

# Kora pleisztocén (MIS 42-45) bentosz foraminifera együttesek a dél-portugál partvidékről (Cádizi-öböl)

## Benthic foraminifera assemblages on the southern Portuguese margin during early Pleistocene Marine Isotope Stages 42-45

KICSI Anna<sup>1,3</sup>, Dr. VOELKER Antje<sup>1,2</sup>, MOLINA Giulia<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), Divisão de Geologia e Georecursos Marinhos, Av. Doutor Alfredo Magalhães Ramalho 6, 1495-165 Alges, Portugália

<sup>2</sup>CCMAR Associated Laboratory, University of the Algarve, Campus de Gambelas, Faro 8005-139, Portugália

<sup>3</sup>Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, Pázmány Péter sétány 1/C 1117 Budapest, Magyarország, annakicsi@yahoo.com

### Abstract

*Although climate variability during the Pleistocene is well-constrained, less is known about the climate dynamics and their impact on benthic foraminiferal assemblages prior to the Middle Pleistocene Transition known as the '41 kyr world'. Therefore, benthic foraminiferal assemblages, sensitive to variations in factors such as organic matter fluxes, pore water oxygenation and bottom water conditions as well as variations in Mediterranean Outflow Water (MOW), were studied from IODP Site U1387 (Gulf of Cadiz) covering Early Pleistocene glacial/interglacial cycles of Marine Isotope Stage (MIS) 42 to late MIS 45 (1.33–1.39 Ma).*

**Keywords:** Portuguese Margin, benthic foraminifera, MOW, early Pleistocene

**Kulcsszavak:** Déli portugál perem, bentosz foraminifera, MOW, kora pleisztocén

## 1. BEVEZETÉS

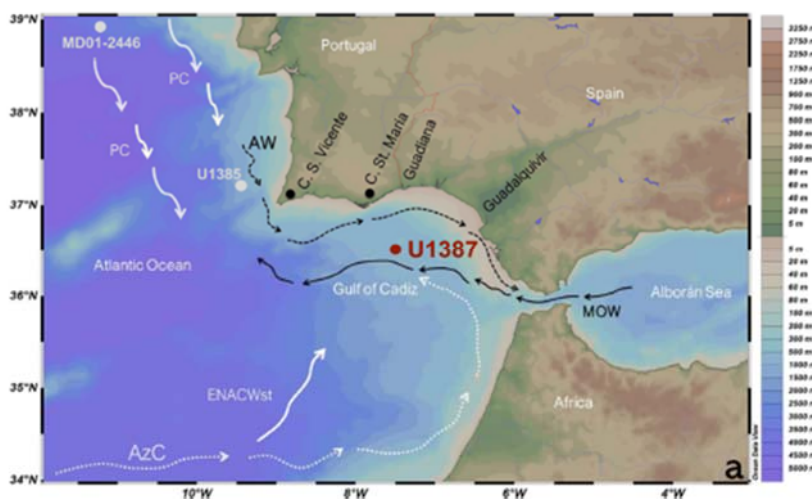
A pleisztocén jól ismert a glaciális és interglaciális ciklusok egymásutánjáról, amelyeket elsősorban a Föld orbitális paramétereinek változása okozott. Míg a késő és középső pleisztocén ciklikusságát elsősorban az excentricitás befolyásolja, ami ~100.000 éves gyakorisággal jelentkező ciklusokat eredményez, addig a kora pleisztocén glaciális-interglaciális ciklusai 41000 éves gyakorisággal jelentkeznek [7], így elsősorban a tengelyferdeségre reagálnak. A pleisztocén korszakban az éghajlati változékonyság és a glaciális ciklusok jól tanulmányozott jelenségek, azonban a „41 ezer éves világ” néven ismert középső pleisztocén átmenetet megelőző éghajlati dinamikáról és annak a bentosz foraminifera-együttesekre gyakorolt hatásáról kevesebbet tudunk.

