

ANTE POLŠAK I HERMINA LESKOVŠEK-ŠEFMAN

ISTRAŽIVANJE PALEOTEMPERATURNIH ODNOSA DIJELA  
KREDNOG SEDIMENTACIJSKOG BAZENA ZAPADNIH  
DINARIDA NA TEMELJU KISIKOVE  
IZOTOPNE METODE

*S 1 tabelom i 3 slike u tekstu*

Kisikovom izotopnom metodom određene su paleotemperature u krednom sedimentacijskom bazenu.

Prikazan je način sakupljanja, odabiranja i pripremanja uzoraka za analize. Spektrometrijski je analizirano 28 uzoraka makrofosila i određena odnos  $^{18}\text{O} : ^{16}\text{O}$ . Za apt, alb i cenoman dobivena je temperatura od cca  $20^{\circ}\text{C}$ , za donji turon cca  $15^{\circ}\text{C}$ , za gornji turon cca  $25^{\circ}\text{C}$ , za coniac cca  $22^{\circ}\text{C}$ , a za santon – donji campan cca  $25^{\circ}\text{C}$ . Interpretirana je veza ovih temperaturnih kolebanja s paleoekološkim, paleogeografskim i sedimentacijskim prilikama.

UVOD

Temelje kisikove izotopne metode određivanja paleotemperature postavio je prije 25 godina nobelovac H. C. Urey (1947). Ona se bazira na varijabilnom odnosu izotopa kisika  $^{18}\text{O}$  i  $^{16}\text{O}$  u kalcijском karbonatu koji izgrađuje skelete morskih organizama. Taj odnos prvenstveno zavisi o temperaturi morske vode u kojoj je organizam živio. Tako se za  $1^{\circ}\text{C}$  količina  $^{18}\text{O}$  mijenja za 0,172‰. Na temelju ove zakonitosti načinjena je i temperaturna skala koja se bazira na razlikama odnosa  $^{18}\text{O} : ^{16}\text{O}$  uzoraka prema istom odnosu kod primarnog standarda PDB-1 (Mc Crea 1950; Epstein, Buchsbaum i dr. 1953). Te razlike označavaju se sa  $^{18}\text{O-PDB}\text{‰}$ . Za mjerenje ovih vrlo malih vrijednosti upotrebljavaju se osjetljivi spektrometri.

Kisikova izotopna metoda načinila je kvalitetni skok u paleoklimatologiji. Najznačajnija njena odlika je u tome što daje apsolutne temperaturne vrijednosti. Klasične metode određivanja paleotemperature, koje se temelje na paleontološkim, sedimentološkim i drugim podacima, daju gotovo isključivo relativne i to najčešće tek približne temperaturne podatke.

Paleoklimatološke interpretacije postavljene na rezultatima kisikove izotopne metode mogu naći dobru primjenu u modernoj sedimentologiji i pa-

leogeografiji. U proteklih 25 godina ova metoda je razrađena i primijenjena u različitim dijelovima svijeta. U istraživanjima prikazanim u ovom radu, ona je po prvi puta primijenjena u Jugoslaviji.

U prvoj etapi planiranih paleotemperaturnih istraživanja mezozoika Dinarida istražen je niz uzoraka makrofosila iz krednih naslaga Istre. Zbog ograničenih financijskih sredstava analiziran je relativno mali broj uzoraka tako da rezultate ovih istraživanja treba smatrati uvodom u opširnija istraživanja.

Zahvaljujemo se poduzeću INA-Naftaplin i Savjetu za naučni rad SRH na djelomičnom financiranju ovih istraživanja.

#### UZORCI IZ KREDE ISTRE

Kredne naslage Istre pogodne su za paleotemperaturna istraživanja iz više razloga. U tom području razvijen je kontinuirani slijed krednih karbonatnih naslaga od valendisa do donjeg campan-a, a njihova stratigrafija je detaljno proučena i dobro paleontološki dokumentirana. Osim toga one su tektonski vrlo slabo poremećene što olakšava korelaciju na širem području. Te naslage su bogate makrofosilima, koji su pogodni za paleotemperaturne analize (Polšak 1965, 1967). (sl. 1.)

