Válasz
Dr. Magyar Imre, MTA doktora
opponensi véleményére

Köszönöm Magyar Imrének, hogy elvállata a disszertáció bírálatát, és időt szánt a dolgozat alapos tanulmányázására, és ennek megfelelően lényegre törő és hasznos észrevételeket tett azzal kapcsolatban. Külön köszönöm, hogy a disszertáció javított változatát is visszajuttatta hozzám, megjegyzései és javításai nagy segítséget jelentenek az anyag későbbi publikálása esetén.

Válaszaim az opponens megjegyzéseire és kérdéseire

1. A geokémiai fejezet ábrái a túlkicsinyítés miatt nyomtatásban alig élvezhetők.

Az ábrák mennyiségét és méretét alapvetően befolyásolta a maximum 150 oldalas terjedelmi korlát. A geokémiai fejezet a disszertáció végén van, így ez a probléma ott már fokozottabban jelentkezett.

2. Többször előfordult a dolgozatban az időrétegtani fogalmak geokronológiai értelmű használata.

A dolgozatban törekedtem ezek következetes használatára, de helyenként valóban előfordul a fogalmak keveredése.

3. Az opponens zavarónak találta a „dániai" szó többféle értelmezését.

Egyetértek az opponenssel abban, hogy a részletesebb körülírással, nevezetesen a „Dániában található", valamint a „dániai emelet" és a „dániai korszak" kifejezésekkel ez a probléma elkerülhető lett volna.

4. A 102. ábrán szereplő pontusi, dáciai és romániai nem tekinthetők középső-paratethysi emeletnek.

Valóban nem, de az ábrán nem középső-paratethysi emeletként, hanem paratethysi emeletként vannak feltüntetve (az ábraaláírásban viszont tényleg a Középső-Paratethys szerepel).

5. A 102. ábrán a kárpáti emelet alsó miocén, nem középső miocén.

Ez így szerepel az ábrán is.

6. A 102. ábrán a gelasi emelet már a pleisztocénbe és nem a pliocénbe tartozik.

Ez valóban rosszul szerepel az ábrán.

7. Logikátlan fogalmazás a Sr-izotóp arány geokronológiai értelmezése kapcsán.

Remélem az a dolgozatból is egyértelműen kiderült, és itt is szeretném kihangsúlyozni, hogy a két geokémiai cikk elkészítése során a geokémiai részek Kocsis László munkáját dicsérik. Mindkét cikk angolul jelent meg, és a disszertáció írása során ezek magyarra fordítását és

rövidítését én végeztem geokémiához nem értő paleontológusként. Nem mindig tökéletesen, mint arra az opponens jogos észrevételei is egyértelműen rámutattak.

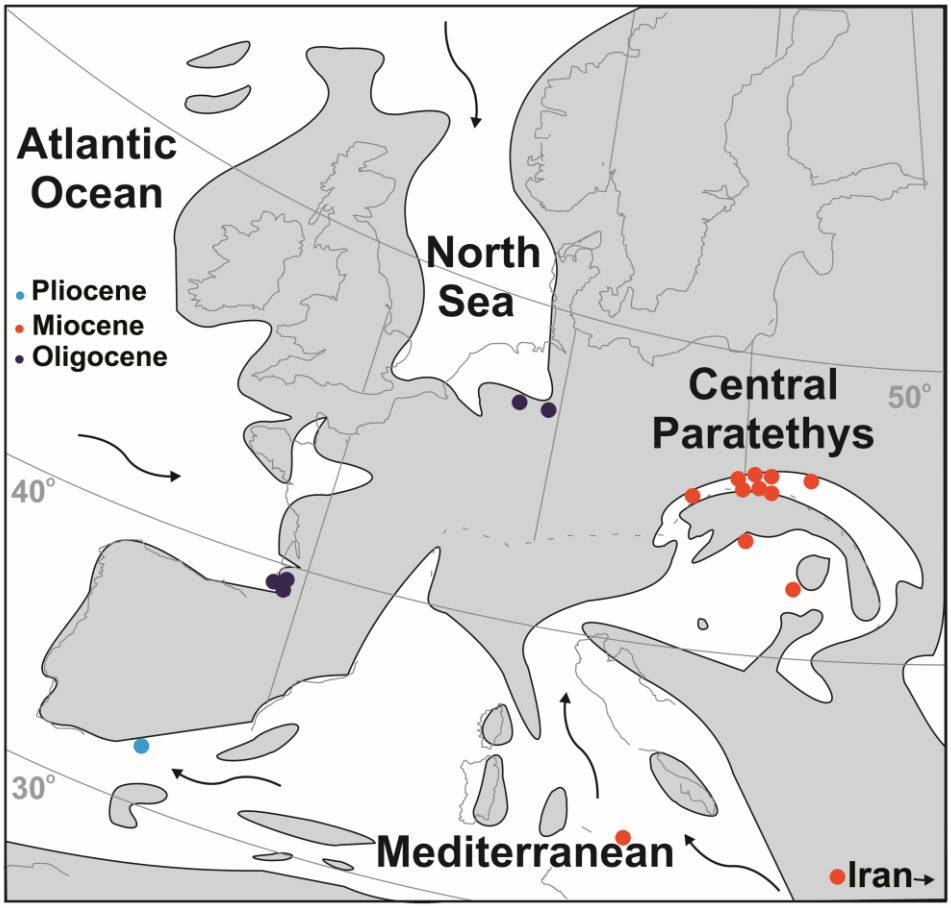
8. A 38. ábra kicsit széthúzva teljes mértékben helyettesítheti a 37. ábra információját, és így feleslegessé is teszi azt.

