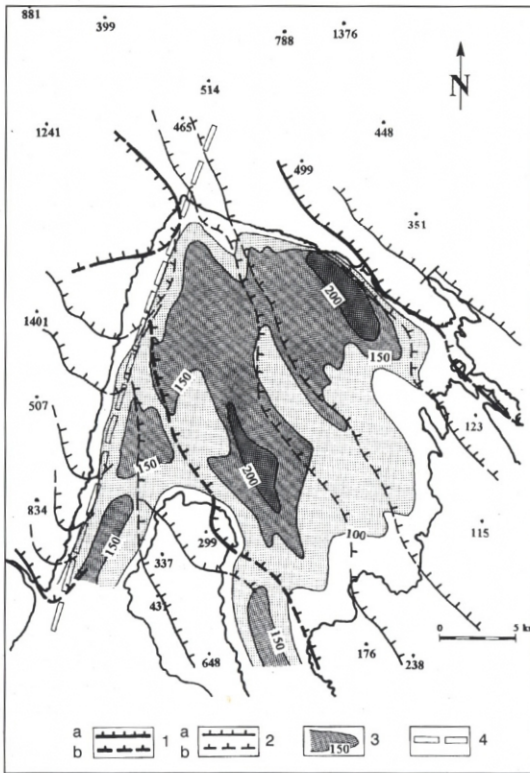
planu, nastavlja se i danas. Neotektonski pokreti od donjeg pliocena do danas imali su presudnu ulogu u oblikovanju današnjih struktura. Odražavali su se u horizontalnim i vertikalnim pokretima različitih predznaka i intenziteta (PRELOGOVIĆ et al., 1981.).

Područje Riječkog zaljeva nalazi se u sklopu geodinamske jedinice Adrijatik, koja je omeđena jedinicom Dinarik sa sjeveroistočne i jedinicom Istra sa zapadne strane. Na širem planu pojavljuje se slijedeći tektonski odnos: navlačenje Dinarika na Adrijatik te Adrijatika na Istru (PRELOGOVIĆ et al., 1995.).

Posljedica takve tektogeneze je boranje krednih i paleogenskih naslaga te stvaranje reversnih struktura i navlaka. Na najvećem dijelu Riječkog zaljeva uočljiva je ista strukturalna grada: nizanje relativno uskih navlačnih struktura osnovnog smjera pružanja SZ-JI (sl. 2). Njihove granice obilježene su rubovima navlaka i rasjedima, osobito uočljivim na dodirima karbonatnih naslaga i fliša (BENAC, 1995.). Razlike u strukturalnoj građi i osnovnom smjeru pružanja vidljive su na području Učke, na potezu od Plomina do Opatije. Tu je osobito izražena ljuskava strukturalna obilježena plitkim navlakama i blago položenim paraklazama što se morfološki odražava u konveksnim ocrtima trasa navlačnih dodira (MIHLJEVIĆ & PRELOGOVIĆ, 1992.).

Rezultati

Na širem području Riječkog zaljeva emercija je trajala od gornjeg miocena do donjeg pliocena (PRELOGOVIĆ & KRANJEC, 1983.). U takvim uvjetima procesi fizičko - kemijskog raspadanja stijena i erozija bili su vjerojatno vrlo intenzivni na cjelokupnom kvarnerskom prostoru. Učinak egzodinamičkih procesa bio je selektivan. Zato su više denudirane naslage fliša, odnosno kora raspadanja na njemu, te mlade tvorevine. Klima je, posebice u pliocenu bila pogodna za stvaranje crvenice. Te naslage su bile



Sl. 2. Tektonska karta

- 1 - rub navlake: a) ustanovljen; b) približno postavljen
- 2 - značajni reversni rasjed: a) ustanovljen; b) približno postavljen
- 3 - izobate reljefa stijenske podloge (m)
- 4 - "istarski" rasjed

Fig. 2. Tectonic map

- 1 - boundary of overthrust: a) observed b) assumed
- 2 - significant reverse fault: a) observed b) assumed
- 3 - isobaths of bedrock (m)
- 4 - "Istria" fault

široko rasprostranjene i miješale su se s materijalom nastalim razgradnjom i spiranjem fliša (ŠINKOVEC, 1974.).

Smatra se da su u neogenu nastale tektonske grabe u Vinodolu i na otoku

Krku. Taloženje se zbivalo samo u izoliranim slatkovodnim bazenima čiji su tragovi nađeni u Vinodolskoj udolini (BLAŠKOVIĆ, 1983.).

Prostrana krška zaravan vjerojatno je obuhvaćala najveći dio današnjeg Riječkog zaljeva. Zbog tektonskih pokreta, zaravan je razbijena, a dijelovi se danas nalaze na različitim položajima u odnosu na primarni (sl. 2).

Ponikve su česte oko Riječkog zaljeva. Njihov oblik je dokaz tektonskih deformacija koje je pretrpjela stijenska masa (MIHLJEVIĆ, 1994.). Gotovo ih uopće nema ili su djelomično razorene u zonama izraženih inverernih recentnih tektonskih pokreta. U skladu s genezom ponikava na Dinarskom kršu (BAHUN, 1969.), moguće da je dio njih mogao biti razoren i opet oblikovan.

