

Razina mora i vertikalno gibanje dna Jadranskog mora od ris-virmuskog interglacijala do danas

Tomislav SEGOTA

*Geografski zavod, Prirodoslovno-matematički fakultet, Marulićev trg 19,
YU — 41000 Zagreb*

Ekstrapolacijom mareografskih podataka o visini razine Jadranskog mora i njihovim uspoređenjem s razinom svjetskog mora dolazi se do zaključka da se od ris-virmuskog interglacijala podmorje Jadranskog mora i neki dijelovi najužeg obalnog pojasa spustili za 61 m u posljednjih 100 000 godina. Podmorska terasa čiji se gornji rub danas nalazi na oko -50 do -60 m nastala je u interglacijalu ris-virma na visini današnje morske razine. Ona se poslije postanka spustila, preplavljena je morem, te se danas nalazi na dubini ispod 50—60 m. Gornji rub terase koja je obrađirana za vrijeme najnižeg položaja razine Jadranskog mora u maksimumu virma (96 m niža razina nego danas), zbog spuštanja dna se danas nalazi na -112 m.

UVOD

Zbog razumljivih razloga, reljef podmorja Jadranskog mora, kao i svih drugih mora, mnogo je slabije upoznat od reljefa otoka i primorja. Dugo vremena praktički je jedini izvor informacija i pretpostavki bila batimetrijska karta. Budući da čovjek živi na kopnu, i da na te procese gleda iz te perspektive, i u znanstvenoj i u popularnoj literaturi često se govori da »naša obala tone«. Usprkos nedostatku podataka, o tome se može nešto reći korištenjem indirektnih metoda, jer u geoznanostima nije rijetak slučaj da se za rekonstrukciju nekih procesa moraju koristiti krajnje fragmentarni podaci. To černo učiniti usprkos činjenici da opisane procese karakterizira silna dinamičnost, velike regionalne, pa i lokalne razlike, te česta smjena smjera procesa, ako on traje nešto duže. Nema sumnje da se o podmorskim terasama (ne samo u nas) malo pisalo, mnogo manje nego o obalnim terasama. Da li se može pokušati utvrditi njihova starost na dnu Jadranskog mora polazeći od pretpostavke da doista postoje?

DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

U početku istraživanja obalskih krajeva (sintetizirao B. Ž. Milojević, 1933) pretpostavljalo se da su na mnogim mjestima marinski pleistocenski sedimenti ostali iznad današnje razine mora čak i do 100 m, što se smatralo dokazom »postdiluvijalnog izdizanja«. Tako se iz sin-

tetičkih prikaza dolazilo u tešku situaciju jer se navodilo brojne dokaze o »tonjenju naše obale«, a s druge se strane uzimalo da su se brojni dijelovi naše obale i otoci istovremeno izdizali. Usprkos dinamičnosti ovih procesa i mogućim regionalnim odstupanjima, teško su se mogla spojiti oba ova procesa često na sasvim malenoj udaljenosti.

Već se u ono doba, a sve više kasnije, pokazalo da nema jačih dokaza za postojanje pleistocenskih marinskih sedimenata u našem jadranskom području iznad današnje razine mora, a ono što se nekada smatralo marinskim sedimentima nađenima iznad današnje morske razine pokazalo se da je najčešće les eolskog porijekla ili je utvrđeno da su to fluvijalni talozi. Zato se danas uzima (V. Kranjec & E. P. Relogović, 1974) da se u kvartaru marinska sedimentacija vršila samo u potolinama Jadrana, tj. (str. 106) »marinskih kvartarnih tvorevina ima samo u Jadranskom podmorju«. Međutim, potrebno je spomenuti da M. Sifrer (1965) uzima da je u primorju oko Kopra abradirano 8 marinskih terasa koje se danas nalaze iznad razine Jadrana. L. G. Nikiforov (1965; 1967) u tekstu samo spominje da je kod Splita i Kotora vidio morsku terasu na 5—6 m, koja da je nastala za vrijeme transgresije u holocenskom klimatskom optimumu, ali nikakva profila, fotografije, faunističkog dokaza ili slično nije dao. Slično tome i J. Cvijić (1922) samo po izgledu reljefa zaključuje da bi manje zaravnjene površine kod Slanog bile »izdignute marinske obale i izdignute abrazione terase«.

S druge strane, već je J. Cvijić (1922; 1924) ukazao na vrlo jaku recentnu abraziju naše obale i izveo zaključak da se upravo abradira prostrana marinska terasa. Zato se mora pretpostaviti da su interglacijalne terase morale biti abradirane i u prošlom (ili prošlim) interglacijalima. Ako je to točno onda slijedi da su interglacijalne terase morale postojati barem na današnjoj razini mora ili nešto više iznad nje. On uzima da su s vremenom potonule zajedno sa čitavim kopnom (zbog epirogenetskog spuštanja našeg primorja), tj. trebale bi se nalaziti ispod današnje morske razine. Kao dokaz za to Cvijić navodi dvije »potopljene obale« čiji je gornji rub na 45—50 m i na 65—66 m ispod morske razine, a nalaze se ispred vanjske obale Dugog otoka, ali — razumljivo — nije pokušao odrediti njihovu starost. Za objašnjenje njihova postanka važna je konstatacija da su se one »... održale pred abrazijom mora, čiji se nivo penje, znak je da je spuštanje kopna išlo brzo i da erozija nije imala dovoljno vremena da te stare obale potpuno uništi...«

U Splitskim vratima I. Rubić (1936—1937) je otkrio terasu na 18 m dubine. Analizom oko 100 eholot-profila L. G. Nikiforov (1965; 1967) je pretpostavio postojanje podmorskih terasa na 19—20, 29—32, 40—45, 50—52, 57—62 m (za nju kaže da je vrlo izrazita), 67—73, 87—95, 108—112, 120—123 m (i ona je vrlo izrazita). S. Alfirević (1965) naslućuje 3—4 abrazijske terase u sukcesivnoj seriji s najdubljom terasom između 80 i 90 m. B. Ž. Milojević (1933) spominje podmorske terase na 27 i na oko 57 m. Kad se sve to zbroji izlazi da postoji ukupno oko 17 podmorskih terasa. Kad se ima na umu činjenica kako je terase često teško utvrditi i na kopnu, a kamo li u moru, da su neke samo intuitivno naslućene analizom batimetrijskih karata ili profila, te da se radi o potopljenom krškom reljefu u kojem nije teško zapaziti brojne

veće ili manje, šire ili uže zaravnjene površine na vrlo različitim visinama (odnosno dubinama) onda imamo razloga da posumnjamo da većina od ovih 17 terasa sigurno nisu abrazijske terase. (Prisjetimo se da u svjetsko kvartarološkoj literaturi nalazimo podatke samo o jednoj ili dvije ris-virmske subaeralne terase, a najčešće se toliko spominje i pod-morskih terasa.)