Köszönöm az opponens észrevételét, egyetértek vele. Ez még publikálatlan része a disszertációnak, egy előadáshoz elkészített ábrákat tettem be a dolgozatba, így ezen érdemben tudok változtatni a publikálás során.

9. Az opponens a bevezetésben hiányolja az átfogó képet az európai kainozoós pörgekarúak kutatásáról, amit csak a paleocén fejezet első bekezdése pótolja nagyon szűkszavúan.

Jogos opponensi észrevétel, eredetileg én is azt terveztem, hogy a korábbi irodalom revíziója, és a saját új eredményeim bemutatása után, ezek összegzésével tudok áttekintést adni az európai Brachiopoda fauna kainozoós fejlődéstörténetéről. Be kell azonban vallanom, hogy egy idő után belefulladtam a teljes európai kainozoós irodalom revíziójába, kiderült, hogy ez ebben a formában nem fér bele az akadémiai doktori disszertáció kereteibe, sem az időt, sem az energiát, sem a korlátozott terjedelmet figyelembe véve. A revízió befejezése további éveket, és további 100 oldal melléklet terjedelmet jelentene. Így azt az utat választottam, hogy a saját munkámra és eredményeimre koncentráltam, viszont így az irodalmi revízió nélkül, és felerészben még publikálatlan eredmények birtokában óvatosan kellett bánnom az összefoglaló nagy következtetésekkel is. Az opponens által hiányolt és javasolt áttekintő képet körülbelül akkor látom megvalósíthatónak, miután a disszertációban szereplő publikálatlan adatok is megjelennek. A felismert 8 új genus, és 29 új faj a brachiopodák kainozoikumi diverzitását tekintve jelentős mennyiség, ami alapvetően befolyásolja az ilyen irányú áttekintéseket.

Az alábbi három példával próbálok rávilágítani arra, hogy ezek a publikálatlan adatok nem csak helyi jelentőségű, endemikus elemek, hanem az összképre is nagyon jelentős befolyással lehetnek. Az *Argyrotheca bitnerae* fajt 2011-ben írtuk le a Középső-Paratethys északi részén fekvő lengyelországi lelőhelyekről (DULAI & STACHACZ, 2011). Az azóta eltelt alig több mint 10 évben kiderült a faj rendkívül széles rétegtani és ősföldrajzi elterjedése. A Középső-Paratethys középső miocénjében előkerült Magyarországról, Romániából és Csehországból, az Északi-tenger oligocénjéből, az Atlanti-óceán oligocénjéből, a Mediterráneumban pedig az iráni alsó miocénből, a máltai felső miocénből és a spanyolországi pliocénből (mindez úgy, hogy csak ketten foglalkoztunk a témával Aleksandra Bitnerrel).



A késő krétára jellemző *Gisilina* nemzetségről eddig úgy vélték, hogy az ÉNY-európai írókréta fáciesben ugyan továbbélhetett a kora-paleocénig, de azután kihalt (mindössze egy nagyon bizonytalan előfordulását említették az ukrajnai eocénből). Ugyanakkor a saját vizsgálataim szerint előfordul a belgiumi pliocénben, tehát az egykori eredeti előfordulási területének rejtett élőhelyein tovább élt egészen a pliocénig. Nem sokkal később megtaláltam a szicíliai pleisztocénben is, ami azt jelzi, hogy nemcsak hogy még tovább kitartott ez a csoport, de nagyon jelentősen ki is terjesztette az elterjedési területét (a szicíliai pleisztocén adat után hihetőbbnek tűnik az eddigi bizonytalan ukrajnai előfordulás is). Ez pedig arra utal, hogy időben a paleocéntől pleisztocénig, míg térben az Északi-tengertől Ukrajnáig és Szicíliáig ezeknek számos további rekordja várható, amennyiben intenzívebben elkezdjük vizsgálni mindenhol a mikromorf brachiopodákat.

A harmadik példa az Északi-tenger neogénje, ahol több mint 10 ezer gyűjteményi példány (Leiden, Brüsszel, London) áttekintése után 13 faj jelenlétét mutattam ki. A bő tucatnyi taxon feldolgozása azonban az előzetes értékelés szerint 4-5 új fajt és 2 új genus leírását igényli, ami előtt nem sok értelmét láttam egy általános áttekintésnek.

