

## Potopljena ris-virmska abrazijska terasa u podmorju ispred Rijeke, Hrvatska

Čedomir BENAC<sup>1</sup> i Tomislav ŠEGOTA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Rijekaprojekt, M. Albaharija 10A, YU-51000 Rijeka – <sup>2</sup> Prirodoslovno-matematički fakultet, Marulićev trg 19, YU-41000 Zagreb

**Ključne riječi:** Ris-virmska terasa; potopljene riječne doline; recentno izdizanje.

**Key words:** Riss-würm terrace; submerged river beds; recent uplifting.

U podmorju ispred Rijeke otkrivena je potopljena abrazijska terasa na dubini –50 m. Na detaljnoj karti s izobatama može se pratiti tok Rječine i danas suhog Potoka sve do 60 m ispod današnje razine mora. Neposredno uz obalu nalazi se rasjed na čijoj se kopnenoj strani podloga izdigla za 3,37 m u posljednjih 6 400 godina, tj. za 0,53 mm godišnje.

On the sea-floor in front of Rijeka city in the Northern Adriatic the abrasion terrace at depth 50 m below present sea level was discovered. On the precise bathimetric map one can discern the river beds of Rječina river and Potok valley stretching to 60 m below present sea level. Close to the coast line is an important fault. A radiocarbon sample proves the uplifting of this area of 3.37 m in past 6,400 years, or 0.53 mm per year.

### Uvod

Budući da je istraživanje podmorja neusporedivo teže nego istraživanje kopna, logično je da je reljef podmorja svih mora, pa tako i Jadranskog mora, mnogo slabije poznat od reljefa primorskog kopna i otoka. Dugo vremena praktički je jedini izvor informacija i pretpostavki, utemeljenih na njihovoj analizi, bila batimetrijska karta. Tako se došlo do pretpostavke o postojanju potopljenih abrazijskih terasa na raznim dubinama. Međutim, njihovo je datiranje bilo vrlo nesigurno, odnosno u većini slučajeva uopće se ne navodi moguća starost takvih potopljenih oblika.

U priobalnoj zoni Rijeke te na širem prostoru akvatorija riječke luke (sl. 1) obavljeni su proteklih nekoliko desetljeća brojni geotehnički istražni radovi. Podaci dobiveni njihovom analizom pružaju dovoljno dokaza za postojanje potopljene abrazijske terase čiji se postanak može smjestiti u ris-virmski interglacijal.

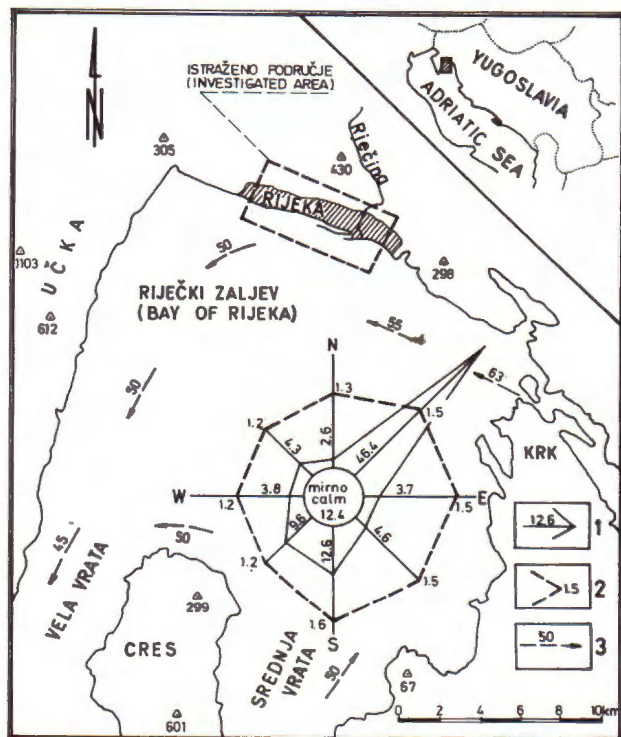
Spomenuta geotehnička istraživanja obavljena su na brojnim lokacijama u priobalnoj zoni Rijeke te na morskom dnu ispred grada. Rezultati istraživanja nalaze se u brojnim izvještajima različitih institucija, a pohranjeni su u arhivi poduzeća »Rijekaprojekt« odakle su i korišteni. Za potrebe ovog rada jedan od autora analizirao je podatke više od stotinu istraženih bušotina. Interpretacija je bila otežana zbog različite razine obrade izvornih podataka. Također su korišteni rezultati geofizičkih ispitivanja u podmorju, brojne granulometrijske te sedimentološko-petrografske i jedna radiokarbonska analiza.

Otkrivene zone stijenske mase u litoralnoj zoni pregledane su neposrednim načinom pomoću aparata za autonomno ronjenje. Autori su također koristili i svoja višegodišnja zapažanja o odnosu između grđe, tektonskih procesa i reljefa obale i podmorja.

### Dosadašnja istraživanja

Već je Cvijić (1922; 1924) ukazao na jaku recentnu marinsku eroziju naše obale Jadrana, pa je zaključio da se upravo usijeca najmlađa abrazijska terasa. Zato pretpostavlja da je formiranje marinskih terasa teklo i u starijim interglacijalima, kada su za takve procese postojali povoljni uvjeti. Ako je ova pretpostavka točna, onda slijedi da interglacijalne terase moraju postojati na današnjoj razini mora uz obalu Jadrana ili nešto iznad. Nepostojanje ovih reljefnih oblika Cvijić objašnjava epirogenetskim spuštanjem najužeg obalnog pojasa. Uslijed toga terase bi se danas trebale nalaziti ispod morske razine. On i brojni drugi autori navode ukupno 17 potopljenih terasa na raznoj dubini, ali se ne upuštaju u njihovo datiranje.

Polazeći od Cvijićevih zaključaka te brojnih radova mlađih istraživača Šegota (1982) je zaključio da se podmorje Jadranskog mora spustilo za 61 m u posljednjih 100 000 godina. Uzimajući u obzir globalne promjene razine mora u kvartaru te spomenuto spuštanje kopna uz obalu Jadrana, autor smatra da se terasa mogla usijecati samo u periodima relativne stagnacije morske razine u odnosu na kopno. Zaključuje da je abrazijska terasa, čiji se gornji rub danas nalazi na dubini –50 do –60 m, nastala u interglacijalu ris-virm. To se zbilo pred 100 000 godina kada je morska razina bila malo viša od današnje. Osim toga, gornji rub mlađe terase, koja je abradirana u maksimumu virma pred oko 25 000 godina, danas bi se trebala nalaziti na dubini –112 m. Komen i Benac (1983) objavljuju prvu cjelovitu kartu reljefa stijenske podloge u podmorju ispred Rijeke. Ujedno ukazuju da se povijanje izobata prema kopnu može pratiti gotovo do dubina od –60 m, što dovode u vezu s promjenom erozijske baze odnosno s kolebanjem razine mora u najmlađem geološkom razdoblju.



