

UNIVERSITATEA “BABEȘ-BOLYAI”
CLUJ-NAPOCA
SCOALA DOCTORALĂ DE GEOLOGIE TEORETICĂ ȘI
APLICATĂ

**Acumulările cu *Nummulites perforatus* de vârstă eocenă
(bartonian) din partea nord-vestică al Bazinului Transilvaniei:
diversitate taxonomică, (bio)faciesuri și modelul depozițional**

Rezumat

Doctorand
Szabolcs-Attila Kövecsi

Coordonator științific
Prof. Dr. Sorin Filipescu

Cluj-Napoca

2021

Cuvinte cheie:

*Foraminifere bentonice mari; paleomediu; biostratigrafie; microfacies; Eocen; Bazinul
Transilvaniei; România;*

Conținut

1. Introducere	1
1.1. Notă introductivă.....	1
1.2. Structura, paleoecologia și biostratigrafia foraminiferelor bentonice mari.....	1
1.3. Acumulări nummulitice: Stadiul cunostiștelor actuale	3
1.4. Modele de depozitionale și de facies propuse pentru acumulările numulitice.....	3
1.5. Cadrul Ggeologic	4
1.5.1. Bazinul Transilvaniei.....	4
1.5.2. Bazinul Dorog, Ungaria.....	6
2. Paleontologie și paleoecologie	7
2.1. Introducere.....	7
2.2. Faciesurile principale ale profilelor studiate	7
2.3. Material și metode	8
2.4. Rezultate.....	8
2.5. Discuții	10
2.6. Taxonomie.....	12
2.7. Concluzii	13
3. Analize de microfacies și caracteristici diagenetice	14
3.1. Introducere.....	14
3.2. Material și metode	14
3.3. Rezultate.....	14
3.4. Interpretări și discuții.....	17
3.5. Concluzii	19
4. Distribuția asociațiilor și modelul depozitional.....	21
4.1. Introducere.....	21
4.2. Material și metode	21
4.3. Rezultate.....	22
4.4. Discuții	24
4.5. Concluzii	29
5. Date adiționale aduse de alte grupe fosile asociate acumulărilor cu <i>Nummulites perforatus</i>	30
5.1. Nanoplancton calcaros	30
5.2. Foraminiferele bentonice mici.....	36
5.3. Briozoare	41
6. Concluzii	43

Bibliografie 46

1. Introducere

1.1. Notă introductivă

Genul *Nummulites* este un grup fosil de foraminifere bentonice rotalide, care sunt foarte comune în depozitele sedimentare ale regiunii Neotethyene (Schaub, 1981). Succesiunile sedimentare care sunt constituite aproape exclusiv din *Nummulites* sunt în general interpretate ca “bancuri cu numuliți” (eng= nummulitic banks) (Arni, 1965). În prezent aceste acumulări nummulitice sunt extinse din zona Pacificului de Vest până în zona Central Mediteraneană (Jorry et al., 2006). Pe teritoriul Africii, în special în Tunisia și Libia acestea formează mari capcane de hidrocarburi (Racey, 2001 și referințele citate; Jorry et al., 2006). În ciuda importanței economice ridicate a acestor acumulări, mecanismul care duce la formarea acumulărilor nummulitice naște contradicții între cercetătorii în domeniu.

Cu toate că aceste depozite unice sunt foarte bine dezvoltate în partea nord-vestică a Bazinului Transilvaniei, foarte puține lucrări abordează și discută aspecte paleontologice, paleoecologice și geologice ale acestora (Bombiță & Moisescu, 1968; Bombiță et al., 1975; Mészáros et al., 1987; Wanek et al., 1987; Bombiță, 1984; Papazzoni & Sirotti, 1995; Proust & Hosu, 1996; Bartholdy et al., 2000; Papazzoni, 2008; Papazzoni & Seddighi, 2018; Bindiu-Haitonic et al., 2021).

Subiectul de studiu al prezentei teze de doctorat este reprezentat de acumulările cu *Nummulites perforatus* din nord-vestul Bazinului Transilvaniei. Scopul acestei lucrări este de a aduce cunoștințe noi și detaliate asupra acestor acumulări și de a integra datele taxonomice, tafonomice și sedimentologice într-un model depozițional.

Obiectivele principale ale acestei lucrări de doctorat sunt următoarele:

- documentarea asociațiilor de *Nummulites* prelevate din 18 profile studiate;
- documentarea și interpretarea biostructurilor observate de-a lungul profilelor studiate;
- documentarea și interpretarea datelor sedimentologice, microfaciesale și diagenetice pe baza studiilor de secțiuni subțiri;
- cuantificarea rapoartelor A/B ale asociațiilor de *Nummulites*;
- determinarea varietății testurilor de *Nummulites* pentru interpretări de paleomediu;
- organizarea în categorii a testurilor de *Nummulites* pe baza nivelului de conservare, folosind scara tafonomică propusă de Beavington-Penney (2004);
- discutarea altor grupe fosile prezente în probele studiate (ex: briozoarele);

1.2. Structura, paleoecologia și biostratigrafia foraminiferelor bentonice mari

Foraminiferele bentonice mari reprezintă un grup foarte divers în cadru foraminiferelor; acestea includ atât reprezentanți fosili cât și recentți (Beavington-Penney, 2004).

Reprezentanții acestui grup au fost abundenți și răspândiți în medii marine puțin adânci în timpul Paleozoicului superior, Cretacicului superior și Cenozoicului (Hallock, 1985; DouDagher-Fadel, 2008).

Potrivit lui Loeblich și Tappan (1984) genul *Nummulites* face parte din Subordinul Rotaliida. Aceste organisme erau foarte comune și diverse de-a lungul Cenozoicului (Racey, 2001) în mediile marine puțin adânci cu ape calde, salinitate normală și medii oligotrofe, trăind în zona fotică (Reiss & Hottinger, 1984). Nummulitidaele au un test plat planspiral, involut sau evolut, sau combinația acestor două. Testul acestora este multilocular (Hohenegger et al., 2000) cu morfologie internă complexă (Hallock & Glenn, 1986) și cu simetrie de-a lungul secțiunii ecuatoriale (Beavington-Penney & Racey, 2004). Peretele testului este alcătuit din cristale de calcit romboedrale aranjate regulat, care sunt orientate perpendicular de-a lungul axului sau sunt dispuse într-un unghi de 45° (Beavington-Penney & Racey, 2004).

Una dintre cele mai importante caracteristici a genului *Nummulites*, este ornamentația testului. Se pot separa cinci diferite tipuri de ornamentație: (1) radiar; (2) sigmoidal; (3) meandriform; (4) reticulat; (5) pustulat.

Caracteristici interne cum sunt protoconca, camerele, carena marginală și sistemul de canale din carena periferică (Fig. 1.1) pot fi observate în structura internă a testului (Beavington-Penney & Racey, 2004).

Numeroase grupuri de foraminifere contemporane și fosile prezintă bimorfism sexual, aceasta fiind rezultatul unei alternanțe heterofazice a generațiilor între un haploid și un gamont uninucleat care produce gameți (generație sexuată sau microsferică, forma B), și un agamont multinucleat (generația asexuată sau macrosferică, forma A) (Hallock, 1985; DouDagher, 2008).

Ciclul trimorfic (foarte frecvent observat la foraminiferele mari recente) nu a fost observat la asociații fosile până în prezent (Mateu-Vicente et al., 2012). În cazul foraminiferelor mari recente acest trimorfism sexuat este documentat, studiile relevând faptul că această a treia generație produce schizonți megalosferici.

Încă din secolul al-XIX lea foraminiferele mari au fost folosite pentru interpretări de paleomediū și biostratigrafie (Papazzoni et al., 2017). Datorită diversificării lor rapide și a extincțiilor bruște, reconstrucțiile filogenetice ale acestor lineajii fosile sunt foarte importante, motivul fiind faptul că foraminiferele bentonice mari sunt considerate indicatori de vârstă foarte importanți (Schaub, 1981; Hallock, 1985). Schimbările evolutive observate la acest grup sunt considerate rezultatul adaptării lor la simbioză, acest lucru fiind o cauză a schimbării morfologice de la strămoși asimbiotici de dimensiuni mici la forme mari și mult mai complexe. Fusulinidele sunt considerate indicatori biostratigrafici pentru Paleozoicul superior, orbitolinidele pentru

Cretacicul mediu și superior, nummulitidele pentru Paleogen, iar lepidocyclinidele și miogypsinidele pentru Oligocen și Neogen (BouDagher-Fadel, 2008).

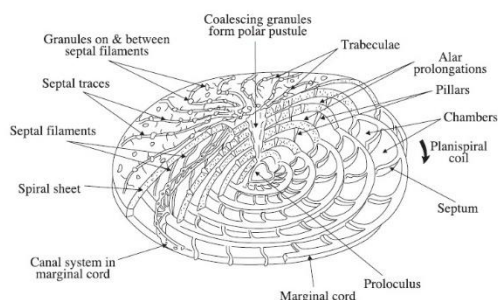


Fig .1.1. Structura unui test megalosferic (forma A) de *Nummulites* (preluat după Beavington-Penney & Racey, 2004).