Tézisek

A tézisekkel kapcsolatban részletesen válaszoltam az Ősi Attila opponensi bírálatában szereplő hasonló kérdésre. Ezért itt csak arra térnék, ki, hogy az opponens szerint *a felsorolt eredmények részben átfedésben vannak egymással, hiszen egy új taxonómiai felismerés*

egyszerre jelenthet új előfordulási adatot, új evolúciós összefüggést, új rétegtani elterjedést és új földrajzi elterjedési adatot is. A mondat második felével (hogy egy új taxonómiai adatnak számos aspektusa van) teljesen egyetértek, viszont vitatnám, hogy ezeket nem kellene külön-külön értékelni és adott esetben az eredmények között felsorolni. Sokkal jogosabbnak érezném a bírálatot, ha leragadtam volna a taxonómiai munkánál, és nem fejtettem volna ki a taxonómiai eredmények rétegtani, evolúciós, vagy ősföldrajzi következményeit is.

Annyit tennék még hozzá a pontosítás kedvéért, hogy az új előfordulásokat felsoroló eredmények nem tartalmazzák az új taxonokat, hiszen ezek esetében egyértelmű, hogy új előfordulásról van szó, így azok itt valóban felesleges átfedést jelentenének. Az új előfordulások között felsorolt 38 alpont már korábban leírt taxonokra utal, amelyeket az adott lelőhelyről, vagy területről eddig nem ismertünk.

Kérdések

1. Az európai tengerek mai brachiopoda faunája mennyiben tér el a Föld más részein található faunától? Hogyan alakult ez a viszony a kainozoikum során?

Megkönnyíti számomra a választ, hogy a recens Brachiopoda faunák elterjedéséről éppen 2021 végén jelent meg egy komoly tanulmány első része, amely 394 ma élő Brachiopoda faj csaknem 15 ezer georeferált előfordulási adata alapján született (YE *et al.*, 2021). Ebben a munkában a szerzők öt biorégiót és ezeken belül 13 bioprovinciát azonosítottak. Mint a mellékelt ábrán is látható, az európai fauna teljes egészében az Észak-Atlanti biorégióba, és azon belül az Észak-Atlanti & Mediterrán bioprovinciába tartozik. A biorégió területi kiterjedése egybeesik az észak-atlanti gír térbeli határaival. Az öt biorégió közül itt a legmagasabb az endemizmus (75%) és a második legmagasabb a fajszám (117). A Földközi-tenger önálló bioprovinciaként nem különíthető el, mivel mindössze 2 endemikus faj van, a többiről azt gondolják, hogy az Atlanti-óceánból vándoroltak vissza a Földközi-tengerbe a Messinai Sókrízis után (LOGAN *et al.*, 2004). A bioprovincia nagy szélességi tartományt ölel át (Ész 10° – Ész 70°) hasonló fauna összetétellel, amit az tesz lehetővé, hogy az észak-atlanti gír viszonylag meleg víztömegeket szállít a Karib-tenger felől az Atlanti-óceán északkeleti részébe. Az áramlat egyúttal elősegíti a brachiopoda lárvák elterjedését is, ennek köszönhető, hogy 20 közös faj van a két észak-atlanti bioprovinciában (33%). A nagy hasonlóság ellenére vannak olyan fajok, amelyek csak a Földközi-tengerben (*Tethyrhynchia mediterranea*, *Lacazella mediterranea*), vagy csak az Északi-tengerben (pl. *Macandrevia cranium*) fordulnak elő. A 75%-os endemizmus jól jelzi, hogy a többi biorégióval a kozmopolita taxonokat leszámítva nem nagyon vannak közös fajok.