Sl. 1. Geografski položaj i maritimne karakteristike istraženo područja (Prema: Klimatološki atlas Jadranskog mora)  
 1 – razdioba srednje čestine gibanja valova (u %)  
 2 – razdioba srednjeg stanja mora  
 3 – oznaka smjera i brzine morske struje (u cm/s)

Fig. 1. The geographical sketch map of investigated area (By: Climatology atlas of the Adriatic Sea)  
 1 – Wave directions mean frequency distribution (in %)  
 2 – distribution of the mean sea-condition  
 3 – direction and mean velocity of the sea currents (in cm/s)

Biondić i Dukarić (1987) dovode u vezu veliko grotlo izvora Zvir koji se nalazi uz korito Rječine, te brojne vrulje u priobalnom području Rijeke s oscilacijama razine mora te ustaljenjem erozijske baze u pojedinim razdobljima kvartara.

Danas se može tvrditi da na istočnoj obali Jadrana nema izdignutih kvartarnih sedimenata morskog podrijetla. Ono što se smatralo kvartarnim tvorevinama pokazalo se da se najčešće radi o lesu ili fluvijalnim talozima. Općenito je prihvaćeno da se u kvartaru marinska sedimentacija vršila samo u jadranskom podmorju (Kranjec i Prelogović, 1974). Također postoje brojni geološki i arheološki dokazi da je na istočnoj obali Jadrana danas u toku transgresija mora.

### Geološki i geomorfološki opis

Priobalno područje Rijeke dio je Kastavske zaravni koja se spušta od sjevera i sjeveroistoka prema obali Riječkog zaljeva. Unutar ove morfološke cjeline ističu se, u odnosu na obalnu liniju, poprečno smješteni kanjon Rječine i suho korito Potok. Uski obalni rub potpuno je izmijenjen nasipavanjem. Okolna uzvišenja prelaze 100 m n.m. Podmorski dijelovi padine blago tonu do dubine -50

m prema sredini zaljeva. Nasuprot tome, jugoistočno od ušća Rječine dno je vrlo strmo do dubine -40 m.

U građi obrađenog područja 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 krupnoklastične breče, a u podređenom pojavljivanju i fliš. U niskim i zaravnjenim dijelovima terena te u podmorju ove naslage koje sačinjavaju osnovnu stijensku masu, prekrivene su kvartarnim tvorevinama i nabačajem (sl. 2).

Ovo područje dio je Vanjskih Dinarida te ima sve odlike strukturne građe karakteristične za tu tektonsku jedinicu. Uslijed tangencijalnog tipa tektonike nastale su polegle i prebačene bore te reversni rasjedi longitudinalni u odnosu na dinarski pravac pružanja. Ovi strukturni oblici poremećeni su poprečnim i dijagonalnim rasjedima.

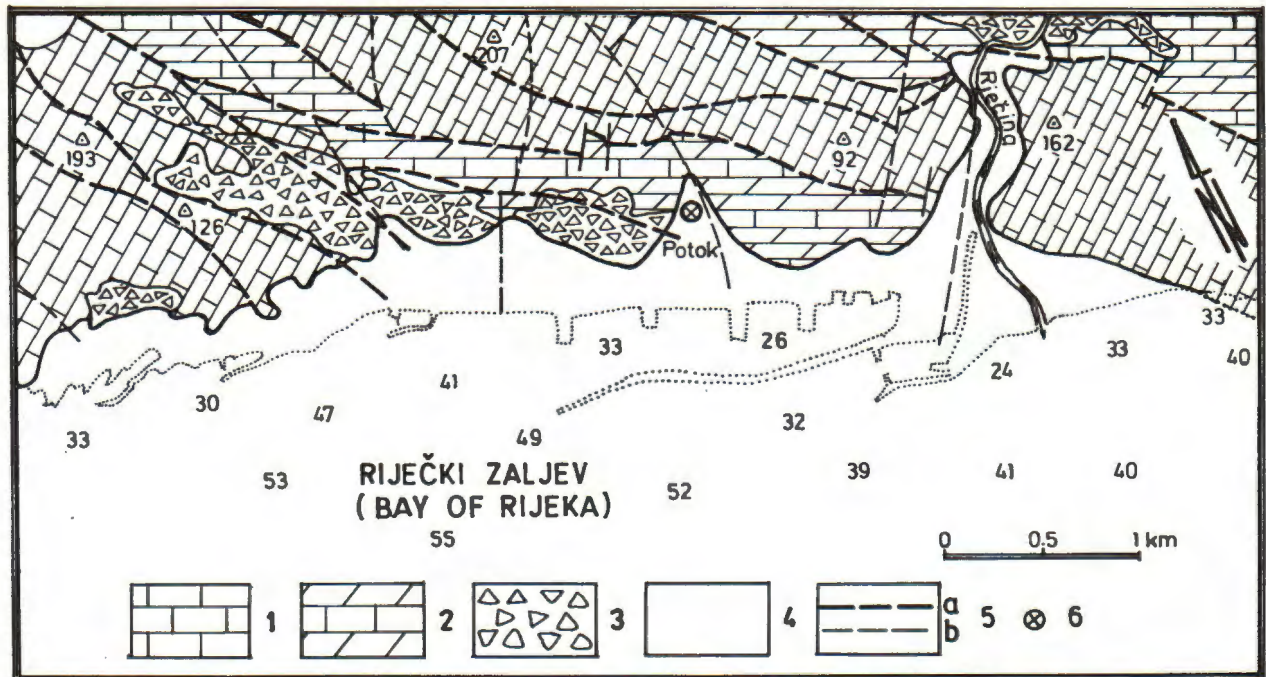
Današnji oblici reljefa rezultat su tektonskih pokreta te klimatskih promjena pretežno u neogenu i kvartaru. U relativno dugoj neogenskoj kopnenoj fazi izdižu se Dinaridi, spušta Jadranski bazen, a intenziviraju se geomorfološki procesi. Neotektonski, pretežno vertikalni pomaci promjenljivog intenziteta nastavljaju se iz pliocena u pleistocen (Prelogović, 1975). Smatra se da tada dolazi do tonjenja Riječkog zaljeva, a s time u vezi i do naginjanja Kastavske zaravni prema jugu i jugozapadu (Šikić i Plenićar, 1975). Poprečni rasjedi nastali u okviru takvih tektonskih zbivanja predisponirali su položaj doline Rječine i suhog korita Potoka, koji su konačno oblikovani erozijsko-karstifikacijskim procesima. Općenito se smatra da je transgresija mora u kvarnerskom području, pa stoga i u Riječnom zaljevu, započela u pleistocenu (Prelogović i Kranjec, 1983).

Međutim, radi klimatskih promjena morska razina je znatno oscilirala, a nastavljaju se i neotektonski pokreti različitog intenziteta i predznaka. Zbog gotovo neprestane promjene obalne linije u priobalnoj zoni Rijeke izmjenjuju se razdoblja erozije i sedimentacije.