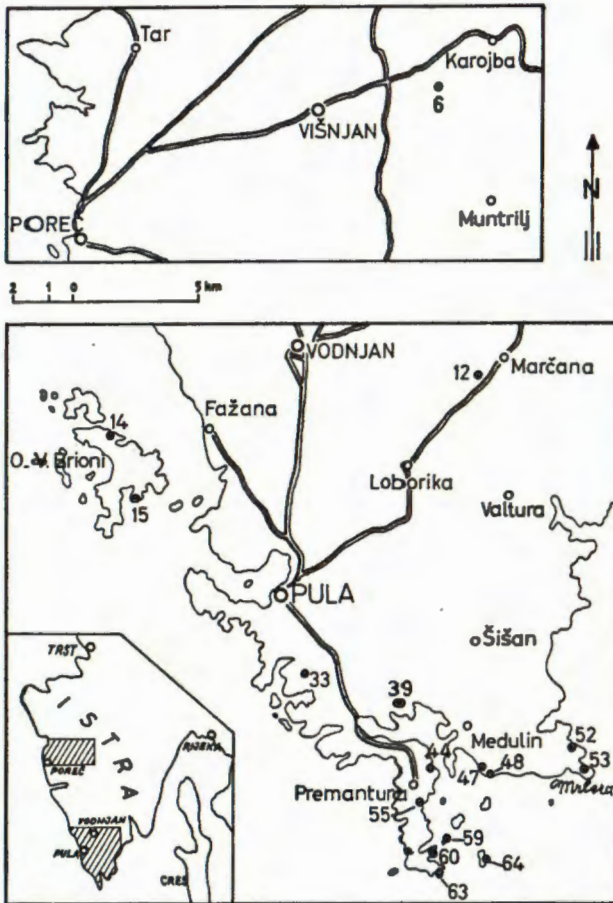
Između sakupljenog fosilnog materijala izabrano je 28 uzoraka makrofosila sa 16 različitih nalazišta. Težište je bačeno na gornjokredne naslage južne Istre, odakle je analizirano 25 uzoraka, dok tri uzorka pripadaju aptu i albu.

#### *Pregled sedimentacijskih prilika u kredi Istre*

Radi boljeg razumijevanja paleoklimatološke interpretacije slijedi kratki pregled sedimentacijskih prilika u Istri tijekom krede i to naročito s obzirom na naslage iz kojih potječu analizirani uzorci.

Uzorci fosila iz apta i alba potječu iz relativno tankih uložaka biostromalnog vapnenca s dominantnim rodом *Requienia*. U tom razdoblju inače pretežu različiti tipovi detritičnih vapnenaca, a dosta je čest i dolomit, dijagenetskog tipa. Slijed je prekidan povremenim kratkotrajnim emerzijama; vapnenac sadrži dosta često onkoidne tvorevine, a u albu su na gornjim slojnim plohama sačuvani otisci stopala kopnenih gmazova (Polšak 1965). Cijeli slijed pokazuje obilježja zatvorenog šelfa, a dominantni je biomikritski vapnenac s čestim ostacima algi i foraminifera. Radi se o karbonatnom facijesu izrazito plitkog mora, povremeno u zoni utjecaja plime i oseke (tidal-flat).

Uzorci fosila iz cenomana potječu iz debelo uslojenog do masivnog biostromalnog vapnenca, sastavljenog velikim dijelom od zadruga rudista sačuvanih na staništu. Među rudistima dominira familija *Caprinidae*, a čest je i rod *Sauvagesia* i više predstavnika roda *Chondrodonta*. Ovi organizmi su izgrađivali pseudogrebene u okolici kojih su česti detritični vapnenci, sa-



S1. 1. Topografska skica s nalazištima analiziranih fosila.  
 Fig. 1. Situation map with localities of analysed fossils.

stavljene pretežno od fragmenata rudista povezanih sparitskim kalcitnim vezivom. To je facijes šelfne barijere s visokom energijom vode, odličnom aeracijom, što je pogodovalo razvoju bogate biocenoze sesilnih organizama.

U donjem turonu dešava se bitna sedimentacijska promjena. Taloženi pretežno pločasti vapnenci s rožnjakom i vapnenc s amonitima. Vapnenci su finodetritični, najvećim dijelom s mikritskim vezivom. Biofacijes se također potpuno mijenja. U vapnencu s amonitima rudisti potpuno nedostaju. Spektrometrijski su analizirani amoniti i dva primjerka ostriga (*Pycnodonta* i *Exogyra*) koje također dolaze u ovom vapnencu. Od mikrofosila utvrđene su globotrunkane i oligosteginide. Ovaj biofacijes ukazuje na znatni utjecaj pelagijala.

U gornjem turonu ponovno se uspostavlja režim pogodan za život »grebenskih« organizama. Ovdje dominiraju detritični subgrebenski vapnenci s povremenim ulošcima pravog biostromalnog vapnenca s brojnim zadrugama rudista. Dominiraju rodovi *Durania* i *Radiolites*, koji su i spektrometrijski analizirani.

U coniac-u sedimentacijske su prilike slične kao u gornjem turonu, samo što je učestće rudista donekle smanjeno. Mjestimično su u Istri razvijeni pločasti vapnenci s radiolaritima, što ukazuje na utjecaj pelagijala.

U santonu i donjem campan-u uspostavlja se izraziti režim »grebenske« sedimentacije sličan onom u cenomanu. U sedimentacijskom modelu to područje pripada zoni šelfne barijere s visokom energijom vode. Idealne ekološke prilike uvjetovale su razvoj bogatih rudistnih zadruga koje izgrađuju debele naslage biostromalnog vapnenca. Taj vapnenac se izmjenjuje s detritičnim vapnencem sa sparitskim vezivom. U biocenozi sada se javlja u većoj količini rod *Hippurites*, a dominiraju predstavnici familije Radiolitidae kao npr. rodovi *Sauvagesia*, *Radiolites* i *Gorjanovicia*. Spomenuti rodovi su spektrometrijski analizirani.