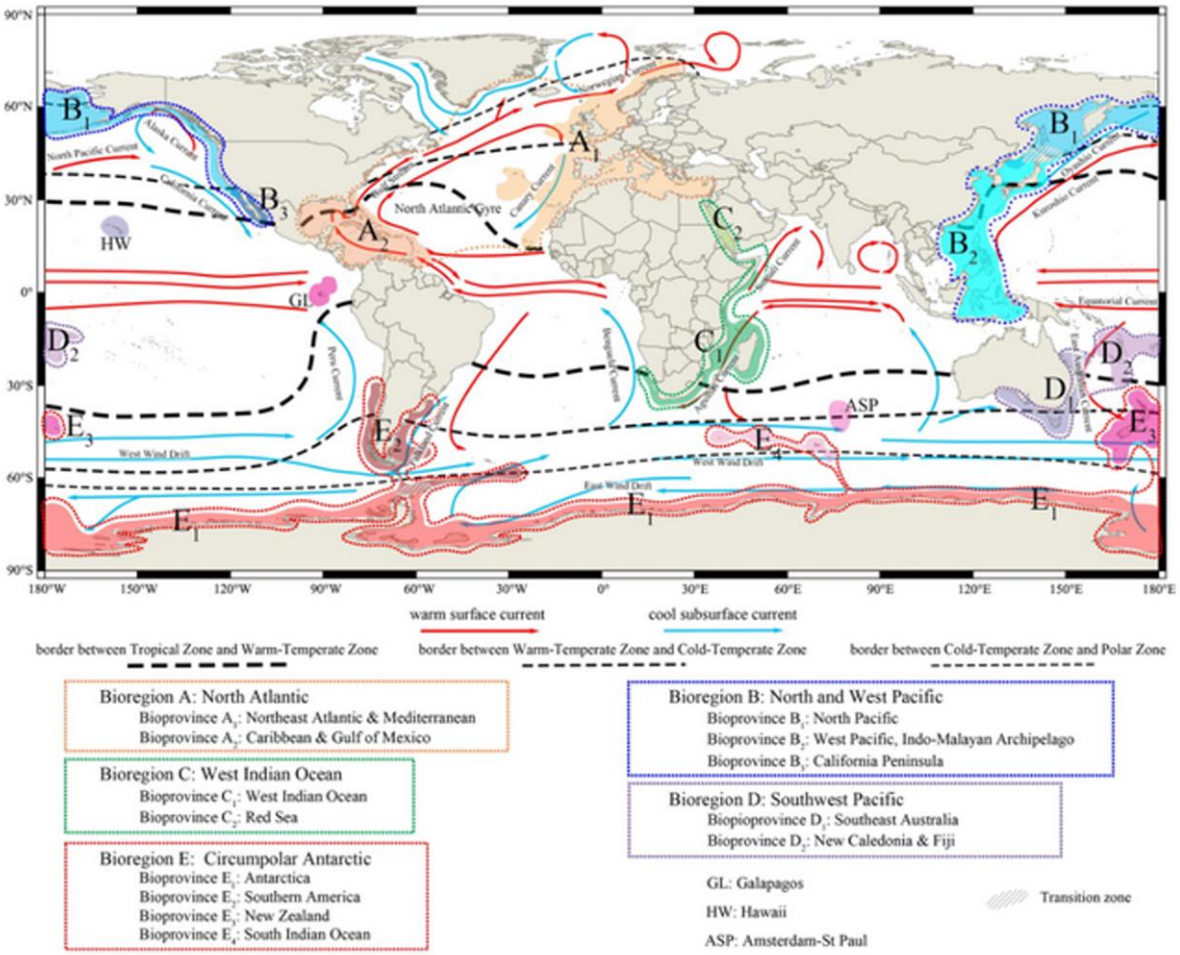
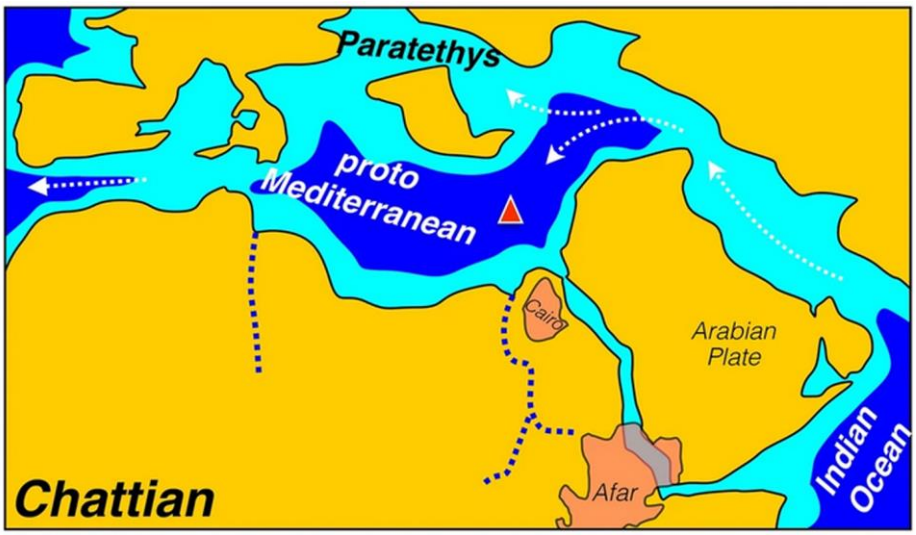


