

# Oxigén izotópos hőmérséklet-mérések a Dunántúl mezozoos képződményeiből

Cornides István, Császár Géza, Haas János,  
Jocháné Edelenyi Emőke

(5 ábrával)

## Bevezetés

1973–1974-ben a Központi Földtani Hivatal megrendelése révén a Bányászati Kutató Intézetnél a Dunántúli középhegységi, a Mecsek- és a Villányi-hegységi felsőtriász, jura és kréta korú üledékes kőzetek és azok ősmaradványainak oxigén és szén izotópos paleohőmérsékleti méréseire nyílt alkalom. (A minták részben saját gyűjtésből származtak, részben GALÁCZ A. és VÖRÖS A. bocsátották rendelkezésünkre.) A vizsgálatok alapvető célját a képződési környezet fontos paraméterének, az egykori hőmérsékletnek és a hőmérséklet időbeli változásának meghatározása, valamint az egyes kőzettípusok genetikai értelmezésének elősegítése képezte.

Hasonló célú oxigén izotópos mérésekre üledékes kőzetekből már Magyarország területéről is volt példa, de ezek publikációjára az eredmények nem kielégítő volta miatt — aminek okát részben a minta választásban, részben az alkalmazott vizsgálati módszerben kell keresnünk — nem került sor.

A paleohőmérséklet megismerésére való törekvés igen hosszú múltra tekint vissza. Természetesen, különböző időszakokban különböző módszerek alkalmazására nyílt lehetőség. A kezdeti időszakban az aktualizmus elvére támaszkodva a biológiai és a szervesetlen klímajelzőket használták széleskörűen. Nem szükséges részletesen tárgyalnunk a mai szárazulatokon vagy tengerekben ismert flóra- és faunaelemek rokonságába tartozó fossziliák hőmérsékletjelző szerepét. Ugyancsak nyilvánvalók e módszer nehézségei, bizonytalansága, túlhajtott, merev alkalmazásának problémái. Valamivel megbízhatóbb támpontot nyújthatnak az ugyancsak kiterjedten alkalmazott szervesetlen klímajelzők, melyek legnyilvánvalóbb képviselői a lateritüledékek, sókőzetek, vagy a glaciális üledékek.

Ezek a módszerek megfelelő körülményekkel ma is alkalmazhatók, de néhány évtizede egzaktabb módszerek is rendelkezésünkre állnak a paleohőmérséklet meghatározására. Legismertebb az oxigénizotópok arányának mérésén alapuló módszer. Ennek alkalmazásánál azt a tényt használjuk fel, hogy a vizes oldatból kiváló kalciumkarbonát oxigénizotóp összetétele kissé eltér a víztől (az  $^{18}\text{O}$  izotóp kis mértékben feldúsul a szilárd fázisban) és ez az eltérés a víz (az oldat) hőmérsékletének függvénye. Így az egykori tengerek vizének hőmérsékletét az üledékes, ősmaradványok kalcitjának oxigén  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  izotóparánya rögzítette számunkra. Természetesen e módszer is nagy körülményt igényel, hiszen a megfigyelések szerint a hőmérsékleten kívül számos egyéb tényező (sótartalom, Sr/Ca, Mg/Ca arány stb.) is módosíthatja az  $^{18}\text{O}$  mennyiségét. Egyéb izotóparányokon alapuló módszer is ismert, mint pl. az általában az oxigénizotóp módszerrel párhuzamosan alkalmazott  $^{13}\text{C}$ – $^{12}\text{C}$  módszer. A kapott eredmények értékelésénél azonban kellő körülményekkel

kell eljárunk — elsősorban az ósmaradványok esetében — hiszen tudjuk, hogy az izotópok beépítésének aránya faji bélyeg is lehet, sőt, hogy a vázrészekben különböző izotóparányokkal találkozhatunk. Figyelembe kell vennünk továbbá, hogy a vizsgált faj vázépítése életterének mely részén, milyen sebességgel, milyen szakaszokban történt. Csupán megemlítjük, hogy egészen más jellegű — esetenként igen súlyos — problémát jelent mind a fossziliák, mind az üledékek esetében az utólagos folyamatok izotóparány módosító hatása. Éppen ezért, az ilyen jellegű hibák kiküszöbölése céljából igyekeztünk utólagosan át nem alakult, át nem kristályosodott mintákat gyűjteni. A fossziliák közül pedig a legmegbízhatóbbnak tartott Belemnoideákat részesítettük előnyben.

