

# Paleohőmérséklet becslésére szolgáló korszerű módszerek („proxy”-k), a tengeri mikropalaeontológiában

## *Palaeotemperature proxies in the marine micropalaeontology*

BÁLDI Katalin<sup>1</sup>

(2 ábra)

*Tárgyszavak:* proxy, paleoklíma, paleohőmérséklet, oxigén izotóp, alkenon, mikropalaeontológia, klímamodell  
*Keywords:* proxy, palaeoclimate, palaeotemperature, oxygene isotope, alkenon, marine micropalaeontology, climate modell

### Abstract

Developing Earth System Models reconstructing and predicting global climate trends gave new perspectives to palaeoclimate research. The need for fully quantitative methods to reconstruct climate in the past gave rise to proxy research. Proxies are estimated environmental variables, which are essential in improving climate models. Proxies can serve directly as input data for models or as palaeorecords to test models with. The aim of this publication is to define the expression “proxy” in Hungarian and give a rough overview of proxy research with special attention to palaeotemperature proxies used by marine micropalaeontologists. In the present work a few sea surface temperature (SST) estimating proxies are described based on plankton foraminifera assemblages, stable isotope ratio of oxygen ( $\delta^{18}\text{O}$ ), and alkenons (UK'37). A few Middle Miocene palaeotemperature estimating examples are brought up from the Paratethys region, as this period was the last marine period of time in this region.

### Összefoglalás

A napjainkban zajló éghajlatváltozás modellezése kapcsán új szemléletmód alakult ki a klíma kutatásban. A teljesen kvantitatív módszerekre alapuló klímarekonstrukciók előtérbe kerülésével a közelítő módszerek „proxy”-k\* fejlesztésére terelődött a figyelem. A proxy egy környezeti tényezőt becsül, amely gyakran egy klímamodell fejlesztését szolgálja. A létrehozott proxy adatsor a klímamodell közvetlen bemeneti adatává is válhat, illetve a modell fejlesztésére, ellenőrzésére használható. A cikk célja a proxy kifejezés definiálása után egy rövid áttekintést nyújtani azon paleohőmérséklet becsülő proxykról, amelyeket a tengeri mikropalaeontológusok használnak. Néhány felszíni óceán hőmérsékletét (SST) becsülő proxyra részletesebben is kitérünk, melyek plankton foraminifera közösségeken, az oxigén stabil izotóp arányán ( $\delta^{18}\text{O}$ ), illetve alkenonokon (UK'37) alapulnak. Néhány paleohőmérséklet becsülő középső miocén példát is bemutatunk a Paratethys térségből, amely az utolsó tengeri periódus volt a régióban.

### Bevezetés

Az utóbbi néhány év rengeteg új eredményt hozott a múlt klímájának kutatása kapcsán. Szomorú aktualitása az ilyen kutatásoknak, hogy Földünk jelenlegi éghajlatának stabilitásáért érzett aggodalmunk ösztönzi azokat. Az IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change) nemzetközi erőfeszítéssel a klímaváltozások előre jelzésére olyan Föld-rendszer klímamodelleket (Earth System

<sup>1</sup>ELTE TTK, Földrajz Földtudományi Intézet, Általános és Történeti Földtani Tanszék, H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c, kabaldi@ludens.elte.hu

Climate Model) dolgozott ki, amelyek a komplex folyamatokat leegyszerűsítve és rengeteg számítógép kapacitást felemészítve (I. szuper számítógépekről TRIENDL, 2002) az elkövetkezendő évtizedek, évszázad(ok) hőmérsékletét prognosztizálják. Azonban e numerikus modellek, melyek a jövőre nézve is elígáztatnak, egyben a földtörténeti múlt ismeretén is alapulnak. A Föld múltbéli klímájára az ismeretek nagy részét térben és időben egyaránt az üledékes tengeri kőzetek nyújtják, melyek vizsgálata a geológusok, tengerkutatók geológusok, paleoóceanológusok feladata. Az általunk nyújtott kvantitatív adatok két szempontból fontosak az éghajlati modellek fejlesztésében. Egyrészt közvetlen bemeneti adatul szolgálhatnak a múlt egy időpontját illetően, vagy a modell megbízhatóságát lehet vele tesztelni, úgy hogy a múltra vonatkozóan a modell által számolt értékek az üledékek alapján becsült értékkel összehasonlíthatók (BITANJA et al. 2005, KNUTTI et al. 2004, PAUL & SCHÄFER-NETH 2003, 2005 és sokan mások). A földtani adatokból kiolvasható kvantitatív klíma rekonstrukció, és a klímodellezés egymással kölcsönhatásban, egymást erősítve napjainkban rohamosan fejlődő tudományág lett.