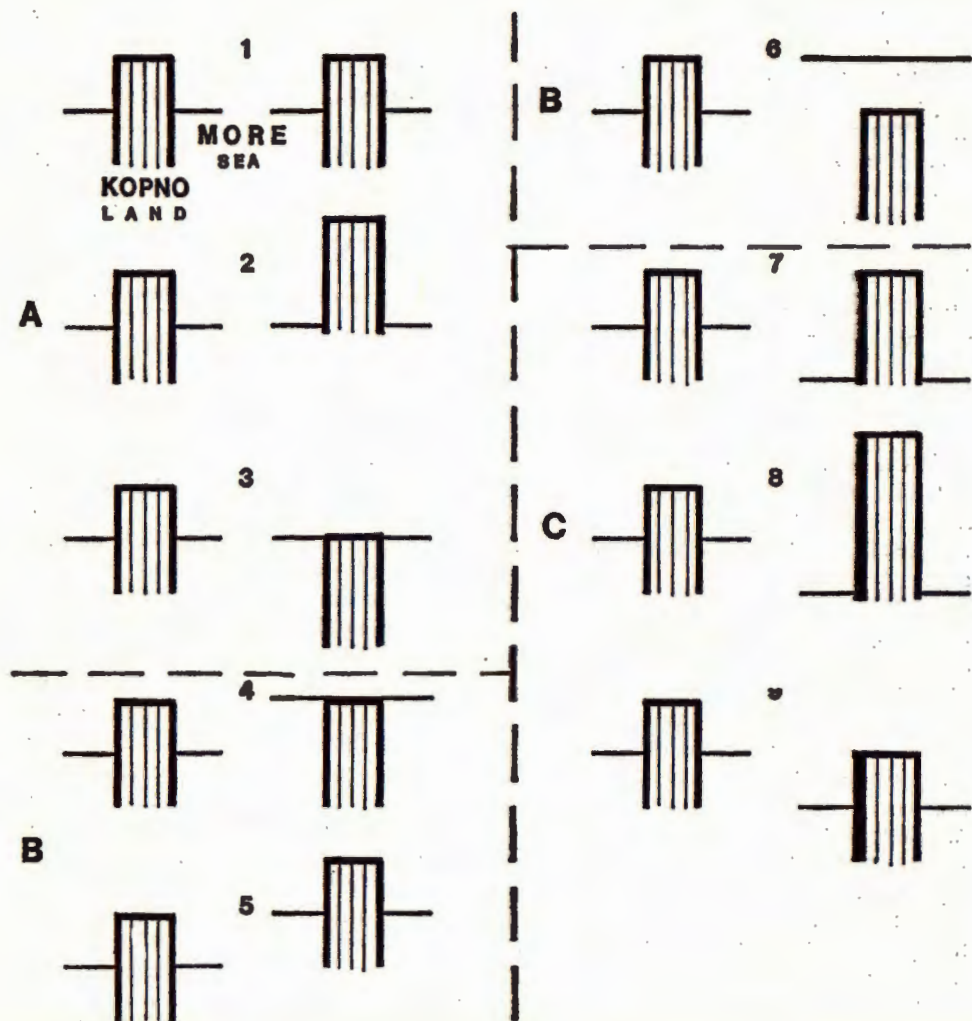
Kad se govori o dubljim terasama onda nema razloga da se posumnja u njihovo postojanje. Jedna terasa koja je abradirana u doba najnižeg položaja morske razine u virnu otkrivena je u mnogim dijelovima svijeta. Regresija Jadrana sve do maksimuma virna danas je definitivno dokazana činjenica; međutim, svi su istraživači nastojali utvrditi dubinu do koje se spustila morska razina, ali nitko u Jadranu nije pokušao utvrditi terasu koja pripada njoj.

METODA ISTRAŽIVANJA

Česta tvrdnja da »naša obala tone«, kad se na taj proces gleda genetski i u relativno duljem razdoblju, nije tako jednostavan proces. Na sl. 1 prikazano je 9 glavnih kombinacija odnosa između kopna i mora polazeći od pretpostavke da je izdizanje ili spuštanje morske razine, kao i izdizanje ili spuštanje kopna, bio kontinuirani (linearni) proces, bez ubrzanja, usporavanja i mirovanja, odnosno stabilizacije u duljem razdoblju. Prikazane su samo početne i završne faze odnosa morske razine i visine kopna u relativno kratkotrajnijim ciklusima. Ne ulazeći u objašnjenje dubljih uzroka, stagnacija, te izdizanje ili spuštanje morske razine je globalni proces i u odnosu na radijus Zemlje ima svagdje »isti« iznos. To se ne može reći za kopno; ono se izdiže, spušta ili ostaje na istoj visini (barem jedno vrijeme, dok traje opisani ciklus) samo regionalno, tj. samo u jednom dijelu svijeta; ni u jednom od 9 primjera ne uzima se da je došlo do izdizanja ili spuštanja kopna, ili da je njegova visina stagnirala na nekoj visini (u odnosu na Zemljin radijus) na cijeloj Zemlji.

Svih 9 glavnih kombinacija mogu se podijeliti u 3 skupine: A) stagnacija ili stabilizacija morske razine, a kopno je bilo stabilno (1), izdiglo se (2) ili se spustilo (3). B) Morska se razina izdiže, a kopno je istovremeno bilo stabilno (4), ili se kopno istovremeno izdiglo za isti iznos koliko se izdigla morska razina (5), ili se morska razina izdigla, a kopno se spustilo (6). C) Morska se razina spuštala, a visina kopna je stagnirala (7), razina mora se spustila, a kopno se za isti iznos izdiglo (8) i konačno morska se razina spustila, a za isti se iznos spustilo i kopno (9). Može se zamisliti još nekoliko kombinacija ako veličina izdizanja ili spuštanja morske razine nije bila jednaka po veličini iako je bila istog smjera.

Ove je odnose potrebno dobro poznavati prije svega zato jer o smjeru gibanja morske razine i kopna u odnosu na Zemljin radijus ovisi trajanje abrazijske terase, tj. o tome odnosu ovisi da li će nastati široka ili uska abrazijska terasa ili uopće neće postojati uvjeti za njen postanak zbog stagnacije, polagane ili pak prebrze transgresije i regresije. Ako se tome doda činjenica da kopno može biti građeno od različito otpornih stijena i da obala često nije tako strma kako je prikazano na sl. 1 (a baš je



Sl. 1. Devet glavnih kombinacija odnosa kopna i mora kao posljedica njihova vertikalnog gibanja. A, morska je razina stabilna, a kopno je stabilno, izdiže se ili se spušta. B, morska se razina diže, a kopno je stabilno, izdiže se ili se spušta. C, morska se razina spušta, a kopno je stabilno, izdiže se ili se spušta

Fig. 1. Nine most important possible relations between land and sea as an effect of vertical movements. A, sea level is stable, the land is stable, rising or subsiding. B, sea level is rising, the land is stable, rising, or subsiding. C, sea level is subsiding, the land is stable, rising or subsiding