### A vizsgálati módszer

A kiválasztott és gondosan preparált minták oxigén izotópelemzését a nemzetközileg elfogadott módszerrel végeztük: a kalcitmintákból telített foszfor-savval szabadítottuk fel a széndioxidot, majd ennek oxigén és szén izotóparányát tömegspektrométerrel (VARIAN MAT M-86) határoztuk meg. A  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  arányt a mért oxigén izotóparány CRAIG szerinti korrekciójához használtuk fel.

A tömegspektrométeres méréshez szükséges széndioxid mennyiséget minden esetben 30 mg kalcit elbontásával állítottuk elő. Minden vizsgált mintából legalább két alkalommal készítettünk egy-egy széndioxid mintát, s ezek izotóparányának meghatározására legalább 4 mérést végeztünk. Így minden izotóparány és ezekből számított hőmérséklet adat kétszer négy mérési adat középértéke. Az oxigénizotóparány szórása általában 0,1%-on belül volt, csupán egyes minták mutattak ezt meghaladó inhomogenitást.

Az így meghatározott izotóparányok megbízhatósága azonban feltehetően kisebb mint a fenti hibahatárok alapján várhatnánk. Ennek oka az alkalmazott standard izotóparányának hibája. A paleohőmérsékletek meghatározása a PDB standardra vonatkoztatott oxigén izotóparányokból történik az ismert

$$t = 16,5 - 4,3 \delta + 0,14 \delta$$

kvadrátikus képlettel, melyben  $t$  a  $^{\circ}\text{C}$ -ben mért hőmérséklet a  $\delta = \delta^{18}\text{O}$  a mintának a PDB (pontosabban a PDB-1 Chicago) standardhoz képest mért oxigén izotóparánya, közelebről a minta és standard izotóparányának eltérése a standardre vonatkoztatott ezrelékekben. A PDB standard azonban már régen nem áll rendelkezésre. Helyette különféle másodlagos standardek használtnak, melyeket — természetesen nem közvetlenül — összehasonlítottak vele. Méréseinknél a lipcsei tömegspektrométer laboratóriumban kidolgozott *Stryngecephalenkalk* standarddel dolgoztunk, világszerte azonban számos egyéb standard is használatos és ez a tény a különböző laboratóriumokban végzett mérések eredményeinek összehasonlítását a standardek eltérő szisztematikai hibái miatt nem teszi lehetővé kellő megbízhatósággal. Minthogy viszont méréseinket végig azonos standarddel végeztük, az összehasonlítás saját eredményeink körén belül az izotóparányokat, s így a hőmérséklet relatív változásait helyesen, ill. csupán az említett szórási hibával terhelten tükrözi.

Továbbá szisztematikai hiba adódik abból a tényből, hogy a kiváló kalcit izotóparánya a hőmérsékleten kívül a tengervíz oxigén izotóparányának abszolút értékétől is függ. A fenti képlet az óceánok jelenlegi átlagos izotóparányára vonatkozik, ettől különböző geológiai korokban, különösen elzártabb tengerrészek, beltengerek esetében eltérések lehetségesek voltak.

E két szisztematikus hiba becslésére és figyelembevételére egyenlőre nincsen elegendő adatunk. Különböző másodlagos standardok összehasonlítására jelenleg igyekszünk — nemzetközi együttműködésben — lehetőséget találni, a mintáink esetében figyelembe veendő tengervíz  $^{18}\text{O}$  koncentrációjára nagyszámú hazai vizsgálat elvégzésével deríthetünk fényt.