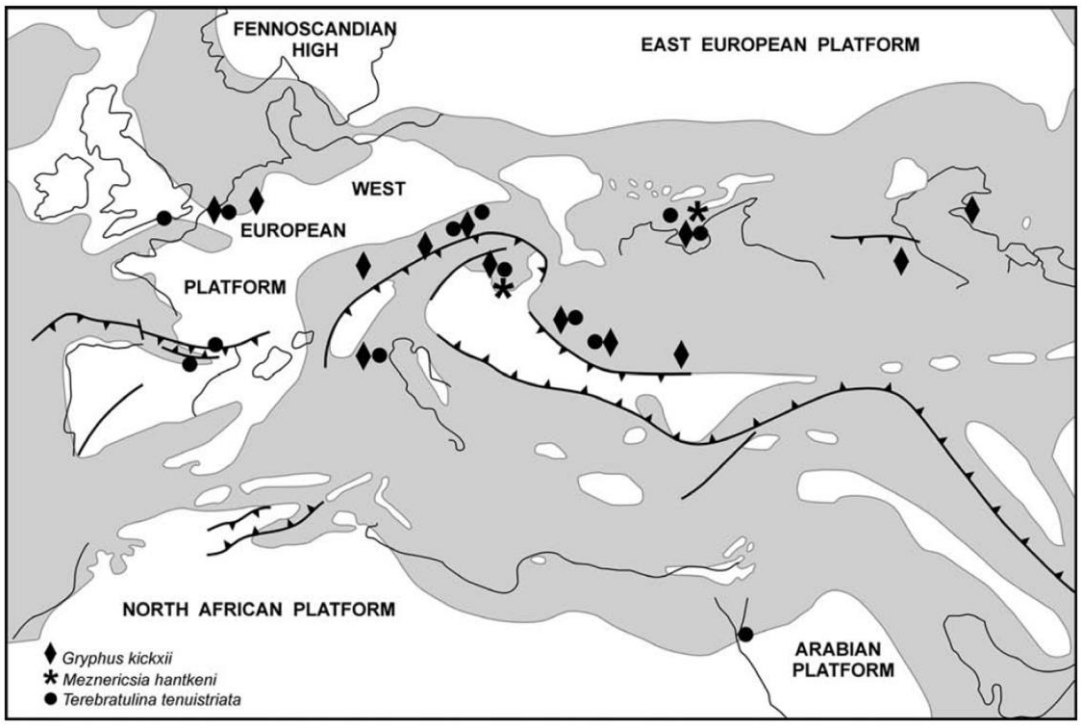
Fig 7. World map showing the global biogeographical regions and provinces proposed in the present study. Global ocean currents are adopted from NOAA (https://www.noaa.gov/), climatic zones are adjusted from Briggs [55, 56]. Source: same as in Fig 2.

A kainozoikumra vonatkozóan a Paratethys és a Proto-Mediterraneum kialakulása után, a miocéntől napjainkig nagyjából a maihoz hasonló lehetett a helyzet. A Paratethys a Földközi-tengerrel, és azon keresztül az Atlanti-óceánnal állt kapcsolatban. A brachiopodák esetében Paratethysen a Középső-Paratethyst (és kisebb részben a Nyugati-Paratethyst) kell érteni, mivel a Keleti-Paratethysből gyakorlatilag alig ismerünk brachiopodákat.

Az oligocénben a Mediterráneum-Paratethys rendszer nem csak az Atlanti-, hanem az Indiai-óceánnal is összeköttetésben volt (TORFSTEIN & STEINBERG, 2020), ami nyilván befolyásolta a Brachiopoda faunát is. Én ennek eddig nem sok jelét láttam, de az eocén és miocén anyagokkal összehasonlítva csak kevés oligocén faunát vizsgáltam, azt is főleg az Északi-tenger területéről, illetve kisebb részben É-Magyarországról.



Ha az eocénig visszamegyünk időben, akkor a Tethys-óceán uralta egész Eurázsiát, ennek megfelelően viszonylag egységes volt az eocén Brachiopoda fauna Angliától Belgiumon és Magyarországon át Ukrajnáig, vagy a Trák-medencéig Törökországban (BITNER *et al.*, 2011). A gyakoribb fajok (*Terebratulina tenuistriata, Gryphus kickxii*) a Tethys egész területén előfordulnak. Természetesen vannak olyan taxonok, amelyek csak kisebb területekről, akár egyetlen lelőhelyről ismertek, de ezek esetében sokszor nehéz eldönteni, hogy tényleges endemizmusról van szó, vagy pusztán gyűjtési hiányosság okozza a látszólag limitált elterjedést. Néhány saját példával illusztrálva, a Magyarországról leírt *Meznericsia* felismerhető az ukrajnai eocén anyagban is, és az ÉNy-európai paleocén írókrétából leírt *Argrotheca* fajokhoz hasonló alakokat találtam a Trák-medencében is.



2. Van-e összefüggés a magas REE koncentráció és a Sr-izotóp arányoknak a globális értékektől való eltérése között (99. oldal)?