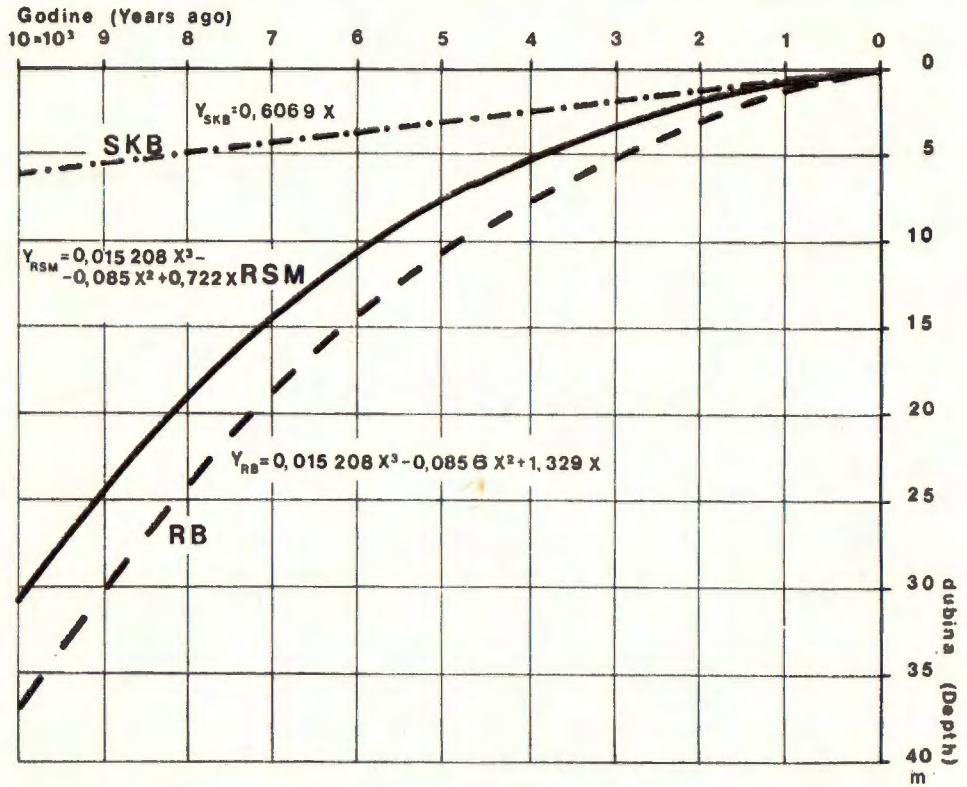
tako u jednom dijelu podmorja Jadrana), onda se lako može doći do zaključka da je postanak morskih terasa kompleksan proces. I konačno, svaka od ovih 9 završnih faza u realnim paleogeografskim uvjetima može biti početna faza svake od ostalih kombinacija, tj. moguć je postanak i očuvanje više terasa koje se nakon nekog vremena mogu nalaziti kako iznad tako i ispod morske razine (tj. ako se terasa u slijedećoj fazi spusti pod more ili je more preplavi, ili se izdigne nad morsku razinu).

Analizom mareografskih podataka u Bakru (T. Šegota, 1976) došlo se do zaključka da postoji razlika u brzini izdizanja morske razine prema mareografskim podacima u Bakru i veličine općeg, svjetskog izdizanja morske razine; ta razlika iznosi prosječno godišnje 0,6 mm. Na temelju tih podataka, metodom ekstrapolacije, konstruirani su grafovi na sl. 2. Razina svjetskog mora prije 10 000 godina, tj. na prijelazu iz virna u holocen, bila je 31 m niža od današnje. Međutim, ekstrapolacijom podataka mareografa u Bakru dobiva se krivulja iz koje se vidi da je izdizanje morske razine u Bakru u holocenu bilo brže od općeg izdizanja razine svjetskog mora. Odakle ta razlika? Jedno od mogućih rješenja moglo bi se naći na sl. 1, primjer 6: Razina mora u holocenu se izdizala, a kopno (na kojem je danas mareograf) se istovremeno spuštalo (u odnosu na Zemljin radijus); imamo dakle dva protusmjerna gibanja. Ako se krivulji koja prikazuje položaj razine svjetskog mora doda veličina spuštavanja kopna onda se dobije krivulja izdizanja morske razine na mjestu bakarskog mareografa. Ako godišnje spuštavanje kopna u Bakru iznosi 0,6 mm, onda se u posljednjih 10 000 godina kopno u Bakarskom zalivu spustilo za 6 m (računski: 6, 069 m). Budući da imamo dvije poznate točke (današnji položaj morske razine i njen položaj prije 10 000 godina), i da je pravac definiran dvjema točkama, jednostavnom operacijom dolazimo do jednadžbe pravca

$$y_{SKB} = 0,6069 \cdot x$$

koja prikazuje veličinu spuštavanja kopna u Bakarskom zaljevu (isprekidani pravac SKB na sl. 2).

Da bismo riješili postavljeni problem potrebno je prisjetiti se sheme kvartarnih fluktuacija morske razine, odnosno mehanizma postanka interglacijalnih i glacijalnih morskih terasa. Na »stabilnim« obalama, kao i na obalama koje se epirogenetski izdižu utvrđen je niz interglacijalnih terasa (najviše su najstarije, a što su mlađe to su niže), ali njihov slijed i međusobna visinska razlika je tako velika da se moralo pretpostaviti da od kraja pliocena postoji opći eustatički pad razine svjetskog mora (pretpostavilo se da je to vjerojatno zbog povećanja volumena oceanskih zavalala), ili je to djelomično uzrokovano izdizanjem obala na kojima su abradirane marinske terase. Na taj dugotrajni opći pad morske razine superponirane su fluktuacije morske razine u vezi s pojavom glacijala i interglacijala. Uzima se da je amplituda tih oscilacija (interglacijal-glacijal) bila reda veličine 120–150 m. U interglacijalima, razdobljima kada je morska razina bila viša nego danas, i kad se razina jedno vrijeme stabilizirala, na stabilnim obalama i obalama koje su se epirogenetski izdi-



Sl. 2. RSM, razina svjetskog mora u holocenu; RB, razina mora dobivena ekstrapolacijom podataka bakarskog mareografa; SKB, spuštanje kopna po podacima bakarskog mareografa

Fig. 2. RSM, world sea level in the Holocene; RB, sea level derived from the Bakar mareograph data; SKB, land subsidence derived from the Bakar mareograph data

zale abradirane su morske terase koje se danas nalaze iznad današnje morske razine. To je opća shema koja se navodi u svim kvartarološkim udžbenicima.

Polazeći od nekih novijih radova može se, međutim, posumnjati u vrijednost ove opće sheme. Budući da ova problematika izlazi iz okvira naše teme, u ovom času ćemo se zadovoljiti samo s općim konstatacijama i pretpostavkama od kojih sam pošao.

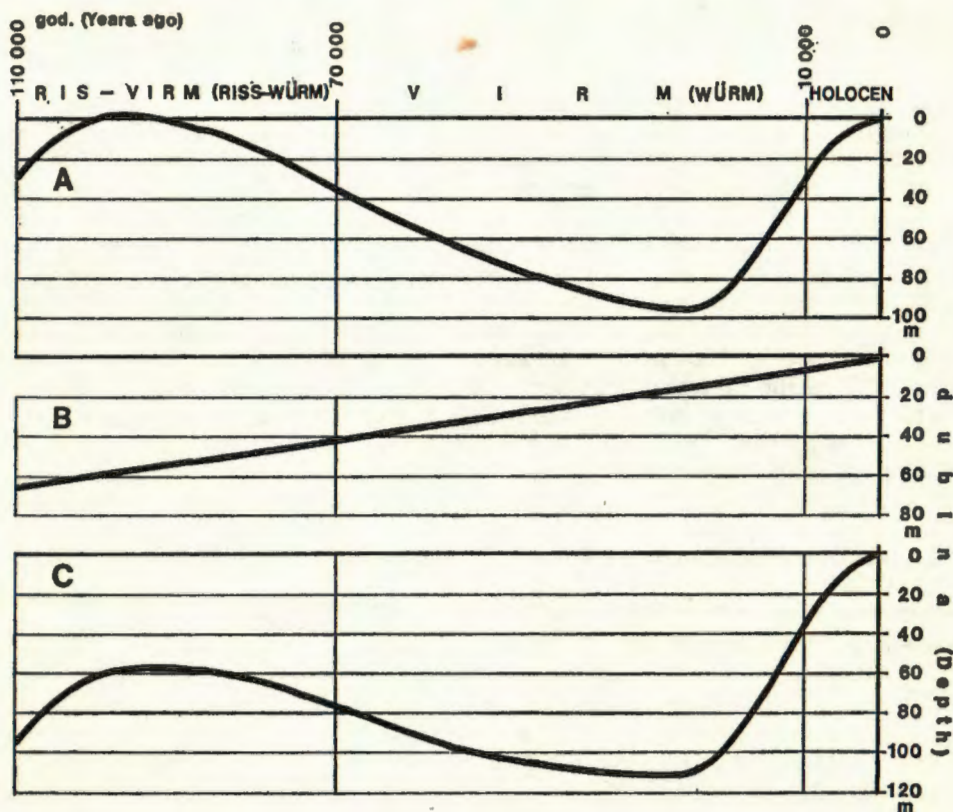
1. Niz morskih terasa (nomenklatura i kronologija nisu ujednačeni) završava s najvišom terasom u sicilijenu na 80–100 m. Može li se uzeti da je morska razina ne baš tako davno bila 100 m viša nego danas, kad u golemim, niskim dijelovima naše planete nema ni traga marinskim sedimentima iz toga razdoblja. A bila bi to transgresija planetarnih dimenzija!