#### SAKUPLJANJE, ODABIRANJE I PRIPREMANJE UZORAKA

Naslage vapnenca iz kojih potječu analizirani fosili detaljno su istražene sedimentološki, paleokološki i biostratonomski. Na temelju toga moglo se zaključiti na osnovne batimetrijske odnose i salinitet, koji predstavljaju vrlo važne elemente pri interpretaciji paleotemperaturnih vrijednosti. Svi fosilnosni vapnenci taloženi su u izrazito plitkom moru, a sudeći po sastavu i razvoju biocenoza to more je imalo stalni, normalni salinitet. Nadalje, utvrđeno je da su svi analizirani fosili nađeni na primarnom mjestu i da ne pokazuju nikakve tragove transporta ili pretaložavanja. Rudisti su uzimani iz tzv. rudistnih zadruga, koji izgrađuju pseudogrebene.

Za analize su birani kompaktni i mehanički neoštećeni fosili i to oni koji nisu bili izloženi duljem djelovanju vadozne vode ili pak utjecaju organskog svijeta.

Uzorci skeleta fosila izgrađeni su od kalcijskog karbonata. Oni ne pokazuju onečišćenja tzv. sekundarnim kalcitom, nastalih posredstvom vadoznih voda, niti pak eventualna onečišćenja primarnom ili sekundarnom organskom supstancom. Također nema nikakvih tragova dolomitizacije. Sva ova obilježja važna su kod temperaturnih analiza, jer prekrizacijama, kontaminacijama i sl. može bitno utjecati na konačne temperaturne vrijednosti, a time i dovesti do krivih zaključaka.

Kod rudista, koji svi pokazuju izrazite sezonske varijacije rasta (lamelle prirasta) uzimani su za analize tzv. »prosječni uzorci«. Takav uzorak zahvaća nekoliko lamela prirasta. Na taj način mogu se izbjeći izrazitije sezonske varijacije temperature. Kod svih rudista uzorci su uzimani iz prizmatškog sloja.

Potrebna količina uzorka za spektrometrijsku analizu kreće se od 5–30 mg. Kod uzimanja uzorka skeleta vršene su maksimalne mjere opreza da ne dođe do kontaminacije.

### Spektrometrijske analize i odredbe paleotemperature

Uzorci fosila su spektrometrijski analizirani u Institutu Jožef Stefan u Ljubljani. Analiziran je izotopni sastav kisika i to masenim spektrometrom MS-4/7 s dvostrukim kolektorom i kompenzacijskom tehnikom u točnosti u odnosu na standard  $\pm 0,3\%$ . Iz uzorka je najprije dobiven  $\text{CO}_2$  otapanjem sa 100%  $\text{H}_3\text{PO}_4$  kod temperature  $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$  i taj plin je spektrometrijski analiziran.

Dobiveni rezultati su proračunati po formuli:

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{uz}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{st}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{st}}} \times 1000 \text{ u } \%$$

uz = uzorak

st = standard

Kao standard korišten je mramor iz Carrare (Italija) i dobivene vrijednosti su proračunate na primarni standard PDB-1. Standard PDB-1 predstavlja  $\text{CO}_2$  dobiven iz primjerka vrste *Belemnites americana* iz Pee Dee formacije (maastricht) južne Karoline, USA (Urey, Lowenstam i dr. 1951). Mramor iz Carrare kao standard su do sada upotrebljavali i drugi autori (Bowen 1962, Bowen & Fritz 1963). Kao standard NBS-20 upotrebljavan je Solnhofenski vapnenac (Craig 1957; Fabricius, Friedrichsen & Jacobshagen 1970). Dobivene vrijednosti se preračunavaju na standard PDB-1.

Na osnovu izmjerenih vrijednosti  $\delta^{18}\text{O}$  izračunata je temperatura vode u kojoj je karbonat nastajao po formuli (E pstein, Buchsbaum i dr. 1953):

$$t (^{\circ}\text{C}) = 16,5 - 4,3 \delta + 0,14 \delta^2$$

Rezultati analiza i određene temperature prikazane su na priloženoj tabeli.

### ANALIZA PALEOTEMPERATURNIH VRIJEDNOSTI I PALEOKLIMATOLOŠKA INTERPRETACIJA

Dosadašnja mjerenja paleotemperature kisikovom izotopnom metodom bila su uglavnom koncentrirana na bazene srednjeevropskog i borealnog područja, a relativno malo na područje Tethys-a. Za kredu su vršena mjerenja pretežno na uzorcima belemnita, zatim brahiopoda, a manjim dijelom inoceramusa, oštriga, te uzoraka stijena. Analizirani su osobito uzorci iz