### Utjecaj dinamike mora na oblikovanje obalnog reljefa

Poznata je činjenica da more razara obalu kombinacijom hidrauličkog djelovanja vode (neposredni udar valova), abrazijom (trenje čestica u podlogu) te kemijskom korozijom (otapanje). Zbog toga intenzitet obalne erozije uglavnom zavisi od vjetrova i vjetrovih valova (u stanovitoj mjeri i od morskih mijena i struja) te litološke građe obale. Valovi se počinju deformirati prilikom kretanja prema obali ako je dubina dna manja od polovice valne dužine. Uslijed toga do strmih obala dopiru gotovo neizmjenjeni, dok na blago položnim izgube moć razaranja prije dolaska do obalne linije.

Valovi u srazu s kopnom stvaraju hidrodinamičko opterećenje koje prije svega zavisi od njihove visine. Razarajući efekt jači je u više ispucalim i slabije vezanim stijenama. Voda komprimira zrak prodirući između stijenki pukotina, a kod povlačenja stvara



Sl. 2. Pregledna geološka karta obalnog dijela Rijeke (prema: Seizmička mikrorajonizacija Rijeke)

- 1 - vapnenci
- 2 - dolomiti i vapnenci
- 3 - karbonatne breče
- 4 - riječni nanos, marinski talog i nabačaj
- 5 - rasjedi: a-stariji (pretežno reversni, b-mladi (pretežno normalni i subvertikalni)
- 6 - istražna bušotina (radiokarbonska analiza uzorka organskog mulja Z-2036)

Fig. 2. Generalized geological map of the coastal area of Rijeka city

- 1 - limestones
- 2 - dolomites and limestones
- 3 - carbonate breccias
- 4 - aluvial sediment, marine deposit and fill
- 5 - faults a-older (mostly reverse) b-younger (mostly normal and subvertical)
- 6 - exploratory borehole (radiocarbon analysis of organic mud, sample Z-2036)

efekt sličan eksploziji zbog naglog širenja mjehura. Razaranje je najveće u razini mora gdje se s vremenom može stvoriti udubljenje nazvano valna potkapina. Napredovanjem obalne erozije odnosno abrazije, dolazi do obrušavanja stijenskog materijala. Formira se karakteristična vrlo strma do vertikalna padina odnosno klif ili strmac i usijeca marinska terasa. Ovaj reljefni oblik ima abrazijski te akumulacijski dio koji je nastao ponovnim sortiranjem razorenog materijala (Herak, 1984).

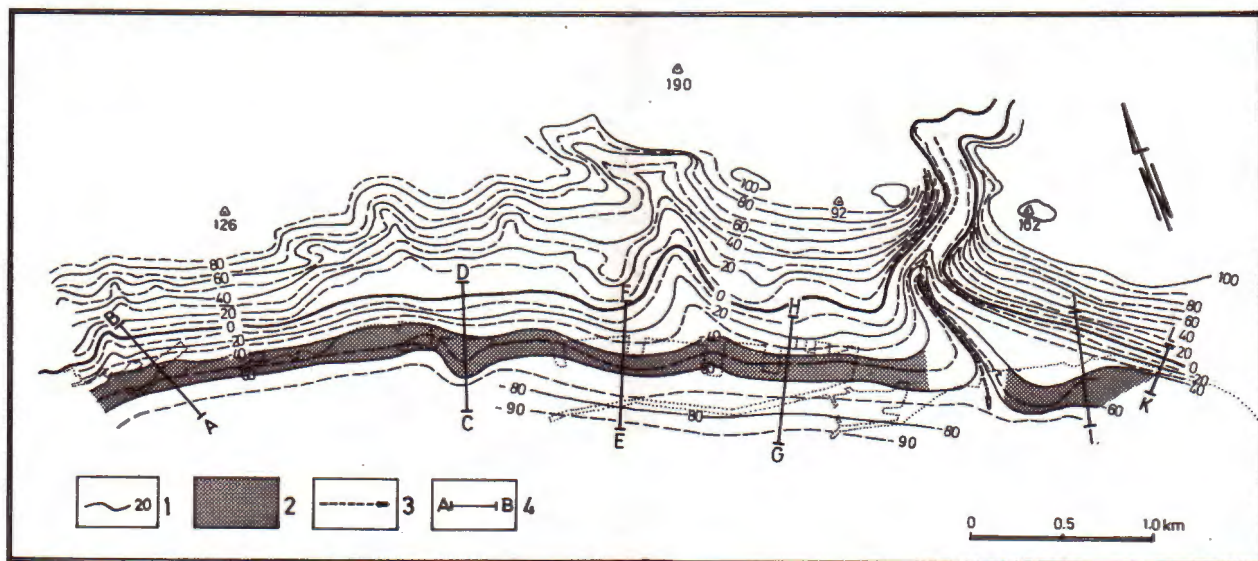
Jadransko more ima male dimenzije na čijem sjevernom dijelu prevladavaju tišina i slabi do umjereni vjetrovi brzine do 10 m/s, dok su olujni vjetrovi s brzinom većom od 30 m/s, razmjerno rijetki (Tabain, 1976). Slična je klima i u akvatoriju Riječkog zaljeva gdje su privjetrišta kratka te valovi imaju manje visine pri istoj brzini vjetra u odnosu na otvoreni dio Jadrana. S obzirom na položaj obale ispred Rijeke, razaralačko djelovanje mogu imati samo valovi koji dolaze iz južnih smjerova (sl. 1). Mjerenjima je ustanovljeno da se kod olujnog vjetra s brzinom 20 m/s koji puše iz južnih smjerova na pučini Riječkog zaljeva mogu razviti valovi karakteristične visine  $H^{1/3} = 3$  m, a uz obalu zbog deformacija visina je u takvim uvjetima 2 m. Valne dužine su u takvim slučajevima 42 m, odnosno 28 m, a najdublji doseg erozijskog djelovanja 21 do 14 m. Val visok 3 m stvara pri udaru o vertikalnu obalu hidrodinamičko opterećenje od  $30 \text{ kN/m}^2$ , a može pomicati blok vapnenca mase 3400 kg.

Korozivno djelovanje morske vode na obalne stijene nije dovoljno istraženo. Najintenzivnije je u intertidalnoj zoni (između najviše plime i najniže oseke), gdje može nastati karakteristično konkavno udubljenje plimna potkopina (engl. tidal notch). Smatra se da ovaj oblik nastaje kombinacijom hidrauličkog rada vode, sušenja i vlaženja, kemijske razgradnje i djelovanja organizama (Pirazzoli, 1986). Plimna potkapina danas privlači povećanu pažnju istraživača, jer se smatra sigurnim geološkim indikatorom promjene morske razine, odnosno dizanja ili spuštanja obale. Prema zapažanjima jednog od autora ovog rada ovaj oblik reljefa gotovo se kontinuirano pruža na onim obalama Kvarnera koje su i građene od relativno čvrstih karbonatnih naslaga.