Prima biozonare pentru intervalul Paleocen-Eocen pe baza alveolinidelor *Assilina* și *Nummulites* a fost propusă de Hottinger (1960) și Hottinger et al. (1964).

Această biozonare a fost actualizată ulterior de Schaub (1981) iar mai târziu de Hottinger și Drobne (1998). Schema biostratigrafică folosită și în prezent a fost stabilită de Serra-Kiel et al. (1998).

1.3. Acumulări nummulitice: Stadiul cunostițelor actuale

Este foarte bine documentat faptul că genul *Nummulites* a fost unul dintre cei mai abundenți și larg răspândiți taxoni în Oceanul Tethys de-a lungul Eocenului. Reprezentanții acestui gen au format acumulări imense denumite general “bancuri cu numuliți” (Arni, 1965). Aceste depozite sedimentare specifice sunt expuse de-a lungul paleo marginilor Tethyene eoene (Racey, 2001).

În modelul propus de Arni (1965) “bancurile cu numuliți” au fost interpretate ca depozite autohtone alcătuite de una, rar două specii cum sunt *N. gizehensis* sau *N. perforatus* cu o prezență scăzută a formelor B sau cu un raport A/B scăzut.

Modelul propus de Arni (1965) a fost dezbătut de Aigner (1985). Acesta a observat diferite biostructuri formate ca rezultat al hidrodinamicii mediului marin, concluzionând că “bancurile cu numuliți” sunt formate ca rezultat al transportării și sortării testurilor de *Nummulites*. Ca urmare, acestea reprezintă asociații para-autohtone și alohtone. Observațiile lui Aigner au dus la o discuție de lungă durată legată de caracterul autohton sau alohton al acestor depozite (Papazzoni, 2008; Mateu-Vicens et al., 2012; Seddighi et al., 2015; Brigguglio et al., 2017). Studii experimentale legate de comportamentul hidrodinamic al foraminiferelor mari (Briguglio et al., 2017), încât și cercetările taxonomice și determinarea ratelor A/B în populațiile de *Nummulites* prelevate din diferite “bancuri cu numuliți” (Papazzoni și Seddighi, 2018) au subliniat unele caracteristici particulare pentru aceste depozite.

1.4. Modele de depoziționale și de facies propuse pentru acumulările numulitice

Începând cu mijlocul secolului XX diferite modele depoziționale au fost propuse pentru a explica formarea acumulărilor nummulitice (Fig. 2.1.). Aceste modele descriu acumulările nummulitice ca “bancuri cu numuliți”, bare sau bancuri cu reliefuri joase asociate cu paleo

altitudini, depozitate în medii de platformă sau de-a lungul marginii de șelf până în zona median-distală a rampei.

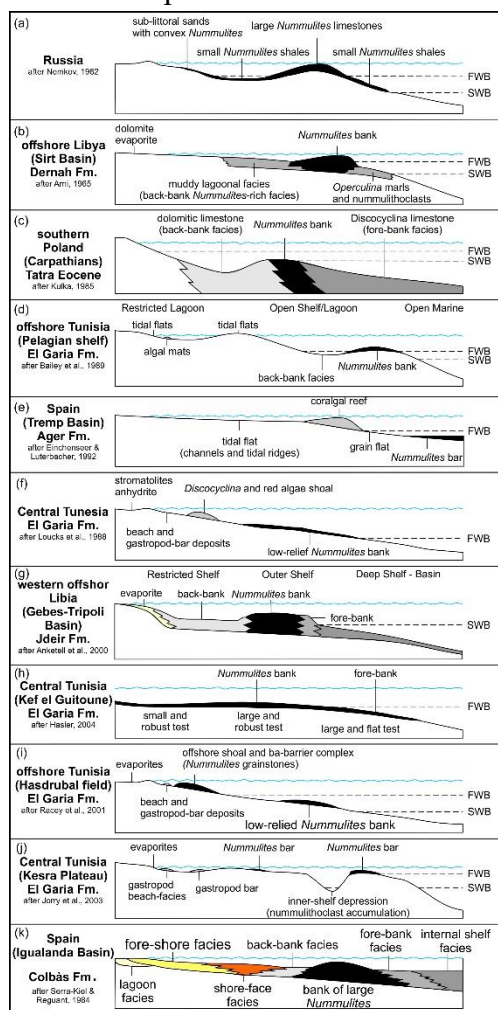


Fig. 1.2. Modele depozitionale propuse pentru acumulările nummulitice. Modelele a-j modificat după Jorry et al (2006), modelul k, modificat după Serra-Kiel & Reguant (1984).

1.5. Cadrul geologic

1.5.1. Bazinul Transilvaniei

Bazinul Transilvaniei este cel mai reprezentativ bazin pentru Paleogenul din România (Fig. 1.3).

Sucesiunea sedimentară a bazinului este alcătuită din depozite marine și continentale. Evoluția Cenozoică a bazinului poate fi descrisă prin trei megasecvențe successive:

1. Megasecvența paleogenă, care acoperă formațiuni cu vârstă Cretacic superior. Această megasecvență conține depozite continentale și marine care sunt cunoscute din partea nordvestică și sudvestică a bazinului.

2. Megasecvența miocen-bazală, care conține depozite turbiditice, de fandeltă, nisipuri litorale și marne

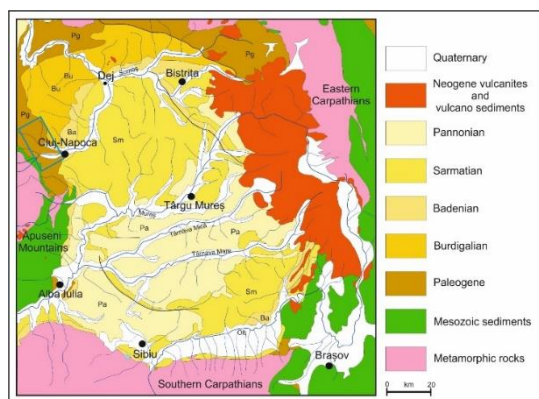
de self extern. În partea sudică a bazinului depozite continentale și marine puțin adânci au fost semnalate.

3. Megasecvența miocen medie-superioară, care conține o scară largă de succesiuni sedimentare de la depozite marine puțin adânci până la depozite marine adânci. Acesta este cea

mai gros și extinsă megasecvență din Bazinul Transilvaniei.

Acumulările cu *N. perforatus* care reprezintă subiectul acestei teze, aparțin megasecvenței tectonostratigrafice Paleogene (Krézsek & Bally, 2006).

Fig. 1.3. Harta geologică simplificată al Bazinului Transilvaniei modificat după Filipescu (2011). Pătraturl albastru



marchează aria de aflorare al acumulărilor cu *N. perforatus*.

Formațiunea de Căpuș (Popescu, 1978) este o succesiune cu depozite marine care cuprinde marne nisipoase, calcare bioclastice și oolitice și argile nisipoase, acestea fiind dezvoltate pe o grosime aproximativă de 25 m. În principal aceste depozite conține asociații fosile alcătuite din foraminifere bentonice mici și mari, încât și elemente de fitoplancton marin, moluște, ostracode, decapode, echinoide și rar briozoare (Rusu et al. 2004; Kövecsi et al., 2016; Kövecsi et al., 2018; Bindiu-Haitonic et al., 2021).

Acumulările nummulitice au o grosime generală între 2-10 m (Rusu, 1987) și pot fi studiate în partea nord-vestică a Bazinul Transilvaniei în numeroase deschideri dispuse pe o arie de ~200 km² (Răileanu et al., 1968). Aceste depozite sunt frecvent interpretate ca “bancuri cu numuliți” (Papazzoni & Sirotti, 1995; Rusu et al., 2004; Papazzoni, 2008; Kövecsi et al., 2016) sau bancuri (Proust & Hosu, 1996) fiind alcătuite din asociații de *Nummulites* autohtone, para-autohtone (Kövecsi et al., 2016; Pleș et al., 2020) depozitate în ape puțin adânci, în medii de platformă internă cu o hidrodinamică ridicată (Papazzoni & Sirotti, 1995; Rusu et al., 2004) în facies de barieră sau banc (Proust & Hosu, 1996).

Vârsta Formațiunii de Căpuș este considerată a fi lutețian superior-bartonian (Rusu, 1995). Acumulările cu *N. perforatus* din cadrul Formațiunii de Căpuș reprezintă un nivel distinct care marchează partea terminală a acestei formațiuni.

Materialele publicate de Bombiță și Moisescu (1968) și Bombiță (1984) au relevat faptul că acumulările cu numuliți din partea nord-vestică a Bazinului Transilvaniei conțin o faună bogată de *Nummulites* cu speciile *N. perforatus*, *N. striatus*, *N. uranensis*, *N. crassus*, *N. obesus*, *N. meneghii*, *N. lunae* și *N. millecaput*. Studiile recente au subliniat prezența a doar doi taxoni, cum sunt *N. perforatus* și *N. beaumonti* (Papazzoni & Sirotti, 1995; Papazzoni, 2008; Kövecsi et al., 2016) sau *N. perforatus* și *N. discorbinus* (Papazzoni & Seddighi, 2018).