Na današnjim ostacima zaravni, mjestimice su vidljivi tragovi paleotokova, koji su većinom paralelni glavnim tektonskim strukturama. To znači da je u toj morfogenetskoj fazi prevladavalo površinsko otjecanje nad podzemnim, pa je usijecanje korita bilo

izraženije od okršavanja. Tek u kasnijoj evolucijskoj fazi, podzemna krška cirkulacija prevladala je u odnosu na površinsko otjecanje. Takav razvoj je utvrđen i drugdje u Dinarskom kršu (BAHUN & FRITZ, 1987.; PAVIĆIĆ & RENIĆ, 1992.).

U karbonatnim naslagama s većim udjelom dolomitne komponente, mehaničko raspadanje bilo je naglašenije od korozije, odnosno okršavanja. Na tim mjestima vidljive su prostrane depresije. Veće krške uvale ustanovljene su na Cresu, u podnožju Učke, kao i oko Bakarskog zaljeva. Njihovo je pružanje izrazito paralelno tada stvorenim strukturama osnovnog smjera pružanja SZ-JI.

Od gornjeg pliocena do danas, ponovo jača tektonska aktivnost. Ona se odražavala u horizontalnim i vertikalnim pomacima različitih predznaka i intenziteta (PRELOGOVIĆ

et al., 1981.). Tada vjerojatno počinje intenzivno izdizanje Učke na zapadu, Snježnika, Risnjaka i Tuhobića na sjeveru te tonjenja dna Riječkog zaljeva (ŠIKIĆ & PLENIČAR, 1975.). Istodobno se zbiva i rotacija sjevernog kvarnerskog područja prema jugu i jugozapadu. Ti pokreti imali su presudnu ulogu u oblikovanju današnjeg reljefa. To je posebno uočljivo po položaju i svijenim oblicima glavnih orografskih osi (MIHLJEVIĆ, 1995.).

Na istočnim padinama Učke vidljivo je više duboko usječenih dolina na čijem su dnu bujične jaruge i šljunčani nanos. Njihov položaj predisponiran je strukturnotektonskim sklopom. Vertikalni tektonski pokreti bili su više skokoviti nego kontinuirani pa su izazvali različitu brzinu usijecanja. Odlučujuću ulogu pritom je imala aktivnost "istarskog rasjeda" koji se pruža uz istočnu, "liburnijsku obalu" Istre (sl. 2). Zbog izraženih horizontalnih neotektonskih pokreta ishodišni oblik opisanih dolina je deformiran (MIHLJEVIĆ & PRELOGOVIĆ, 1992.). Prema koljeničastom svijanju većine njih, najizraženiji pomaci bili su po sustavima rasjeda smjera SSZ-JJI. Dolina Mošćeničke Drage je, sudeći prema nalazima vezanih konglomerata, starija od ostalih.

Klima je tijekom donjeg pleistocena (Matuyama razdoblje) bila na području Riječkog zaljeva još nešto toplija od današnje, najčešće tipično stepska i povremeno izraženije humidnosti. To je pogodovalo stvaranju tala sličnih crvenici koja u sebi sadrže i relikte starijih laterita (ŠKORIĆ, 1981.).

Tijekom srednjeg i gornjeg pleistocena, odnosno posljednjih 750 000 godina (Brunhes razdoblje) klimatska kolebanja su bila izraženija. U hladnim razdobljima zbivalo se intenzivno mehaničko raspadanje karbonatnih stijena kao i spiranje raspadnutog materijala. Krupnozrnasti produkti takvog procesa nađeni su i u krškom podzemlju na istočnim padinama Učke, na otoku Cresu te oko Rijeke (MALEZ, 1987.). Na padinama Snježnika nastaju ledenjaci. Njihovim kopnjem, fluvio-glacijalni materijal biva denuiran

u niža područja, osobito u Gumanac i Grobničko polje (ŠIKIĆ & PLENIČAR, 1975.).

U uvjetima znatno hladnije i sušnije periglacialne klime, mehanička destrukcija naslaga prevladava nad kemijskim raspadanjem (DOORNKAMP, 1986.). Zato su tijekom hladnijih razdoblja srednjeg i gornjeg pleistocena (Bruhnes razdoblje), mogle nastati veće količine siparnih breča i vezanih sipara. To su, vjerojatno, samo relikti nekad puno rasprostranjenijih tvorevina. Nastale su tijekom ili neposredno nakon onih neotektonskih etapa kada je zbog kontrastnih pokreta povećana energija reljefa. Siparne breče su, sudeći po višem stupnju litifikacije, starije od vezanih sipara. Debele nakupine vezanih sipara pronađene su u dolini Rječine i uvali Martinšćica kao i na podmorskim padinama Bakarskog zaljeva. Zahvaljujući podizanju morske razine te naslage su pokrivene mladim tvorevinama i tako zaštićene od daljnje erozije.

Na naslagama fliša primjetne su dvije kontrastne pojave: na nekim lokacijama pedogenetski procesi su stalno u inicijalnom stadiju zbog izražene erozije, a na drugim su nakupljenje deblje deluvijalno - koluvijalne naslage. Zbog toga se, u flišnim zonama, nalaze jedna do drugih, recentna i reliktna tla.