2. Niz morskih terasa sve do 100, pa i više, metara nađen je samo u nekim dijelovima svijeta (mahom strne obale!) i više nema sumnje da

su to izdignute terase, izdignute poslije njihova abradiranja. (Tvrdnja da su to stabilne obale mogla bi se prihvatiti s ograničenjem da su one stabilne danas, što ne mora značiti da su takve bile i ranije, kad su abradirane terase.)

3. U do sada najiscrpnijem sintetičkom prikazu rezultata radiometrijskih mjerenja starosti terasa iz ris-virmskog interglacijala C. L a l o u, J.-C. Duplessy i H. V. Nguyen (1971) su utvrdili da se one nalaze na najrazličitijim visinama, iznad i ispod današnje razine mora.

Sve to ukazuje na potrebu da se revidiraju dosadašnje sheme o kvartarnim fluktuacijama morske razine. Polazimo od pretpostavke da su se razine mora u posljednja tri interglacijala nalazile na približno istoj visini kao i danas. Međutim, ograničit ćemo se samo na posljednji ciklus, od ris-virmskog interglacijala do danas (sl. 3, gornji graf A). Osnova za rekonstrukciju fluktuacije morske razine bio je prijašnji rad (T. Še-



Sl. 3. A, generalizirani položaj razine svjetskog mora; B, veličina tonjenja dna Jadranskog mora i C, rezultirajuća krivulja koja prikazuje današnji položaj reljefnih oblika nastalih u označenim razdobljima

Fig. 3. A, the generalized position of the world sea level; B, the rate of subsidence of the Ariatic Sea bottom; C, resulting curve representing the present depth of bottom features abraded in the periods defined above

got a, 1968; 1973), a kronologija iz još ranijeg rada (T. Šegota, 1963). Krivulja je generalizirana, bez fluktuacija kraćeg perioda i manje amplitude, jer u ovom slučaju takvi detalji nisu potrebni.

Od momenta najnižeg položaja morske razine u virmu (— 96, 4 m prije 25 000 godina), razina se naglo izdizala. Taj je proces usporen u drugoj polovici holocena, ali se razina svjetskog mora ipak još uvijek izdiže, a ekstrapolacijom se došlo do zaključka da će se morska razina izdići za još 1, 17 m u slijedećih 1 900 godina. Zato sam uzeo da je najviša razina u ris-virmskom interglacijalu bila prije 96 700 godina isto na visini 1, 17 m. (Ris-virmski interglacijal je počeo prije 110 000 godina, a prestao je prije 70 000 godina, tj. trajao je 40 000 godina.)

Iz sl. 2 smo utvrdili da u području Bakarskog zaljeva postoji spuštanje kopna. Iz iznijete jednadžbe slijedi da se od maksimuma ris-virskog interglacijala (koji je bio prije 96 700 godina) dno Bakarskog zaljeva spustilo za 58, 69 m (ili 60, 69 m u posljednjih 100 000 godina, graf B na sl. 3). Da bi se utvrdila dubina na kojoj bi se eventualno nalazile terase iz analiziranog razdoblja, potrebno je uzeti u obzir dva gibanja: fluktuaciju razine svjetskog mora (A na sl. 3) i spuštanje morskog dna u zavali Jadrana (B). Uzimanjem u obzir obaju ovih gibanja dobivena je krivulja C na sl. 3. Ali, ona ne prikazuje fluktuaciju razine Jadranskog mora (to prikazuje graf A), nego prikazuje na kojoj se dubini danas nalaze eventualni reljefni oblici koji su stari onoliko koliko se može očitati na osi x (ili obratno, koliko je stara neka terasa koja se nalazi na dubini prikazanoj na grafu u točki koja odgovara toj dubini). Budući da je fluktuiranje svjetske morske razine (A) bilo relativno komplicirano (smjenjivanje izdizanja, stagnacije i spuštanja razine), a spuštanje morskog dna je bilo konstantan proces, i u cijelom je promatranom razdoblju bio usmjeren samo prema dolje, rezultirajuća visina morske razine se komplicirala, tj. u pojedinim razdobljima na sl. 3 postojale su različite kombinacije sa sl. 1. (Ni jedna kombinacija na sl. 1 nije primjenljiva na fluktuaciju A na sl. 3 u cjelini zato jer u promatranom razdoblju imamo dvije faze izdizanja, jednu fazu spuštanja i dvije faze stagnacije morske razine, a na sl. 1 prikazane su samo jednostavne kombinacije, ili samo izdizanje, ili samo spuštanje, ili samo stagnacija kopna ili morske razine.) Zato je potrebno detaljnije usporediti sl. 3 i sl. 1. U prvoj fazi ris-virskog interglacijala svjetska se morska razina izdizala, a dno Bakarskog zaljeva (odnosno Jadranskog mora) se spuštalo (kombinacija 6 na sl. 1). U fazi najveće visine morske razine u ris-virmskom interglacijalu (maksimum prije 96 700 godina, a razina je bila 1, 17 m viša nego danas) morska je razina (gotovo) stagnirala, a dno se i dalje spuštalo (kombinacija 3). Krajem ris-virskog interglacijala te sve do nešto prije maksimuma virma morska se razina spuštala, a dno mora je tonulo (kombinacija 9). U maksimumu virma, za vrijeme najnižeg položaja morska je razina (gotovo) stagnirala, a dno mora se i dalje spuštalo (kombinacija 3). Od maksimuma virma, kada se morska razina nalazila na najnižoj točki u tom glacijalu, sve do danas morska se razina izdiže, a morsko se dno i dalje spušta (kombinacija 6). Ovi su detalji potrebni zato jer o međusobnom odnosu (tj smjeru) gibanja (ili stabilizacije) morske razine i morskog dna ovisi trajanje interglacijalne visoke razine, trajanje najniže, glacijalne razine, te brzina spuštanja ra-

zine mora između njenog najvišeg i najnižeg položaja, ili pak brzina izdizanja morske razine između njenog najnižeg i najvišeg položaja. Očito je da će se sve to direktno odraziti na veličini abrazije, odnosno na dimenzijama abradiranih terasa. To znači: Abrazija je najdulje trajala za vrijeme najnižeg položaja morske razine u virmu, a zatim sredinom ris-virmskog interglacijala. To su bila razdoblja u kojima su mogle nastati abrazijske terase najvećih dimenzija. U fazi spuštanja morske razine na prijelazu iz ris-virma do nešto prije maksimuma virma uvjeti za postanak terase su bili slabiji, a najnepovoljnije mogućnosti za abradiranje terase postojali su u fazi izdizanja razine od maksimuma virma preko holocena do danas, u geološkom smislu riječi bila je to vrlo nagla transgresija.

Od svih točaka (odnosno kraćih razdoblja) najinteresantnije su dvije točke. 1. Maksimum posljednjeg interglacijala; on je (hipotetski) bio prije 96 700 godina. U razdoblju poslije toga morsko se dno spustilo za 58,7 m ($96\,700 \times 0,6069 = 58,7$). Budući da je prije 96 700 godina morska razina bila na +1,17 m, dolazi se do zaključka da bi se ta točka morala nalaziti na $-57,5$ m ($1,17 + (-58,7) = -57,53$).