A bentosz foraminifera-együttesek érzékenyek az olyan tényezők változásaira, mint a nutriens áramlás, a pórsvíz oxigénellátottsága és a fenékvízi viszonyok, valamint a Földközi-tengeri kiáramló áramlat (Mediterranean Outflow Water – MOW) változásai [2] ezért tanulmányoztuk az IODP U1387 fűrómagot (36°48.321'N 7°43,1321'W), amelyet az IODP 339. expedíciója során a déli portugál peremen (Cádizi-öböl) a Faro Driftben fúrtak 559 m vízmélységben, hogy megvizsgáljuk a kora pleisztocén glaciális/interglaciális ciklusokat a 42-es MIS (Marine Isotope Stage) és a 45-ös MIS közötti időszakban (1,33-1,39 Ma). A bentosz együttesek adatain kívül felhasználtuk a *Cibicides pachyderma* és *Planulina ariminensis* fajok vázaiból származó  $\delta^{18}\text{O}$  és  $\delta^{13}\text{C}$  epibentosz stabilizotópos adatokat, a június 21-i 65°É-nél mért inszolációt [5], a szerves szén és homok tömegszázalékát (wt%), valamint a szapporpél és vörösrétegeket a Földközi-tengerből [1].

## 2. REGIONÁLIS OCEANOGRÁFIAI VISZONYOK

A Portugália déli pereménél fekvő Cádizi-öböl olyan régió, amelyet az észak-atlanti cirkuláció által befolyásolt összetett hidrográfiai dinamika jellemez. Az U1387-es IODP fúrás, amely a Faro Driftben, 559 méteres vízmélységben található, betekintést nyújt a terület lerakódási történetébe.

A Cádizi-öbölbe mind az Azori-áramlat (Azores Current - AzC) szubtrópusi sós vize, mind a Portugál-áramlat hidegebb vize (Portugal Current - PC) beáramlik, melyek a Golf-áramlat/Észak-atlanti drift ágai. A Földközi-tengerből származó meleg, sós víz, különösen a Földközi-tengeri áramlat (MOW, 500-1400 m) cseréje a Gibraltári-szoroson keresztül tovább alakítja az óceáni cirkulációt. Az Atlanti-óceánból érkező különböző víztömegek, köztük az Észak-Atlanti felszíni áramlat (North Atlantic Surface Water-NASW, 0-100 m), az Észak-Atlanti középső áramlat (North Atlantic Central Water-NACW, 100-600 m), az Antarktisi középső áramlat (Antarctic Intermediate Water-AAIW, 600-1500 m) és az Észak-atlanti mélytengeri víztömeg (North Atlantic Deep Water-NADW, 1500 m alatt) kölcsönhatásba lépnek a Földközi-tenger vizével [10], [11].