### Rezultati istraživanja

Iz prethodnih poglavlja ovog rada jasno se uočava da se reljef u priobalju Rijeke formirao u cikličkim uvjetima s obzirom na značajne kvartarne promjene morske razine i neotektonska gibanja različitih predznaka. Postavlja se pitanje da li su i u koje vrijeme postojali uvjeti kada je more bilo na relativno istoj razini u odnosu na kopno da bi marinska erozija utjecala na promjenu reljefa obale? Drugim riječima, da li postoje dovoljno sigurni dokazi da se u podmorju ispred Rijeke nalaze fosilne abrazijske terase?

Obalni rub i morsko dno ispred Rijeke gotovo su u potpunosti prekriveni kvartarnim sedimentima.



Sl. 3. Reljef podloge kvartarnih naslaga na obalnom području Rijeke

- 1 – izobate podine kvartarnih naslaga
- 2 – zona fosilne marinske terase
- 3 – fosilno riječno korito
- 4 – trasa profila

Fig. 3. Bedrock relief of the Quaternary deposits

- 1 – stratum contour lines of bedrock of the Quaternary deposits
- 2 – zone of ancient marine terrace
- 3 – ancient riverbed
- 4 – trace of profile

Prvobitni oblik pored toga je znatno izmijenjen širenjem grada te izgradnjom luke. Uslijed toga se reljef stijenske podloge mogao rekonstruirati tek na temelju rezultata bušenja i geofizičkih ispitivanja u podmorju.

Na priloženoj karti prikazan je reljef stijenske podloge bez kvartarnih taloga i nabačaja (sl. 3). Uočljiv je nastavak pružanja dolina Rječine i Potoka približno do 60 m ispod današnje morske razine. Nazire se i nešto veći razmak između izobata, odnosno blaži reljef podloge između izolinija  $-40$  i  $-60$  m. Očigledno je da su spomenute doline formirane u geološkoj prošlosti pri drugačijem položaju erozijske baze u odnosu na današnju.

Na temelju rezultata bušenja i geofizičkih ispitivanja nacrtano je šest poprečnih profila. Potječu s pozicija za koje autori smatraju da su karakteristične, a imaju dovoljnu gustoću istražnih radova da se reljef podloge može korektno rekonstruirati (sl. 3 i 4).

Na profilima se vide zaravnjenja približno na dubini  $-50$  m, a prosječno su široka više od 100 m. Ovi oblici su osobito jasno izraženi na profilima A-B, C-D, G-H, i I-J. Na profilu E-F spomenuto zaravnjenje ne vidi se jasno, možda i zbog suviše rijetkih bušotina. Profil K-L i karta izobata podloge pokazuju da je morfologija podloge od te lokacije prema jugoistoku različita.

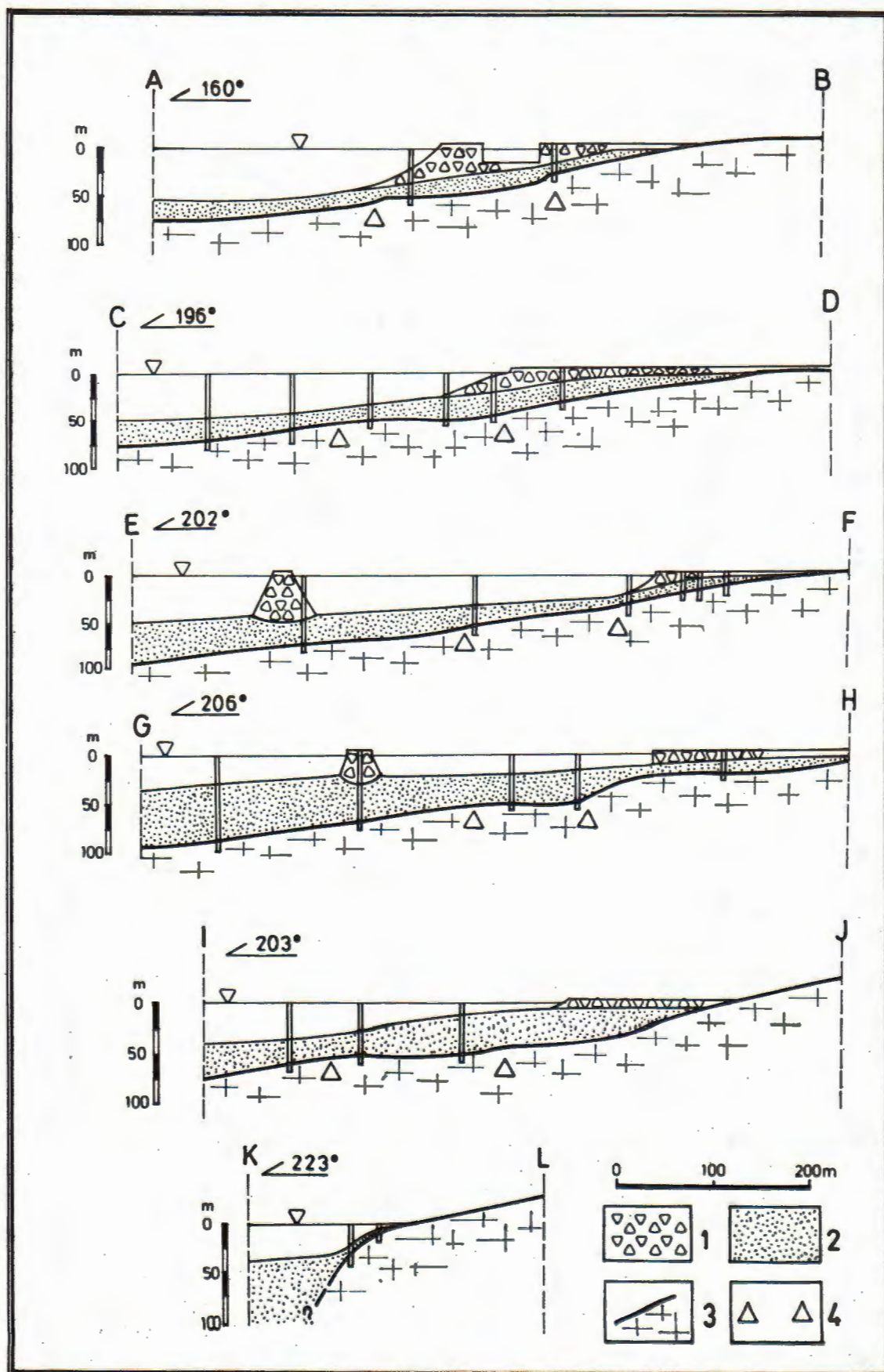
S obzirom na navedene činjenice može se u daljem razmatranju početi od pretpostavke da su ustanovljeni oblici u reljefu podloge, u podmorju ispred Rijeke, ostaci fosilne abrazijske terase. Postavlja se pitanje datiranja njene starosti. Za određivanje razdoblja u kojem je formirana terasa treba koristiti neka saznanja o promjeni razine mora u kvartaru (Šegota, 1968; 1976). Uspoređujući oscilacije morske razine s prethodno navedenim rezultatima, geomorfološki