A ΣREE koncentrációk 100 és 5300 ppm között változtak, ami gazdagodást jelez a korai diagenezis során. A Brachiopoda héjak geokémiai összetételének a korai diagenetikus módosulása a másodlagos apatit kicsapódása, újrakristályosodása és nyomelem felvétel miatt megnehezíti az egykori őskörnyezeti állapotok értelmezését. A vizsgált fosszíliák magas REE tartalma és a globális Sr-evolúciós görbétől való kis eltérés azt mutatja, hogy az összetétel megváltozott a korai diagenezis során. A magas REE koncentráció egyértelműen jelzi a nyomelemek kicserélődését a pórusfolyadékokkal. Az alábbi táblázatban a KOCSIS *et al.* (2012) cikk 1. és 2. táblázatából szerkesztettem össze az adatokat (fajnév, lelőhely, ΣREE érték, $^{87}Sr/^{86}Sr$ arány, és a Sr-evolúciós görbétől való eltérés mértéke):

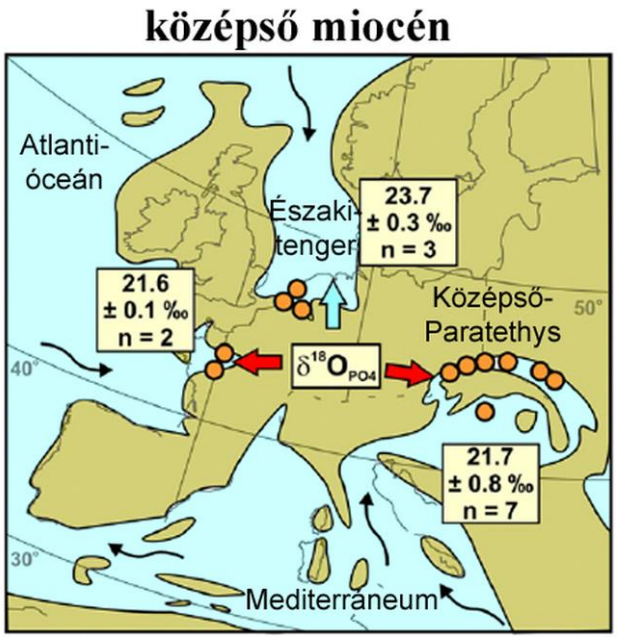
North Sea (NL, B, UK)		ΣREE (ppm)	$^{87}Sr/^{86}Sr$	+/−
Glottidia sp.	Antwerpen, B	410	0.709077	0.000011
Glottidia sp.	Antwerpen, B	149	0.709089	0.000011
Glottidia sp.	Gedgrave, Suffolk, GB	258	0.709013	0.000011
Glottidia sp.	Gedgrave, Suffolk, GB	261	0.709056	0.000011
Glottidia sp.	Delden drillhole, NL	2880	0.709013	0.000013
Glottidia sp.	Neede II drillhole, NL	3615	0.709061	0.000011
Glottidia sp.	Neede II drillhole, NL	5361	0.708980	0.000013
Glottidia sp.	Beugen, NL	782	0.708789	0.000013
Glottidia sp.	Beugen, NL	653	0.708732	0.000010
Glottidia sp.	Beugen, NL	1271	0.708766	0.000011
Discinisca fallens	Vliegveld Haamstede, NL	3299	0.708672	0.000013
Atlantic coast (FR, P)				
?*Lingula* sp.	Cacela Velha, P	1346	0.708949	0.000011
Discinisca sp.	Mirebeau, FR	98	0.708891	0.000013
Discinisca sp.	Mirebeau, FR	105	0.708943	0.000011
Central Paratethys (PL, H)				
Discinisca leopolitana	Huta Lubycka, PL	2826	0.708906	0.000011
Lingula dregeri	Lipa, PL	1428	0.708890	0.000011
Lingula dregeri	Budapest, H	–	0.708809	0.000009
Lingula dregeri	Korytnica, PL	776	0.708796	0.000014
Discinisca polonica	Korytnica, PL	1037	0.708855	0.000014
Discinisca polonica	Korytnica, PL	971	0.708878	0.000011
Discinisca leopolitana	Rybnica, PL	1584	–	0.000027

Az adatokat a cikk 2. ábrájával illetve a disszertáció 102. ábrájával összehasonlítva megállapítható, hogy a REE koncentráció és a globális Sr-evolúciós görbétől való eltérés között nem állapítható meg egyértelmű összefüggés. Az Északi-tenger medencéjében fekvő hollandiai miocén Beugen lelőhely esetén a 653–1271 ppm közé eső ΣREE értékekhez tartozó Sr izotóp arányok a Sr-evolúciós görbe fölött helyezkednek el, míg a szintén miocén korú középső-paratethysi példányok pontjai az evolúciós görbe alatt helyezkednek el annak ellenére, hogy a ΣREE értékeik nagyon jelentős részben átfedésben vannak Beugen lelőhely adataival (776–1584 ppm, és egy kiugróan magas 2826 ppm érték). Ugyanakkor, minél nagyobb a REE koncentráció, annál nagyobb az esélye annak, hogy esetleg másodlagos Sr is

beépül az apatitba. Azonban az, hogy a görbéhez képest felfelé, vagy lefelé mozdul el, az attól függ, hogy milyen a másodlagos Sr forrás izotópösszetétele az adott diagenetikus környezetben (a Középső-Paratethys és az Északi-tenger fent említett példájában is ez állhat a különbségek mögött). Szintén nem látunk összefüggést, ha az eltérések abszolút értékeit vizsgáljuk: az antwerpeni pliocén nagyon alacsony ΣREE értékekhez (149–410 ppm) ugyanúgy 0,000011 Sr izotóparány eltérés tartozik, mint a lengyelországi badeni Huta Lubycka igen magas ΣREE értékéhez (2826 ppm).