Az adatnak számszerűnek kell lennie térben és időben, hogy egyre pontosabb képet rajzoljon Földünk múltjáról. Szerencsére a mélytengeri fúrások (DSDP, Deep Sea Drilling Project, ODP, Ocean Drilling Project stb.) ma már szinte behálózzák a Földet és a sztratigráfia fejlődésével térben és időben egyre jobb felbontású információt tudunk kiolvasni az üledékből Földünk múltjára vonatkozólag. Közvetlenül használható bemeneti adat lehet egy klímodell számára az óceánok valamely múltbéli fizikai, kémiai tulajdonságának számszerű becslése. Ilyen tulajdonságok (változók) lehetnek a hőmérséklet, sótartalom, nutrienstartalom, oxigéntartalom, CO<sub>2</sub>-tartalom, produktivitás, vagy akár a vízmélység. Ezen paraméterek múltbéli változásainak rekonstrukciója a geológusok, paleoóceanológusok feladata. Ebben a cikkben, a teljesség igénye nélkül néhány mikrofossziliákhoz kapcsolódó példán át kívánom bemutatni, hogy hogyan becsüljük ezen a paraméterek közül a hőmérsékletet különféle közelítő változók (proxy) segítségével.

### A proxy definíciója mikropaleontológiai példán keresztül

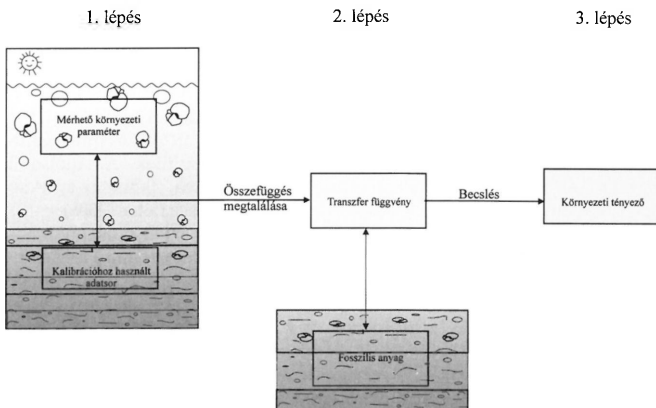
Az egyed, illetve az egész ökoszisztéma változik ha élőhelyükön változik a környezet. A fossziliákra régóta úgy tekintenek a kutatók, mint jelhordozókra, azaz kvalitatív információhordozókra a bezárt környezet fizikai, kémiai tulajdonságaira vonatkozóan. E környezeti paraméterek kvantitatív becslésére dolgozták ki a proxykat. A név az angol „proxy variable” kifejezésből ered, amely becsüli, megközelíti a valós értéket. A proxy fogalmát FISCHER & WEFER (1999) definiálták. A proxy valójában egy utasítás, vagy algoritmus amely megadja, hogy miként lehet a fosszilis anyag mérésével, vagy megfigyelésével nyert adatokból a múltbéli környezetet leíró változót képezni. A fosszilis anyagba zárt információ lehet a fosszília kémiai (pl. foraminifera vázban mért stabil oxigénizotóp összetétel), vagy fizikai tulajdonsága (pl. mérete, taxonok szerinti százalékos eloszlása, megtartási állapota). A fosszília méretbeli változásai foglalkozik a biometria, mennyiségével a „census data” (számlási adat), a megtartás változásaira a megőrződöttségi vagy töredezettségi index. A mennyiségre vonatkozó adat lehet az előfordulás regisztrálása (jelen van/nincs jelen), félkvantitatív, abszolút gyakorisági (pl.

darabszám fajonként), vagy relatív gyakorisági (pl. százalékos eloszlás fajonként) adatsor. Az ilyen közösséget számszerűleg leíró adat sorokat felhasználó proxykat szokták transzfer függvény (transfer function) névvel illetni (FISCHER & WEFER 1999).

$$C_{\text{él}} = f(p_{\text{proxy}})$$

ahol  $C$  a célként kitűzött változó,  $p$  a cél változót becsülő proxy

A mikropaleontológiában leggyakrabban transzfer függvényekkel találkozhatunk, hiszen az adatsor a mikrofossziliák kis mérete és nagy gyakorisága miatt általában kvantitatív. Leegyszerűsítve a cél egy statisztikai módszerrel megtalálni a matematikai összefüggést a mérendő változót szerintünk leíró, és az üledékben megőrződő proxy, illetve a jelenlegi tengerben mért paraméter között (1. ábra). Így a recens adatsoron mintegy kalibráljuk a proxyt és ezentúl a kalibráláshoz hasonló feltételek mellett bízhatunk meg a becsült értékben. Természetesen a földtörténet korábbi szakaszait tekintve egyes módszerek nem alkalmazhatók, mert a kalibráláshoz használt mai környezettől alapvetően különbözött a vizsgált múltbéli környezet. Talán éppen ezért is a módszer leginkább a holocén és a kvarter klímájának kutatásában a legelterjedtebb.