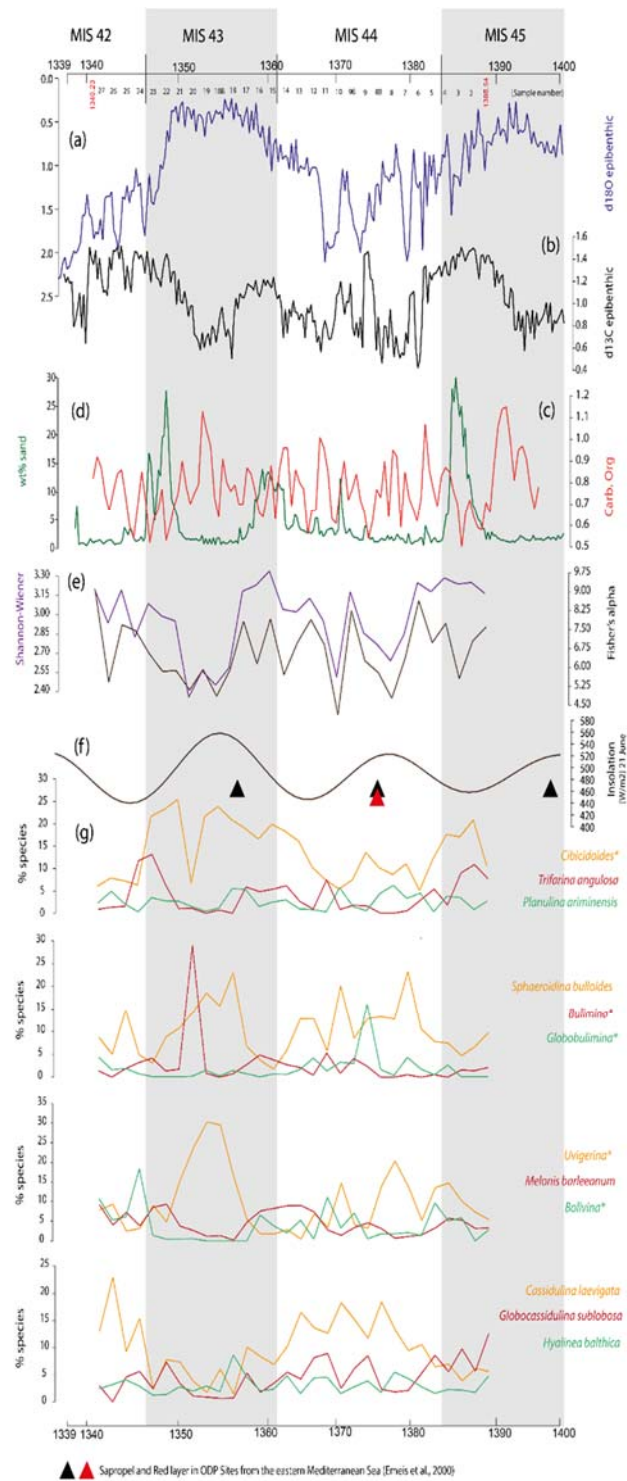
1. ábra

A Cádizi öböl térképe az U1387-es IODP fúrás pontos helyével és a terület fő tengeri áramlataival. AzC: Azori-szigeteki áramlat (Azores Current); PC: Portugál-áramlat (Portugal Current); AW: Atlanti-óceáni áramlat (Atlantic Water); MOW: Földközi-tengeri áramlat (Mediterranean Outflow Water); ENACWst (Eastern North Atlantic Central Water): Kelet-Észak-Atlanti központi áramlat (szubtrópusi). A szaggatott vonalak a felszíni vizeket, míg a folytonos vonalak a mélyebb vizeket jelzik [10].

## 3. ANYAG ÉS MÓDSZEREK

Az U1387-es fúrást (36°48.321'N 7°43.1321'W) 558 m vízmélységben, a Faro Drift középső lejtőjén mélyítették. Az IODP 339 expedíció célja az volt, hogy az elmúlt 5,3 millió évet felölelő teljes üledéksorozatot feltárja, amely a Földközi-tengeri áramlat (MOW) hatása alatt rakódott le, amelynek intenzitása ingadozott a Gibraltári-szoros megnyitása óta, a messinai sókrízis után. Az U1387-es fúrást (870 m hosszú) négy litológiai egységre (I-IV) osztották. A vizsgált intervallum az I. egységbe [9] tartozik, amelyet a pleisztocén-holocén során folyamatos üledéklerakódás jellemez. A vizsgált üledékek a 410,62 és 385,14 c-mcd (korrigált méter kompozit mélység) közötti intervallumot fedik le, amely az U1387A-35X, -36X magokból, az U1387C-5R magból és az U1387B-34X, -35X magból származó mintákat foglalja magába.

Összesen 30 mintát elemeztünk az U1387-es IODP fúrásból, az eredetileg 27 mintára tervezett kutatást három további mintával egészítettük ki a nagyobb felbontás érdekében. A minták iszapolási maradékát két méret frakcióra (>250 µm és >125 µm) választottuk szét, és őket annyiszor feleztük, ahányszor szükséges volt: >250 µm esetén többnyire 1/4, >125 µm esetén 1/16. A bentosz foraminifera-együtteseket ebben a két frakció méretben szedtük ki, megszámlálva frakcióként kb. 150 példányt. Az azonosított fajokat külön számoltuk.