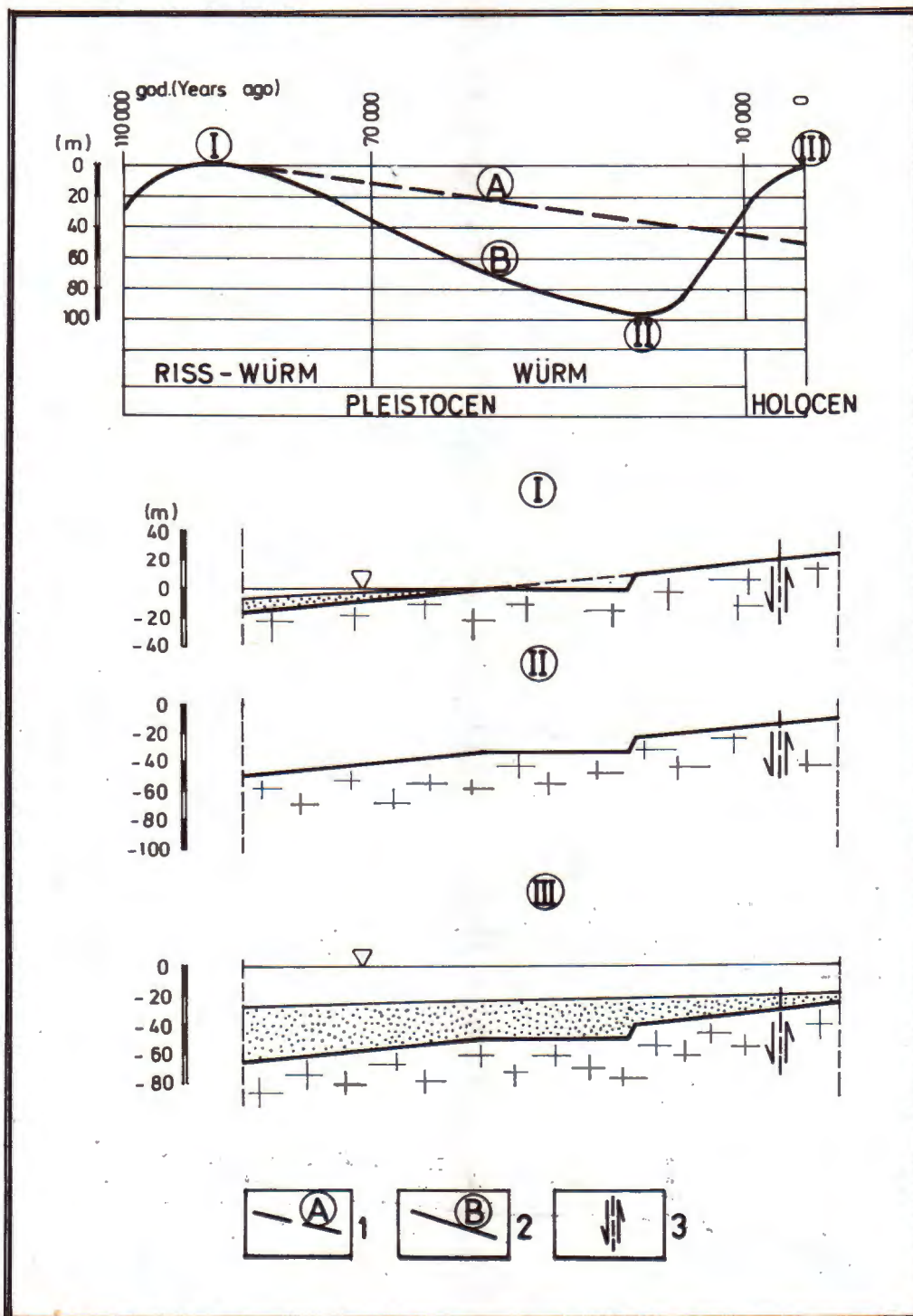
procesu u podmorju ispred Rijeke tekli su vjerojatno po sljedećoj shemi (sl. 5).

Proces formiranja terase odvijao se uz istovremeno spuštanje dna što je prihvatljivo i moguće s obzirom na novija saznanja o neotektonskim pokretima na ovom prostoru (Prelogović i dr., 1981). Promjene razine mora između glacijala i interglacijala bile su u tom razdoblju nagle i značajnih veličina. Stoga su uvjeti za nastanak marinske terase bili jedino mogući u vrijeme relativne stagnacije ili blagog opadanja morske razine oko vrhunca ris-virmuskog interglacijala (vrhunac pred oko 96 700 godina). Tada je more bilo nešto više od današnjeg ( $+1,17$  m). Najprije se počeo usijecati gornji rub terase. U jednom kraćem razdoblju izjednačila se brzina spuštanja morske razine poslije maksimuma ris-virmuskog interglacijala s brzinom tonjenja dna što je bilo povoljno za njeno proširenje. Od vremena kad je pad morske razine u vezi s virmskom regresijom postao veći od tonjenja kopna, istovremeno se odvijala erozija i denudacija akumuliranog materijala prethodno nastalog u fazi usijecanja terase. Do posljednje, virmsko-holocenske transgresije ovi sedimenti su vjerojatno posve odnešeni i ponovno pretaloženi u dubljim prostorima Riječkog zaljeva, pa njihovi ostaci nisu mađeni.

- Sl. 4. Shematski korelacioni profili morskog dna
- 1 – nabačaj
  - 2 – marinski talog
  - 3 – karbonatna podloga
  - 4 – marinska terasa

- Fig. 4. Schematic correlation profiles of the sea-floor
- 1 – fill
  - 2 – marine deposit
  - 3 – carbonate bedrock
  - 4 – submerged marine terrace





Sl. 5. Postanak i razvoj marinske terase  
 1 - spuštanje kopna  
 2 - promjena morske razine  
 3 - rasjed s naznakom smjera vertikalnog pomaka

Fig. 5. Origin and development of the marine terrace  
 1 - subsidence of the land  
 2 - sea-level changes  
 3 - fault with direction of the vertical displacement

Smjer, čestina i brzina vjetrova u vrijeme nastajanja marinske terase nisu detaljnije poznati. Vjerojatno je da su dimenzije Riječkog zaljeva tada bile slične. Stoga se može zaključiti da ni u tom razdoblju nisu bili osobito povoljni uvjeti za jači razarački rad valova na obalama karbonatne građe kao što ni danas to nije slučaj na priobalju oko Rijeke (Benac, 1989). Tako se može dati objašnjenje za relativno malu širinu opisane abrazijske terase (nešto preko 100 m) za razliku od znatno širih (i do nekoliko kilometara) koje su otkrivene uz apeninsku obalu Jadrana (van Straaten, 1970).