În acumulările nummulitice din Bazinul Transilvaniei, pe lângă asociațiile de *Nummulites*, au mai fost semnalate resturi de foraminifere bentonice mici, nannoplancton calcaros, briozoare și ostracode (Bombiță et al., 1975; Mészáros et al., 1987; Wanek et al., 1987; Kövecsi et al., 2018; Bindiu-Haitonic et al., 2021).

Studiile recente realizate pe baza florei de nannoplancton calcaros (Bindiu-Haitonic et al., 2021) colectată din cadrul acumulărilor cu *N. perforatus* din Bazinul Transilvaniei indică pentru probele studiate prezența zonei de nannoplancton NP17/CP14. Din grupul foraminiferelor mari prezența speciei *N. perforatus* indică biozona SBZ 17 (sensu Serra-Kiel et al., 1998). Aceste informații biostratigrafice permit atribuirea vârstei bartonian pentru acumulările cu *N. perforatus* din Bazinul Transilvaniei.

Studii legate de depozitele cu numuliți din Bazinul Transilvaniei au o istorie de aproximativ 300 ani, mai exact primul studiu publicat legat de fauna de *Nummulites* din Transilvania datează din prima parte a secolului 18 (Bruckmanni, 1727).

Este de remarcat faptul că localitatea tip a speciei *N. perforatus* este situată în Bazinul Transilvaniei - în proximitatea localității Leghia - de unde de Montfort (1808) descrie și ilustrează acest taxon sub denumirea de *Egeon perforatus*.

Lucrările publicate de George Bombiță sunt de referință în cadrul cercetărilor din secolul XX axate pe faunele de *Nummulites* din bazin. Cercetările lui sunt focusate predominant pe studiul biostratigrafic și taxonomic al acestor asociații (Bombiță, 1963, 1984; Bombiță și Moisescu, 1968). Studiile recente care discută diferite aspecte asupra acumulărilor cu *N. perforatus* din bazin sunt realizate de Papazzoni și Sirotti (1995), Proust și Hosu (1996), Bartholdy et al. (2000), Papazzoni (2008), Papazzoni și Seddighi (2018).

1.5.2. Bazinul Dorog, Ungaria

Eocenul din partea vestică al Bazinului Dorog, corespunde a două secvențe depoziționale majore. Secvența bazală (lutețian superior – bartonian inferior) este alcătuită din formațiunile Dorog, Csernye și Csolnok, și corespund părții transgresive al eocenului (Less et al., 2000; Kercksmár, 2010). Formațiunea Tokod de vârstă bartonian inferior, reprezintă partea regresivă a secvenței bazale. Partea bazală a Formațiunii Tokod este alcătuită din marne argiloase grii cu *Nummulites* (Budai et al., 2008) și moluste, care sunt acoperite de gresii marine puțin adânci și fluviale, intercalate cu cărbuni. Bancurile cu *Nummulites* conțin aproape exclusiv teste bine păstrate de *N. perforatus*, și rare teste de *N. striatus* (Kercksmár, 1995). Asociația de *Nummulites* este reprezentativă pentru zona SBZ 17, care corespunde bartonianul inferior (Serra-Kiel et al., 1998).

2. Paleontologie și paleoecologie

Capitolul 2 este bazat pe articolul

Kövecsi S.,A., Silye L., Less G., Filipescu S. 2016. Odd partnerships among middle Eocene (Bartonian) *Nummulites*: Examples from the Transylvanian (Romania) and Dorog (Hungary) Basins. *Marine Micropaleontology*, 127: 86-98.

2.1. Introducere

Nummulitidele sunt foraminifere calcaroase bentonice (Racey, 2001), care au fost abundente și răspândite în Eocen, de-a lungul marginii Neotethyene (Arni, 1965; Aigner, 1982, 1985; Papazzoni, 2008; Papazzoni & Seddighi, 2018). Depozitele, alcătuite exclusiv din una sau două specii de *Nummulites*, au fost denumite “bancuri nummulitice” (Arni, 1965).

O relație specială între foraminiferele mari a fost documentată și numită “relație impară” (eng. = odd partnership). Acest termen a fost introdus pentru a defini relația dintre două specii simpatrice, care au o structură identică sau foarte similară a testului adult, dar diferă mărimea camerei embrionare și mărimea testului. Foraminiferele mari oferă cel mai bun exemplu de relație impară în asociațiile fosile și recente. În cazul nummulitidelor, existența acestei relații a fost doar speculată (vezi Hottinger, 1999).

Scopul nostru a fost de a documenta în detaliu fenomenul de “relație impară” în cazul speciilor de *Nummulites* din eocenul mediu (bartonian).

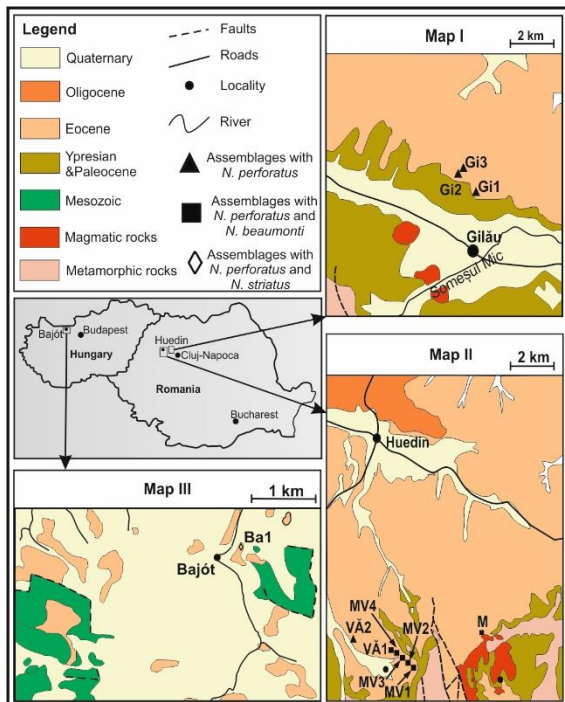


Fig. 2.1. Harta geologică simplificată al arealului studiat. Harta I (arealul Gilău) și II (arealul Huedin) modificat după Răileanu & Saulea (1968). Harat III (arealul Bajót) modificat după Budai & Síkhegyi (2005).

2.2. Faciesurile principale ale profilelor studiate

Aflorimentele studiate din Bazinul Transilvaniei, în general au o înălțime de câțiva metri și o dezvoltare laterală de 10-15 m. Acestea au fost probate la o rezoluție relativă mare (Fig. 2.1).

Proba studiată din cadrul acumulării cu *Nummulites perforatus*, aparținând Formațiunii Tokod, a fost colectată dintr-un afloriment cu dimensiuni mici, din localitatea Bajót, județul Komárom-Esztergom,

Bazinul Dorog.

Cele mai extinse faciesuri sedimentare, structuri și tipuri de biostucturi nummulitice, observate la nivel de afloriment, sunt următoarele:

1. Nivele erozionale, umplute cu floatstone/rudstone nummulitic slab cimentat.
2. Rudstone/floatstone nummulitic slab cimentat, cu forme-B de *N. perforatus* haotic dispuse.
3. Rudstone/floatstone nummulitic, cu forme-B de *N. perforatus* imbricate.
4. Floatstone nummulitic, cu forme-B dispuse liniar.

2.3. Material și metode

Au fost colectate 26 de probe din 10 aflorimente diferite (Fig. 2.1). Din bazinul Dorog a fost colectată o probă (Fig. 2.1). Probele colectate au fost preparate cu metoda standard folosită pentru probele micropaleontologice. Măsurătorile biometrice au fost efectuate pe ambele forme (A și B) de *Nummulites*. În cazul formelor-A, diametrul (D) și grosimea (T) a fost măsurate la 50 specimene de *N. perforatus* și la toate speciimenele de *N. beaumonti* și *N. striatus* prezente în rezidul rezultat. Diametrul camerei embrionale (C) în cazul formelor megalosferice (A) au fost măsurat pe suprafața ecuatorială a speciimenele. În cazul formelor-B de *Nummulites*, au fost măsurate doar diametrul (D) și grosimea (D) testurilor. Rapoartele A/B al speciei *N. perforatus* au fost determinate cu ajutorul unei site cu dimensiunea ciururilor de 1 mm și 6 mm.

2.4. Rezultate

2.4.1. Asociațiile identificate și distribuția lor geografică

Asociațiile de *Nummulites* studiate din depozitele eocene al Bazinului Transilvaniei diferă prin compoziția lor taxonomică și distribuția geografică a acestora. Investigațiile noastre sugerează că în partea nordică, în zona Gilău, asociațiile de foraminifere mari sunt alcătuite din specia *N. perforatus*. La aproximativ 25 km la vest, în zona Huedin, asociațiile de foarminifere mari sunt alcătuite din specia *N. perforatus* în asociere cu specia *N. beaumonti*. Asociația de foraminifere mari studiată din eocenul Bazinului Dorog este alcătuită din *N. perforatus* în asociere cu *N. striatus*.