1. ábra. A környezeti paraméter rekonstrukciója érdekében végzett proxyfejlesztés lépései: 1. lépés a tengervízben mérhető paraméter (pl. a felszíni víz hőmérséklete SST) és az üledékben megőrződő információt hordozó adatbázis (pl. fauna %-os eloszlása) közti összefüggés megtalálása és matematikai leírása. 2. lépés az összefüggés, függvény vagy algoritmus alkalmazása a múltban pl. lefelé haladva egy fúrásban 3. lépés a kapott becsült értékek értelmezése a teljes környezeti rekonstrukció érdekében (az ábra KUCERA 2005 nyomán továbbfejlesztve)

Fig. 1 Developing a proxy to reconstruct environmental parameter (e.g. sea surface temperature SST)

## A hőmérsékletbecslő proxyk

### *Mikrofosszília közösségekre alapuló hőmérsékletbecslő proxyk*

Talán a legfontosabb becslőt paraméter, amely közvetlenül szükséges az éghajlatmodellekhez az óceán vizének felszíni hőmérséklete, az SST (sea surface temperature). Először a közösséget leíró fajonkénti egyedszámot összeszámoló jellegű „census data” adatokból történő hőmérsékletbecslést tárgyaljuk. Már a Challenger-expedíció (1872–1875) során megfigyelték, hogy az üledékben felhalmozódó plankton foraminifera közösségek összetétele függ a víz hőmérsékletétől amiben éltek. Eleinte csak a melegvízi, illetve hidegvízi fajok százalékos arányát tüntették fel, ahogy a fúrási rétegsorokat vizsgálva, lefelé haladva rekonstruálták a glaciálisokat. Később a legegyszerűbb közvetlen összefüggést leírva a plankton foraminifera fajok százalékos előfordulására és a tengervíz felszíni hőmérséklete között az alábbi proxyt alkották (BERGER 1971):

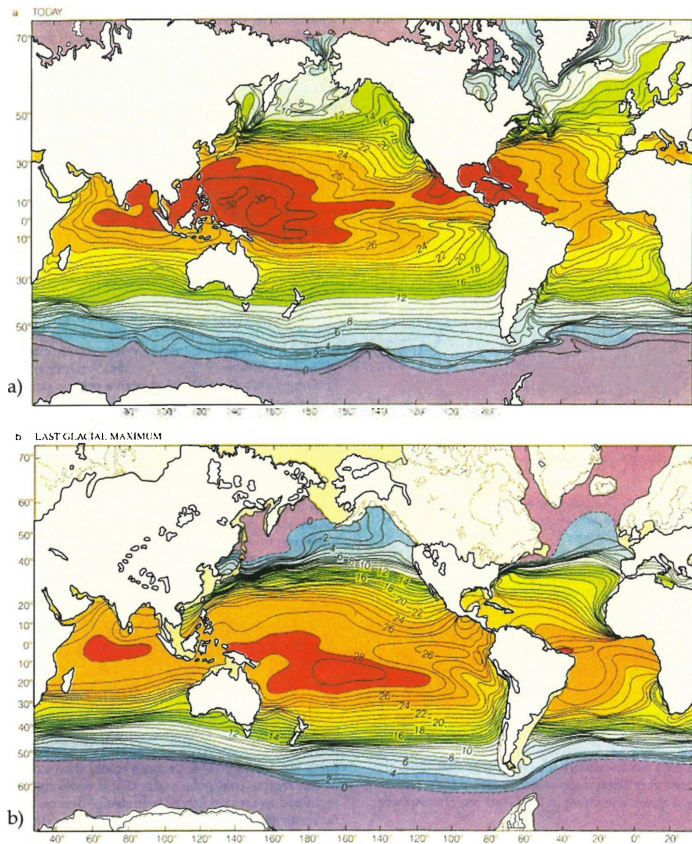
$$T_{\text{becsült}} = \Sigma (p_i \times T_i) / \Sigma (p_i)$$

ahol  $T_{\text{becsült}}$ : becslőt hőmérséklet,  $p_i$ :  $i$ -edik faj százalékos gyakorisága,  $T_i$ : az a hőmérséklet amelyen az  $i$ -edik faj a leggyakoribb

Ehhez hasonló százalékos plankton foraminifera adatbázison alapul a jól alkalmazhatónak bizonyult, sokváltozós statisztikát segítségül hívó transzfer függvény (IMBRIE & KIPP 1971). Így erre az összefüggésre épülhetett a leghíresebb úttörő kísérlet, amely az utolsó glaciális maximum (LGM Last Glacial Maximum, CLIMAP 1976) és interglaciális (CLIMAP 1984) idejére rekonstruálta az óceánok vizének felszíni hőmérsékletét, az SST-t. A 2. ábrán az IMBRIE & KIPP (1971) féle transzfer függvény alkalmazásával nyert LGM paleohőmérsékleti térkép látható a mai hőmérsékleteloszlással összevethetően (CLIMAP 1976). A híres CLIMAP projekthez hasonló programok azóta is többször készültek. Az utolsó ilyen program a MARGO, melynek eredményeit a KUCERA, SCHNEIDER, WEINELT szerkesztők munkája nyomán könyvben is kiadnak (KUCERA et al. 2006).