Mlađa terasa mogla se po istoj shemi formirati u maksimumu virma (prije 25 000 godina) kada je razina mora bila niža za 96,4 m od današnje. S obzirom na tonjenje morskog dna ona bi se trebala nalaziti na dubini od -112 m, a tako duboko odnosno daleko od obale nije izbušena niti jedna bušotina.

Novijim istraživanjima je ustanovljeno da je usijecanje korita Rječine u karbonatnu podlogu teklo sporije od promjene erozijske baze. Zato je u pojedinim razdobljima stagnacije razine mora dominiralo podzemno okršavanje nad riječnom erozijom, a tok Rječine se gubio u ponorima nizvodno od Pašca (Biondić i Dukarić, 1987). Stoga je vjerojatno da je do probijanja karbonatne barijere i formiranja kanjona ondašnji tok počinjao od izvora Zvir. Analizom rezultata prethodnih istraživanja otkriveno je fosilno korito usječeno u karbonatnu podlogu ispod sadašnjeg toka Rječine. Može se pratiti do kote -70 m. Iako je vjerojatno da se pruža i dublje, njegov položaj nije bilo moguće rekonstruirati zbog nedostatka vjerodostojnih podataka (sl. 3).

Dosadašnjim hidrogeološkim istraživanjima nisu ustanovljeni kontinuirani horizonti veće horizontalne šupljikavosti. Međutim, hipsometrijski položaj i uzlazni oblik grotla izvora Zvir mogli bi se povezati sa stagnacijom erozijske baze u ris-virmskom interglacijalu.

Virmsko-holocenska transgresija odvijala se uz dalje spuštanje morskog dna. Marinska erozija je po drugi puta razarajuće djelovala na nekadašnje dno. Na taj se način može protumačiti blaži nagib reljefa podloge koji se nalazi hipsometrijski niže od abrazijske terase te je tako opetovano abradiran (sl. 3 i 4). Virmsko-holocensko izdizanje razine bilo je vrlo naglo, tako da je more prodrlo duboko u kopno u ranije nastala korita Rječine i Potoka. Tada je počela intenzivna sedimentacija u podmorju. Na taj su način prekriveni, maskirani i sačuvani ostaci spomenute terase.

Najveći dio taloga doplavljen je Rječinom, a ishodni materijal uglavnom potječe iz flišnog zaleda. Dio sedimenata denudiran je s okolnih uzvišenja ili čak transportiran kroz karbonatno podzemlje te istaložen oko okolnih izvora. Opličavanje morskog dna je teklo najbrže oko ušća Rječine radi velike količine donešenog materijala. Zbog morskih struja to opličavanje bilo je intenzivnije sjeverozapadno od ušća. Strujama su odnešene pretežno sitnozrnaste pjeskovito-prašinske frakcije. Granulometrijski sastav materijala iz bušotina lociranih prema pučini pokazuje gotovo istu prosječnu veličinu zrna što ukazuje na jednolike uvjete sedimentacije bez prekida kon-

tinuiteta. Materijal iz bušotina bliže obali ima znatne promjene u veličini zrna, što ukazuje na utjecaj kopna odnosno promjenjive uvjete taloženja. (Cjelovita analiza sedimentacije u ovom prostoru zahtijeva znatno više prostora i zaseban rad.)

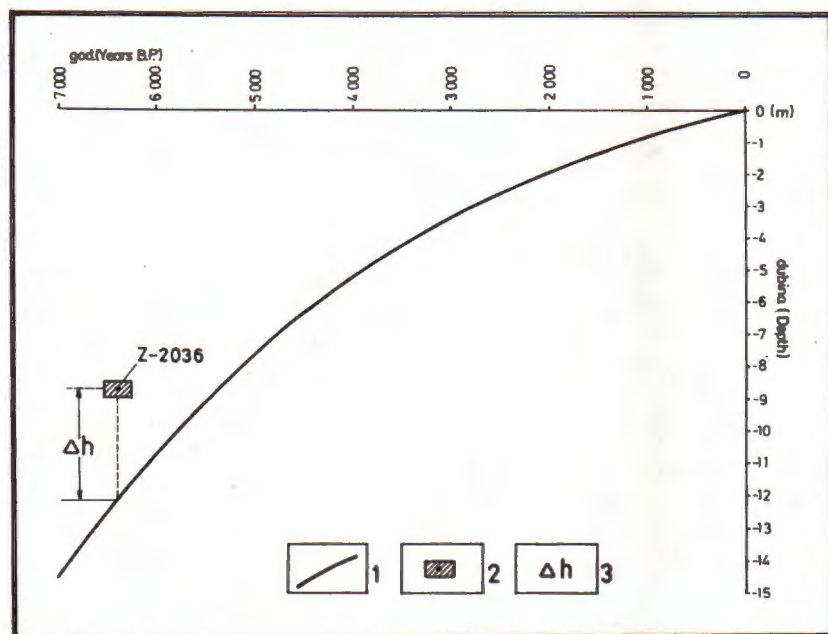
U holocenu se morska razina vjerojatno nije dizala kontinuirano, već su se izmjenjivale faze rasta i stagnacije, a možda i povremenog pada. Sloj treseta ustanovljen u bušotini u predjelu Potok ukazuje na stagnaciju morske razine u određenom periodu. Ranije spomenuti »tidal notch« ustanovljen je na ogoljelim vapnenačkim dijelovima obale oko Rijeke. Njegov oblik dokaz je stagnacije morske razine uz istovremeno sve ubrzanije tonjenje obalnog ruba. Proučavanjem tih oblika mikroreljefa podloge (bilo recentnih ili fosilnih) mogu se dobiti dragocjeni podaci o neotektonskim pokretima, pa zaslužuju da im se posveti zaseban rad.

Povoljna je okolnost da je za potrebe temeljenja građevine u Ulici D. Tucovića br. 29 u Rijeci poduzeće »Rijekaprojekt« izvršilo sondiranje pri čemu je ustanovljen tanki sloj treseta. Iz bušotine A-2 uzet je uzorak debljine 20 cm, koji se nalazio na dubini 8,73 m ispod današnje razine mora. Ovaj uzorak analiziran je u Institutu R. Bošković u Zagrebu pod laboratorijskom šifrom Z-2036 (16. 6. 1988. godine). Utvrđena je  $^{14}\text{C}$  starost  $6\,400 \pm 160$  god. B. P. Poznato je da se kod svih radiokarbonskih uzoraka navodi dubina ispod današnje srednje razine mora i da se pri tome ne istražuju postsedimentacijske promjene (kompakcija). Danas najčešće nije moguće utvrditi na kojoj je dubini taj sloj taložen u odnosu na ondašnju morsku razinu. Zato treba preuzeti samo podatak da se uzorak danas nalazi 8,73 m ispod današnje razine mora. To znači, da se ne zna da li je analizirani treset nastao od biljaka koje su živjele u vodi neposredno ispod morske razine, ili su pak one živjele nešto dublje. O tome ništa nismo uspjeli doznati iz nama dostupne literature, a ni izjave kompetentnih stručnjaka nisu upućivale na precizniji zaključak.