2.4.2. Biometria speciimeneleor de *Nummulites* studiate

Diametrul (D) speciei *N. perforatus* din Bazinul Transilvaniei variază între 3.28 și 4.19 mm, iar grosimea (T) este între 1. 89 și 2.55. Valorile speciei *N. perforatus* din Bazinul Dorog, sunt de aceeași ordine de mărime, având media D de 4.20 mm, pe când media T fiind de 2.56 mm. Formele-A de *N. beaumonti* din Bazinul Transilvaniei au D între 1.63 și 2,34 mm, iar T între 0.68

și 1.4 mm, pe când D și T al speciei *N. striatus* este de 2.55 mm și 1.60 mm. Raportul D/T al formelor-A de *N. perforatus* variază între 0.43 și 0.62, care este asemănător al speciei *N. beaumonti* (0.41–0.75) și *N. striatus* (0.64). Diametrul camerei embrionare (C) prezintă diferențe între *N. perforatus* și *N. beaumonti* ori *N. striatus*. Media C al formelor-a de *N. perforatus* variază între 780 și 927 μm , până când formele-A de *N. beaumonti* au diametrul C între 109 și 186 μm .



Plansa 2.1. Specimenel de *Nummulites studiate*. **a.** *Nummulites beaumonti* (d'Archiac & Haime) forma-A, proba MV2B; **b.** *Nummulites beaumonti* (d'Archiac & Haime)forma-b, proba MV3C; **c.** *Nummulites perforatus* (de Montfort) forma-A, proba VA1D; **d, k.** *Nummulites striatus* (Bruguière) forma-A, proba Ba1; **e.** *Nummulites perforatus* (de Montfort) forma-A, proba Ba1; **f.** *Nummulites striatus* (Bruguièr) forma-A, proba Ba1; **g.** *Nummulites perforatus* (de Montfort) forma-A, proba M4; **h.** *Nummulites perforatus* (de Montfort) forma-A, proba Ba1; **i.** *Nummulites perforatus* (de Montfort) forma-a, proba G3; **j.** *Nummulites beaumonti* (d'Archiac & Haime) forma-A, proba MV1B; **l.** *Nummulites beaumonti* (d'Archiac & Haime) forma-A, proba VA1A; **m.** *Nummulites striatus* (Bruguière) forma-B, proba Ba1; **n.** *Nummulites perforatus* (de Montfort forma-B, proba VA2A; **o.** *Nummulites perforatus* (de Montfort forma-B, proba Ba1; **p.** *Nummulites perforatus* (de Montfort) forma-B, proba G3. Scale bars: a, b, d, f, k, i - 500 μm ; c, e, g, h, i, j - 1 mm, and n, o, p -

1 cm

Asociațiile de foraminifere mari din Bazinul Dorog prezintă diferențe similare al nivelului valorilor diamterului C. Specia *N. perforatus* are diametrul C de 920 μm iar *N. striatus* are diametrul C de 179 μm . Raportul T/D al speciei *N. perforatus* este de 0.321 și 0.552.

2.4.3. Raportul A/B al asociațiilor de *Nummulites*

Asociațiile nummulitice studiate au un raport A/B între 15 și 135. În jumătate dintre aflorimente, raportul A/B scade spre partea superioară a acestora. O scădere a raportului A/B a fost observat în aflorimentul Gi2, unde raportul scade spre partea superioară a aflorimetului de la 70 la 39, iar în cazul afloriementului MV1 acesta scade de la 97 la 15. În cazul unor aflorimente raportul A/B crește spre partea superiosră, rezultând o creștere de la 54 la 106 (MV3) sau de la 35 la 86 (VA2). Creșterea sau scăderea raportului A/B în cadrul aflorimentelor studiate, nu este în mod constant relatat la schimbările biostructurilor sau structurilor sedimentare și raportelor T/D al formelor-B de *N. perforatus*. Pentru a documenta variațiile raportului A/B de-a lungul aceluiași nivel stratigrafic, au fost colectate probe din acel nivel în diferite zone. În cazul aflorimentului M, raportul A/B variază pe laterală de a lungul aceluiași strat de la 39 (M1), la 112 (M2) și 47 (M4).

2.5. Discuții

2.5.1. Asociații autohtone s-au alohtone?

Formele-A și -B de *Nummulites* sunt foarte bine păstrate. Acest lucru este în concordanță cu cele mai frecvente biostructuri observate în Bazinul Transilvaniei și Dorog. Dispunerile haotice observate în calcarele nummulitice sunt în general interpretate ca rezultatul acțiunii valurilor (Racey, 2001) sau a bioturbațiilor (Beavington-Penney et al., 2005). Prezența urmelor erozionale asociate valurilor, suportă această interpretare, dar în cazul lipsei acestora a doua interpretare nu poate fi exclusă. Acumulările liniare decimetrice de *Nummulites* sugerează acumulări para-autohtone rezultate a acțiunii valurilor sau a curenților (Aigner, 1985; Racey, 1995; Racey, 2001) ori compactarea in-situ al testelor (Racey, 2001). Imbricațiile rar observate sunt caracteristici asociate cu transportul unidirecțional (Beavington-Penney et al., 2005), iar acestea pot fi asociate evenimentelor de furtună (Beavington-Penney et al., 2006). Poziția in-situ al asociațiilor studiate este suportat de faciesul de tip floatstone observat în unele zone din aflorimentel studiate. Acest tip de facies este de obicei interpretat ca rezultat al acumulărilor autohtone, iar faciesul de tip rudstone/floatstone observat în anumite zone, este caracteristic al depozitelor autohtone/parautohtone (Racey, 2001). Prezența sedimentului fin granular, în matricea faciesurilor de tip floatstone și rudstone/floatstone observat la nivelul aflorimentelor studiate este considerat o caracteristică a depozitelor autohtone în cadrul bancurilor nummulitice din Bazinul Transilvaniei (Papazzoni, 2008).

În concluzie pe baza gradului de păstrare a testurilor, tipul de facies și lipsa variației testurilor de *Nummulites*, bancurile nummulitice din Bazinul Transilvaniei și Borog, conservă asociații (para)-autohtone (când imbricațiile sunt prezente) sau autohtone (în celelate cazuri) depozitate în medii de shore face.

2.5.2. Relații impare în cadrul asociațiilor nummulitice

Există o diferență considerabilă între mărimea testurilor A- și B- la *N. perforatus*, însă acest aspect nu este vizibil în cazul speciilor *N. beaumonti* și *N. striatus*. Specimenele de *N. beaumonti* și *N. striatus* au mărimea testului adult aproximativ jumătate (formele-A) sau cu un ordin de mărime mai mică (formele-B) comparativ cu formele -A și -B de *N. perforatus*. O astfel de diferență de dimensiune considerabilă între doua specii taxonomic apropiate care împart același habitat poate fi interpretată ca o “relație impară” (sensu Hottinger, 1999) sau “odd pair” (sensu Hottinger, 2006). Co-ocurența a doi taxoni aparținând aceleiași gen cu mărimi al testului semnificativ diferit în bartonianul din Bazinul Transilvaniei, ne permite să definim *N. beaumonti*

ca și membrul San, iar *N. perforatus* ca și membrul Don ai unei relații impare. Bazat pe aceeași observație făcută legat de mărimea testului, co-ocurență cât și afinitățile taxonomice în Bazinul Dorog, concludem că o altă relație impară poate fi definită: membrul San este reprezentat de *N. striatus*, iar membrul Don de *N. perforatus*.

2.5.3. Paleoecologia cuplurilor impare de *Nummulites*

Foraminiferele mari recente trăiesc în simbioză cu alge fotosintetice (Haynes, 1965; Leutenegger, 1977; Hottinger, 1982; Leutenegger, 1984; Hallock, 1985; Lee & Hallock, 1987), iar acestea sunt adaptate la medii stabile, tropice sau cald-temperate, oligotrofice de marin puțin adânci (Hottinger, 1983; Hallock, 1985). Datorită faptului că sunt dependente de simbiote și de cantitatea de lumină, foraminiferele mari tind să dezvolte testuri cu suprafață/volum mare (Hohenegger, 2009), sau cu rata T/D scăzută. În cadrul foraminiferelor mari recente ocurența relațiilor impare în general sunt restricționate la specii care trăiesc în medii marine puțin adânci, din zonele subtropicale până la tropicale, în partea superioară a zonei fotice. În general se presupune că speciile implicate în relațiile impare au o torelanță diferită la condițiile de mediu, cum este sugerat și de relația impară dintre *Adrosina lucasi* și *Archaias angulatus* (Levy, 1994), au un mod diferit de hrănire (Lee et al., 1991) sau se reproduc în diferite perioade (Zohary et al., 1980; Hottinger, 1999). Rata de creștere la *Nummulites* poate fi foarte rapidă în cazul creșteri multispirală. De exemplu, *Nummulites millecaput*, are cel mai mare test cunoscut în cadrul genului *Nummulites*, poate forma un test cu diametrul de 10 cm în mai puțin de 5-6 ani (Ferrández-Cañadell, 2012). În cazul în care creșterea multispirală este prezentă, acesta este caracteristică doar pentru formele microsferice, formele-B cu excepția a doi taxoni *N. perforatus* și *N. cf. dufrenoyi*. Forma-B de *N. perforatus* tot timpul prezintă acest mod de creștere, iar în cazul formelor-A este foarte rară (Schaubm 1981; Ferrández-Cañadell, 2012). În consecință, pe baza mediei diametrului și asumând o rată de creștere similară cu cel al speciei *N. millecaput*, forma microsferică a membrului Don (*N. perforatus* forma-B), cel mai probabil a trăit cel puțin 2 ani. Formele-B de *Nummulites perforatus* eventual puteau să atingă mărimea testului adult în același interval de timp ca și formele-A de *N. beaumonti* și *N. striatus* care au dimensiunea testului de două ori mai mică, dacă aveau o rată de creștere mai mare. Durata de viață a partenerului San *N. beaumonti* și *N. striatus* (forma-B), poate fi estimată a fi de 1 an, care este sugerată de durata de viață a nummulitidelor recente *Operculina ammonoides* (Pecheux, 1995) și *Amphistegina lobifera* (Triantaphyllou et al., 2012). Asocierea unui membru San *Heterostegina operculinoides* cu doi membrii Don diferiți a fost documentat de Hottinger (1999).