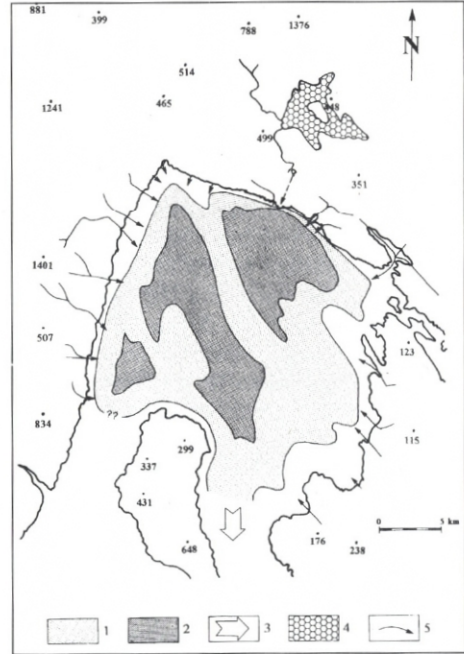
U hladnim stadijalima gornjeg pleistocena vjetrom je donášana velika količina sitnozrnastog materijala. Takvi ostaci su nađeni u pećinama oko Riječkog zaljeva (RUKAVINA, 1981.; MALEZ, 1987.), na otoku Susku te kod Baške i Čipića na otoku Krku (BOGNAR & ZAMBO, 1992.).

Naslage izvornog prapora u području Riječkog zaljeva nisu nađene. Vjerojatno je da su one denudirane u toplijim i vlažnijim interstadijalima gornjeg pleistocena. Njihovi tragovi naziru se u pretežito prašinstvom sastavu tala crvene boje, vrlo rasprostranjenih oko Riječkog zaljeva. Zato se smatra da su poligenetskog podrijetla: nastale miješanjem laterita, fliša i prapora (ŠKORIĆ, 1981.; BOGNAR & ZAMBO, 1992.; DURN et al., 1992.).

U području sjevernog Jadrana postoji više dokaza o transgresijama tijekom pliocena i donjeg pleistocena (kalabrijen) (PRELOGOVIĆ & KRANJEC, 1983.). Geofizičkim istraživanjima ustanovljen je duboki morski zaljev između istočne obale Istre i otoka Cresa. Ispunjen je neogenskim sedimentima (ALI-NOVIĆ & BLAŠKOVIĆ, 1981.). Prema naftno-geološkim istraživanjima, pliocenski sedimenti isklinjavaju 50 km, a donjopleistocenski 20 km zapadno od recentne obalne crte Istre (KRIŽ et al., 1982.). Međutim, u području Riječkog zaljeva nisu nađeni njihovi tragovi. Marinski sedimenti, za koje se predpostavlja da su nastali u donjem pleistocenu, nađeni su samo u podlozi lesolikih sedimentata na otoku Susku (BOGNAR & ZAMBO, 1992.). Ondašnje kvarnersko kopno nalazilo se hipsometrijski više, a transgresijom su zahvaćeni samo neki rubni zapadni dijelovi kao što je otok Susak.

Najstariji dokaz pleistocenske transgresije nađen je u podmorju ispred Rijeke. Paleorelief stijenske podloge rekonstruiran je na temelju brojnih bušotina i geofizičkih mjerenja. Utvrđeno je da se radi o abrazijskom dijelu marinske terase na apsolutnoj dubini -40 do -60 m, koja je prosječne širine 100 m. Nastala je pred oko 100 000 godina tijekom ris - virmskog interglacijala, pri razini mora približnoj današnjoj (BENAC & ŠEGOTA, 1990.).

Na vrhuncu virma, razina Jadranskog mora spustila se za 96 m (ŠEGOTA, 1982.). Vjerojatno je da se more tada posve povuklo iz Riječkog zaljeva. Zato su djelomično erodirani marinski sedimenti istaloženi tijekom predhodne, ris - virmske transgresije. Jedine vodene površine bila su jezera na sadašnjem dnu Riječkog zaljeva i ono na Grobničkom polju (sl. 3). Jezersko podrijetlo sedimentata na dnu Grobničkog polja nedvojbeno je ustanovljeno (ŠIKIĆ & PLENIČAR, 1975.). Do sada nisu nađeni izravni dokazi o sedimentima slatkovodnog ili brakičnog okoliša. Međutim, analogija s istraženom morfogenezom na drugim



Sl. 3. Paleogeografska karta

- 1 - vjerojatni položaj Riječkog zaljeva krajem virma
- 2 - vjerojatni položaj jezera na vrhuncu virmske regresije
- 3 - moguća nekadašnja veza s bazenom Kvarnerića
- 4 - nekadašnje jezero na području Grobničkog polja
- 5 - površinski vodotoci krajem virma

Fig. 3. Paleogeographic map

- 1 - possible position of the Rijeka Bay at the end of Wuerm
- 2 - possible position of lakes in the peak of the Wuerm regression
- 3 - possible ancient connection with the Kvarnerić basin
- 4 - ancient lake in the Gorobničko polje area
- 5 - surface waterflows at the end of Wuerm

priobalnim područjima, značajne količine vode koja površinskim ili podzemnim putem teče prema Riječkom zaljevu i rezultati geofizičkih mjerenja obavljenih u podmorju (BENAC, 1995.), govore u prilog hipotezi

da su postojala brakična i slatkovodna jezera na vrhuncu virmske regresije.