Manapság a plankton foraminifera közösségek összetételén alapuló felszíni tengervíz hőmérséklet SST becslésre már nem az elavultnak számító IMBRIE & KIPP (1971) módszert szokás alkalmazni. A recens analógiákon alapuló eljárás, a modern analóg technika (MAT Modern Analogue Technique) egyre nagyobb tért hódít (HUTSON 1980, PRELL 1985). A foraminifera közösségek jelenleg élő legközelebbi rokon taxonok környezeti igényeit figyelembe véve becslnek paleohőmérsékletet, vagy elvileg akármilyen más környezeti paramétert. Gyakori alkalmazási területe a paleobotanika. Ennek az alapötletnek a tovább fejlesztései a SIMMAX (PFLAUMANN et al. 1996), a RAM (Revised Analog Method) amelyet WÄELBROECK et al. (1998) nevéhez köthetünk, illetve az ANN (Artificial Neural Network, MALMGREN & NORDLUND 1997, MALMGREN et al. 2001, PEYRON & DE VERNAL 2001).

A klasszikusnak számító plankton foraminiferákon alapuló proxykon kívül más rendszertani csoportokra is dolgoztak ki, és alkalmaznak transzfer függvényeket. Radioláriákra ABELMANN et al. (1999), CORTESE & ABELMANN (2002), és CORTESE et al. (2005) hozható példának, avagy dinoflagellátákra SANGIORGI et al. (2002).



2 ábra. Leghíresebb példa a plankton foraminiférák százalékos gyakoriságán alapuló transzfer függvény alkalmazására (a „CLIMAP” projekt). Az IMBRIE & KIPP-féle (1971) transzfer függvény alkalmazásával nyert LGM paleohőmérsékleti térkép a mai hőmérséklet eloszlással összevetően a). A mai óceánok augusztusi felszíni hőmérséklete (Sea Surface Temperature SST, °C) b) Rekonstruált augusztusi felszíni hőmérséklet (SST) a 18 ezer évvel ezelőtti az utolsó glaciális maximum (LGM) idején. (CLIMAP project Members, 1976 után átdolgozva)

Fig. 2 The most famous application a transfer function is the CLIMAP Project. The IMBRIE & KIPP (1971) transfer function was used to reconstruct the SST of the LGM in respect to present day temperature distribution. a) Modern sea-surface temperature °C during August, b) Reconstructed August SST during the last glacial maximum (LGM), about 18 000 years ago (Source: Modified after the CLIMAP Project Members 1976)

Néhány a mikrofossziliák vázának kémiai tulajdonságaira alapuló hőmérsékletbecslő proxy

Oxigén izotóp  $\delta^{18}\text{O}$  módszer

A fosszília közösségek vizsgálatára épülő becsléseket más független módszerrel is érdemes alátámasztani. A fosszilis váz kémiai tulajdonságához kapcsolódóan más hőmérsékleti proxyk hívhatók segítségül. Ilyen például az oxigén két stabilizotópjának arányára ( $\delta^{18}\text{O}$ ) kidolgozott képlet alkalmazása a hőmérséklet becslésre.

$$(\delta^{18}\text{O})_{\text{sample}} = \{(R_{\text{sample}}/R_{\text{standard}})-1\} \times 1000$$

ahol  $R = {}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O}$ ,  $R$ : az  ${}^{18}\text{O}$  aránya az  ${}^{16}\text{O}$ -hoz képest ezrelékben megadva

A laboratóriumi kísérletek alapján a következő empirikus összefüggés írható le a hőmérséklet és az izotóparány közötti viszonyra (EPSTEIN et al. 1953):

$$T (^{\circ}\text{C}) = 16,5 - 4,3 (\delta^{18}\text{O}_{\text{sample}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{water}}) + 0,14 (\delta^{18}\text{O}_{\text{sample}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{water}})^2$$

A képlet alapvetően ma is helytálló, de állandóinak értékét többször módosították. A tengervíz hőmérséklete és az izotóparány közt megfigyelt összefüggés azzal magyarázható, hogy az eljegesedések idején a könnyebb izotóp mintegy kifagy a vízből a nehezebbik izotóp ( ${}^{18}\text{O}$ ) dúsulását idézve elő a visszamaradó tengervízben. Habár ez az egyik legfontosabb módszer a hőmérséklet és a szalinitás becslésében, itt most nem tárgyalnám részletesen. A módszer annyiban kapcsolódik a mikrofossziliákhoz, hogy a foraminiferák vázában őrződik meg legjobban a bezáró tengervízre vonatkozó információ, így ez a legelterjedtebb módszer. A felszíni tengervíz hőmérséklet (SST) becslésére egy egy plankton foraminifera faj legjobb megtartású példányainak vázát szokás használni, illetve a mélyvízre nézve egy egy bentosz foraminifera faj vagy néha mélytengeri korall példányain mérnek (GUILDERSON et al. 1994).