### Az eredmények értékelése

A mérési eredmények értékelésénél a következő kérdésekre kerestünk választ:

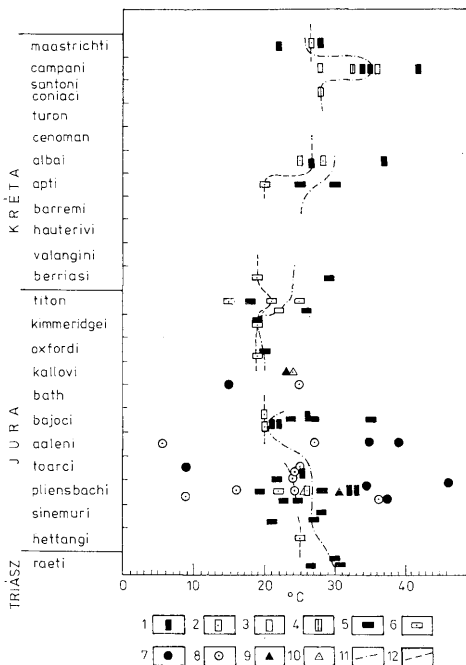
1. Milyen őshőmérséklet változások állapíthatók meg a kor függvényében.
2. Milyen kapcsolat van az őshőmérsékleti eredmények és kőzetek képződési környezete között.
3. Milyen eltérések mutatkoznak az őshőmérsékleti adatokban az egyes kifejlődési területek között.
4. Milyen különbség mutatkozik az ősmaradvány és az azt befoglaló kőzetek vizsgálatánál kapott eredmények között.

Az 1. ábra diagramja a kőzetek és ősmaradványok vizsgálati eredményeit mutatja az egyes kifejlődési övek (a tatai rög területe kiemelve) szerinti jelölésben. A kifejlődési övek eredményeinek összevetésénél azonnal szembetűnő a mecseki minták igen nagy szórása ( $5,5 - 46,5\text{ C}^\circ$ ) és az irreálisnak tűnő értékek. Ennek oka a kőzetek  $\text{CO}_3^{2-}$ -ion tartalmának részleges epigenetikus cseréje lehet. A Villányi-hegységből származó minták mennyisége e régió önálló megítélését nem teszi lehetővé, de annyi megemlíthető, hogy a mérési eredmények a Dunántúli-középhegységi, hasonló korú mintákon mért értékekhez közel állnak.

A Dunántúli-középhegység mintáinál az átlag adatok mellett külön is értékeltük a Belemnitesekre kapott eredményeket. A görbék összetevéséből a tünik ki, hogy a Belemnitesekre vonatkozó adatok az átlag közelében vagy néhány fokkal (max.  $5\text{ C}^\circ$ ) az alatt vannak. A földtani kor szempontjából elemezve az adatokat a következő tendenciák rajzolódnak ki: a raeti emelettől a doggerig a hőmérsékleti átlagértékek süllyednek ( $30\text{ C}^\circ$ -ról  $21\text{ C}^\circ$ -ra). A bajociban néhány magasabb hőmérsékletre utaló eredményünk is van, de emelkedési tendencia csak a titonban jelentkezik. Az apti és albai emeletből származó mintáknál  $26 - 30\text{ C}^\circ$ -os átlagot kaptunk, ami további emelkedést jelent. A szenonban a kampani alemeletben jelentkezik egy minden korábbit meghaladó csúcs ( $35\text{ C}^\circ$ ), majd a maastrichtiben ismét csökkenő tendencia érvényesül.

A mérési eredmények (ha utólagos ionscere nincs, és a minták preparálásába és mérésébe nem csúszott hiba) annak a környezetnek a hőmérsékletét jelzik, amelyben a  $\text{CaCO}_3$  anyag kiválása végbement. Ez a környezeti hőmérséklet tehát az időszakra és földrajzi helyzetre jellemző általános hőmérsékleti viszonyok mellett, jelentős részben a helyi környezeti viszonyoktól függ (vízmélység, áramlási viszonyok stb.). Az 1. ábrán látható átlag görbe, tehát a fáciesviszonyokat is tükrözi, és a Belemnites-görbe közelítheti meg az adott terület általános hőmérsékletváltozási tendenciáit, amennyiben a nekton Belemnitesek vázépítésének környezete nem eltérő faj-specifikus és nem változott lényegesen a tárgyalt időszakban.