Pokušat ćemo utvrditi odnos analiziranog uzorka i visine morske razine u dijelu holocena. Na sl. 6 prikazan je položaj razine svjetskog mora u posljednjih 7000 godina (Šegota, 1968). Na grafikonu je prikazan položaj analiziranog uzorka kako je izvađen sa dna. Krivulja koja prikazuje visinu morske razine u holocenu shvaćena je kao nastavak procesa iz starijeg razdoblja. Jednadžba funkcije koja prikazuje izdizanje morske razine glasi

$$Y = 0,015\,208\,x^3 - 0,085\,641\,x^2 + 0,722\,466\,x.$$

Ako se u ovu jednadžbu uvrsti vrijednost za  $x = -6\,400$  (tj. 6 400 godina prije današnjice, B. P., tj. prije 1950. god.) dobiva se vrijednost  $Y = -12,1$  m, tj. prije 6 400 godina morska je razina bila 12,1 m niža od današnje. Međutim, za radiokarbonski je uzorak utvrđeno da je izvađen sa dubine 8,73 m. Razlika iznosi 3,37 m ( $12,1 - 8,73 = 3,37$ ). Kako objasniti ovu razliku? Ako se pretpostavi da je sve što je napisao točno, onda se -uz ostalo- može uzeti da se radiokarbonski uzorak za 6 400 godina izdigao za 3,37 m ili 3 370 mm. Ako se podijele ovi brojevi ( $3\,370 : 6\,400 = 0,527$ ) dolazi se do 0,53 mm godišnje,



Sl. 6. Odnos promjene morske razine u posljednjih 7000 godina i položaja radiokarbonskog uzorka  
 1 – promjena morske razine  
 2 – položaj radiokarbonskog uzorka Z-2036  
 3 – razlika u razini uzrokovana dizanjem kopna

Fig. 6. Relationship between the sea-level changes in the last 7,000 years and position of radiocarbon sample  
 1 – sea-level changes  
 2 – position of the radiocarbon sample Z-2036  
 3 – level difference caused by uplift of the land

tj. do prosječne godišnje brzine izdizanja dijela Rijeke gdje se nalazi bušotina A-2. Usporedi li se ova veličina i smjer njenog gibanja s položajem (oko -50 m) i smjerom gibanja potopljene ris-virmske terase može se zaključiti da se nedaleko od današnje obale u Rijeci nalazi aktivan lom, pa se ovo pretpostavkom potvrđuje dosadašnje istraživanje (Prelogović i dr., 1982) da se ovim područjem pruža važan rasjed.

Međutim, postoji naoko dosta velika razlika između ove veličine izdizanja (0,53 mm/god.) i veličine izdizanja do kojeg se došlo dosadašnjim istraživanjima (Prelogović i Cvijanović, 1976) koje je na užem riječkom području iznosilo 0,1 mm/god. (odnosno tim područjem prolazi izograda 0,2). Ta razlika prije svega proizlazi iz činjenice da je ovdje izračunata srednja brzina izdizanja samo za posljednjih 6 400 godina, a spomenuti su autori svoj podatak sveli na cijeli kvartar (2 milijuna godina). Naime, »Srednje vrijednosti gradijenata brzina... umanjuju se povećanjem vremena.« Tome treba dodati i činjenicu da su »vertikalna gibanja oscilirajuća, a brzina izdizanja i spuštanja promjenljiva.« Osim toga, kad se promatra dulje razdoblje (cijeli kvartar) onda treba imati na umu činjenicu da istovremeno s izdizanjem kopna u suprotnom smjeru djeluje denudacija, pa bi tako izdizanje reljefa bilo zapravo »neto izdizanje«, tj. pokazivalo bi prije svega rezultantu (izdizanje minus denudacija), a ne samo brzinu ili ukupnu veličinu izdizanja. Jasno je da denudacija djeluje na svim nadmorskim visinama, ali naglo raste s visinom reljefa. Zato bi u ovoj fazi istraživanja najbolje bilo zadržati se na navedenim veličinama, a tek će buduću radovi omogućiti da se odredi veličina i drugih parametara koji utječu na konačni iznos brzine izdizanja ili spuštanja.

Bit će korisno da se za komparaciju ukaže na rezultat istraživanja u Veneciji gdje je izbušena duboka bušotina. Morski sedimenti iz ris-virmskog interglacijala utvrđeni su 66–78 m ispod današnje

morske razine (Serandrei Barbero, 1975). To znači da je prosječna brzina spuštanja dna u području Venecije iznosila 0,6 mm/god. u posljednjih 125 000 godina. (Šegota, 1982: 0,61 mm/god. u posljednjih 96 700 godina na bazi podataka iz Bakra). To se dobro slaže i s podatkom da se ris-virmska terasa ispred Rijeke nalazi na dubini oko 50 m. (Šegota, 1982: potopljena ris-virmska terasa u Jadranskom moru trebala bi biti na dubini 50–60 m). Razlike su minimalne kad se ima na umu utvrđena činjenica da brzina spuštanja zavale Jadranskog mora raste prema sjeverozapadu, odnosno prema Padskoj nizini.

### Zaključak

U reljefu podloge u podmorju ispred Rijeke ustanovljeno je zaravnjenje odnosno stepenica na dubini od oko -50 m. Očigledno je da se radi o ostatku marinske terase.

Njena se starost može datirati u ris-virmski interglacijal, a nastala je u uvjetima stagnacije ili blagog sniženja morske razine uz istovremeno tonjenje podmorja.

Današnji položaj terase na oko -50 m dokaz je za tonjenje morskog dna ispred Rijeke, a posljedica je neotektonskih pokreta u sklopu općeg spuštanja dna zavale Jadranskog mora.

U toku virmske regresije terasa je ostala »na suhom«. Tada je erodiran njen akumulacijski dio, ali se u subaeralnim uvjetima postupno mijenja i njen abrazijski dio. Naglom kasnovirmsko-holocenskom transgresijom ondašnje kopno koje je bilo niže od terase kao i preostali abrazijski dio terase preplavljeni su morem. Tada su u jednom kraćem razdoblju ponovno podvrgnuti razornom djelovanju valova. Uslijed donošenja materijala s kopna sedimenti su prekrili ostatke terase; tako je došlo i do konzerviranja terase. Dokaz za relativno dulju stagnaciju erozijske baze u maksimumu virma (na -94



m) je i pružanje usječenih korita Rječine i Potoka duboko ispod današnje obalne linije, odnosno približno do dubine na kojoj su otkriveni ostaci marine terase.