Alkenon  $U_{37}^K$  módszer

Egy másik óceán felszíni víz hőmérséklet (SST) becslésre használt módszer a kvarterben az alkenonokon alapul (BRASSEL et al. 1986). Ezek a kétszer vagy háromszor telítetlen ketonok, melyeket  $C_{37:2}$  illetve  $C_{37:3}$  szokás jelölni. Ezt a két telítetlen összetevőt autotróf Haptophyta (sárga) algák termelik a környező víz hőmérsékletének megfelelő arányban. Így laboratóriumi körülmények közt bizonyítást nyert, hogy az  $U_{37}^K = C_{37:2}/(C_{37:2} + C_{37:3})$  telítetlenségi index és az *Emiliana huxleyi* -nak otthont adó víz hőmérséklete közt egyenes arányosság van (PRAHL & WAKEHAM 1987, PRAHL et al. 1988):

$$U_{37}^K = 0,034(T) + 0,039$$

Ezen összefüggés újabb változata part közeli környezetben mérve MERCER et al. (2005):

$$U_{37}^K = 0,013(T) + 0,04$$

Az *Emiliana huxleyi* a Haptophyta törzsbe tartozik, lemezkéire utalva röviden "coccolith faj"-ként emlegetik (a felső vízrétegben élő sárga alga), mely időszakos felvirágzások idején nagyszámban fordul elő a mai óceánokban. Egy másik coccolith faj melynek neve gyakran felmerül mint alkenon termelő a *Gephyrocapsa oceanica*. Mivel laboratóriumi környezetben tenyészthetők ezek az algák, ezért egyre többet tudunk az alkenon termelésükről (YAMAMOTO et al. 2000). Mivel alkenont csak haptofiták termelnek, melyek elterjedtek minden óceánban, alkenonjuk nagy koncentrációban fordul elő a tengeri üledékekben, illetve ez az anyag a korai diagenézisre meglehetősen rezisztens, így alapjában véve jó SST proxyknak bizonyult (SIKES et al. 1991, GRIMALT et al. 2001, VILLANUEVA et al. 2002).

Egyes elemek (pl. a Sr/Ca illetve a Mg/Ca) arányán alapuló hőmérséklet becslő proxyk is léteznek (BARKER et al. 2005, KONDO et al. 2005), melyek alkalmazása nem annyira elterjedt a klímamodellekkel összefüggő kvarter, illetve holocén klímakutatásban, mint a fent bemutatott módszerek.

### A tengervíz-hőmérséklet becslésére szolgáló proxyk a Paratethysben

A legfiatalabb üledékek, melyekben óceánokra kifejlesztett paleohőmérséklet-becslő proxykat alkalmazhatunk térségünkben, a középső-miocén Paratethys üledékei. Az alábbi néhány példa felvillantja, hogy milyen proxykat alkalmaztak e beltenger paleohőmérsékletének rekonstruálására, és jelzi az alkalmazás során felmerülő problémákat. Plankton foraminifera fajok százalékos gyakorisága alapján végzett klímarekonstrukciót BICCHI et al. (2003) a Paratethys középső-miocén faunáján a mediterrán anyaggal összehasonlítva. Az oxigénizotópon alapuló hőmérsékletbecslést többen alkalmazták a Paratethysben. Az izotópos mérési eredményeik alapján paleohőmérséklet-becslő képlettel számolva (ÉREZ & LUZ 1983, MOORE et al. 1981) behelyettesítve értelmezték a késő-badeni negatív értékeket a globális középső-miocén lehűléssel összefüggésben (GONERA et al. 2000). Paleohőmérséklet-becslést végzett EPSTEIN et al. (1953) képlete alapján (ŠUTOVSKA & KANTOR 1992) a kárpátiban. A miocén évszakos hőmérséklet változás rekonstruálására alkalmazták az oxigénizotóp proxyt középső-miocén kagylók és brachiopodák növedék vonalaiban mérve BOJAR et al. (2004). A Paratethys hőmérsékletének és szalinitásának transzfer függvények segítségével végzett rekonstruálására jó példa a miocénben JANZ & VENNEMANN (2005) munkája. E két szerző ostracoda vázban mérte a stabil izotópos (pl.  $\delta^{18}\text{O}$ ) illetve nyomelem arányokat (Sr/Ca és Mg/Ca) és ezen alapulnak megállapításaik. A  $\delta^{18}\text{O}$  módszert gyakran használják szalinitás becslésre is, habár ez a paleohőmérséklet becslésnél bizonytalanabb módszer (ROHLING & BIGGS 1998).