2. ábra

Fentről lefelé: (a) U1387-es fúrás  $\delta^{18}\text{O}$  epibentosz rekord; (b) U1387-es fúrás  $\delta^{13}\text{C}$  epibentosz rekord; (c) szerves szén görbe; (d) homok frakció tömegszázaléka (wt%); (e) Shannon-Wiener és Fisher alfa diverzitási indexek a teljes adathalmazra számolva; (f) június 21-i inszoláció [W/m<sup>2</sup>] 65°É [5], összehasonlítva a Földközi-tenger keleti részéről származó ODP-fúrások szapropél- és vörösrétegeivel [1]; g) a leggyakoribb bentosz foraminifera fajok relatív abundancia adatai százalékban kifejezve; az *Uvigerina*\* az *U. celtica*, *U. canariensis*, *U. peregrina* és *U. mediterranea* fajok relatív abundanciáját jelenti együttesen; *Bolivina*\* = *B. dilatata*, *B. difformis*, *B. pseudoplicata*, *B. variabilis* és *Bolivina* spp.; *Bulimina*\* = *B. striata mexicana* és *B. aculeata*; *Globobulimina*\* = *G. turgida* és *G. affinis*; *Cibicides*\* = *C. lobatulus*, *C. mollis*, *C. sp. aff. pseudoungerianus*, *C. refulgens*, *C. pachyderma*, *C. wuellerstorfi*. A világosszürke intervallumok az interglaciális időszakokat jelzik.

Az Excel táblázatba bevitt adatokon relatív abundanciát és diverzitási indexeket számoltunk, majd le-választottuk az 1%-os relatív gyakoriságot meghaladó gyakori fajokat a teljes adatsorról és kombináltuk az azonos nemzetségbe tartozó gyakori fajokat. A bentosz foraminiferák oxigén indexét (EBFOI) és az oldott oxigén tartalmat az azonosított fajok relatív abundanciája alapján számoltuk ki [4],[8]. Az így nyert származtatott adatokat együtt elemeztük a *Cibicides pachyderma* és *Planulina ariminensis* fajokból származó epi-bentosz oxigén- és szén stabilizotóp adatokkal, a június 21-i, 65° É-on mért inszoláció-adatokkal, a szerves szén és a homok tömegszázalékával (wt%) együtt.

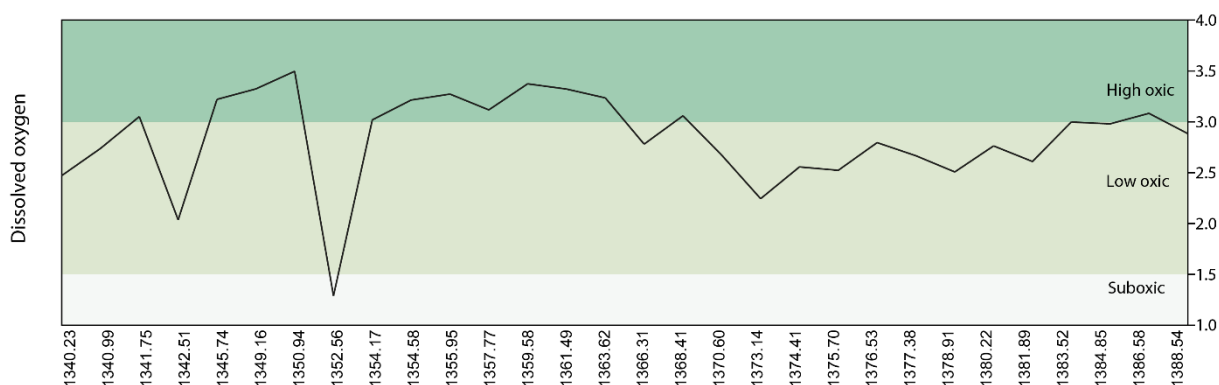
#### 4. EREDMÉNYEK ÉS DISZKUSSZIÓ

Összesen 142875 darab bentosz foraminifera vázat számoltunk meg, melyek 123 különböző fajba sorolhatók. Ezek közülük csak 26 faj gyakori (>1% relatív abundancia), a leggyakoribb fajok a *Sphaeroidina bulloides*, *Cassidulina laevigata*, *Uvigerina celtica*, *Cibicides pachyderma* és *Globocassidulina subglobosa* (a relatív abundanciájuk 10,49 - 4,60% között változott).