2. Prije 25 000 godina, u maksimumu virma, morska je razina pala na $-96,4$ m; od te godine do danas morsko se dno spustilo za 15,17 m ($25\,000 \times 0,6069 = 15,17$), pa se točka (ili ploha) koja odgovara najnižem položaju morske razine u virmu danas nalazi na $-111,57$ m ($96,4 + 15,17 = 111,57$).

ZAKLJUČAK

Stvarna je situacija još nešto kompliciranija jer treba voditi računa o još jednom procesu. Poslije abradiranja ovih dviju terasa (možemo ih nazvati interglacijalnom i glacijalnom terasom) one su došle pod more. Glacijalna je terasa preplavljena »odmah« poslije postanka, a interglacijalna je terasa jedno vrijeme, u toku virmske regresije, bila »na suhom«, a opet je preplavljena transgresijom poslije virmskog maksimuma. To znači da se na njima vršila sedimentacija, pa bi ovi sedimenti mogli »maskirati« veličinu, dubinu i stvarnu starost terasa.

Budući da se radi o relativno velikom, tektonski dinamičnom prostoru, treba uzeti u obzir još jedan faktor koji će još više komplicirati sve opisane procese; to su regionalne i lokalne razlike u veličini spuštanja i eventualnog izdizanja kopna, dakle, možda je opravdano pretpostaviti protusmjerna vertikalna gibanja napose u obalnoj zoni.

Da bi se došlo do što točnijih odnosa potopljenih terasa i razine mora u vremenu kada su se one abradirale, treba uzeti u obzir još jedan proces, treba utvrditi do koje se dubine abradirala terasa u razdoblju kad su postojali uvjeti za to. Jasno je da će razlika između gornjeg i donjeg ruba terase, isto kao i širina terase, ovisiti prije svega o trajanju abradiranja, ali vjerojatno ne manje i o veličini valova. Kod svih spomenutih veličina (visina ili dubina), kad se terase dovode u vezu s položajem morske razine, uvijek se misli na gornji rub terase. L. M. J. U. van Straaten (1965) uzima da se u relativno malenom Jadranskom moru erozija morskih valova ne osjeća dublje od 20 metara; naime, toliki je (obično je i manji) doseg abrazije na otvorenim obalama s mnogo većim valovima nego što se javljaju na Jadranu.

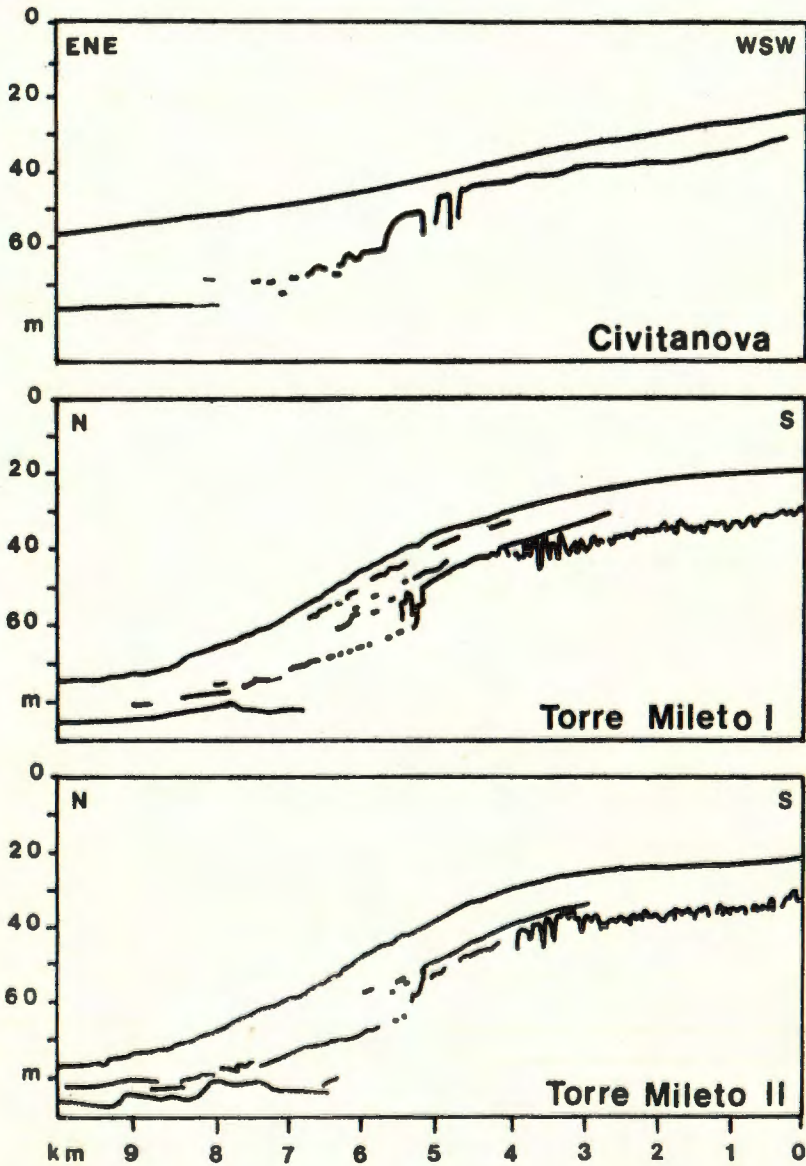
Bez obzira na sve teškoće, iz gornjeg prikaza slijedi da bi se moglo uzeti slijedeće:

1. Gornji rub interglacijalne terase (terase iz ris-virmskog interglacijala) koja je abradirana na praktički istoj visini kao što je današnja razina Jadranskog mora, morao bi se nalaziti na oko 58 metara ispod današnje razine.

2. Gornji rub glacijalne terase, terase iz maksimuma virma, koji je abradiran kad je morska razina bila 96 m ispod današnje razine, istovremenom transgresijom Jadranskog mora i spuštanjem morskog dna danas se nalazi na 112 m dubine.

Najpreciznije podatke o jednoj podmorskoj terasi na dnu zapadne obale Jadranskog mora dao je L. M. J. U. van Straaten (1970). Da bismo što lakše utvrdili odnos između morske razine i gornjeg ruba terase (sl. 4), nećemo se zadržavati na sedimentiranom pjeskovitom i muljevitom pokrovu koji »maskira« terasu. Na sva tri profila, ispod naknadno sedimentiranog pokrova, lijepo se vidi pregib, odnosno gornji rub terase široke nekoliko kilometara. U radu iz 1970. L. M. J. U. van Straaten navodi da se na većini od 12 profila između Senigallije i Vieste pregib nalazi na oko 50 m dubine. Međutim, ako iz tih točaka na 3 prikazana profila povučemo crte, one os y sijeku na dubini oko 60 metara. To bi značilo da je abradiranje gornjeg ruba terase završeno onda kad je morska razina bila na visini pregiba terase, ili obratno, ako se vratimo u doba abradiranja terase: Gornji rub terase abradiran je onda kad se cijela terasa nalazila oko 60 m više nego danas. Poslije nastanka terasa je potonula i njen se gornji rub danas nalazi na oko 60 m dubine! Očito je, dakle, da je to ris-virmska interglacijalna terasa koja se poslije abradiranja spustila, pa se danas nalazi pod morem.