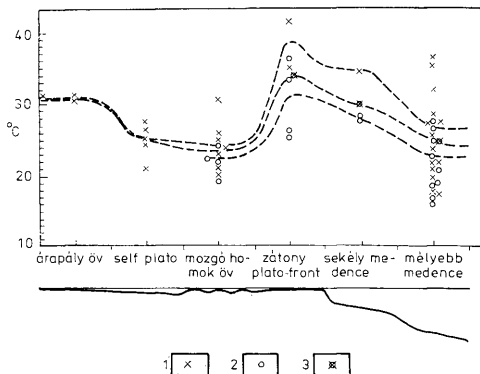
Az őshőmérsékleti adatok és a kőzetek képződési környezetének viszonyát a 2. ábrán mutatjuk be (csak a Dunántúli-középhegység adatait használtuk fel). Ezen két hőmérsékleti maximum látszik, az árapály övi, illetve a zátony



7. ábra. Paleohőmérsékleti méréseink eredményei. J e l m a g y a r á z a t: 1. Kőzet, 2. Belemnites, 3. Neritikus fácies, 4. Zátóny fácies (1–4. Dunántúli-középhegység), 5. Kőzet, 6. Belemnites (5–6. Tata), 7. Kőzet, 8. Belemnites (7–8. Mecsek-hegység), 9. Kőzet, 10. Belemnites (9–10. Villányi-hegység), 11. A Dunántúli-középhegységi és a tatai kőzetminták alapján nyert átlaggörbe, 12. A Belemnitesek alapján nyert hőmérsékleti görbe

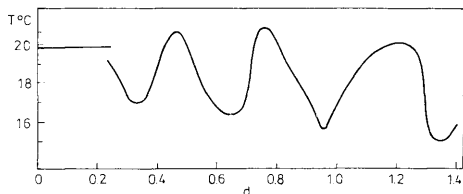
Fig. 7. Results of paleotemperature measurements. Legend: 1. Rock, 2. Belemnite, 3. Neritic facies, 4. Reef facies (1–4. Transdanubian Central Mountains), 5. Rock, 6. Belemnite (5–6. Tata), 7. Rock, 8. Belemnite (7–8. Mecsek Mountains), 9. Rock, 10. Belemnite (9–10. Villány Mountains), 11. Average curve obtained for rock samples from the Transdanubian Central Mountains and Tata, 12. Temperature curve obtained for belemnites

üledékeknél. Az alacsonyabb értékek a sekély self plató és a medence üledékek esetében jelentkeznek. Ezek a tendenciák megegyeznek a jelenkori hasonló környezetek hőmérsékleti eloszlásával. Az abszolút értékeket tekintve, az árapály övre (raeti-lofer fácies) kapott  $31^{\circ}\text{C}$ , a self plató és a mozgó homok öv mintáin mért  $23,5^{\circ}\text{C}$  és a zátóny képződmények  $33,5^{\circ}\text{C}$ -os átlaga a jelenkori adatok tükrében reálisnak tekinthető. A Perzsa-öbölben például Abu Dhabi környékén (ez ma a legmelegebb tengerrész a világon, és ezért mértékadó a mainál jóval melegebbnek tartott mezozoos viszonyok megítélésénél) a következő értékeket mérték (előbb a februári, ezután az augusztusi adatok): nyílt selftenger felszíne  $23\text{--}34^{\circ}\text{C}$ , belső laguna  $22\text{--}36^{\circ}\text{C}$ , a sabkha üledékben lévő



2. ábra. Az őshőmérséklet és az üledékképződési környezet kapcsolata a Dunántúli-középhegységi adatok alapján  
J e l m a g y a r á z a t: 1. Kőzet, Ősmaradvány, 3. Átlag

Fig. 2. Relationship between paleotemperature and sedimentary environment on the basis of data from the Transdanubian Central Mountains. Legend: 1. Rock, 2. Fossil, 3. Average



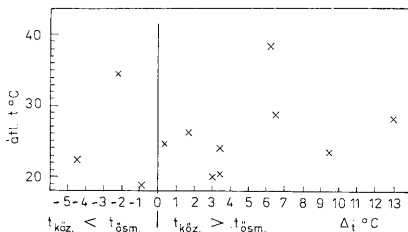
3. ábra. A jura tenger hőmérsékletének alakulása egy Belemnites négyéves fejlődése során  
(UREY et al, 1951 nyomán)

Fig. 3. Variation of the temperature of the Jurassic sea in the course of the five-year growth of a belemnite  
(after UREY et al. 1951)

talajvíz hőmérséklete pedig a  $40\text{ C}^\circ$ -ot is eléri (BATHURST 1975.). A Bahama platón és a kubai Batabano öbölben a februári vízhőmérséklet  $22\text{ C}^\circ$  az augusztusi  $31\text{ C}^\circ$  (BATHURST 1975., M. L. RIERA 1972).