Oznaka uzorka Designation	Stratigrafski položaj Stratigraphic position	Nalazište (vidi sl. 1) Locality (see fig. 1)	Vrsta uzorka Type of sample	$\delta^{18}\text{O-PDB}\%$	T (°C)
Jl-14	Apt Aptian	14, Brioni	<i>Requienia ammonia</i> (Goldf.)	-0,97	20,8
SI-6	Alb Albian	6, Prhati	Školjkaš ( <i>Bivalve</i> )	-0,81	20,1
Jl-15	"	15, Brioni	<i>Nerinea fleuriau</i> d'Orb.	-0,81	20,1
Jl-12/1	Cenoman Cenomanian	12, Čalićevi dvori	<i>Neocaprina gigantea</i> Pleničar	-0,95	20,7
Jl-12/2	"	"	<i>Neocaprina gigantea</i> Pleničar	-0,97	20,8
Jl-33	"	33, Kamenolom Vinkuran	<i>Sauvagesia sharpei</i> (Bayle)	-0,82	20,1
Jl-39	"	39, Fontanela	<i>Chondrodonta joannae angusta</i> Schubert	-0,97	20,8
Jl-44	Donji turon L. Turonian	44, Premantura	Amonit ( <i>Ammonite</i> )	-0,28	17,7
Jl-55/1	"	55, Premantura	<i>Pycnodonta biauriculata</i> (Lam.)	+0,37	15,1
Jl-55/2	"	"	<i>Exogyra</i> sp.	+0,37	15,1
Jl-55/3	"	"	<i>Acanthoceras palaestinense</i> Blanckenhorn	+0,37	15,1
Jl-59	Gornji turon U. Turonian	59, O. Skokovac	<i>Radiolites lusitanicus</i> (Bayle)	-1,52	23,4
Jl-60/1	"	60, Premantura	<i>Durania cornupastoris</i> (Des Moulins)	-2,00	25,7
Jl-60/2	"	"	<i>Durania adriatica</i> Polšak	-2,31	27,2
Jl-63/1	"	63, Premantura	<i>Radiolites trigeri</i> Coquand	-1,99	25,6

JI-63/2	"	"	<i>Durania arnaudi</i> (Choffat)	-1,87	25,1
JI-47	Coniac Coniacian	47, Mrlera	<i>Radiolites radiusus</i> d'Orb.	-2,01	25,7
JI-48	"	48, Mrlera	<i>Radiolites trigeri</i> Coquand	-0,84	20,2
JI-64/1	"	64, O. Finera	Vapnenac (kalkarenit) – <i>Limestone</i>	-2,85	29,8
JI-64/2	"	"	<i>Radiolites douvillei gracilis</i> Polšak	-0,84	20,2
JI-52/1	Santon - d. campan Santonian - L. Camp.	52, Mrlera	<i>Radiolites galloprovincialis</i> Matheron	-1,75	24,5
JI-52/2	"	"	<i>Radiolites mammillaris</i> Matheron	-2,03	25,8
JI-52/3	"	"	<i>Radiolites crassus</i> Polšak	-2,17	26,5
JI-52/4	"	"	<i>Sauvagesia ornata</i> Polšak	-1,16	21,6
JI-52/5	"	"	<i>Hippurites (Vaccinites) oppeli</i> Douvillé	-1,88	25,1
JI-52/6	"	"	<i>Synastraea</i> sp.	-3,37	32,6
JI-52/7	"	"	<i>Gorjanovicia costata</i> Polšak	-1,99	25,6
JI-53	"	53, Mrlera	<i>Sauvagesia tenuicostata</i> Polšak	-2,01	25,7

TABELA (TABLE) 1

područja Engleske, Danske, jugoistočnog dijela USA, srednje Francuske, Holandije, Švedske, Njemačke i Poljske (Bowen 1961 a, Urey, Lowenstam i dr. 1951; Lowenstam & Epstein 1954), zatim iz zapadne Australije, Nove Gvineje, Indije i Japana (Bowen 1961 b, 1961 c).

Malobrojni podaci za Tethys u interpretacijama su pomiješani s podacima ostalih mora, što svakako ne daje realnu paleotemperaturnu sliku. Jedan jedini rad sadrži nešto detaljnije paleotemperaturne podatke dobivene kisikovom izotopnom metodom za uže područje mediteranske geosinklinale i to za gornji trijas i lijas sjevernog dijela Istočnih Alpa (Fabricius, Friedrichsen & Jacobshagen 1970).

Podaci prikazani u ovom radu prvi su prilog istraživanja paleotemperaturnih odnosa za vrijeme krede u mediteranskom području. Analize su izvršene pretežno na uzorcima rudista, koji uz orbitoline i koralje predstavljaju tipični elemenat tzv. Mediteranske provincije. Detaljnija istraživanja paleotemperaturnih odnosa u tom području pridonijet će razjašnjenju migracijskih kretanja i miješanja elemenata mediteranske i srednjoevropske provincije, koja je višestruko došla do izražaja za vrijeme krede. Takvi podaci imaju značaj za rekonstrukciju paleoklime šireg evropskog područja.

Dobiveni rezultati na uzorcima iz Istre nisu, zbog malog broja, dovoljni za veće paleotemperaturne korelacije. Ipak ti rezultati pokazuju interesantna paleotemperaturna kolebanja, koja će korisno poslužiti kod paleogeografskih rekonstrukcija.

Podaci o uzorcima, rezultatima spektrometrijskih analiza i temperaturne vrijednosti prikazane su na priloženoj tabeli. Na dijagramu (sl. 2) prikazane su temperaturne vrijednosti 26 analiziranih uzoraka fosila. Na temelju srednjih vrijednosti za pojedine stratigrafske horizonte načinjen je dijagram s temperaturnom krivuljom za raspon apt-donji campan (sl. 3).