Hazánkban a legfiatalabb tengeri üledékek a Paratethysben rakódtak le, amely a világóceántól lefüződött, ám azzal többnyire kapcsolatot tartó beltenger volt. Globális paleohőmérséklet becslésére legalkalmasabbak a világóceánban lerakódott üledékek, melyekhez a mai óceánok aljzatát magfúrva jutunk hozzá. (DSDP, ODP). Saját munkámban a középső-miocén badeniben (BÁLDI 2006) óvatosan jártam el és nem alkalmaztam proxyt a  $\delta^{18}\text{O}$  stabilizotópos mérések közvetlenül hőmérsékletként (vagy szalinitásként) való kifejtésére. Azonban ugyanezen izotópos görbék relatív változása bentosz foraminiferákban mérve a fenékvíztől, illetve a plankton-

ban mérve a felszíni vízről sokat árult el a Középső-Paratethys vízoszlopának rétegzettségéről, trofikus viszonyairól, áramlási rendszeréről (BÁLDI 2006). A pannóniában még több fenntartásunk lehet hőmérséklet becslő proxykkal kapcsolatban, mint a badeniben a világtengertől való elzárttsággal kapcsolatban (MÁTYÁS et al. 1996). Az eocénben sem alkalmaztak hőmérséklet proxyt KOLLÁNYI et al. (1997) munkájában, hanem a stabil izotópos görbékét a paleohőmérséklet tükrében értékelték ki.

### Köszönetnyilvánítás

Munkámat az OTKA D 042191 számú posztdoktori ösztöndíja támogatja. Köszönöm továbbá a meghívást a PROPER II, III, IV paleoklíma kurzusokra Barcelonába, Southamptonba és Pozsonyba az EU finanszírozásával. Hálás vagyok továbbá az ELTE TTK Általános és Történeti Földtani Tanszékén meghirdetett Tengertudomány választható speciális kollégiumom mindenkori hallgatóinak a jó kérdéseikért. Köszönöm a két felkért lektor Dr. MINDSZENTY Andrea és Dr. HAAS János munkáját.

### Irodalom – References

- ABELMANN, A., BRATHAUER, U., GERSONDE, R., SIEGER, R. & ZIELINSKI, U. 1999: Radiolarian-based transfer function for the estimation of sea surface temperatures in the Southern Ocean (Atlantic sector). – *Paleoceanography* **14**, 410–421.
- BÁLDI, K. 2006: Paleocyanography and climate of the Badenian Central Paratethys (Middle Miocene 16.4–13.0 Ma) based on foraminifera and stable isotope evidence. – *International Journal of Earth Sciences/Geologische Rundschau* **95**, 119–145.
- BARKER, S., CACHO, I. BENWAY, H. & TACHIKAWA, K. 2005: Planktonic foraminiferal Mg/Ca as a proxy for past oceanic temperatures: a methodological overview and data compilation for the Last Glacial Maximum. – *Quaternary Science Reviews* **24**/7–9, 821–834.
- BERGER, W., H. 1971: Sedimentation of planktonic foraminifera. – *Marine Geology* **11**, 325–358.
- BICCHI, E., FERRERO, E. & GONERA, M. 2003: Paleoclimatic interpretation based on Middle Miocene planktonic Foraminifera: the Silesia Basin (Paratethys) and Monteferrato (Iethys) records. – *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **196**/3–4, 265–303.
- BINTANJA, R., VAN DE WAL, R. S. W. & OERLEMANS, J. 2005: Modelled atmospheric temperatures and global sea levels over the past million years. – *Nature* **437**, 125–128.
- BOJAR, A. V., HIDDEN, H., FENNINGER, A. & NEUBAUER, F. 2004: Middle Miocene seasonal temperature changes in the Styrian basin, Austria, as recorded by the isotopic composition of pectinid and brachiopod shells. – *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **203**, 95–105.
- BRASSEL, S. C., EGLINTON, G. MARLOWE, I. T., PFLAUMANN, U. & SARNTHEIN M. 1986: Molecular stratigraphy: A new tool for climatic assessment. – *Nature* **320**, 129–133.
- CLIMAP Project Members 1976: The surface of the ice-age Earth. – *Science* **191**, 1131–1137.
- CLIMAP Project Members 1984: The last interglacial ocean. – *Quat. Res.* **21**, 123–224.
- CORTESE, G. & ABELMANN, A. 2002: Radiolarian-based paleotemperatures during the last 160 kyr at ODP Site 1089 (Southern Ocean, Atlantic Sector). – *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **182**/3–4, 259–286.
- CORTESE, G., DOLVEN, J. K., BJØRKLUND, K. R. & MALMGREN, B. A. 2005: Late Pleistocene–Holocene radiolarian paleotemperatures in the Norwegian Sea based on artificial neural networks. – *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **224**/4, 311–332.
- D'ANDREA, W. J. & HUANG, Y. 2005: Long chain alkenones in Greenland lake sediments: Low  $\delta^{13}\text{C}$  values and exceptional abundance. – *Organic Geochemistry* **36**/9, 1234–1241.