A mélyebb medence fáciesekre viszonylag magas középértéket kaptunk ( $25\text{ C}^\circ$ ). Ez azonban nem az aljzat hőmérsékletére utal, hiszen egyrészt a kőzet karbonáttartalmának jelentős részét adó mikro és nannoplankton szervezetek a felső vízrétegekben éltek, másrészt a Belemnitesek is a felső vízrétegekben építhették vázukat. Ez utóbbit támasztják alá azok a mérések (UREY et al. 1951) amelyek a rostrumok rétegeinek vizsgálata alapján a vázépítés közegeinek jelentős évi hőmérsékletingadozását mutatták ki (3. ábra).

Az 1. és 2. ábrán is feltűnik az, hogy az ősmaradványokra, illetve az ezeket befoglaló kőzetekre kapott hőmérsékleti eredmények nem azonosak, mégpedig



4. ábra. A kőzetből és a benne foglalt ősmaradványból nyert hőmérsékleti adatok különbsége ( $\Delta t$ ) az átlaghőmérséklet függvényében  
 Fig. 4. Difference between temperatures ( $\Delta t$ ) measured for the rock and for fossils recovered from it, as a function of average temperature

az esetek többségében a kőzetminták esetében magasabb értékeket kaptunk. Ezt mutatja a 4. ábra is, amelyen azonos minta esetében a kőzetre és az ősmaradványra kapott értékek különbségét ábrázoltuk ( $\Delta t$ ) az átlag hőmérséklet függvényében. E szerint a kőzetre kapott értékek általában 2–3 C°-al magasabbak. A  $\Delta t$ -nek az átlag hőmérséklettől való függése is sejtethető, de ennek bizonyítására nincs elég adatunk.

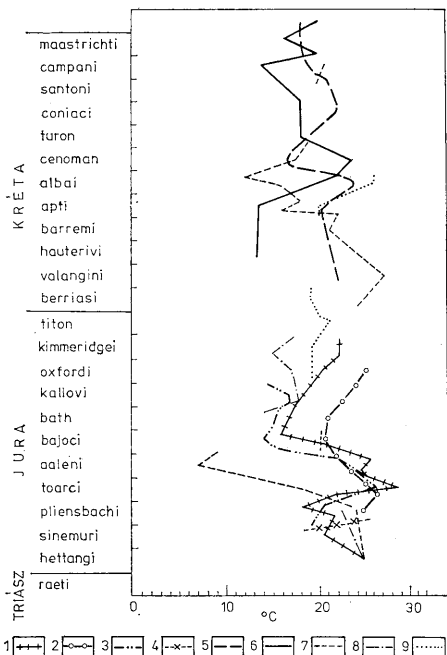
### Adataink a nemzetközi eredmények tükrében

Az őshőmérsékleti kutatásokra vonatkozó irodalom tanúsága szerint az oxigén izotópos mérések alkalmazásának már a legelején észrevették, hogy a vizsgálatokra több szempontból is a Belemnitesek a legalkalmasabbak. Ezért és a minél nagyobb mértékű összehasonlíthatóság biztosítása céljából néhány fontosabbnak ítélt, Belemniteseken végzett és többnyire jelentős számú mérésből álló vizsgálatok eredményeit összesítettük az 5. ábrában. Emellett feltűntettünk még egy, ugyancsak Belemniteseken alapuló, de Ca/Mg arány változására épülő őshőmérsékleti diagramot is.

A diagramból első pillantásra is az oxigén izotópos mérések alapján nyert diagramok rokon — a Ca/Mg aránytól feltűnően eltérő — lefutása tűnik szembe, ami a vizsgálati terület jelentős elkülönülését is beleszámítva az utóbbi módszer igen gyenge hőmérséklet rögzítő szerepére hívja fel a figyelmet.