## ZAKLJUČCI

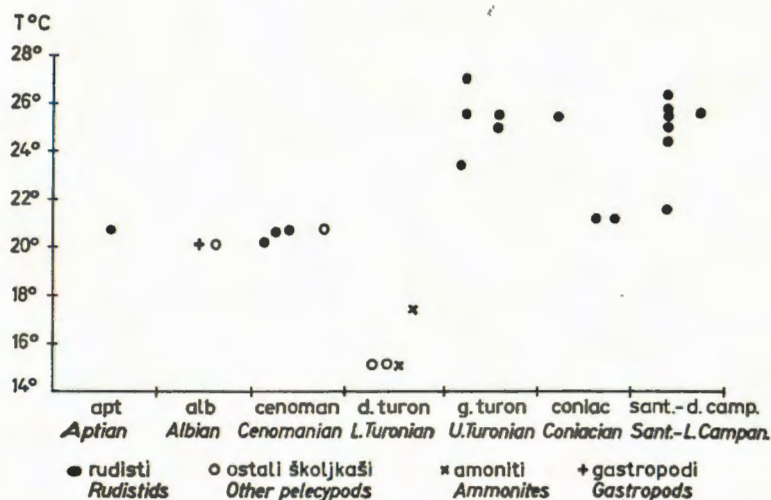
Iz analize ovih podataka mogu se izvesti slijedeći zaključci:

1) Jedan analizirani uzorak vrste *Requienia ammonia* pokazuje temperaturu mora u apt u 20,8°C.

2) Po jedan analizirani školjkaš i gastropod, koji potječu s relativno jako udaljenih nalazišta (sl. 1, 6, 15) iz vapnenca izrazito zatvorenog šelfa alba pokazuju oba potpuno iste temperaturne vrijednosti: 20,1°C.

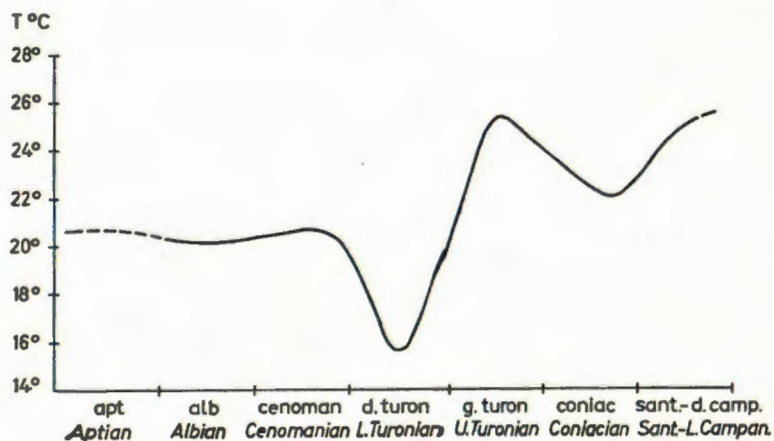
3) U cenomanu dolazi do neznatnog povišenja temperature. Četiri analizirana uzorka daju srednju vrijednost temperature 20,6°C. Prema tome eksplozivni razvoj rudistnih biocenoza u cenomanu i njihov nedostatak u albu nije bio uvjetovan bitnijim promjenama temperature nego prvenstveno paleogeografskim promjenama na karbonatnom šelfu. U cenomanu ovo područje postaje izrazita barijerna »grebenska« zona s jakom energijom i areacijom vode. Ovi uvjeti su pogodovali intenzivnom razvoju rudistnih zadruga.





Sl. 2. Temperaturne vrijednosti u rasponu apt – donji campan dobivene mjerenjem odnosa  $^{18}\text{O} : ^{16}\text{O}$  analiziranih fosila iz Istre.

Fig. 2. Temperature values in the Aptian – Lower Campanian interval, obtained from the measurement of the  $^{18}\text{O} : ^{16}\text{O}$  ratio in the analysed fossils from Istria.



Sl. 3. Temperaturna krivulja apt – donji campan na bazi srednjih vrijednosti odnosa  $^{18}\text{O} : ^{16}\text{O}$  analiziranih fosila iz Istre.

Fig. 3. Mean-temperature curve for the Aptian – Lower Campanian interval, obtained from the measurements of the  $^{18}\text{O} : ^{16}\text{O}$  ratio in the analysed fossils from Istria.

4) U donjem turonu nastupa nagli pad temperature. Srednja temperatura iznosi 15,7°C. Vrlo je značajno da analizirani uzorci amonita i oštriga daju iste temperaturne vrijednosti. Sniženje temperature nije rezultat eventualnih značajnijih batimetrijskih promjena u odnosu na cenoman, jer se plitkomorski režim i dalje zadržava, što potvrđuju nalazi oštriga (*Pycnodonta* i *Exogyra*). Najvjerojatnije se je radilo o dotoku hladnije vode strujama iz pelagijala u nešto snižene dijelove barijerne zone. Snižena temperatura vode eliminirala je potpuno rudiste kao značajnu biokomponentu u vapnencu. Umjesto toga talože se finozrni detritični vapnenci s amonitima, oligosteginidama i rijetkim oštrigama.