A Shannon-Wiener-diverzitás értékei 2,3-3,4 között változnak, átlagosan 3,07 értékkel. A Fisher-alfa kicsit nagyobb változatosságot mutat, értékei 4,06 - 10,2 között mozognak, átlagosan 7,35 értékkel. Az általános diverzitás (Shannon-Wiener és Fisher-alfa) jól korrelál a  $\delta^{18}\text{O}$  izotóp görbével, így a hőmérséklet-változásokkal. A diverzitásban három jelentős visszaesés tapasztalható, és mindhárom a  $\delta^{18}\text{O}$  hirtelen változásával magyarázható, a MIS 44-ben (~1368 ka és 1374 ka-nál) és a MIS 43-ban (1353-56 ka) (2. ábra). A diverzitás csökkenése a MIS 43-ban egybeesik az együttesek összetételbeli változásaival, különösen a *Bulimina mexicana striata*, az *Uvigerina celtica* és a *Sphaeroidina bulloides* kiugróan magas gyakoriságával (és dominanciájával). Ugyanakkor ezzel egyidőben a *Cibicides* spp., a *Cassidulinoides laevigata*, a *Melonis barleaaum* és a *Globocassidulina subglobosa* abundanciája csökkent. Ezek a faunaváltozások egybeestek a  $\delta^{13}\text{C}$  értékek 0,68%-os csökkenésével és a  $\delta^{18}\text{O}$  értékek 0,22%-os növekedésével. Egy másik változás a  $\delta^{13}\text{C}$  értékekben, a 0,61%-os növekedés 1375 ka-nál (MIS 44) a *Globobulimina* spp. nagy gyakoriság csúcsával esik egybe.

A *Cibicides* gyakoriságeloszlása jól korrelál a homok méretű frakció súlyszázalékával (wt% homok), ami valószínűleg erősebb áramlási aktivitást jelez a tengerfenéken, amit a *Trifarina angulosa* gyakorisága is alátámaszt, egy olyan fajé, amely szintén az erős áramlásokat kedveli, és a MOW sebességének indikátora lehet a vizsgálati területen.

A *Globobulimina*\*, *Bulimina*\* és *Sphaeroidina bulloides* gyakorisága általában az oxigénkoncentrációra reagál, és a *Sphaeroidina bulloides* relatív abundanciája jól korrelál a  $\delta^{18}\text{O}$  izotóp adatokkal. Úgy tűnik, hogy a *Cassidulina laevigata* a hőmérséklet-változásokra reagál, hiszen gyakorisága jelentősen magasabb a glaciális időszakokban, mivel ez a faj a hidegebb vizeket kedveli, és a magas táplálékkoncentrációhoz is alkalmazkodott [6].



3. ábra

Oldott oxigén tartalom szintek [ml/l] a vizsgált U1387 szelvényben (MIS 42-45) a bentosz foraminiferák oxigén adatai alapján [4], az oxigén koncentrációs küszöbértékek Kaiho [3] alapján.

A vizsgált bentosz foraminifera fajoknak a vízben oldott oxigénnel szembeni igényeit figyelembe véve megállapítható, hogy az elemzett szelvényt többnyire csökkent oxikus körülmények jellemzik (különösen a 44. és 42. MIS-ben), és néhány erősen oxikus és szuboxikus körülmény a 43. MIS-ben (3. ábra).

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK

Portugália déli partvidékén a kora pleisztocén (MIS 42-45) bentosz foraminifera-együtteseinek vizsgálata betekintést nyújtott ennek a kritikus időszaknak a dinamikájába. A vizsgálat során 123 bentosz foraminifera-fajt sikerült azonosítani, amelyek közül 26 faj jelentős gyakoriságot mutatott. Különösen a *Sphaeroidina bulloides*, a *Cassidulina laevigata*, az *Uvigerina celtica*, a *Cibicidoides pachyderma* és a *Globocassidulina subglobosa* voltak a legdominánsabb fajok. A diverzitási mutatók, különösen a Shannon-Wiener- és a Fisher-alfa-indexek korrelációt mutattak az oxigén izotóp adatokkal, amik erős hőmérséklet-változásokra utalnak. A diverzitás jelentős csökkenése egybeesett a  $\delta^{18}\text{O}$  hirtelen változásaival, különösen a 44. és 43. MIS-ben. Az együttesek változásai, különösen bizonyos fajok nagy abundanciája, a  $\delta^{13}\text{C}$  és  $\delta^{18}\text{O}$  értékek változásaihoz társíthatók. A tanulmány rávilágított a környezeti tényezőkre, például a homok százalékos arányának (wt% homok) hatására is, amely bizonyos foraminifera fajok gyakoriságára van hatással, jelezve az áramlási tevékenység hatását a tengerfenékre (MOW).