În cadrul speciilor care fac parte din această relație impară, membrul Don (*N. perforatus*) are cea mai frecvență apariție în bartonian (Schaub, 1981). Asocierea acestuia cu doi membri San diferiți nu este rezultatul distribuției stratigrafice, pentru că *N. beaumonti* și *N. striatus* au apariție comună în bartonian (Schaub, 1981). Asocierea speciei *N. perforatus* cu două specii nummulitice mai mici, poate fi asociat cu distribuția paleogeografică mai restrânsă a *N. beaumonti* și *N. striatus* sau cu conexiune paleogeografică mai restrânsă al celor două bazine. Distribuția perechilor impare în Bazinul Transilvaniei dezvăluie o altă caracteristică. Membrul San apare foarte rar în faciesuri interpretate ca rezultatul al acțiunilor cu energie ridicată (dominate de valuri s-au de curenți), până când partenerul Don forme-A și -B sunt tot timpul prezente în faciesuri de acest tip. Acest lucru sugerează că *N. perforatus* a fost mai adaptat condițiilor ambientale mult mai variate decât membrii San *N. beaumonti* și *N. striatus*.

Foraminiferele mari bentonice, cât și cuplurile impare cunoscute sunt considerate ca specii cu comportament strategic K (Hottinger, 1997). Deși același lucru poate fi considerat în cazul membrilor Don și San din cadrul unei relații impare nummulitice, presupunem, o strategie de viață puțin diferită pe baza diferențelor observate în abundență, durata de viață, modul de creștere, ocurență și distribuția paleogeografică. În cadrul selecției r/K, membrul Don care este mai mare, are o durată de viață mai lungă și o distribuție mai largă, probabil comportament strategic mai K decât membrii San care aveau o durată de viață mai scurtă și o distribuție mai restrânsă.

2.6. Taxonomie

Oder Foraminiferida Eichwald, 1830

Family Nummulitidae Blainville, 1827

Genus *Nummulites* Lamarck, 1801

Nummulites perforatus (de Montfort, 1808) pl. 2.1, figs. c, e, g–i, n–p

1808 *Egeon perforatus* de Montfort – de Montfort, p. 167.

1853 *Nummulites perforata* d'Orbigny – d'Archiac & Haime, p.115–120, pl. VI, figs. 1–4.

1972 *Nummulites perforatus* (Montfort) – Blondeau, p. 161, pl. XXXIV, figs. 7–11.

1981 *Nummulites perforatus* (de Montfort) – Schaub, p. 88–90, figs. 76, 77, pl. 17, figs. 1–10, pl. 18, figs.1–31, pl. 19, figs. 1–8.

1995 *Nummulites perforatus* (de Montfort) – Papazzoni & Sirotti, p. 73, Pl I, figs. 7–8.

Nummulites beaumonti d'Archiac and Haime, 1853. pl. 2.1, figs. a–b, j

1853 *Nummulites Beaumonti* d'Archiac & Haime, p. 133–134, pl. VIII, figs. 1–3.

1883 *Nummulites sub-Beaumonti* de la Harpe – de la Harpe, p.182–183, pl. XXXI, figs. 48–56.

1981 *Nummulites beaumonti* d'Archiac & Haime– Schaub, p. 135–136, pl. 53, figs. 17–19, 22–25.

1995 *Nummulites beaumonti* d'Archiac & Haime – Papazzoni & Sirotti, p. 73, pl I, figs. 9–10.

Nummulites striatus (Bruguière, 1792), pl. 2.1, figs. d, f, k, m

1792 *Camerina striata* Bruguière – Bruguière, p. 399.

1853 *Nummulites contorta* Desh. – D'Archiac & Haime, p. 136–137, pl. 8, figs. 8 a, b.

1929 *Nummulina striata* Bruguière – Rozlozsnik, p. 194–195, pl. 6, figs. 6–7 and 20.

1981 *Nummulites striatus* (Bruguière) – Schaub, p. 153–154, pl. 53, figs. 26–31.

2.7. Concluzii

Trei specii taxonomic foarte apropiate au fost identificate în asociațiile autohtone de *Nummulites* de vârstă bartonian: *N. perforatus* și *N. beaumonti* în Bazinul Transilvaniei iar *N. perforatus* și *N. striatus* în Bazinul Dorog. Asociațiile dintre două specii apropiate având morfologia și structura tetusului foarte asemănătoare, dar foarte diferite în dimensiuni a fost interpretată ca relații impare sensu Hottinger (1999). Asociațiile impare formate din *N. beaumonti* ca și San, și *N. perforatus* ca și Don (Bazinul Transilvaniei) și asociațiile de *N. striatus* ca și San, iar *N. perforatus* ca și Don (Bazinul Dorog), au trăit în medii oligotrofile cu ape puțin adânci în partea superioară a zonei fotice. Asociația aceluiași partener Don cu doi parteneri San în două bazine sedimentare diferite, este interpretată ca rezultatul distribuției paleogeografice mai mari și apariția mult mai abundentă a partenerului Don (*N. perforatus*), comparat cu membrii San (*N. beaumonti* și *N. striatus*). Datele obținute sugerează că *N. perforatus* membrul Don a avut un comportament strategic de tip K, pe când *N. beaumonti* și *N. striatus*, membrii San dezvoltau mai puțin acest tip de strategie și erau ceva mai oportuniști.

3. Analize de microfacies și caracteristici diagenetice

Capitolul 3 este bazat pe articolul

Pleș, G., **Kövecsi, S.A.**, Bindiu-Haitonic. R., Silye, L. 2020. Microfacies analysis and diagenetic features of the Eocene nummulitic accumulations from northwestern Transylvanian Basin (Romania). *Facies*, 66 (3), paper 20.

3.1. Introducere

Secvența sedimentară eocen mediu (bartonian) în unele zone ale Bazinului Transilvaniei este caracterizată de acumulări bioclastice de ape foarte puțin adânci, alcătuite în principal de foraminifere bentonice mari, în special nummulitide (Popescu, 1978; Rusu et al., 2004; Kövecsi et al., 2016). Această succesiune sedimentară are o grosime, dispunere pe laterală, biostructură și distribuție variabilă în cadrul bazinului. Depozite contemporane (bartonian) caracterizate de o litologie, paleontologie și caracteristici sedimentare asemănătoare sunt extrem de rare în zona neotethyană (Papazzoni & Seddighi 2018), cu toate că faune de *Nummulites* sau acumulări nummulitice sunt frecvent prezente în succesiunile sedimentare calcaroase eocene din arealul neotethyan (Jorry et al., 2006 și referințele citate; Schaub, 1981).

Prezentul studiu este prima investigație de microfacies realizată pe acumulările nummulitice slab cimentate din Bazinul Transilvaniei. Obiectivul principal este de a pune în evidență importanța analizelor detaliate de secțiuni subțiri în cazul studierii acumulărilor nummulitice similar.