Sastav materijala u bušotinama koje su locirane iznad ustanovljene terase ili još dalje od današnje obale (sve do dubine dna od oko -94 m) pokazuje jednolike uvjete taloženja i kontinuirani slijed. Morfologija nekadašnjeg morskog dna pokazuje da se zapadno od današnjeg ušća Rječine nalazi potopljeni nastavak Kastavske zaravni. Međutim, strmi i oštri oblici dna idući od ušća Rječine prema jugoistoku ukazuju na jači lom koji se uz obalu može pratiti i desetak kilometara prema jugoistoku.

U najgušće izgrađenom najnižem dijelu Rijeke izbušena je bušotina u čijoj je jezgri naden tanki sloj treseta. Radiokarbonskim datiranjem utvrđeno je da je najdonji dio jezgre star oko 6 400 godina. Iz razlike dubine tog sloja i visine današnje morske razine te visine razine svjetskog mora u doba taloženja proizlazi da se taj dio Rijeke izdigao za 3,37 m u posljednjih 6 400 godina, što znači 0,53 mm/godišnje. To bi bio dokaz za već poznatu činjenicu da neposredno uz obalnu liniju u Rijeci prolazi rasjed koji je bitno važan za neotektonske i morfo-genetske procese u ovom prostoru.

Primljeno: 22. XII 1989.

Prihvaćeno: 7. V. 1990.

#### LITERATURA

- Benac, Č. (1989): Morfogeneza vrlo strmih i okomitih obala na području Kvarnera. Pomorski zbornik 27, 485-495, Rijeka.
- Biondić, B. & Dukarić, F. (1987): Inženjerskogeološki i hidrogeološki radovi na lokaciji buduće crpne stanice Zvir. Arhiv Geološkog zavoda, Zagreb.
- Cvijić, J. (1922): Abrazijska serija jadranske obale i epirogenetski pokreti. Glasnik geograf. društva 7/8, 71-89., Beograd.
- Cvijić, J. (1924): Geomorfologija I, str. 495. Državna štamparija SHS. Beograd.
- Herak, M. (1984): Geologija. Školska knjiga i Sveučilište u Zagrebu, 429 str., Zagreb.
- Komen, R. & Benac, Č. (1983): Geotehničke karakteristike tla na priobalnom području Rijeke. Građevinar 35 (4), 161-168, Zagreb.
- Kranjec, V. & Prelogović, E. (1974): O paleogeografskim i neotektonskim odnosima u tercijaru i kvartaru na teritoriji SR Hrvatske. Geol. vjesnik 27, 95-112, Zagreb.
- Pirazzoli, P. A. (1986): Marine notches, 361-400. In: Van de Plassche, O.: Sea-level research: a manual for the collection and evaluation of data. UNESCO-IGCP, Geo Books, Norwich.
- Prelogović, E. (1975): Neotektonska karta SR Hrvatske. Geol. vjesnik 28, 97-108, Zagreb.
- Prelogović, E., Blašković, I., Cvijanović, D., Skoko, D. & Aljinović, B. (1981): Seizmotektonske značajke vinodolskog područja. Geol. vjesnik 33, 75-93, Zagreb.
- Prelogović, E. & Cvijanović, D. (1976): Vertikalni neotektonski pokreti i pojave jačih potresa na području SR Hrvatske. Geol. vjesnik 29, 151-157, Zagreb.
- Prelogović, E., Cvijanović, D., Aljinović, B., Kranjec, V., Skoko, D., Blašković, I. & Zagorac, Z. (1982): Seizmotektonska aktivnost duž priobalnog dijela Jugoslavije. Geol. vjesnik 35, 195-207, Zagreb.
- Prelogović, E. & Kranjec, V. (1983): Geološki razvitak područja Jadranskog mora. Pomorski zbornik 21, 387-405, Rijeka.
- Serandrei Barbero, R. (1975): Il sondaggio Venezia 2: Stratigrafia e paleoecologia. Giorn. Geol. 40, 163-180, Roma.
- Šegota, T. (1968): Morska razina u holocenu i mladem würmu. Geograf. glasnik 30, 15-39, Zagreb.
- Šegota, T. (1976): Promjena razine Jadranskog mora prema podacima mareografa u Bakru i Splitu. Geograf. glasnik 36, 301-312, Zagreb.
- Šegota, T. (1982): Razina mora i vertikalno gibanje dna Jadranskog mora od ris-virmskog interglacijala do danas. Geol. vjesnik 35, 93-109, Zagreb.
- Šikić, D. & Plenićar, M. (1975): Tumač za list Ilirska Bistrica. OGK SFRJ 1:100.000, L 33-89, Beograd.
- Tabain, T. (1976): Jadransko more (vjetrovi i vjetrovni valovi na Jadranu). Pomorska enciklopedija 3, 208-214, JLZ, Zagreb.
- Van Straaten, L. M. J. U. (1970): Holocene and late Pleistocene sedimentation in the Adriatic Sea. Geol. Rundschau 60, 106-131, Stuttgart.

### Submerged Riss-Würm Submarine Terrace in Front of Rijeka City, Croatia

Č. Benac & T. Šegota

On the sea floor in front of Rijeka city we discovered a submarine terrace at the depth of about 50 m below present sea level. This submarine terrace one can very probably date in the Riss-Würm interglacial stage. It was eroded during the stagnation period or very slow lowering period of sea level accompanied by the simultaneous subsidence of sea bottom.

The present position of this terrace at a depth of -50 m is a proof for the sea floor subsidence in front of Rijeka city which is a part of a general neotectonic subsidence of the Adriatic Sea basin and the lower part of Northern Italy.

During the Würm regression the terrace was a certain time above the sea level, and in such position the terrace was submitted to subaerial erosion. During the rapid Late Würm and Holocene transgression, the terrace was submerged, and for a certain time it was exposed to the destructive wave erosion. At the same time, the material transported from the nearby land was deposited on the terrace remnants and in this way it was partly preserved.

The proof for the relative stagnation of sea level concerning the erosion basis in the coldest part of Würm glacial stage (-94 m) is the continuation of Rječina river and Potok valley deeply

below the present sea level, almost to the depth of submerged terrace.

The strata in the boreholes even deeper than the submerged terrace are the proof for the continuous sedimentation. The relief of sea bottom to the west of Rječina river mouth shows that it is a continuation of Kastav plateau. However, more than ten kilometers to the southeast of Rječina river mouth, the coast is very steep, and is the proof for the existence of important fault.

In the most densely built up lower part of Rijeka city in recently filled up coastal area the borehole was drilled. At the bottom (8,73 m below the present sea level) the thin peat layer was discovered. Radiocarbon analysis showed that the lowest part of this layer is 6,400 years old.

However, 6,400 years B. P. the sea level was 12.1 m lower than now. One can assume that the difference (12.1 - 8.73 = 3.37 m) can be attributed to the recent uplifting. Dividing the magnitude of uplifting by the number of years (3,370:6,400 = 0.527) we can obtain the annual rate of uplifting of 0.53 mm per year. Thus, in a very narrow coastal belt the intense subsiding of sea floor is present as well as the uplifting of the land.