A mérések láthatóan egy jura és egy kréta vizsgálati csoportba különülnek. A jura csoporton belül szinte tökéletesen azonos lefutású diagramot szolgáltatnak az Észak-Németország, Dél-Németország, illetve Franciaország és Svájc területéről származó eredmények. A vázolt területen É-ről D-felé haladva egyre nagyobb tengervíz hőmérséklet mutatkozik. E görbék legjellegzetesebb szakasza a toarci és aaleni hőmérsékleti maximum. A Szibériára vonatkozó diagram az általa felölelt kis intervallum következtében valódi összevetésre nem alkalmas, bár alacsonyabb értékei összhangban vannak a mérések egészével.

A kréta szakasz egészét csak BOWEN és ENGST mérései ölelik fel. Közöttük azonban mintha fázis-eltérés lenne, különösen a legnagyobb maximumok tekintetében.



5. ábra. Paleohőmérsékleti méréseink a nemzetközi eredmények tükrében. J e l m a g y a r á z a t: 1. Dél-Németország — FRITZ 1965, 1966, BOWEN és FRITZ 1963, 2. Franciaország, Svájc — BOWEN 1961, 1963, 3. Észak-Németország — KUNZ 1973, 4. Alpok — FABRICIUS 1970, 5. BOWEN 1961, 6. ENGST 1961, 7. A Kaukázuson túli terület, Ny-i medence — JASAMANOV 1973, 8. Orosz tábla, Szibéria — TEJSZ, NAJGYIN, SZAKSZ 1968, 9. Saját eredmények  
 Fig. 5. Hungarian paleotemperature measurements in the light of international results. Legend. 1. Southern Germany — FRITZ 1965, BOWEN 1965, 1966, BOWEN and FRITZ 1963, 2. France, Switzerland — BOWEN 1961, 1963, 3. Northern Germany — KUNZ 1973, 4. The Alps — FABRICIUS 1970, 5. BOWEN 1961, 6. ENGST 1961, 7. Transcaucasia, western basin; — JASAMANOV 1973, 8. Russian Platform, Siberia — TEIS, NAIDIN, SAKS 1968, 9. Own results

A Belemnites rostrumok vizsgálatait alapul vevő — hézagossága miatt diagramszerűen alig ábrázolható — mérési eredményeink a nemzetközi eredményeknél kisebb mérvű hőmérsékleti változásokról tanúskodnak. E diagram a többi görbéhez való viszonya alapján két szakaszra osztható. A jurában a hőmérsékleti értékek végig a Svájc—Franciaország területéről származó eredmények alatt maradnak, és lényegében a dél-németországi értékek körül mozognak. Sajnos, a legkritikusabb szakaszcól — a toarci-aaleniéből — nem készültek hazai mérések.

A kréta időszakra vonatkozóan mindössze három időegységről sikerült Belemniteshez jutnunk. Az ezekből nyert hőmérsékleti adatok magasabbak

a nemzetközi értékeknél. Az apti és albai közötti 6 °C-os hőmérsékletemelkedés a BOWEN-féle görbe lefutásával látszik megegyezni. A magas hőmérsékletet jelző adatok jól korrelálnak az albai emeletből ismert tarka rétegek, vörös agyagok, sőt bauxitok keletkezésével.

Vizsgálataink megerősítéket bennünket abban az irodalmi adatok ismeretére épülő meggyőződésünkben, hogy a kellő körültekintéssel gyűjtött Belemnites-vázak (esetleg más állatcsoportok vázai is) oxigén izotópos vizsgálata nagy számú elemzési adat esetén, egyéb földtani tényezőket is figyelembe véve, jelentősen hozzájárulhat az ősgépjárat viszonyok jobb megismeréséhez, sőt szerencsés esetben még régiók ősföldrajzi viszonyaiban beállott változások megértését is elősegítheti.

Jelen dolgozatunkat a részletesebb elemzés híján — amelyhez a megfelelő adatok mennyisége egyelőre nem kielégítő — a hazai stabilizotópos paleohőmérsékletmeghatározási vizsgálatok első, kezdeti szakaszáról szóló beszámolóknak kell tekinteni.