5) U gornjem turonu dolazi do naglog povišenja temperature, tako da srednja vrijednost iznosi 25,4°C. Utjecaj pelagijala u južnoj Istri prestaje. Biostromalni vapnenac s rudistima ponovo igra značajnu ulogu.

6) Srednja vrijednost tri analizirana uzorka rudista iz coniac-a pokazuje pad temperature u tom razdoblju na 22°C. Pad je bio postupan tako da uzorak JI-47 iz donjeg dijela coniac-a pokazuje temperaturu podjednaku onoj u gornjem turonu (25,7°C), dok dva uzorka iz višeg dijela coniac-a pokazuju potpuno iste temperaturne vrijednosti od 20,2°C. To je najvjerojatnije jedan od glavnih uzroka da su rudistne zadruge, odnosno biostromalni vapnenac rjeđi u gornjem coniac-u. Tada se mjestimično javljaju u manjoj mjeri pločasti vapnenci s radiolaritom. Radi se najvjerojatnije o slabom utjecaju pelagijala s povremenim dotokom hladnije vode.

Uzorak iz coniac-a JI-64/1 dao je temperaturu od 29,8°C (vidi ta belu) što jako odskakače od ostalih vrijednosti za to razdoblje. Međutim to je uzorak stijene (kalkarenita), dok su svi drugi analizirani uzorci fosili. Uzorci stijena daju, po iskustvu drugih autora, u pravilu nešto više temperature od uzoraka fosila koje sadrže. Stoga ovaj jedini uzorak stijene nije za sada uzet u obzir kod intepretacije podataka.

7) U razdoblju santon-donji campan dolazi do ponovnog povišenja temperature vode i srednja temperaturna vrijednost 8 analiziranih uzoraka iznosi 25°C. Ovo povišenje je pogodovalo ponovnom uspostavljanju režima »grebenske zone« s debelim biostromalnim vapnencem sastavljenim od brojnih zadruga rudista. U zadrugama se osobito ističu veliki primjerci rudista iz familije *Hippuritidae*, kojih nema u coniac-u. Izgleda da je ovim organizmima odgovarala viša temperatura nego članovima familije *Radiolitidae*, koji masovno dolaze u turonu i coniac-u.

Iz istog razdoblja analiziran je i jedan uzorak kolonijskog koralja (*Synastrea* sp. uz. JI-52/6) čiji odnos  $^{18}O : ^{16}O$  je dao temperaturu od 32,6°C, dakle znatno višu od svih primjeraka rudista. Već je kod ranijih istraživanja utvrđeno (Lowenstam & Epstein 1954) da neki fosili, npr. belemniti pokazuju znatno niže temperature od npr. brahiopoda s istih nalazišta. U našem slučaju koralj pokazuje znatno višu temperaturu od rudista s istog nalazišta. Pošto se radi o sarno jednom uzorku koralja ova temperaturna vrijednost nije uzeta u obzir kod intepretacije. Detaljnija istraži-

vanja više uzoraka trebala bi pronaći eventualnu zakonitost temperaturnih razlika ovih životinjskih skupina. Moguće se radi o znatnijem utjecaju tzv. metaboličkog  $\text{CO}_2$  koji je doveo do drugačijeg omjera  $^{18}\text{O} : ^{16}\text{O}$  kod tih organizama, kao što su to kod ježinaca utvrdili Weber i Raup (1966 a, b).

Primljeno 24. 2. 1972.

Geološko-paleontološki zavod  
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta  
Zagreb, Socijalističke rev. 8/II

Inštitut »Jožef Stefan«  
Ljubljana, Jamova 39

#### LITERATURA

- Bowen, R. (1961a): Paleotemperature analyses of Mesozoic Belemnnoidea from Germany and Poland. *Journ. Geol.* 69, 75–83.
- Bowen, R. (1961b): Oxygen isotope paleotemperature measurements on Cretaceous Belemnnoidea from Europe, India and Japan. *Journ. Pal.* 35/5, 1077 – 1084.
- Bowen, R. (1961c): Paleotemperature analyses of Mesozoic Belemnnoidea from Australia and New Guinea. *Bull. Geol. Soc. Amer.* 72, 769–774.
- Bowen, R. (1962): Paleotemperature analyses of Jurassic Belemnnoidea from East Greenland. *Experientia* 18/10, 438–439.
- Bowen, R. & Fritz P. (1963): Oxygen isotope paleotemperature analyses of Lower and Middle Jurassic fossils from Pliensbach, Württemberg (Germany). *Experientia* 19/9, 461–465.
- Craig, H. (1957): Isotopic standards for carbon and oxygen and correction factors for mass-spectrometric analysis of carbon dioxide. *Geochim. Cosmochim. Acta* 12, 133–149.
- Epstein, S., Buchsbaum, R., Lowenstam, H. A. & Urey, H. C. (1953): Revised carbonate-water isotopic temperature scale. *Bull. Geol. Soc. Amer.* 64, 1315–1326.
- Fabricius, F., Friedrichsen, H. & Jacobshagen, V. (1970): Paläotemperaturen und Paläoklima in Obertrias und Lias der Alpen. *Geol. Rdsch.* 59/2, 805–826.
- Lowenstam, H. A. & Epstein, S. (1954): Paleotemperatures of the Post-Aptian Cretaceous as determined by the oxygen isotope method. *Journ. Geol.* 62/3, 207–248.
- McCrea, J. M. (1950): On the isotopic chemistry of carbonates and a paleotemperature scale. *Journ. Chem. Phys.* 18/6, 849–857.
- Polšak, A. (1965): Geologija južne Istre s osobitim obzirom na biostratigrafiju gornjokrednih naslaga. *Geol. vjesnik* 18/2, 415–510.
- Polšak, A. (1967): Kredna makrofauna južne Istre. *Palaeont. jugosl.* 8, 1–218.
- Urey, H. C. (1947): The thermodynamic properties of isotopic substances. *Journ. Chem. Soc.* 562–581.
- Urey, H. C., Lowenstam, H., Epstein, S. & Mac Kinney (1951): Measurement of paleotemperatures and temperatures of the Upper Cretaceous of England, Denmark, and southeastern United States. *Bull. Geol. Soc. Amer.* 62, 399–416.