3.2. Material și metode

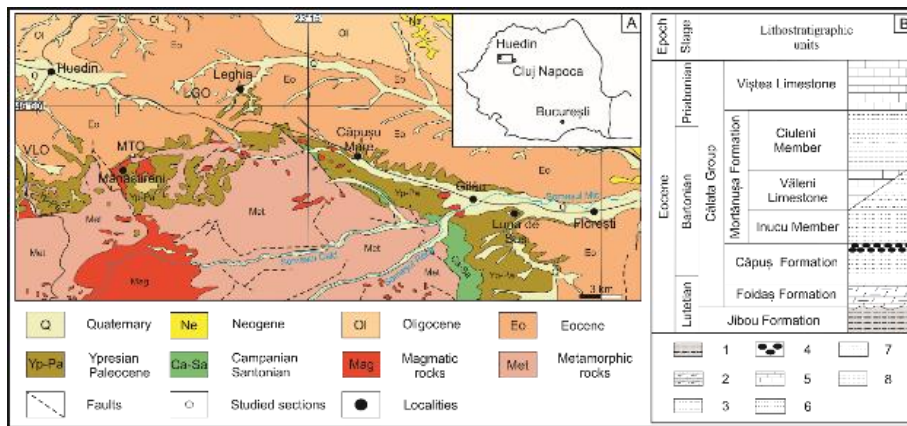
Cele 25 de probe studiate au fost colectate din trei locații din partea nord vestică a Bazinului Transilvaniei (Fig. 3.1). În cazul fiecărui afloriment studiat au fost prelevate probe orientate din diferite nivele al acumulărilor nummulitice. Prepararea probelor a fost realizată în laboratoarele Departamentului de Geologie (Universitatea Babeș-Bolyai). Formele-A (macrosferice) și -B (microsferice) au fost numărate punctual la fiecare din secțiunile subțiri studiate folosind un microscop binocular.

3.3. Rezultate

3.3.1. Descrierea aflorimentelor și caracteristici sedimentologice

3.3.1.1. Aflorimentul Mănăstireni

Acest afloriment este situat în vecinătatea localității Mănăstireni (jud. Cluj). Aici, o secvență relativ groasă (aproximativ 2.5 m) de acumulare nummulitică slab cimentată cu o matrice detritică nisipoasă este expusă. Partea bazală al aflorimentului este caracterizată de dispunerea haotică a testelor de nummulitide (Fig. 3.2). Câteva fragmente de moluște (teste trunchiate de bivalve) au fost prezente. În partea mediană al aflorimentului o suprafață discret erozională poate fi distinsă,



Depozite continentale ; 2. Argile cu marne; 3. marne; 4. acumulări nummulitice; 5. calcare; 6. argile; 7. nisipuri argiloase; 8. argile nisipoase.

acoperită de un nivel bioclastic mai grosier dens compactat cu forme-B de *Nummulites* imbricate (Fig. 3.2.). Spre partea superioară un nivel bioclastic bine cimentat și compactat poate fi observat. Deasupra acestui nivel, faciesul este similar cu cel observat în partea bazală a succesiuni probate.

3.2.1.2. Aflorimentul Văleni

Aflorimentul studiat este situat la periferia localității Văleni. Succesiunea probată este reprezentată de acumulare nummulitică slab cimentată similară cu MTO având o grosime de 1.7 m. În partea inferioară al aflorimentului o dominanță clară a dispunerilor haotice de *N. perforatus* de formă-A poate fi observată. Acestea sunt cantonate într-o matrice argiloasă fin granulară, urmat de un nivel de teste de *Nummulites* dens compactate (Fig. 3.2). Partea mediană a succesiunii este marcată de o suprafață erozională. Deasupra acestei suprafețe un nivel cu dispuneri imbricate și lineare de *Nummulites* forma-B intercalate cu *Nummulites* forma-A și -B slab aranjate au fost observate (Fig. 3.2).

3.2.1.3. Aflorimentul Leghia

Acest afloriment este situat în vecinătatea localității Leghia. Această succesiune conține o acumulare nummulitică foarte fracturată și compactată, cu o cimentare relative slabă. Numeroase granule saturate între dispunerea haotică de teste de *N. perforatus* forma-B sunt vizibile împreună cu abundente seturi de microstilolite anastomosate. În partea bazală și mediană a succesiunii probate, nivele mici cu teste de *Nummulites* imbricate pot fi notificate (Fig. 3.2). Caracteristici

bioerozionale sunt comune. Nummulitoclastele sunt cantonate ca în cazul aflorimentelor anterioare într-o matrice detritică fin granulară.

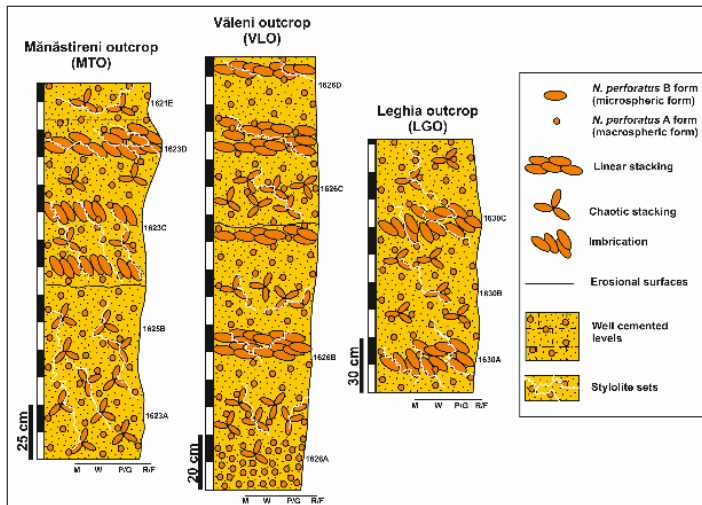


Fig. 3.2. Profilele aflorimentelor studiate

3.3.2. Analize de microfacies

3.3.2.1. Descrierea principalelor tipuri de microfacies

Au fost stabilite trei principale tipuri de microfacies (MFT1-3) (Fig. 3.3). Faciesul de tip rudstone nummulitic dens compactat (MFT1) poate fi distins în

toate cele trei aflorimente

3.3.2.2. Asociațiile biotice

Asociațiile biotice în aflorimentele studiate sunt dominate de un număr remarcabil de specimene de *N. perforatus* (forma-A și -B) dens compactate. Studiile microfaciesale au relevat faptul că matricea acestor acumulări este alcătuită aproape în exclusivitate din fragmente fine nummulitice. Fragmente de echinide și moluște (bivalve) încât și foraminifere bentonice mici au fost observate foarte rar.

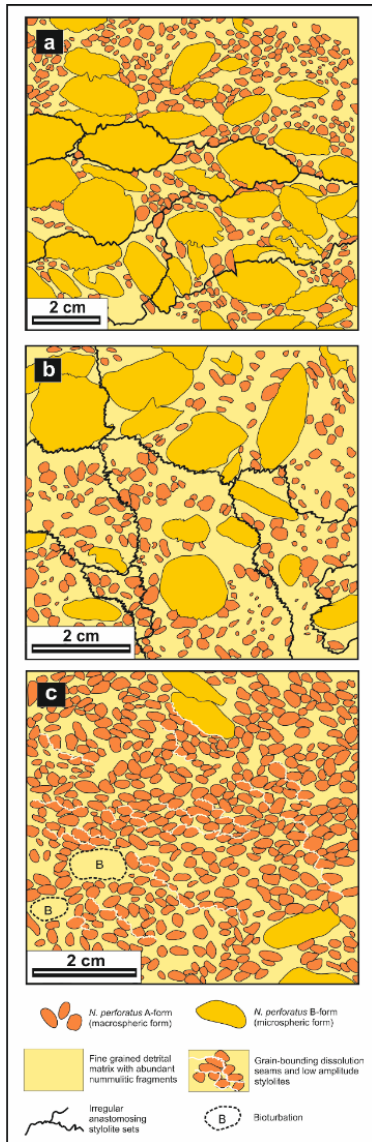
3.3.3. Raportul A/B al asociațiilor de *N. perforatus*

Raportul A/B al asociațiilor de *Nummulites* este foarte des folosit pentru a constrânge originea autohtonă-alohtonă al acumulărilor sau bancurilor nummulitice (Aigner, 1985; Kövecsi et al., 2016). În aflorimentele studiate raportul A/B calculat al asociațiilor de *N. perforatus* este între 6 și 41. Cel mai mare raport A/B (41) este prezent în partea bazală al VLO, pe când cel mai scăzut (6) a fost observat în partea superioară al MTO.

3.4.1.1. MFT1- Rudstone nummulitic dens compactat

Acest microfacies reprezintă principalul tip de microfacies în cadrul succesiuni nummulitice studiate. A fost detectat în toate cele trei aflorimente. Este definit de structură relativ dens compactată a componentelor principale (Fig. 3.3a) și de numeroase structuri generate de presiunea de dizolvare. În MTO structurile imbricate probabil pot fi asociate cu acțiunea curenților (sensu Beavington-Penney et al., 2005) urmat de un proces intensiv de compactare. După îngropare, lipsa

cimentului marin timpuriu și presiunea de dizolvare a favorizat îndepărtarea selectivă a debrisului



numulitoclastic dintre testurile mari nummulitice generând o textură mai dens compactată. Suturile sudate, seturile de stilolite anastomosate și contactele concavo-convexe sunt trăsăturile principale al acestor procese în cadrul nivelurilor imbricate din MFT1. Rudstone-ul nummulitic haotic dispus (MFT2) și rudstone-ul bioturbat nummulitic (forma-A) (MFT3) a fost observat doar în aflorimentele MTO și VLO.

Fig. 3.3 Ilustrarea schematică al principalelor tipuri de microfacies (MFT1-3): **a** Rudstone nummulitic dens compactat (MFT1); **b** Rudstone nummulitic haotic dispus (MFT2); **c** Rudstone nummulitic (forme-A) bioturbat (MFT3).