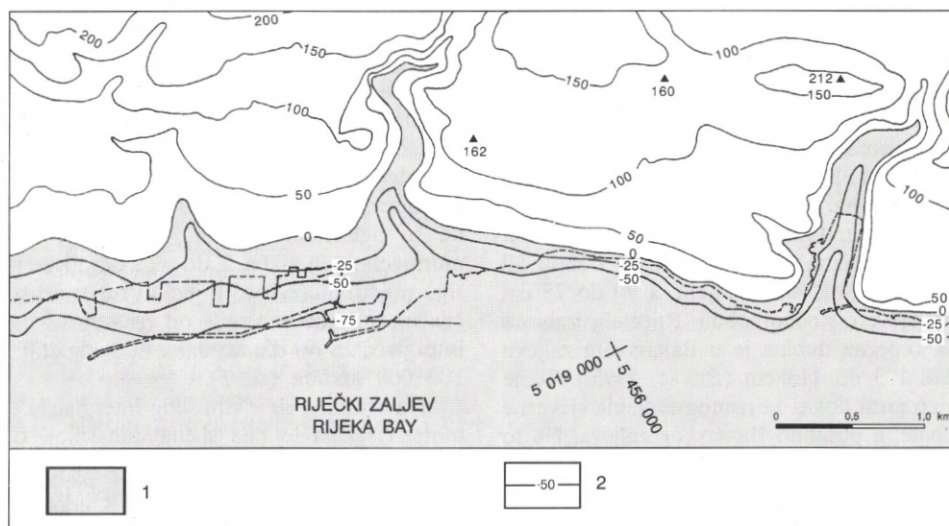
Tijekom virma i dalje tone dno Riječkog zaljeva, a izdiže se okolno kopno. Zbog "otvaranja" karbonatnog hrpta, Rječina je počela teći kroz današnji kanjonski dio doline. Zbog naglog snižavanja erozijske baze nastale su terase u uzvodnom dijelu doline. Njihovi su tragovi i danas vidljivi. S takvim probojem može se povezati i nestajanje nekadašnjeg jezera čiji su ostaci otkriveni na području Grobničkog polja (sl. 3). Zbog izraženog izdizanja hrptova Učke i Čićarije, uz istovremeno spuštanje dna, intenzivno se usjecaju vodotoci na zapadnoj strani Riječkog zaljeva.

Ustanovljeno je da se, sada zatrpana, paleodolina Rječine i Potoka tone i dublje od -60 m (sl. 4). Zato se opravdano smatralo da su ondašnji vodotoci usječeni u

karbonatnu stijensku podlogu pri drugačijem položaju erozijske baze odnosno morske razine, prema današnjoj.

Istraživanjima je otkriveno da je karbonatna stijenska masa zahvaćena okršavanjem nekoliko desetaka metara ispod morske razine zbog opisanih kolebanja Jadranskog mora tijekom gornjeg pleistocena. Intenzitet nastanka speleooloških pojava nije bio isti na kvarnerskim otocima. Istraživanjem speleoološkog sustava u hrptu Učke, ustanovljeno je da je njegov postanak vezan uz tektonske pokrete. Radiokarbonskom analizom ustanovljeno je da su nastariji kanali oblikovani prije više od 40 000 godina, a najmlađi prije oko 7 300 godina (Božičević, 1993.).

Tijekom virmske regresije pražnjenje krških vodonosnika zbivalo se na kotama znatno nižim od današnjih. Zbog naglog rasta morske razine u posljednjih 16 000 godina,



Sl. 4. Morfološka karta priobalja Rijeke

1- naplavine i marinski sedimenti

2- izobate stijenske podloge (m)

Fig. 4. Morphological map of the coastal zone of the City of Rijeka

1- aluvial and marine sediments

2- isobaths of bedrock (m)

smanjeni su ili čak poništeni gradijenti podzemnih tokova. U takvim su se uvjetima hidrogeološki odnosi mijenjali vrlo naglo. Potopljeni su priobalni izvori, a nastali novi, na hipsometrijski višim položajima. Neki od potopljenih izvora, zbog jakih dotoka iz zaleđa te velikih tlakova, i dalje su izbacivali vodu, odnosno postali su vrulje.

Naglim podizanjem razine Jadranskog mora u posljednjih 16 000 godina, počela je transgresija i u Riječkom zaljevu. S obzirom na paleogeografske odnose, prodor mora najprije se zbilo iz akvatorija Kvarnerića, kroz Srednja vrata (sl. 3). Tijekom holocena more je prodrlo oko 1 km u dolinu Rječine. Također su poplavljeni sadašnji Bakarski i Omišaljski zaljev (BENAC et al., 1992.).

Holocenskim podizanjem morske razine stvoreni su uvjeti za marinsku sedimentaciju po cijeloj površini Riječkog zaljeva. Taloženje je bilo osobito intenzivno oko ušća vodotoka. Ušće Rječine pomaknuto je za oko 500 m u posljednja četiri stoljeća (BENAC & ARBANAS, 1990.). Zbog recentne sedimentacije dno Riječkog zaljeva zaravnjeno je na dubini od oko -60 m.

Posebno su indikativne plimne potkapine (tidal-notch) oblikovane bioerozijom na vapnencima. Njihovi splošteni konkavni profil upućuje na usporeni rast morske razine (PIRAZZOLI, 1986.). Reperna dubina (gornji rub udubljena) izmjerena je na dubini 50 do 55 cm na većem dijelu, a 70 do 75 cm na sjeveroistočnoj obali Riječkog zaljeva. Ta reperna dubina je u Bakarskom zaljevu čak 103 do 113 cm (BENAC, 1995.). To je vjerojatni dokaz ubrzanog tonjenja sjeverne obale, a posebno Bakarskog zaljeva. Na to upućuju i anomalije mareografskih mjerenja u Bakru (ŠEGOTA, 1976.).

Pomicanje obalne crte, prouzročeno izdizanjem morske razine, a vjerojatno ubrzano tonjenjem obale Riječkog zaljeva, može se potvrditi nalazima arheoloških ostataka. Potopljene antičke građevine nalaze se na ulazu u Bakarski zaljev i kraj Omišlja na otoku Krku (KOZLIČIĆ, 1986.).