3. Mi magyarázhatja, hogy az Északi-tenger vize drasztikusan hűvösebb volt a miocénben, mint a Paratethys és az Atlanti-óceán vize (101. oldal)?

A Paratethys brachiopodái Nd = -8,3 átlagos értéket, míg az Északi-tenger mintái egyértelműen jóval alacsonyabb értékeket (-11,9) adtak. A foszfát oxigénizotópos összetétele esetében az Északi-tenger mintáin mértük a legmagasabb értékeket (24,0), míg a Középső-Paratethys lingulidáit alacsony értékek (21,7) jellemezték. Az eltérő Nd értékek elkülönülő tengeri medencéket jeleznek, és arra utalnak, hogy az Északi-tenger medencéje a miocén óta nem volt kapcsolatban a Paratethysszel. Az alacsony Nd-izotóp arányok az északi-tengeri lelőhelyeken az atlanti-óceáni adatokhoz hasonlítanak. A középső-paratethysi minták magasabb értékei a Mediterráneum és az Indiai-óceán adataihoz hasonlítanak (korábbi paratethysi alsó és középső miocén adatok is ugyanezt mutatták). Így az izotópos vizsgálatok is megerősítették az ősmaradványokon alapuló korábbi elképzelést, hogy a Középső-Paratethys a Mediterráneummal, és azon keresztül az Indiai-óceánnal volt összeköttetésben, és onnan érkezett a meleg tengervíz utánpótlás. Az Északi-tenger viszont az Atlanti-óceánhoz kapcsolódott, ráadásul a brit-félsziget miatt a közvetlen kapcsolat nem nyugat, hanem észak felé volt, ahonnan jóval hidegebb vizek érkeztek. Emiatt hiába helyezkedtek el közel azonos földrajzi szélességen, az Északi-tenger vize (4-14 C°) jóval hidegebb volt, mint a Középső-Paratethysé (15-25 C°). A franciaországi atlanti lelőhelynél a recens analógia alapján feltételezhető, hogy az észak-atlanti gír viszonylag meleg víztömegeket szállított a Karib-tenger felől az Atlanti-óceán északkeleti részébe.



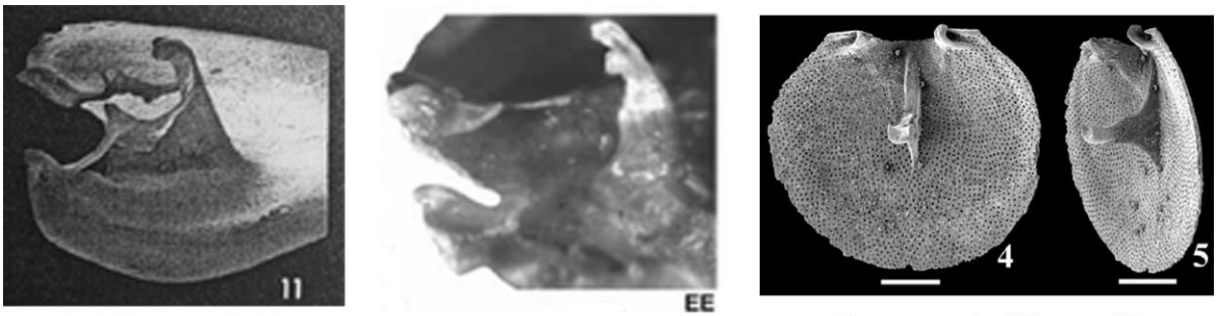
4. Miért térnek el lényegesen a mai brachiopodákon mért d18O értékek a foraminiferákon mért értékektől (112e. ábra)?

A $\delta^{18}O$ összetétele mindkét csoport vázában függ a tengervíz hőmérsékletétől és a tengervíz izotóp összetételétől. A globális $\delta^{18}O$ görbe ODP fúrásokból származó mélytengeri bentosz foraminiferák alapján készült (ZACHOS *et al*. 2001). Így ezek a magasabb $\delta^{18}O$ értékek a mélyebb, hidegebb környezettel magyarázhatók leginkább. Ugyanakkor a vizsgált *Megathiris detruncata* példányok egyetlen mélytengeri atlanti rekord kivételével sekélytengeri környezetből származtak. A sekélytengeri brachiopodáknál a melegebb környezet mellett változatosabb tengervíz $\delta^{18}O$ értékekkel is lehet számolni.