Pogledamo li grafove na sl. 3 lako dolazimo do slijedećeg zaključka. U prvoj trećini ris-virmskog interglacijala morska se razina izdigla, a podloga terase se spuštala; tako je abradiran dio terase koji je bliži njenom donjem rubu. Sredinom ris-virmskog interglacijala morska je razina došla do maksimalne visine, podloga terase se i dalje spuštala, pa je to omogućilo daljnje abradiranje terase, odnosno njeno proširenje. Tada je počeo proces spuštanja morske razine u vezi s »pripremom« virmskog glacijala. U jednom kraćem razdoblju izjednačila se brzina spuštanja morske razine s brzinom spuštanja morskog dna, a to je bilo povoljno za daljnje proširenje terase. Onog časa kad je pad morske razine, u vezi s virmskom regresijom, bio veći od spuštanja terase, morska je razina bivala sve niža od pregiba, valovi su abradirali podlogu sve niže od pregiba terase. To je trajalo sve dotle dok virmskom regresijom cijela terasa nije ostala »na suhom«. Izdizanjem morske razine poslije najnižeg položaja u maksimumu virma ova je terasa opet preplavljena morem, ali je njegovo izdizanje (plus stalno spuštanje morskog dna) bilo tako brzo da abrazija nije bitno izmijenila opći oblik te interglacijalne terase, ali ju je mogla samo nešto sniziti. Počelo je sedimentiranje mulja i pijeska na abradiranu terasu. Tako je u času uzimanja svih triju profila na sl. 4 gornji rub terase potonuo do oko 60 m dubine, a oblici dna (oni se unose na batimetrijske karte!) su mnogo blaži (osobito na gornjem profilu) od reljefa ispod sedimentiranog pokrova. Zato će i za buduća istraživanja ove vrste biti mnogo važniji

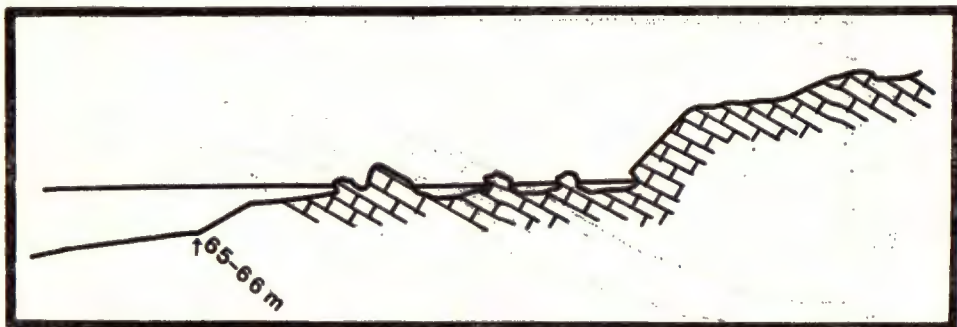


Sl. 4. Profili terase uz apeninsku obalu Jadrana (L. M. J. U. van Straaten 1970)

Fig. 4. Cross-sections of a terrace along the Apennine coast of the Adriatic Sea (L. M. J. U. van Straaten 1970)

ehogramski profili koji prikazuju morfologiju ispod rahlog sedimentiranog pokrova, nego same batimetrijske karte i ehogramski profili koji se dobivaju refleksijom valova sa površine morskog dna.

Sve se to može potvrditi i računski, obratnim putom. Ako se zna brzina spuštanja morskog dna i ako se uzme da je poznata dubina terase, onda se krajnje jednostavnom računskom operacijom daje izračunati hipotetska starost terase. Ako se uzme da je gornji rub potopljene terase na sl. 4 danas na — 60 m, onda to znači da je abradiran je njenog gornjeg ruba završeno prije 98 863 godine. Pogledom na sl. 3 vidi se da je to bilo upravo u razdoblju najvišeg položaja ris-virmske interglacijalne razine mora. Ukratko, v a n S t r a a t e n o v a terasa na oko — 60 m sa sl. 4, i na oko — 50 m u drugim profilima koji se ne nalaze na sl. 4, ris-virmske je starosti.



Sl. 5. Normalni profil istočne jadranske obale (J. Cvijić, 1922)

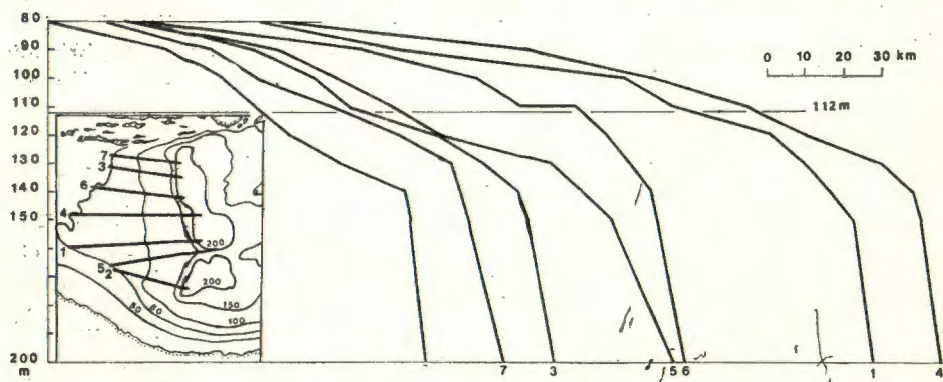
Fig. 5. Normal cross-section of the East Adriatic coast (J. Cvijić, 1922)

Već davno, 1922, J. Cvijić je u skladu s ondašnjim mogućnostima istraživanja, dao »normalni profil« jadranskog dna na pučinskoj strani oko naših otoka (sl. 5). Gornji rub »stare abrazione terase« nalazi se na 65—66 m. Ako se koristimo prijašnjom metodom onda izlazi da je on abradiran prije 107 000 — 109 000 godina, a pregib terase se u biti odlično podudara s pregibom na v a n S t r a a t e n o v i m terasama sa sl. 4. U oba slučaja podudaranje je više nego zadovoljavajuće. Dakle, »Cvijićeva terasa« čiji se gornji rub nalazi na 65—66 m dubine je ris-virmske starosti; nastala je na približno istoj visini razine mora kao što je i današnja, a kasnije se spuštala, pa se danas nalazi na 65—66 m dubine. Očito je da je potopljena terasa uz jadransku obalu srednje Italije (sl. 4) i terasa uz istočnu obalu Jadrana (sl. 5) iste, ris-virmske starosti i da se nalazi u biti na istoj dubini.

Do sada najdetaljnije profile iz srednjeg Jadrana između Šibenika i Pescara dao je v a n S t r a a t e n (1970), a upravo je to, s našeg stovišta, njegov najvažniji dio jer se tu negdje mora nalaziti terasa koja je abradirana za vrijeme najnižeg položaja morske razine u maksimumu virma. Međutim, vertikalno mjerilo na njegovim profilima nije naj-sretnije odabrano, tj. na njima se ne mogu uočiti suptilne razlike u du-

bini koje su nama potrebne. Zato sam iz batimetrijske karte (izdao Istituto Idrografico della Marina, Genova, 1960) sam »izvukao« nekoliko profila (sl. 6). Iz krivulje C na sl. 3 može se zaključiti da je izjednačenjem brzine spuštanja dna Jadranskog mora sa brzinom spuštanja morske razine (kombinacija 9 na sl. 1) došlo već oko 15 000 godina prije nego što je razina svjetskog mora došla do najniže točke. To znači da je već tada počelo abradiranje glacijalne terase, tj. 15 000 godina prije nego što je morska razina pala na minimum prije 25 000 godina. To je omogućilo da se abradira relativno široka terasa, ali ona nema jako oštar pregib jer se radi o gotovo ravnom dnu Jadrana koji vrlo blago pada prema jugoistoku. Dakle, abradiranje glacijalne terase počelo je prije oko 40 000 godina, a u svih 15 000 godina, koliko je trajalo njeno abradiranje, ona se istovremeno spuštala sve do prije 25 000 godina. Tada se morska razina počela naglo izdizati u vezi s virmsko-holocenskom transgresijom, more je preplavilo terasu, ali tako brzo da nije stigla uništiti njen pregib, a terasa se i dalje još 25 000 godina spuštala sve do danas. Zato u Jadranu treba dobro lučiti dvije razine: a) najniži položaj morske razine u virmu koji je odgovarao najnižem položaju razine svjetskog mora, kad je more bilo 96,4 m niže nego danas (T. Segota, 1968) i kad je abradirana terasa u skladu s tim položajem morske razine. Očito je da ne bismo učinili veliku grešku ako bismo pretpostavili da je gornji rub te virmske terase abradiran na praktički 100 m ispod današnje razine mora. b) Poslije toga se terasa spuštala, transgresijom je preplavljena, pa bi se gornji rub virmske terase morao danas nalaziti na oko 112 metara dubine.