## Irodalom — References

- BATHURST, R. G. C. (1975): Carbonate sediments and their diagenesis. Elsevier
- BOWEN, R. (1961): Paleotemperature analyses of Mesozoic Belemnoida from Germany and Poland. 7. Geol. 69.
- BOWEN, R. (1966): Paleotemperature analyses. Methods in Geochemistry 2. Elsevier
- BOWEN, R. and FRITZ, P. (1963): Oxygen Isotope Paleotemperature Analysis of Lower and Middle Jurassic Fossils from Pliensbach, Württemberg (Germany), *Experientia*, 19.
- EPSTEIN, S.—BUCHSBAUM, R.—LOWENSTAM, H. A.—UREY, H. C. (1953): Revised Carbonate-Water Isotopic Temperature Scale. *Bull. geol. Soc. Amer.*, 64.
- FRITZ, P. (1965):  $O^{18}/O^{16}$  Isotopenanalysen und Paleotemperaturebestimmungen an Belemniten aus dem Schwäb. Jura. *Geol. Rsch.* 54. 1.
- FABRICIUS, F.—FRIEDRICHSEN, H. und JACOBSSHAGEN, V. (1970): Paläotemperaturen und Paläoklima in Obertrias und Lias der Alpen. *Geol. Rsch.* 59. 2.
- GÓCZAN F. (1973): Comparative palynology and the paleoclimate of bauxite formation. *Őslénytani viták.* 21. f.
- JASZAMONOV, N. A. (1973): Temperaturi sredni obitanija jurszkij i melovih brahiopod golovonogih i dvusztyvorcsatih molluszkov v baszsejne zapadnovo zakavkaza. — *Geohimija* 5.
- KUNZ, I. (1973): Sauerstoff i isotopen — Temperaturmessungen an Jura-Sedimenten in Nordteil der DDR. *Zeitschrift für Angewandte Geologie* 1.
- LOWENSTAM, H. A. (1961): Mineralogy,  $O^{18}$ — $O^{16}$  Ratios and Strontium and Magnesium Contents of recent and fossil Brachiopods and their Bearing on the History of the Oceans. 7. Geol. 69. 3.
- REID, R. E. H. (1976): Late Cretaceous climatic trends, faunas, and hydrography in Britain and Ireland. *Geological Magazine* 113. 2.
- RIERA, M. L. (1972): Estudios hidrológicos del Golfo de Batabanó y de las aguas oceánicas adyacentes *Acad. de ciencias de Cuba J. Ser. Oceanológica* 14.
- UREY, H. C.—LOWENSTAM, H. H.—EPSTEIN—MCKINNEY, C. R. (1951): Measurements of paleotemperatures and temperatures of the Upper Cretaceous of England, Denmark and the southeastern United States *Bull. Geol. Soc. Am.* 62.
- VOIGHT, E. (1965): Zur Temperaturkurve der oberen Kreide in Europa. *Geol. Rsch.* 54.
- WEBER, Y. N.—RAUP, D. M. (1966): Fractionation in the stable isotopes of carbon and oxygen in marine calcareous organism — the Echinoidea. Part. II. Environmental and genetic factors. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 30, 7.

## Temperature measurements of Transdanubian Mesozoic rocks by the oxygen isotope method

*I. Cornides, G. Csicszár, J. Haas and E. Jochs-Edelényi*

Subjected to paleotemperature measurements with the use of oxygen and carbon isotopes were Upper Triassic, Jurassic and Cretaceous sedimentary rocks and their fossils from the Transdanubian Central Mountains, the Mecsek and the Villány Mts. In determining formation temperature, an important parameter of the environment of formation, the authors have relied on the fact that the oxygen isotope composition of calcium carbonate precipitating from its aqueous solution deviates, in dependence on the temperature of the solution concerned, from that of the water. Consequently, the temperature of the water of the one-time seas must have been recorded by the  $^{18}O/^{16}O$  ratio in the calcite of fossils or sediments. Of course the use of this method requires to be very careful, for the isotope