Zaključak

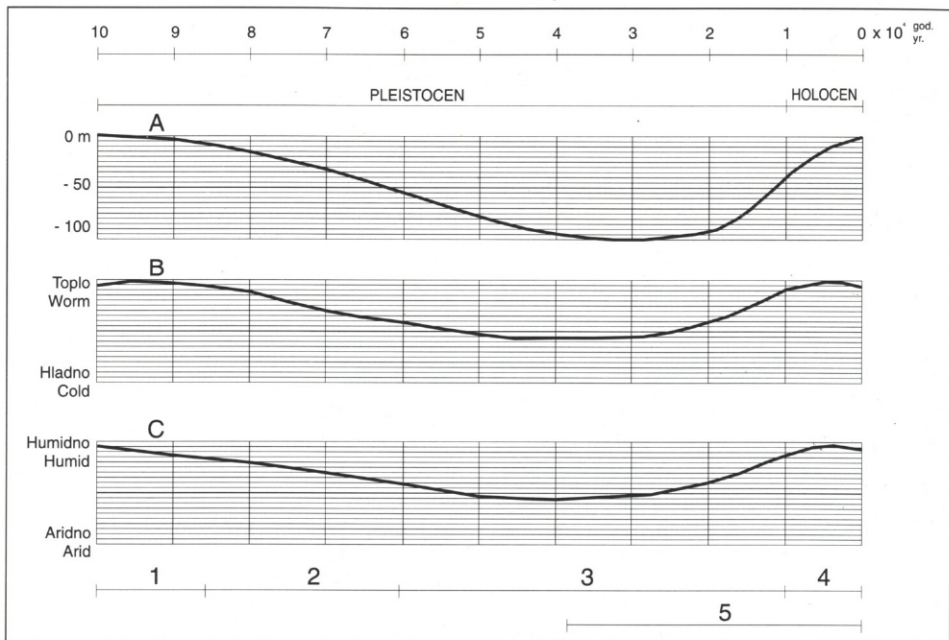
Tektonski pokreti, od gornjeg pliocena do danas, imali su presudnu ulogu u oblikovanju današnjeg reljefa u području Riječkog zaljeva. Odražavali su se u horizontalnim i vertikalnim pomacima. Najuočljivija posljedica horizontalnih pomaka su svijene glavne orografske osi, a također relativna rotacija od "vinodolskog" prema "krčkom" pružanju za 20°, a prema "creskom" za 27°. Posljedica vertikalnih pokreta bila je razbijanje, nekad vjerojatno cjelovite, krške zaravni. Zbog toga je više potonulo dno Riječkog zaljeva i okolnih kanala. Jugozapadni dio otoka Krka sporije je tonuo ili relativno mirovao, a Kastavska zaravan se nagnula prema jugozapadu. Istodobno su se značajno izdigli hrbat Učke, otok Cres kao i područje Gorskog kotara.

Tektonskim pokretima stvoren je reljef visoke energije. To je omogućilo jako erodiranje naslaga i taloženje velikih količina sedimentata u slatkovodnom okolišu, tijekom razdoblja regresija i u marinskom, tijekom razdoblja transgresija.

Intenzivni tektonski pokreti, kao i nagle oscilacije razine Jadranskog mora i klime, kao glavni morfofenetski čimbenici, snažno su utjecali na mijenjanje reljefa. To je uzrok da su uglavnom uništeni tragovi, starijih morfofenetskih etapa. Zato se, s određenom sigurnošću, može izvršiti jedino rekonstrukcija morfološke evolucije od ris - virmskog interglacijala do danas, dakle u posljednjih 100 000 godina (sl. 5).

Na vrhuncu ris - virmskog interglacijala morska razina je bila slična današnjoj. U doba njene stagnacije pojačano su razarane obale. Tragovi su ostaci marinske terase u podmorju ispred Rijeke. Spuštanjem morske razine, ciklus marinske erozije je zaustavljen u ranoj fazi.

Daljnim sniženjem morske razine počelo je jače usjecanje okolnih vodotokova. U uvjetima znatno hladnije klime, kao i povećane energije reljefa bili su naglašeni padinski



Sl. 5. Geomorfološki procesi u posljednjih 100 000 g.

A - promjena razine mora

B - promjena prosječne godišnje temperature

C - promjena prosječne količine padalina

1 - povećanje marinske erozije (nastanak marinskih terasa)

2 - povećanje usjecanja riječnih korita

3 - jezera na dnu Riječkog zaljeva

4 - nastanak estuarija

5 - nastanak siga u spiljama

Fig. 5. Geomorphological processes during last 100 000 yr.

A - sea level change

B - mean annual temperature change

C - mean annual precipitation change

1 - increasing of marine erosion (formation of marine terraces)

2 - increasing of riverbeds cutting

3 - lakes in the bottom of the Rijeka Bay

4 - formation of estuaries

5 - stalaktite and stalagmite formation in caves

procesu. Njihovi tragovi su brojni ostaci vezanih sipara, nađeni na kopnu i u podmorju. Otkravanjem je zahvaćena karbonatna stijenska masa duboko ispod sadašnje morske razine. Dokazi su brojni potopljeni ponori i spilje.