Profili na sl. 6 uzeti su iz kritičnog područja, iz četvorokuta Ancona—Dugi otok—Šibenik—Pescara, a u svim primjerima profili su okomiti (jer je i to važno!) na opće pružanje izobata koje su ovdje okomite na longitudinalalnu os Jadrana. Talijanska, a osobito naša obala prestrmo se ruše u dubinu do 200 m da bi se mogli učiniti neki korisni profili s našeg aspekta. Analizom i uspoređenjem svih 7 profila (a za orijentaciju je ucrtana crta na 112 m dubine na kojoj bi trebao biti gornji rub terase) može se doći do zaključka da ima osnove pretpostavka da se



Sl. 6. Sedam profila dna srednjeg Jadrana između Šibenika i Pescara

Fig. 6. Seven cross-sections from the central part of the Adriatic Sea between Šibenik and Pescara

ona doista nalazi negdje na toj dubini. Ako još jednom pogledamo sl. 4 onda možemo pomisliti per analogiam, a nisu li sedimenti koji su nataloženi poslije preplavlivanja glacijalne terase »maskirali« njen izgled i položaj, isto kao što su to učinili i s interglacijalnom terasom na oko — 60 m. Tim više što moramo imati na umu činjenicu da je taloženje na ovu virmsku terasu trajalo dublje od taloženja na ponovno preplavljenu ris-virmsku terasu. Kad se jednom dobiju ehogrami kao što su na sl. 4 onda će i taj problem biti riješen.

Do izvjesnih teškoća dolazi se onda ako ove dokaze za spuštanje dna Jadranskog mora povežemo sa činjenicom da se do svega toga došlo prije svega ekstrapolacijom podataka bakarskog mareografa, dakle podataka s točke koja se nalazi na obali Jadrana u podnožju visokih Dinarida. Dosadašnja istraživanja ne pomažu da se taj problem riješi. M. Šifrer (1965) je u Slovenskom primorju pretpostavio postojanje 9 marinskih terasa (jedna je ispod današnje morske razine) i u biti se podudaraju s klasičnom shemom sukcesije terasa u Sredozemlju. Najviša je terasa 150—160 m iznad današnje morske razine, a — kao i sve druge — bi trebala biti abrazijskog postanka. Kao i za sve ostale abrazijske terase na toj visini i one stvaraju više problema nego što ih rješavaju. Može li se pretpostaviti da je početkom pleistocena razina Jadranskog mora bila 150—160 m viša nego danas? Ako je točna pretpostavka da su to morske terase onda bi se njihov postanak i održanje mnogo lakše objasnio izdizanjem cijele obale Slovenskog primorja zajedno s terasama.

Rezultate iznijetih istraživanja mnogo je teže dovesti u sklad s neotektonskim pokretima kako ih je na karti SR Hrvatske i Jadrana prikazao E. Prelogović (1975). Na njegovoj se karti vidi da se jadransko podmorje spustilo za više stotina metara, a Dinaridi su se istovremeno izdigli (u nekim dijelovima čak i više od 1 000 m). I naša obala Jadranskog mora i otoci su se izdigli, ali su tu veličine bitno manje. Važna je činjenica da su (str. 97) »Pokazatelji djelovanja i amplituda neotektonskih pokreta deformacije neogen-kvartarnog kompleksa naslaga.« A to je neizmjereno dulje razdoblje od razdoblja ris-virmski interglacijal-virm-holocen. Zato bi se moglo pretpostaviti da se dugotrajna faza izdizanja u Bakarskom zaljevu (sve od neogena!) u najnovijoj geološkoj prošlosti smijenila sa spuštanjem kopna. To je geološki sasvim prihvatljivo samo ostaje problem gdje je granica (vremenski i prostorno), kada i gdje se promijenio smjer vertikalnih gibanja u našem najužem obalnom pojasu.

Međutim, dosta bi mogli koristiti rezultati najnovijih istraživanja u Vinodolu (E. Prelogović i dr., 1981). Ona su pokazala da je taj kraj mozaik tektonskih blokova s vrlo aktivnim vertikalnim neotektonskim pokretima. Iako istraživano područje ne zahvaća Bakarski zaljev i Bakar, nema sumnje da iste karakteristike vrijede i za nj. Izolinije amplitude izdizanja za kvartar između Vinodola i obale su vrlo guste, te se ekstrapolacijom smije zaključiti da je na samoj obali izolinija nula ili da u nekom manjem području postoji mogućnost promjene znaka vertikalnih gibanja. Možda je tako upravo na mjestu gdje se nalazi bakarski mareograf.

LITERATURA

- Alfirević, S. (1965): Geologija Jadrana. — Matica hrvatska. Split.
- Cvijić, J. (1922): Abrasiona serija jadranske obale i epirogenetski pokreti. — *Glasnik geografskog društva* 7/8, 71—89. Beograd.
- Cvijić, J. (1924): Geomorfologija I, str. 495. Državna štamparija kr. SHS Beograd.
- Kranjec, V. & Prelogović, E. (1974): O paleogeografskim i neotektonskim odnosima u tercijaru i kvartaru na teritoriju SR Hrvatske. — *Geol. vjesnik* 27, 95—112. Zagreb.
- Lalou, C., Duplessy, J. — C. & H. V. Nguyen (1971): Données géochronologiques actuelles sur les niveaux des mers et de la paléoclimatologie de l'interglaciaire Riss-Würm. — *Revue de Géographie physique et de géologie dynamique* 13, 447—462. Paris.
- Milojević, B. Z. (1933): Dinarsko primorje i ostrva. *Srpska kraljevska akademija. Posebna izdanja, prirodnjački i matematički spisi, k. 25*. Beograd.
- Nikiforov, L. G. (1965): Prilog proučavanju morfologije podmorske padine istočnog Jadrana. — *Glasnik Srpskog geografskog društva* 45, 17—24. Beograd.
- Nikiforov, L. G. (1967): Podvodnye terrasy u beregov Dalmacii. — *Okeanologija* 7, 130—136. Moskva.
- 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.
- Rubić, I. (1936—37): Mali oblici na obalnom reljefu istočnog Jadrana. — *Geografski vestnik* 12—13, 3—53. Ljubljana.
- Straaten, L. M. J. U. van (1965): Sedimentation in the North-Western Part of the Adriatic Sea. In: W. F. Whittard & R. Bradshaw, edits: *Submarine Geology and Geophysics. Proceedings of the 17th Symposium Colston Research Society, Bristol, 1965*. Butterworth, 143—160. London.
- Straaten, L. M. J. U. van (1970): Holocene and late-Pleistocene sedimentation in the Adriatic Sea. — *Geologische Rundschau* 60, 106—131. Stuttgart.
- Segota, T. (1963): Geografske osnove glacijacija. — *Radovi Geografskog instituta*, sv. 4. Zagreb.
- Segota, T. (1968): Morska razina u holocenu i mlađem würmu. — *Geografski glasnik* 30, 15—39. Zagreb.
- Segota, T. (1973): Radiocarbon Measurements and the Holocene and Late Würm Sealevel Rise. — *Eiszeitalter und Gegenwart* 23/24, 107—115. Oehring.
- Segota, T. (1976): Promjena razine Jadranskog mora prema podacima mareografa u Bakru i Splitu. — *Geografski glasnik* 38, 301—312. Zagreb.
- Šifrer, M. (1965): Nova geomorfološka dognanja v Koprskem Primorju. — *Geografski zbornik Slovenske AZU. Razprave prirodoslovnih in medicinskih ved* 9, 5—58. Ljubljana.