Kisebb jelentőséggel, de az élettani hatások (vital effects) is megemlíthetők, melyek az adott élőlény biológiai folyamataihoz kapcsolódnak, és a váz kiválasztása során kisebb különbségeket okozhat a várt egyensúlyi izotópfrakcionációhoz képest. A brachiopodák $\delta^{18}O$ értékei általában nem mutatnak ilyen vitális hatást, míg egyes foraminiferáknál ez előfordulhat (pl., WEFER & BERGER, 1991).

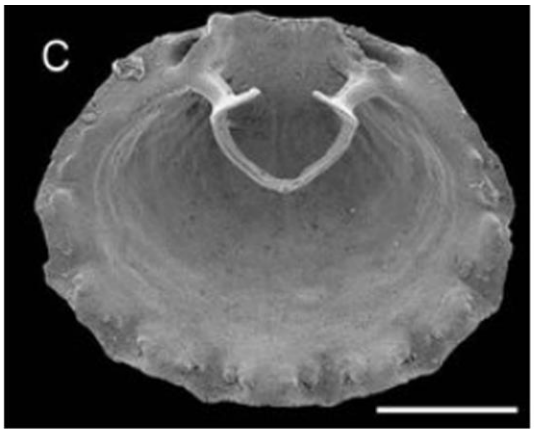
5. A 113. ábra a Germanoplatidia esetleges holocén előfordulását jelzi, míg a szövegben a nemzetség legfiatalabb feltételezett előfordulása kora pleisztocén. Mi a magyarázata az eltérésnek?

A Földközi-tengerben és az Atlanti-óceánban a viszonylag gyakori *Platidia anomioides* mellett előfordul egy másik faj, a *Platidia davidsoni*. Ezt a fajt annak ellenére sorolják a *Platidia* genusba, hogy a többi *Platidia* fajhoz képest nagyon csökevényes kifejlődésű a kartámasztó váza, és tulajdonképpen jobban hasonlít az újonnan leírt *Germanoplatidia* megjelenéséhez. Emiatt felmerülhet annak a gyanúja, hogy esetleg a *Germanoplatidia* továbbéléséről lehet szó a mai napig.



Platidia anomioides ***Platidia davidsoni*** ***Germanoplatidia pusilla***

Ennek eldöntése azonban további és alapos vizsgálatokat igényel, és óvatosságra int az a tény, hogy más csoportoknál ismerünk arra példát, hogy egy családon, vagy genuson belül csökevényesen kifejlődő kartámasztó váz jelenik meg (lásd például a madagaszkári *Eucalathis daphneae* faj (BITNER & LOGAN 2016), és a Szicíliában talált új pleisztocén *Eucalathis* faj példáját).



Eucalathis rugosa

Eucalathis daphneae

Hivatkozott irodalom

BITNER, M.A., DULAI, A. & GALÁCZ, A. (2011): Middle Eocene brachiopods from the Szőc Limestone Formation (Bakony Mountains, Hungary), with a description of a new genus. – *Neues Jahrbuch für Geologie und Paleontologie, Abhandlungen*, **259**(1): 113–128.

BITNER, M.A. & LOGAN, A. (2016): Recent Brachiopoda from the Mozambique-Madagascar area, western Indian Ocean. – *Zoosystema*, **38**(1): 5–41.

DULAI, A. & STACHACZ, M. (2011): New Middle Miocene *Argyrotheca* (Brachiopoda; Megathyrididae) species from the Central Paratethys. – *Földtani Közlöny* **141**(3): 283–291.

KOCSIS, L., DULAI, A., BITNER, M.A., VENNEMANN, T. & COOPER, M. (2012): Geochemical composition of Neogene phosphatic brachiopods: Implication for ancient environmental and marine conditions. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **326–328**: 66–77.

LOGAN, A., BIANCHI, C.N., MORRI, C. & ZIBROWIUS, H. (2004): The present-day Mediterranean brachiopod fauna: diversity, life habits, biogeography and paleobiogeography. – In: ROS, J.D., PACKARD, T.T., GILI, J.M., PRETUS, J.L. & BLASCO, D. (Eds): Biological oceanography at the turn of the Millenium. *Scientia Marina* **68** (Suppl. 1): 163–170.

TORFSTEIN, A. & STEINBERG, J. (2020): The Oligo-Miocene closure of the Tethys Ocean and evolution of the proto-Mediterranean Sea. – *Scientific Reports*, **10**: 1387.

WEFER, G. & BERGER, W.H. (1991): Isotope paleontology: growth and composition of extant calcareous species. – *Marine Geology*, **100**: 207–248.

YE, F., SHI, G.R. & BITNER, M.A. (2021): Global biogeography of living brachiopods: Bioregionalization patterns and possible controls. – *PloS ONE* **16**(11): e0259004

ZACHOS, J.C., PAGANI, M., SLOAN, L., THOMAS, E. & BILLUPS, K. (2001): Trends, rhytms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. – *Science*, **292**: 683–693.

Budapest, 2022. június 19.

Dr. Dulai Alfréd
Magyar Természettudományi Múzeum
Őslénytani és Földtani Tár