Na vrhuncu virma, razina Jadranskog mora bila je niža za 96 m, pa se more

posve povuklo iz Riječkog zaljeva. U najdubljim depresijama preostala su slatkovodna jezera. Otjecanje se moglo odvijati samo kroz kanal Srednja vrata prema dubljoj depresiji Kvarnerića. Prolaz Vela vrata prema otvorenom Jadranu bio je zatrpan nanosom Poa. Iako do sada nisu nađeni izravni dokazi, analogija s istraženom

morfogenezom na drugim priobalnim područjima i rezultati geofizičkih mjerenja obavljenih u podmorju, govore u prilog ovoj hipotezi.

Porast razine Jadranskog mora, praćen zatopljanjem i povećanjem humidnosti klime, dogodio se u posljednjih 16 000 godina. More je opet prodrlo u područje Riječkog zaljeva. Počinje oplićavanje dna Riječkog zaljeva zbog taloženja sedimenata donešenih vodotocima, a najviše Rječinom. Radi naglog rasta, razaranje obala bilo je jako reducirano. Poplavljeni su položeni dijelovi kopna. To je posebice uočljivo na jugozapadnoj obali otoka Krka, gdje su vidljive potopljene i zamočvarene ponikve. U tom razdoblju potopljeni su nekadašnji priobalni izvori, od kojih su najsnažniji postali vrulje, a pojavili su se novi na višim dijelovima terena. More je prodrlo u niže dijelove dolina, gdje su se stvorili uvjeti za estuarijsku sedimentaciju. Tragovi tih promjena sačuvani su u sedimentnom tijelu Riječine, a i kod drugih tekućica. U posljednjim tisućljećima transgresija je usporena, pa počinje pomicanje riječnih ušća prema otvorenom moru.

Sadašnji položaj i oblik obala koje okružuju Riječki zaljev, posljedica su poglavito potapanja kopna poradi holocenske transgresije koja, iako usporeno, traje i danas. Usporen rast morske razine u posljednjim tisućljećima stvorio je uvjete za pojačano djelovanje destruktivnog rada mora. Međutim, zbog pretežito karbonatne građe obala i specifične valne klime, promjene reljefa samo su lokalne. Zato je on pretežito odraz strukturnog skopa stijenske mase. Rijetki klifovi, praćeni vrlo uskim abrazijskim terasama, jasni su pokazatelji mladosti obalnog reljefa.

Riječki zaljev je bolje istraženo područje u odnosu na veći dio jadranske obale. Međutim, još nema dovoljno čvrstih dokaza, na temelju kojih bi se mogao odrediti pouzdan slijed morfološke evolucije. Razlog tomu su nedovoljno istraženi neotektonski pokreti i oscilacije morske razine. Zato će svaki novi, prostorno i vremenski čvrsto utemeljen rezultat istraživanja pomoći u rekonstrukciji morfološke evolucije. To će, možda, znatno promijeniti sadašnja mišljenja, ne samo o evoluciji reljefa Riječkog zaljeva i Kvarnera, nego i Jadranskog mora u cjelini.

LITERATURA

- Alfirević, S. (1980.): Sedimentološko kartiranje bentoskih biocenoza u kanalima sjeveroistočnog Jadrana. *Geološki vjesnik*, 32, 15-32, Zagreb.
- Aljinović, B. & Blašković, I. (1981.): O plohi dubokih seizmičkih horizonata sjeveroistočnog Jadrana. Zbornik radova simpozija Kompleksna naftno - geološka problematika podmorja i priobalnih dijelova Jadranskog mora, Split, 363-380, Zagreb.
- D'ambrosi, C. (1969.): L'Adriatico nel Quaternario. *Atti del Museo Civico di Storia Naturale*, 26(5), 129-175, Trieste.
- Bahun, S. (1969.): On the Formation of Karst Dolinas. *Geološki vjesnik*, 22, 25-32, Zagreb.
- Bahun, S. & Fritz, F. (1987.): Postanak izvora u dinarskom orogenetskom akumuliranom kršu. *Krš Jugoslavije*, 12(2), 27-37, Zagreb.
- Benac, Č. (1992.): Recentni geomorfološki procesi i oblici u području Riječkog zaljeva. *Geografski glasnik*, 54, 1-19, Zagreb.
- Benac, Č. (1995.): Inženjerskegeološke osobitosti obalnog pojasa i podmorja Riječkog zaljeva. Disertacija, str. 152, Rudarsko - geološko - naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Benac, Č. & Arbanas, Ž. (1990.): Sedimentacija u području ušća Rječine. *Pomorski zbornik*, 28, 593-609, Rijeka.
- Benac, Č. Arbanas, Ž. & Jardas, B. (1992.): Morphogenesis and Evolution of the River Mouths in the Karner Area. *Proceedings of the International symposium: Geomorphology and Sea, Mali Lošinj*, september 1992, 37-46, Zagreb.
- Benac, Č., Arbanas, Ž. & Pavlovec, E. (1991.): Postanak i geotehničke osobitosti doline i zaljeva Raše. *Pomorski zbornik*, 29, 475-492, Rijeka.
- Benac, Č. & Šegota, T. (1990.): Potopljena risvirmska abrazijska terasa u podmorju ispred Rijeke, Hrvatska. *Geološki vjesnik*, 43, 43-52, Zagreb.
- Blašković, I. (1983.): O rasprostranjenosti i položaju pliocenskih i kvartarnih taložina u Vinodolu. *Geološki vjesnik*, 36, 27-35, Zagreb.
- Bognar, A., Faivre, S. & Pavelić, J. (1991.): Tragovi oledbe na Sjevernom Velebitu. *Geografski glasnik*, 53, 27-39, Zagreb.
- Bognar, A., Klein, V., Tončić-Gregl, R., Šerclj, A., Magdalenić, Z. & Culiberg, M. (1983.): Kvar tarne naslage otoka Suska i Baške na otoku Krku i njihovo geomorfološko značenje u tumačenju morfološke evolucije kvarnerskog prostora. *Geografski glasnik*, 45, 7-32, Zagreb.
- Bognar, A. & Zambo, L. (1992.): Some new Data of the Loess Genesis on Susak Island. *Proceedings of the International symposium: Geomorphology and Sea, Mali Lošinj*, september 1992, 65-72, Zagreb.
- Bowen, D.Q. (1978.): *Quaternary Geology*. Pergamon Press, str. 217, Oxford.
- Božičević, S. (1993.): Kaptaza u kaverni ispod tunela Učka. *Pomorski zbornik*, 31, 565-586, Rijeka.
- Buedel, J. (1977.): *Climatic Geomorphology*. Princeton University Press, str. 320, Princeton.
- Doornkamp, J.C. (1986.): *Climate and Weathering*. In: *A Handbook of Engineering Geomorphology* (Fookes, P.G. & Vaughan, P.R., ured.). Chapman and Hall, 10-24, New York.
- Durn, G., Slovenec, D. & Šinkovec, B. (1992.): Eollian Influence on Terra Rossa in Istria. Abstract of the 7. International Congress of ISCOBA, Balatonalmadi, 89, Budapest.
- Frakes, L.A. (1979.): *Climate throughout Geologic Time*. Elsevier, str. 310, Amsterdam.
- Fritz, F. (1992.): Effect of Recent Sea-level Changes on Development of Karst Phenomena. *Proceedings of the International symposium: Geomorphology and Sea, Mali Lošinj* september 1992, 85-92, Zagreb.