- Weber, J. N. & Raup, D. M. (1966a): Fractionation of the stable isotopes of carbon and oxygen in marine calcareous organisms – the Echinoidea. Part. I. Variation of  $C^{13}$  and  $O^{18}$  content within individuals. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 30, 681–703.
- Weber, J. N. & Raup, D. M. (1966b): Fractionation of stable isotopes of carbon and oxygen in marine calcareous organisms – the Echinoidea. Part II. Environmental and genetic factors. *Geochim. Cosmochim. Acta* 30, 705–736.

A. POLŠAK and H. LESKOVŠEK-ŠEFMAN

INVESTIGATION OF THE PALEOTEMPERATURE RELATIONS  
OF A PART OF THE CRETACEOUS SEDIMENTATION BASIN IN THE  
WESTERN DINARIDS, BASED ON THE OXYGEN ISOTOPE METHOD

*With 1 table and 3 text-figures*

In the first stage of the intended study of paleotemperatures of the Mesozoic of the Dinarids, 28 macrofossil specimens from the Cretaceous beds of Istria were analysed. The fossils originated from a continuous Cretaceous sequence of beds whose stratigraphical division was evidenced by rich paleontological material (Polšak 1965, 1967). The main attention was paid to the Upper Cretaceous beds of southern Istria, where from 25 samples were analysed, and only 3 belonged to the Aptian or Albian. The samples were collected from 16 localities (fig. 1).

The fossiliferous limestones were deposited on a carbonate shelf. In the *Aptian* and the *Albian* there are biomicritic limestones of a restricted shelf environment, with unfrequent lenses of the biostromal limestones containing the pelecypod genus *Requienia*. *Cenomanian* samples originate from biostromal limestones, which mostly consist of rudistid associations. These associations formed pseudo-reefs in the region of the shelf barrier. Thin-bedded limestones with chert lenses were deposited in the *Lower Turonian*. Pelagic influence is shown by the presence of ammonites, foraminifers of the genus *Globotruncana*, and oligosteginids. Shells of the pelecypod genera *Pycnodonta* and *Exogyra* occur rarely. Widespread pseudo-reefs with numerous rudistid associations developed again in the *Upper Turonian*. Similar conditions of sedimentation continued in the *Coniacian* stage, but with a sporadic and slight pelagic influence. In the *Santonian* and the *Lower Campanian* a pronounced reef sedimentation was re-established. Numerous rudistids constituted thick beds of biostromal limestones.

All of the studied fossils were found at their primary places, and originated from rudistid associations. According to the composition and development of the biocoenoses, a quite shallow sea of normal salinity existed there.

The analysed fossil shells are composed of calcium carbonate. The skeletal material shows no evidence of contamination by secondary calcite, nor impurities by primary or secondary organic matter. No traces of dolomitisation have been found. The samples for analyses were taken from the prismatic layers of the rudistid shells and always included several growth laminae.

The macrofossils were analysed for their  $^{18}O : ^{16}O$  -contents. The analyses were made on a MS-4/7 mass spectrometer with a double collector and the compensational technique. The errors are within  $\pm 0.3\%$  in comparison to the standard. First, the carbon dioxide was prepared from the samples by reacting the calcium carbonate with approximately 100 per cent ortho-phosphoric acid ( $H_3PO_4$ ) at  $25 \pm 0.5^\circ C$ , and this gas was subjected to analyses.

The results were calculated from the equation:

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{‰}} = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_s - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{st}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{st}} \times 1000$$

where *s* is the sample, and *st* the standard.

The analyses were made using the Carrara marble standard and the resultant data were corrected to refer directly to the PDB-1 standard.