3.4. Interpretări și discuții

3.4.1.2. MFT2- Rudstone nummulitic haotic dispus

Caracteristica principală al acestui tip de microfacies este prezența numeroaselor testuri de *N. perforatus* forma-B mari, partial fragmentate și bioerodate. Acestea sunt cantonate într-o matrice detritică fin granulară compusă aproape în exclusivitate din fragmente nummulitice (Fig. 3.3b). Suturile sudate multi-granulare observate împreună cu seturile de structuri stilolitice de amplitudine mică/mare, indică un grad de compactare ridicată generată de presiunea de supraîncărcare anterioară îngropării progresive (vezi Alsharhan & Sadd, 2000; Toussaint et al., 2018).

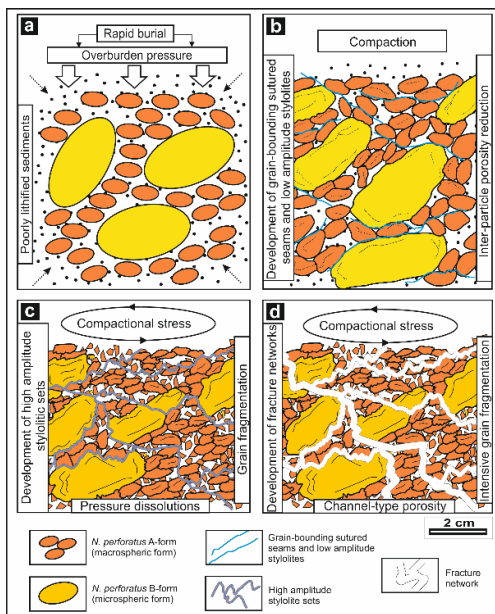


Fig. 3.4. Modelul propus pentru fazele stilolitice din cadrul acumularilor nummulitice studiate.

3.4.1.3. MFT3- Rudstone bioturbat nummulitic (forma-A)

Acest principal tip de microfacies a fost întâlnit doar în VLO și este mai slab dezvoltat în cadrul succesiuni sedimentare studiate decât MFT1 și MFT2. Principala caracteristică a MFT3 este dată de prezența a numeroaselor teste de forme-A de *N. perforatus* (Fig. 3.3c) cantonate într-o matrice fină granulară bioturbată. Chiar dacă principalele nummulitoclaste prezintă o

structură stivuită, absența sistemelor stilolitice de amplitudine mare asociate cu fisuri și crăpături indică un grad de compactare mai scăzută în comparație cu celelalte principale tipuri de microfacies.

3.4.2. Caracteristici diagenetice și fazele de stilolitizare

Prezența numeroasă a structurilor stilolitice, fracturilor, contactelor suturate între elementele principale și gradul relativ mare de compactare sunt indicatori al mediilor de diageneză prin îngropare (Flügel, 2010; Toussaint et al., 2018). Nu au fost observate dovezi al dezvoltării structurilor stilolitice asociate tectonici. Luând în considerare faptul că stilolitizarea este controlată de litologie și adâncimea îngropării (Dunnington, 1967; Ben-Itzhak et al., 2014; Toussaint et al., 2018) următoarele aspecte pot fi considerate legat de istoria diagenezei acumulărilor nummulitice analizate. În primul rând, de-a lungul primei faze de litificare, a avut loc un proces de îngropare rapidă, care a fost responsabil pentru formarea numeroaselor suturi sudate de dizolvare și seturilor de stilolite de amplitudine scăzută (Fig. 3.4a). În al doilea rând, deoarece majoritatea sedimentelor solubile au fost afectate de faza anterioară de stilolitizare stresul de compactare în derulare a declanșat dezvoltarea stilolitelor rectangulare/columnare de amplitudine ridicată (Fig. 3.4c). În al treilea rând în ciuda faptului că stilolitizarea a atins un stadiu de dezvoltare matură, compactarea succesivă a condus la trunchierea clastelor și la formarea sistemelor de fracturi/crăpături (Fig. 3.4d).

3.4.3. Stilolitizarea și impactul asupra porozității și permeabilității

Studiile focusate pe efectul dizolvărilor sub presiune în rocile carbonatice au conchus că porozitatea și permeabilitatea sunt influențate de fazele de stilolitizare (Alsharhan & Sadd, 2000; Vandeginste & John, 2013; Ben-Itzhak et al., 2014; Toussaint et al., 2018). În toate aflorimentele studiate a fost observat faptul că un număr mare de seturi stilolitice au redus gradual porozitatea intra-particulară primară. Totuși această porozitatea a rămas foarte ridicată, în special în interiorul testurilor de *Nummulites*. Cel mai probabil abundența sedimentului argilos în cadrul acumulărilor nummulitice și fluidele slabe în CaCO_3 au influențat formarea a astfel de pori de-a lungul planurilor de dizolvare a structurilor stilolitice.

3.4.4. Paleomediul depozițional

În baza texturii, abundenței specimenelor de *N. perforatus* cantonate într-o matrice argiloasă detritică și al altor caracteristici sedimentare, formarea acestor bioacumulări pot fi relatate unui paleomediului de self intern cu ape puțin adânci cu oscilații ale hidrodinamicii (Rusu et al., 2004;

Kövecsi et al., 2016). Considerând ca bancul sau acumularea este o structură convexă, se poate deduce că stilolitele sunt mai bine dezvoltate în flancuri decât în creasta acestora, datorită creșterii presiunii generate de stresul de supraîncărcare. Acoperirea rapidă a acumulărilor nummulitice, cel mai probabil poate fi asociat transgresiunii apărute de-a lungul depunerii Formațiunii de Căpuș.

Legat de natura autohtonă versus alohtonă a testurilor de *Nummulites* în cadrul acumulărilor nummulitice studiate Kövecsi et al. (2016) a propus o natură autohtonă spre para-autohtonă a acestora pe baza biostructurilor identificate, al raportului A/B al speciimenelor izolate de *N. perforatus* și conținutul fosil al acumulărilor. Structurile de compactare identificate aduc elemente adiționale pentru această interpretare. În toate aflorimentele studiate numărul mare de debris micro scheletal identificat în cadrul și în preajma stilolitelor confirmă această interpretare.

3.4.5. Interpretarea raportului A/B

Variațiile observate la nivelul raportului A/B al asociațiilor de *Nummulites* în cadrul aflorimentelor studiate par a fi rezultatul proceselor de compactare, datorită faptului că cel mai scăzut raport A/B a fost observat în probele/nivelele cu o evidență clară a compactării. În consecință rezultatele noastre sugerează că folosirea raportului A/B poate fi problematic. Procesele de compactare de după îngropare pot avea un impact considerabil în raportul A/B, rezultând o rată A/B scăzută.

3.5. Concluzii

1. Analiza secțiunilor subțiri au dezvăluit faptul că stresul de compactare relativ mare a generat un număr ridicat de particule detritice nummulitoclastice, sisteme de stilolite și fracturi bine dezvoltate în acumulările nummulitice din partea nord-vestică a Bazinului Transilvaniei. Genul acesta de structuri a avut o influență puternică în dezvoltarea heterogenității texturale, gradul de consolidare și particularității morfo-structurale al acestori acumulări. Presiunea de dizolvare este un element cheie pentru descifrarea istoriei diagenetice, evoluției porozității și a variațiilor în cazul raportului A/B al asociațiilor de *Nummulites*.

2. Variațiile morfologice, orientarea și tipurile de dezvoltare al seturilor de stilolite-fracturi, împreună cu alte caracteristici compactionale, implică o serie succesivă de faze stilolitice care au afectat acumulările numulitice de-a lungul diagenezei de îngropare. Prima fază sa manifestat prin formarea numeroaselor suturi sudete de dizolvare, încât și al unor stilolite mici de amplitudine scăzută, de-a lungul primei faze de litificare. A doua fază stilolitică este reprezentată de dezvoltarea microstilolitelor rectangulare interconectate și a stilolitelor columnare de amplitudine ridicată, prezentând o structură anastomozată. Presiunea de supraîncărcare a cauzat deteriorări prin

compactare, observate prin trunchierea granulelor și formarea sistemelor interconectate de fracturi asociate unei etape mai avansate de litificare.

3. Chiar dacă presiunea de dizolvare gradual a redus porozitatea primară intra-particulară, structurile stilolitice au favorizat dezvoltarea sistemelor de fracturi care au crescut considerabil porozitatea secundară. Întregul sistem de stilolite-crăpături poate fi interpretat ca un sistem de percolare tridimensională, care crește permeabilitate și prin urmare potențialul de rezervor al acumulărilor nummulitice.

4. Variațiile raportului A/B al *N. perforatus* observate în aflorimente poate fi la fel asociat cu aceste caracteristici de compactare. Este interesant faptul că cea mai scăzută valoare a raportului A/B a fost obținut în cazul nivelurilor cele mai compactate, caracterizate prin structuri stilolitice abundente. Din moment ce majoritatea formelor-A, macrosferice sunt sparte sau fragmentate, se poate presupune că aceste forme sunt mai predispuse la fragmentare în comparație cu formele-B de *Nummulites*. În consecință, compactarea a influențat raportul A/B al asociațiilor nummulitice după îngropare.