- Haq, B.U., Hardenbol, J. & Vail, P.R. (1987.): Chronology of Fluctuating Sea Levels since the Triassic. *Science*, 235, 1156-1167, Washington.
- Herak, M. (1991.): Dinaridi i mobilistički osvrt na genezu i strukturu. *Acta geologica* 21(2), 35-117, JAZU, Zagreb.
- Hoshino, M. (1986.): Morska geologija (prijevod s japanskog). Nedra, str. 432, Moskva.
- Juračić, M. & Pravdić, V. (1981.): Geochemical and Physico-chemical Studies on Sediments of Rijeka Bay. The Properties of Sediments as Depositories of Pollutants. *Thalassia Jugoslavica*, 17(3/4), 339-349, Zagreb.
- Kidson, C. (1986.): Sea-level Changes in the Holocene. In: *Sea-level Research: a Manual for the Collection and Evaluation of Data* (van de Plassche, O., ured.). Geo Books, 27-66, Norwich.
- Kozličić, M. (1986.): Antička obalna linija Istre u svjetlu hidroarheoloških istraživanja. Izdanje Hrvatskih arheoloških društva, 11(2), 135-165, Zagreb.
- Križ, J., Kalac, K., Tončić-Gregl, R., Bauer, V., Velimirović, Z. & Magdalenić, Z. (1982.): Stratigrafsko-tektonski odnosi i sedimentološke karakteristike pliocenskih i kvartarnih naslaga dijela podmorja sjevernog Jadrana. Zbornik radova X jubilarnog kongresa geologa Jugoslavije, I, 25-44, Budva.
- Malez, M. (1974.): Noviji rezultati istraživanja paleolitika u Velikoj pećini, Veternici i Šandalji. *Arheološki radovi i rasprave*, 7, 7-44, Zagreb.
- Malez, M. (1987.): Pregled paleolitičkih i mezolitičkih kultura na području Istre. Izdanja Hrvatskog arheološkog društva, 11/1 (1986), 3-48, Pula.
- Mihljević, D. (1994.): Analysis of Spatial Characteristics in Distribution of Sink-holes, as an Geomorphological Indicator of Recent Deformations of Geologic Structures. *Acta Geographica Croatica*, 29, 29-36, Zagreb.
- Mihljević, D. (1995.): Relief Reflection of Structural Reshaping During the Recent Tectonically Active Stage, in the North-Western Part of the Outer Dinarides Mountain Range. *Acta Geographica Croatica*, 30, 5-16, Zagreb.
- Mihljević, D. & Prelogović, E. (1992.): Structural - geomorphological Characteristic of the Mountain Ranges Učka & Ćičarija. Proceedings of the International symposium: Geomorphology and Sea, Mali Lošinj, september 1992, 13-24, Zagreb.
- Pavičić, A. & Renić, A. (1992.): Recent Karstification and Water Drainage from Bakovac Valley (Lika, Croatia). Proceedings of the International symposium: Geomorphology and Sea, Mali Lošinj september 1992, 127-134, Zagreb.
- Pirazzoli, P.A. (1986.): Marine Notches. In: *Sea-level Research: a Manual for the Collection and Evaluation of Data* (van de Plassche, O., ured.). Geo Books, 361-400, Norwich.
- Prelogović, E., Blašković, I., Cvijanović, D., Sskoko, D. & Aljinović, B. (1981.): Seizmotektonske značajke vinodolskog područja. *Geološki vjesnik*, 33, 75-93, Zagreb.
- Prelogović, E. & Kranjec, V. (1983.): Geološki razvitak područja Jadranskog mora. *Pomorski zbornik*, 21, 387-405, Rijeka.
- Prelogović, E., Kuk, V., Jamičić, D., Aljinović, B. & Marić, K. (1995.): Seizmotektonska aktivnost Kvarnerskog područja. Zbornik radova 1. Hrvatskog geološkog kongresa, Opatija 1995, 2, 487-490, Zagreb.
- Rukavina, D. (1981.): Sediment istarskog podzemlja i rekonstrukcija klime tijekom pleistocena. *Liburnijske teme, Prirodna podloga Istre* 4, 148-155, Opatija.
- Ryan, W.B.F. (1973.): Geodynamic Implications of the Messian Crisis of Salinity. In: *Messian Events in the Mediterranean* (Drooger, C.W., ured.). Nort-Holand Publishing Co., 26-38, Amsterdam.
- Seibold, E. & Berger, W.H. (1996.): *The Sea Floor, an Introduction to Marine Geology*. Springer, 3. ed., str. 356, Berlin - Heidelberg - New York.
- Straaten, L.M.J.U. van (1970.): Holocene and Late Pleistocene sedimentation in the Adriatic