On the basis of the measured  $\delta^{18}\text{O}$  values, the temperature of the water in which the calcium carbonate had been precipitated was calculated using the following equation (Epstein, Buchsbaum et c. 1953):

$$t (^{\circ}\text{C}) = 16,5 - 4,3 \delta + 0,14\delta^2$$

Up to the present, the paleotemperature data obtained by the oxygen isotope method for the Cretaceous period in the Mediterranean geosyncline are very poor. They are frequently intermixed with the data for the other seas, e. g., for the middle-European and boreal sea. The data here exposed represent a contribution to the knowledge of Cretaceous paleotemperature relations in the Mediterranean region. The rudistids predominate among the analysed fossils, and they represent the most characteristic fossil in the Mediterranean area, along with the orbitolinas and corals.

All the data concerning the samples, as well as the results obtained by mass spectrometer analyses and the temperature values, are listed in the table. The temperature values of 26 analysed fossil samples are shown in a separate diagram (fig. 2). Based on the mean values of the separate stratigraphical horizons, the diagram of the temperature curve ranging from the Aptian up to the Lower Campanian has been made (fig. 3).

Analysing the above data, the following conclusions can be put forward:

1. One sample of the species *Requienia ammonia* shows that the sea-temperature in the Aptian was 20,8°C.

2. One pelecypod and one gastropod specimen, which derive from rather distant localities and have their origin in the restricted shelf limestone of the Albian, show nearly the same value of 20,1°C.

3. A slight increase of temperature took place in the Cenomanian. Four of the examined samples give the mean temperature of 20,6°C. Consequently, the abrupt and abundant development of the rudistid associations in the Cenomanian and their absence in the Albian was not due to the considerable changes of temperature, but before all to the paleogeographical conditions on the carbonate shelf. In the Cenomanian, this region became the barrier-reef zone with strong water energy and aeration. These conditions were favourable for an intensive development of rudistid associations.

4. A rapid lowering of temperature appeared in the Lower Turonian. The mean temperature was 15,7°C. It is significant that the examined samples of both the ammonites and the ostreids give the same temperature range. The lowering of temperature was not caused by eventual bathymetrical changes in relation to the Cenomanian, because shallow water conditions continued to exist, which is evidenced by the presence of the ostreids (*Pycnodonta* and *Exogyra*). Instead, temperature lowering was presumably conditioned by the inflow of cool water streams from the pelagic environment into the lower parts of the barrier rim. The decrease of the temperature caused the elimination of rudistids as a significant bio-component at that time. Instead of that, finegrained detrital limestones with ammonites, oligosteginids, and rare ostreids were deposited.

5. A rapid increase of temperature took place in the Upper Turonian, so that the mean temperature came up to 25,4°C. The influence of the southern Istria pelagic environment stayed away. The biostromal limestones with rudistids predominated again.

6. The mean temperature, obtained by analysing three samples of the rudists from the *Coniacian*, shows the lowering of temperature to 22°C. This was a gradual lowering, since sample JI-47 from the lower part of the Coniacian gave nearly the same temperature as in the Upper Turonian (25,7°C), whereas the two samples from the upper part of the Coniacian showed the temperature of 20,2°C. This was, presumably, one of the main reasons that the rudistid associations and biostromal limestones seldom appeared in the Upper Coniacian. During that time thin-bedded limestones with cherts were deposited here and there. Probably, here it was the question of a slight pelagic influence with the periodic inflow of cool water.

The sample from the Coniacian JI-64/1 gave the temperature of 29,8°C (see the table), which exceeds strikingly all other temperature values for that period. However, this was a rock-sample (calcarenite), whereas all the other examined samples were fossil shells. As a rule, rock samples give (from the experience of other authors) somewhat higher temperature ranges than the fossil samples from the same rock. Therefore, this single rock sample must be eliminated in the interpretation of the data.

7. During the *Santonian-Lower Campanian* interval, an increase of temperature took place again, and the mean temperature range of 8 examined samples came to 25°C. This rise was favourable for the re-establishment of reef conditions, with thick beds of the biostromal limestone with numerous rudistid associations. In such associations large specimens of rudistids belonging to the family *Hippuritidae* appeared (they were not present in the Coniacian). The higher temperature seems to have been more convenient for these organisms than for the representatives of the family *Radiolitidae*, which were present in great numbers in the Turonian and Coniacian.

One sample of a colonial coral of the same age (*Synastraea sp.*, sample JI-52/6) was also analysed. By the measurement of the  $^{18}\text{O} : ^{16}\text{O}$  ratio, the temperature of 32,6°C was obtained, which is considerably higher than in all rudistid samples. It has already been indicated in earlier studies (Lowenstam & Epstein, 1954) that certain groups of fossils, e. g. belemnites, show much lower temperature than e. g. brachiopods, in spite of originating from the same locality. In our case, the coral shows a much higher temperature than the rudistids from the same locality. Since there was only one coral skeleton observed, its temperature range was eliminated in the interpretation.

Further detailed researches of a great number of samples are needed in order to find out eventual rules concerning temperature differences in these organisms. Possibly, it is a question of considerable influence of the so-called metabolic  $\text{CO}_2$  which causes the different  $^{18}\text{O} : ^{16}\text{O}$  ratios in those organisms, as Weber & Raup (1966a, b) have found it in echinids.

Received 24th February 1972.

Department of Geology and Paleontology  
Faculty of Science  
Zagreb, Socijalističke revolucije 8.  
Institute »Jožef Stefan«  
Ljubljana, Jamova 39