ratio may be modified, in addition to temperature, by a number of syn- and postgenetic processes. In selecting the samples to be analyzed the authors sought to collect rock samples that had not undergone a recrystallization, while in the case of fossils they used belemnoids held for most reliable and they carefully prepared the samples. The method of analysis consisted in the following: 30 mg of calcite was treated with phosphoric acid to release carbon dioxide and then the isotope ratio was determined by mass spectrometer. The isotope ratio given for the individual samples and the paleotemperatures calculated therefore derive from the average of a total of eight measurements. The paleotemperatures were determined from oxygen isotope ratios referred to PDB standard by using the formula  $t = 16,5 - 4,3\delta + 0,14\delta$ , in which  $t$  means the temperature in °C,  $\delta = \delta^{18}\text{O}$  is the oxygen isotope ratio of the sample measured in relation to the PDB standard. Because of the nonavailability of a PDB standard, the authors worked with the Stryngocephalencalk standard developed at the Leipzig Mass Spectrometer Laboratory. In their measurements a systematic error results from the error of the isotope ratio of the standard and from the fact that the isotope ratio of a calcite being precipitated depends, in addition to the temperature, on the absolute value of the oxygen isotope ratio of seawater as well.

In evaluating the results of their measurements the authors have sought to answer the following questions:

1. what kinds of changes in temperature are found to take place as a function of age;
2. what kind of relationship exists between paleotemperature results and the environment in which the rocks were formed;
3. what kinds of differences are found to exist between different facies areas in terms of paleotemperatures;
4. what is the difference between results obtained for fossils and those obtained for the enclosing rocks.

Fig 1 shows the results obtained for the rocks and fossils of single facies zones. A striking feature to observe at first glance is the very great scatter shown by the samples from the Mecsek Mountains and the high values appearing to be unreal, which seems to be due to a partial epigenetic exchange of their  $\text{CO}_3^{2-}$  content.

Samples from the Transdanubian Central Mountains have shown the following trend: from the Rhaetian to the Dogger the average temperature values drop from 30 °C to 21 °C. A few higher temperature values have been obtained for the Bajocian and the Tithonian has been observed to show a definite rise in temperature. An additional rise is indicated by the averages, 26 to 30 °C, of the Aptian and Albian samples. Within the Senonian the Campanian shows an extremely high value unprecedented (35 °C), to be followed then again by a decrease in Maastrichtian time.

The results obtained for the belemnites have been evaluated separately, as it is the values yielded by nektonic organisms that can most reliably approach to the general trends of temperature variation in the area concerned. These values are near the average values or by a few degrees centigrade, a maximum of 5 °C, below them.

Fig. 2 shows the relationship between paleotemperatures and the environment in which the rocks were formed. The temperature maximum was obtained for the tidal and reef sediments, lower values for shallow-water shelf platform and basin sediments. With a view to data available on modern sedimentary environments (vicinity of Abu Dhabi in the Persian Gulf, Bahama Bank, Batabano Bay, Cuba), the average value of 31 °C obtained for the tidal zone (Rhaetian Lofar facies), that measured for samples taken from the shelf platform and zone of drifting sands, 23.5 °C, and the average of 33.5 °C obtained for reef sediments, appear to be realistic. The comparatively high value obtained for deeper basinal facies seems to be due to the fact that a considerable part of the carbonate content of the rock derives from micro- and nannoplanktonic organisms that lived in the upper water layer, and that the belemnites may have built their shells also there. Fig. 3. shows the significant fluctuations of the temperature of the environment of shell generation as observed during examination of the layers of the rostra.

As shown in Fig. 4, in analyzing the relationships of the paleotemperatures obtained for single fossils and the rocks enclosing them, the authors have found that the values obtained for rock samples are in the majority of the cases by 2 to 3 °C higher than fossil paleotemperatures. On the behaviour of the curve it may be supposed that the value of  $\Delta t$  depends on the value of the average temperature.

To enable comparisons to be made with international data, the authors summarized in Fig. 5 the results—of a few runs of belemnite measurements mostly consisting of a great number of measurements each. A diagram based on the variation of the Ca/Mg ratio has

also been given in which the strikingly different behaviour of the curve calls attention to the weakness of this method for recording paleotemperatures.

The results reported herewith testify to smaller changes in temperature as compared to international results. In the Jurassic the values of temperature remain consistently below the results quoted for Swiss and French territories, being around the values reported from southern Germany. These curves have their maxima in the Toarcian, Aalenian, sediments for which unfortunately no Hungarian result is available. The few results obtained by the authors for Cretaceous belemnites are values higher than their international counterparts. The high temperature value obtained for the Albian correlates very well with the formation of rocks known from this stratigraphic stage (red clays, bauxites).