Sea. Geologische Rundschau, 60, 106-131, Stuttgart.

Šegota, T. (1976.): Promjena razine mora prema podacima mareografa u Bakru i Splitu. Geografski glasnik, 38, 301-312, Zagreb.

Šegota, T. (1982.): Razina mora i vertikalno gibanje dna Jadranskog mora od ris-virmskog interglacijala do danas. Geološki vjesnik, 35, 93-109, Zagreb.

Šegota, T. (1988): Klimatologija za geografe. str. 484, Školska knjiga, Zagreb.

Šegota, T. & Filipić, A. (1991.): Arheološki i geološki pokazatelji holocenskog položaja razine mora na istočnoj obali Jadranskog mora. Rad HAZU 458(25), 149-172, Zagreb.

Šikić, D. & Pleničar, M. (1975.): Osnovna geološka karta SFRJ, Tumač za list Ilirska Bistrica. Savezni geološki zavod, Beograd.

Šikić, D., Pleničar, M. & Šparica, M. (1972.): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100.000, list Ilirska Bistrica. Savezni geološki zavod, Beograd.

Šikić, D., Polšak, A. & Magaš, N. (1969.): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100.000, list Labin. Savezni geološki zavod, Beograd.

Šinkovec, B. (1974.): Porijeklo terra rossa Istre. Geološki vjesnik, 27, 227-237, Zagreb.

Škorić, A. (1981.): Tla Istre. Liburnijske teme, Prirodna podloga Istre 4, 65-75, Opatija.

Šušnjar, M., Bukovac, J., Nikler, L., Crnolatac, I., Milan, A., Šikić, D., Grimani, I., Vulić, Ž. & Blašković, I. (1970.): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100.000, list Crikvenica. Savezni geološki zavod, Beograd.

Whitthow, J. (1986.): Dictionary of Physical Geography. Penguin Books, str. 591, Harmondsworth - New York - Auckland.

Summary
MORPHOLOGICAL EVOLUTION OF THE RIJEKA BAY:
THE INFLUENCE OF THE CLIMATIC AND
GLACIOEUSTATIC CHANGES

by
ČEDOMIR BENAC

This paper analyses the coastal and the submarine zones of the Rijeka Bay, part of the Kvarner Channel area in the North Adriatic (Fig. 1). The recent relief of the Rijeka Bay area, is the result of tectonic movements, climatic and sea level changes, as well as exogenetic processes, occurring during the early geological time. Since Lower Pliocene, neotectonic movements have the crucial influence in the formation of the geologic structures, causing subsidence of the Adriatic plate under the Dinarides. The horizontal movements caused the rotation of the Rijeka Bay and the main orographic axes bending (Fig. 2). The breaking of karst plateau, subsidence of Rijeka bay and surrounding channels, a significant uplifting of the island of Cres, of the mountain Učka, and of the mountains of Gorski kotar are the results of vertical movements. The climatic changes and glacioeustatic sea level oscillations for the past 700 000 years have strongly transformed the relief, and have also destroyed the remains of the older morphogenetic phases. For this reason, the reconstruction of the Rijeka Bay area morphological evolution only since the Riss-Wuerm interglacial age (last 100 000 years), could have been performed (Fig. 5). Isolated lakes on the bottom of the Rijeka Bay at the peak of Wuerm regression are a possibil-

ity (Fig. 3). Slope processes in conditions of cold climate and increased relief energy have been stressed. As a consequence, numerous remains of slope deposits have been discovered, on the land as well as in the submarine zone. The carbonate rock mass is karstified deeply below the recent sea level. Many submerged sinkholes and caves in the Rijeka Bay area evidence of this phenomenon. The riverbeds are deeply cut into the bedrock and karst springs were at much lower levels than today (Fig. 4). The recent position of the coastal line is a result of the flooding of ancient land areas due to Holocene transgression. The marine erosion increases in the last millenniums because of a slower sea level rise. Because of marine erosion, resistant carbonate rocks, changeable wind direction and relatively low waves, the coastal relief changes only partially. The clear indicators of the initial and youthful stage of the coastal relief are the rare cliffs and narrow marine terraces. The Rijeka Bay is a much more investigated area than greater part of the Adriatic Sea submarine zone. However, there isn't enough evidence for estimating the morphologic evolution in the area of the Rijeka Bay. The reason for this is insufficiently investigated neotectonic movements and sea level change during Pleistocene.

Dr. sci. Čedomir Benac, dipl. inž. geologije, docent, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, V. Cara Emina 5, Rijeka, Institut građevinarstva Hrvatske, Područni centar Rijeka, V. Cara Emina 5, Rijeka.