Sea level position and the vertical movement of the Adriatic Sea bottom from Riss-Würm Interglacial to Recent

T. Segota

Like in all other parts of the world, it is quite natural that the subaerial forms of the relief are much better known than the submarine ones. For many decades the only source of the information have been the bathymetrical maps, but not always precise enough to discover some important details.

It is a known fact that there are no serious proofs (first of all faunistic) for the existence of the marine terraces on the East Adriatic coast. Contrary, many authors suggested the existence of many submarine terraces (about 17) which now are the part of the Adriatic bottom. However, the data from other parts of the world suggest that this is an exaggeration, and very probably many »terraces« are not marine terraces in the genetical sense of the word.

Analysing Fig. 1 it is not difficult to discern the fact that the »subsidence of our coast« is not a simple process. Namely, in certain period the world sea level may be stable, but the land may subside or rise. Contrary, the sea level may rise or subside, and the land at the same time may subside or rise (all in all 9 combinations supposing that the process was linear). It is very important to know these combinations because the intensity of abrasion, and the dimensions of abraded forms, are the effect of this relationship. Each of 9 final stages may be an initial stage of next paleogeographical cycle. Of course, the petrographic composition and the slope of the sea bottom are not less important, especially in the central part of the Adriatic Sea.

In this article we do not discuss the general validity of the classical scheme of the marine terraces succession but just notice that it is very difficult to accept the hypothesis that at the beginning of the Pleistocene sea level was about 100 m higher than now. We suppose that the sea level in the maximum of all interglacials was at about same level as to-day, and that the raised terraces are the proof of the epeirogenetic uplift.

Analysing the sea level fluctuations one may conclude (T. Šegota, 1968; 1973) that in the next 1,900 years it will rise by about 1,17 m. We suppose that in the maximum of Riss-Würm Interglacial sea level stood at the same height. The chronology is based on the author's work from 1963. It is a common method in geosciences to reconstruct some long-lasting processes starting from very fragmentary data. The same we did. In a recent paper (T. Šegota, 1976) we discovered that mareograph data from Bakar (in the vicinity of Rijeka) are not in accord with the data about the world sea level position in last 42 years. The sea level in Bakar is faster rising than the sea level in general. This is due to the epeirogenetic sinking of the Bakar area (0,6 mm per year). Extrapolating these data we constructed the graphs in the Fig. 2 representing the world sea level rise, the rise of the sea level in Bakar, and the epeirogenetic sinking in this area (6 m in last 10,000 years).

In the Fig. 3 are represented the most important curves dealing with these problems. The upper curve (A) presents the generalized sea level fluctuation in last 110,000 years. In the maximum of Riss-Würm Interglacial (96,700 years ago) the sea level was 1.17 m higher than now, and in the maximum of Würm Glacial (25,000 years ago) the sea level was 96.4 m lower than now. The line B represents the extrapolated value of the epeirogenetic sinking of Bakar area; in last 96,700 years, i. e. after the hypothetical maximum of the Last Interglacial, the sea bottom subsided by 58.69 m (or 61 m in last 100,000 years). However, in the Last Interglacial the sea level was 1.17 m higher than now, and after that date the sea bottom subsided by 58.7 m, this means that the abraded level is now at depth of 57.5 m. The curve C is the resulting curve representing the present depth of the relief features which are abraded in the periods denoted on the axis y. The lowest position of the sea in Würm Glacial was 25,000 years ago when sea level was 96.4 m lower than now. In 25,000 years after the Würm maximum the sea bottom subsided by 15.17 m, and this means that the abraded marine terrace corresponding to this time must be now at a depth 112 m. Comparing the curve C (Fig. 3) with the Fig. 1 it is clearly that the most suitable conditions for the abrasion of the terraces have been in the Last Interglacial and in the period of the maximum lowering of the sea level in Würm Glacial. It is very probable that in the analysed period have been abraded two terraces: Interglacial (or Riss-Würm) and Glacial (Würm maximum) terrace which now are submerged by the Adriatic Sea as an effect of Würm-Holocene transgression. It is not probable that broad terraces have been abraded during the Würm regression and during very fast rise of the sea level during Würm-Holocene transgression.

The situation is little more complex because after the inundation by the sea mud and sand deposits have been sedimented on the terraces, which now »mask« the original depth of the terraces. Certain importance has a compaction of the sediments.

The most detailed investigations of the submerged terrace along the Appenine coast of the Adriatic Sea have been made by L. M. J. U. van Straaten (1970). His cross-sections are reproduced in the Fig. 4. It is clearly visible that the terrace-edge is at a depth of about 60 m. (In the quoted work van Straaten states that the terrace-edge in the 12 cross-sections between Senigallia and Vieste is at a depth of 50 m.)

In the much older cross-section given by J. Cvijić (1922), reproduced in Fig. 5, it is clearly visible that the terrace-edge now is at a depth of 65–66 m. To summarize; the van Straaten's and Cvijić's terrace, which are now 50–60 m (the mean value is probable —60 m) below the present sea level have been abraded in the Riss-Würm Interglacial, when sea level was at about same height as to-day, and later sank to the present position. This would be a general proof of the sinking of the Adriatic Sea bottom.

We have not a sound proof for the existence of a Würm Glacial submerged terrace in the Adriatic Sea, because the vertical scale in the van Straaten cross-section (1965) is not suitable enough so that it is not possible to discern some details we need. This is the reason that I have drawn few generalized cross-sections from the shelf edge area of the Central Adriatic between Šibenik and Pescara (Fig. 6). After the abrasion of a Würm Glacial terrace when the sea stood at a depth 96.4 m, the Adriatic Sea bottom have sunk 15 m, and this means that this glacial terrace must be now at a depth about 112 m below the present sea level. The cross-sections are very generalized, and the terrace is »dashed« by the mud deposits; in spite of all these it seems that some cross-sections indicate the traces of a Würm Glacial terrace. It's edge lies now about 112 m below the present sea level.

The sinking of the Adriatic Sea bottom, as well as the rising of the Appenine coast of Italy are old established facts. The results of the investigations presented in this paper are not in conflict with other authors. M. Šifrer (1965) described 9 marine terraces (the lowest is now submerged) in Slovenian Littoral; he believes that they are of marine origin (the highest is 150–160 m above the present sea level). It is difficult to accept such a high sea level at the beginning of the Pleistocene in this area; the can be a proof of land rise.

Studing the neotectonic movements in SR Croatia and in the Northern Adriatic E. Prelogović, (1975) came to the conclusion that the Croatian coast (and the islands) have been rising by Neogene-Quaternary neotectonic movements. The present author points to the fact that Neogene and Quaternary is very long in the comparison with Riss-Würm Interglacial—Würm Glacial—Holocene time. From geologic view point it is not impossible imagine that the long-lasting Neogene-Quaternary uprising of the Croatian coast is in the latest time (at least after Riss-Würm Interglacial) shifted by the epeirogenetic sinking of the coast, or some parts of the coast.