- EPSTEIN, S., BUCHSBAUM, R., LOWENSTAM, H. A. & UREY, H. C. 1953: Revised carbonate-water isotopic temperature scale. – *Bull. Geol. Soc. Am.* **62**, 417–426.
- EREZ, J. & LUZ, B. 1983: Experimental paleotemperature equation for planktonic foraminifera. – *Geochim. Cosmochim. Acta* **47**, 1025–1031.
- FISCHER, G. & WEFER, G. (eds) 1999: Use of Proxies in Paleoceanography: Examples from the South Atlantic. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 736 p. (def. proxy ld 5. oldal).
- GONERA, M., PERYT, T. M. & DURAKIEWICZ, T. 2000: Biostratigraphical and paleoenvironmental implications of isotopic studies ( $^{18}\text{O}$ ,  $^{13}\text{C}$ ) of Middle Miocene (Badenian) foraminifers in the Central Paratethys. – *Terra Nova* **12**, 231–238.
- GRIMALT, J. O., CALVO, E. & PELEJERO, C. 2001: Sea surface paleotemperature errors in Uk37 estimation due to alkenone measurements near limit of detection. – *Paleoceanography* **16**(2), 226–232.
- GUILDERSON, T. P., FAIRBANKS R. G., RUBENSTONE J. L. 1994: Tropical temperature-variations since 20,000 years ago – Modulating interhemispheric climate-change. – *Science* **263** (5147): 663–665.
- HUTSON, W. H. 1980: The Agulhas current during the late Pleistocene: Analysis of modern faunal analogs. – *Science* **207**, 64–66.
- IMBRIE, J. & KIPP, N. G. 1971: A new micropaleontological method for quantitative paleoclimatology: Application to a late Pleistocene Caribbean core, in *The Late Cenozoic Glacial Ages.* – edited by K.K. Turekian, 71–181, Yale Univ. Press, New Haven.
- JANZ, H. & VENNEMANN, T. W. 2005: Isotopic composition (O, C, Sr, and Nd) and trace element ratios (Sr/Ca, Mg/ Ca) of Miocene marine and brackish ostracods from North Alpine Foreland deposits (Germany and Austria) as indicators for palaeoclimate. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **225**, 216–247.
- KOLLÁNYI K., VETŐ I. & HERTELENDI E. 1997: Változások a bakonyi eocén tengerben foraminiferák izotóp összetétele tükrében. – *Földtani Közlöny* **127**(1–2), 111–126.
- KONDO, H., TOYOFUKU, T. & IKEYA, N. 2005: Mg/Ca ratios in the shells of cultured specimens and natural populations of the marine ostracode *Xestoleberis hanaii* (Crustacea). – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **225**(1–4), 3–13.
- KUCERA, M. 2005: Numerical approach to microfossil proxy data. – *Lecture notes updated April 2005 for PROPER*, 1–23.
- KUCERA, M., SCHNEIDER, R. & WEINELT, M. 2006: Margo — multiproxy approach for the reconstruction of the glacial ocean surface. Elsevier, 306 p.
- KNUTT, R., FLÜCKIGER, J., STOCKER, T. F. & TIMMERMANN, A. 2004: Strong hemispheric coupling of glacial climate through freshwater discharge and ocean circulation. – *Nature* **430**(19), 851–856.
- MALMGREN, B. A. & NORDLUND, U. 1997: Application of artificial neural networks to paleoceanographic data. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **136**, 359–373.
- MALMGREN, B. A., KUCERA, M., NYBERG, J. & WAELEBROECK, C. 2001: Comparison of statistical and artificial neural network techniques for estimating past sea-surface temperatures from planktonic foraminifer census data. – *Paleoceanography* **16**(5), 520–530.
- MÁTYÁS, J., BURNS, S. J., MÜLLER, P. & MAGYAR, I. 1996: What isotopes can say about salinity? an example from the Late Miocene Pannonian Lake. – *Palaos* **5**, 31–39.
- MOORE, T. C., PISIAS, N. G. & KEIGWIN, I. D. 1981: Ocean basin and depth variability of oxygen isotopes in Cenozoic benthic foraminifera. – *Marine Micropaleontology* **6**, 465–481.
- MERCER, J. L., ZHAO, M. & COLMAN, S. M. 2005: Seasonal variations of alkenones and UK37 in the Chesapeake Bay water column. – *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **63**(4), 675–682.
- PAUL, A. & SCHÄFER-NETH, C. 2003: Modeling the water masses of the Atlantic Ocean at the Last Glacial Maximum. – *Paleoceanography* **18**(3), 10–58.
- PAUL, A. & SCHÄFER-NETH, C. 2005: How to combine sparse proxy data and coupled climate models. – *Quaternary Science Reviews* **24**, 1095–1107.
- PEYRON, O. & DE VERNAL, A. 2001: Application of artificial neural networks (ANN) to high-latitude dinocyst assemblages for the reconstruction of past sea-surface conditions in Arctic and sub-Arctic seas. – *J. Quaternary Science* **16**, 699–709.
- PFLAUMANN, U., DUPRAT, J. PUJOL, C. & LABEYRIE, L. SIMMAX 1996: A modern analog technique to deduce Atlantic sea surface temperatures from planktonic foraminifera in deep-sea sediments. – *Paleoceanography* **11**, 15–35.
- PRAHL, F. G. & WAKEHAM, S. G. 1987: Calibration of unsaturation patterns in long-chain ketone compositions for paleotemperature assessments. – *Nature* **330**, 367–369.