Összességében az eredmények jelentősen hozzájárulnak a Cádizi-öbölben a korai pleisztocén idején uralkodó ökoszisztémái viszonyok megértéséhez. A tanulmány rávilágít az éghajlat, az oceanográfia és a bentosz foraminifera-együttesek közötti összetett összefüggésekre. A további vizsgálatok majd statisztikai elemzést foglalnak magukban, beleértve a főkomponens-analízist, valamint a bentosz foraminiferák felhalmozódási arányát (Benthic Foraminifera Accumulation Rate - BFAR).

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1.] EMEIS, K.-C., SAKAMOTO, T., WEHAUSEN, R., AND RGEN BRUMSACK, H.-J., 2000: The sapropel record of the eastern Mediterranean Sea—results of Ocean Drilling Program Leg 160. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **158/3-4**, 371.
- [2.] HERNÁNDEZ-MOLINA F. J. *et al.*, 2014: Onset of Mediterranean outflow into the North Atlantic. *Science*, **344/6189**, 1244.
- [3.] KAIHO, K., 1994: Benthic foraminiferal dissolved-oxygen index and dissolved-oxygen levels in the modern ocean. *Geology*, **22/8**, 719.
- [4.] KRANNER, M., HARZHAUSER, M., BEER, C., AUER, G., AND PILLER, W. E., 2022: Calculating dissolved marine oxygen values based on an enhanced Benthic Foraminifera Oxygen Index. *Scientific Reports*, **12/1**, 1376.
- [5.] LASKAR, J., ROBUTEL, P., JOUTEL, F., GASTINEAU, M., CORREIA, A. C. M., AND LEVRARD, B., 2004: A long-term numerical solution for the insolation quantities of the Earth. *Astronomy & Astrophysics*, **428/1**, 261.
- [6.] PASCUAL, A., RODRÍGUEZ-LÁZARO, J., MARTÍNEZ-GARCÍA, B., AND VARELA, Z., 2020: Palaeoceanographic and palaeoclimatic changes during the last 37,000 years detected in the SE Bay of Biscay based on benthic foraminifera. *Quaternary International*, **566–567**, 323–336.
- [7.] RAYMO, M.E., NISANCIOLU, K., 2003: The 41 kyr world: Milankovitch's other unsolved mystery. *Paleoceanography*, **18/1**, 1011.
- [8.] SCHMIEDL, G., MILKER, Y., AND MACKENSEN, A., 2023: Climate forcing of regional deep-sea biodiversity documented by benthic foraminifera. *Earth-Science Reviews*, **244**, 104540.
- [9.] STOW, D.A.V., HERNÁNDEZ-MOLINA, F.J., ALVAREZ ZARIKIAN, C.A., AND THE EXPEDITION 339 SCIENTISTS, 2013: *Proceedings of the Integrated Ocean Drilling Program*, **339**, Integrated Ocean Drilling, Tokyo, Program Management International, Inc.
- [10.] TROTTA, S. *et al.*, 2022: Early Pleistocene calcareous nannofossil assemblages from the Gulf of Cadiz reveal glacial-interglacial and millennial-scale variability. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. **608**, 111304.
- [11.] VOELKER, A.H. L., RODRIGUES, T., TROTTA, S., MARINO, M., AND KUHNERT, H., 2022: A Southern Portuguese Margin Perspective of Marine Isotope Stage 47—An Interglacial in the 41 kyr World. *Atmosphere*, **13/9**, 1378.