- PRAHL, F. G., MUELHAUSEN, L. A. & ZAHNLE, D. L. 1988: Further evaluation of long-chain alkenones as indicators of paleo-oceanographic conditions. – *Geochim. Cosmochim. Acta* **52**, 2303–2310.
- PRELL, W. L. 1985: The stability of low-latitude sea-surface temperatures: An evaluation of the CLIMAP reconstruction with emphasis on the positive SST anomalies. – Rep. TR025, U.S. Dept. of Energy, Washington, D.C.
- ROHLING, E. J. & BIGG, G. R. 1998: Paleosalinity and  $\delta^{18}\text{O}$ : A critical assessment. – *Journal of Geophysical Research* **103**, C1, 1307–1318.
- SANGIORNI, F., CAPOTONDI, L. & BRINKHUIS, H. 2002: A centennial scale organic-walled dinoflagellate cyst record of the last deglaciation in the South Adriatic Sea (Central Mediterranean). – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **186/3–4**, 199–216.
- SIKES, E. L., FARRINGTON, J. W. & KEIGWIN, L. D. 1991: Use of the alkenone unsaturation ratio Uk37 to determine past sea surface temperatures: Core-top SST calibrations and methodology considerations. – *Earth Planet. Sci. Lett.* **104**, 36–47.
- ŠUTOVSKA, K. & KANTOR, J. 1992: Oxygen and carbon isotopic analyses of Karpatian foraminifera from LKŠ-1 borehole (Southern Slovakian Basin). – *Mineralia slovakica* **24**, 209–218.
- TRIENDL, R. 2002: Computer modelling: Our virtual planet. Japan's Earth Simulator supercomputer could provide the most accurate models yet of the planet's climate and geophysics — but there are obstacles to realizing that potential. Report. – *Nature* **416**, 579–580, doi: 10.1038/416579a.
- VILLANUEVA, J., FLORES, J. A. & GRIMALT, J. O. 2002: A detailed comparison of the Uk'37 and coccolith records over the past 290 kyears: implications to the alkenone paleotemperature method. – *Organic Geochemistry* **33/8**, 897–905.
- WAELEBROECK, C., LABEYRIE, L., DUPLESSY, J.-C., GUIOT, J., LABRACHERIE, M., LECLAIRE, H. & DUPRAT, J. 1998: Improving past sea surface temperature estimates based on planktonic fossil faunas. – *Paleoceanography* **13**, 272–283.
- YAMAMOTO, M., SHIRAIWA, Y. & INOUE, I. 2000: Physiological responses of lipids in *Emiliania huxleyi* and *Gephyrocapsa oceanica* (Haptophyceae) to growth status and their implications for alkenone paleothermometry. – *Organic Geochemistry* **31/9**, 799–811.

Kézirat beérkezett: 2005. 12. 21.

Végjegyzet: Megjegyzés a „proxy” kifejezés magyar nyelven történő használatához. A „proxy” szónak nincs magyar megfelelője, ezért magyarul csak körülírással adható meg a fogalom tartalma. Mivel a szakemberek számára a „proxy” kifejezés jól érthető, rövid, ezért a szaknyelvi használata kívánatos. A kifejezés azonban a globális klímaváltozás kapcsán az ismeretterjesztésben is felmerülhet, ahol magam is szükségesnek tartom a magyar, közérthető kifejezés használatát. Dr. Haas János építő bírálatából merítve: a „proxy” kifejezés a következő fordulatokkal írható körül: „közelítő módszer”, „becslési módszer”, másutt viszont a „közvetekben mérhető paraméterek” a legmegfelelőbb fordítás. Kíváncsian várom a további fordítási javaslatokat.

Báldi Katalin