5. Numărul ridicat de debris nummulitoclastic din cadrul și din jurul sistemelor de stilolite și în jurul testuriloae de *Nummulites* abradate suportă natura autohtonă ori para-autohtonă al acumulărilor studiate. Mai mult de atât, modul de fragmenare al formelor-B de *N. perforatus* împreună cu numeroase structuri bioerozionale, poate fi considerat ca și consecință a presiuni de dizolvare in situ decât al abradări prin transport.

6. Analizele de microfacies s-au dovedit a fi o metodă foarte benefică pentru studierea acumulărilor nummulitice. A furnizat o mai precisă perspectivă legat de caracteristicile morfostructurale interne al acumulărilor încât și o mai bună înțelegere a mecanismelor implicate în evoluția construcțiilor nummulitice eocene din Bazinul Transilvaniei.

4. Distribuția asociațiilor și modelul depozițional

Capitolul 4 este bazat pe articolul

Kövecsi S.A., Less G., Bindiu-Haitonic R., Pleș G., Silye L., (submitted). *Nummulites* assemblages, biofabrics and sedimentary structures: the anatomy and depositional model of an extended Eocene (Bartonian) nummulitic accumulation from the Transylvania Basin (Romania).

4.1. Introducere

Acumulările nummulitice sunt componente esențiale ale depozitelor sedimentare Eocene în arealul Neotethyan. Acestea s-au format, în general, în intervalul de timp când clima pământului și-a exercitat cea mai caldă perioadă din Cenozoic (Zachos et al., 2008; Brandano & Tomassetti, 2021). Aceste acumulări apar în paleomedii de platformă, șelf puțin adânc sau în medii de rampă mediană-externă (Racey, 2001). Una dintre principalele întrebări este dacă testurile de *Nummulites* care alcătuiesc aceste acumulări sunt autohtone s-au allohtone. Model lui Arni (1965) sugerează că acumulările nummulitice s-au dezvoltat datorită ratei de reproducere crescută a numuliților și ratei scăzute de sedimentare. Originea autohtonă a testurilor de *Nummulites* din aceste acumulări a fost pusă sub semnul întrebării de Aigner (1982, 1983, 1985), care a identificat diferite structuri sedimentare atribuite proceselor de vânturare și transport. Recent datele experimentale obținute din studierea comportamentului hidrodinamic al foraminiferelor mari, au sugerat că dezvoltarea acumulărilor nummulitice nu este controlată doar de valurile sau curenții care afectează habitatul, sau preferințele ecologice al principalelor foraminifere mari prezente în acumulările nummulitice.

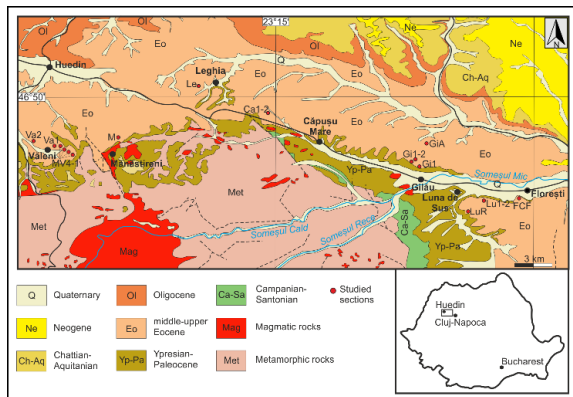
Prin această lucrare prezentăm primul studiu realizat la o rezoluție mare, 3D, axat pe caracteristicile uneia dintre cele mai mari și extinse acumulări nummulitice Eocene din partea nordică a arealului Neotethyan, și propunem un model paleoambiental coroborat cu date paleontologice și sedimentologice

4.2. Material și metode

Acest studiu este bazat pe interpretarea a 62 de probe colectate de-a lungul a 18 profile din cadrul acumulărilor nummulitice deschise în partea nord-vestică a Bazinului Transilvaniei între localitățile Cluj-Napoca și Huedin (Fig. 4.1). Aflorimentele studiate au fost descrise în detaliu cu o atenție deosebită dedicată structurilor sedimentare și biostructurilor. Probele colectate sunt alcătuite, în principal, din testuri al speciei *N. perforatus* și rare testuri de *N. beaumonti* (forme – A și -B) sunt dominante. În unele locații testuri aparținând ambilor taxoni au fost identificate într-

o matrice argiloso-s-nisipoasă. Resturi fosile cu o abundență scăzută de foraminifere mici bentonice, moluște și brizoare sunt comune (Kövecsi et al., 2016; Bindiu-Haitonic et al., 2021).

Fig.4.1. Harta geologică simplificată a zonei studiate (după Răileanu & Saulea 1968).



Probele au fost preparate în laborator folosind metodele standard de preparare a materialului micropaleontologic. Reziduul uscat cu fracția mai mare de 63 μm a fost împărțit în 4. O pătrime din fiecare probă a fost folosită pentru studii biometrice, tafonomice și pentru estimarea raportului între formele -A și -B (raportul A/B) al asociațiilor de *Nummulites*.

4.3. Rezultate

4.3.1. Limite și suprafețe de delimitare

Acumulările nummulitice sunt suprapuse pe argile gri și sunt acoperite de calcare bioclastice cu gastropode și bivalve care au o grosime aproximativă de 10–15 cm.

Limita inferioară a acumulărilor nummulitice este bruscă, dar nu este erozională și acoperă conform marnele. În marne apar resturi de *Nummulites* de dimensiuni mici și foraminifere bentonice mici.

Acumulările nummulitice sunt acoperite de calcare bioclastice și marne calcaroase (Membrul de Inucu), depozitate în medii de șelf intern/distal (Mészáros & Moiescu, 1991; Rusu et al., 2004). Limita între această unitate și partea superioară al acumulărilor nummulitice este bruscă și puțin erozională. Puțin sub contactul dintre cele două unități, este vizibil un nivel rosiatic de dimensiuni centimetrice până la decimetrice.

4.3.2. Asociațiile de *Nummulites* și biostructurile/caracteristicile sedimentare asociate

Pe baza abundenței relative a foraminiferelor mari și raportului A/B, au fost identificate trei diferite asociații de *Nummulites*.

4.3.2.1. Asociația 1

Această asociație este dominantă de *N. beaumonti* forme-A și -B, iar formele-A de *N. perforatus* sunt subordonate, iar formele -B sunt rare sau lipsesc în totalitate. Asociația 1 apare în partea nordică și estică a acumulărilor nummulitice, în partea bazală al aflorimetelor GiA și LuR. Specimenele de *N. beaumonti* și *N. perforatus* forme-A și -B au un grad de păstrare a testului

moderat și sunt cuprinse într-o matrice fină sau granulară. Formele-A de *N. beaumonti* sunt subglobulare iar formele-B, care apar foarte rar, sunt subglobulare spre lenticular bombate. Formele-A de *N. perforatus* sunt lenticular bombate, pe când formele-B sunt lenticulare. Rata A/B a speciei *N. beaumonti* este între 34 și 42. În cazul în care formele-B de *N. perforatus* sunt prezente rata A/B a speciei *N. perforatus* este de 145.

Asociația 1 este caracterizată și de biostructuri de tipul dispunerilor haotice (Fig. 4.2F).

4.3.2.2. Asociația 2

Este cea mai comună asociație de *Nummulites* în cadrul acumulărilor nummulitice studiate. Este alcătuită, în totalitate, din forme-A și -B de *N. perforatus*, și apare în întreaga zonă studiată. În unele locuri, mai ales în partea vestică al acumulărilor nummulitice, alternează cu Asociația 3. Specimenele de *Nummulites* aparținând acestei asociații sunt cantonate în depozite cu matrice fin granulară sau granulară și sunt bine păstrate.

Testurile formelor-A de *N. perforatus* au o formă lenticular bombată, iar formele-B sunt de la lenticular bombate la lenticulare. Raportul A/B al acestei asociații variază de la 27 la 176. Mai multe tipuri de biostructuri pot fi observate în Asociația 2. Cele mai comune biostructuri sunt dispunerile haotice și acumulările liniare (Fig. 4.2A). În unele locații sunt observabile îmbricații, urme erozionale și umpluturi (Figs. 4.2D, E). Sedimentul fin-granular din cadrul aflorimentelor Lu1 și Lu2 este bogat în glauconit.



Fig.4.2. *Principalele faciesuri și biostructuri. A-* Biostructură haotic dispusă cu o matrice granulară (aflorimentul MV3); *B-Urme erozionale relatate curenților* (aflorimentul LuR); *C-Dispuneri lineare cu suprafață erozională* (afloriment Va2); *D-Urme erozionale și umpluturi relatate curenților* (aflorimentul FCF); *E-Biostructuri imbricate cu matrice fină spre granulară* (aflorimentul Le); *F-Matrice fină* (aflorimentul GiA).

4.3.2.3. Asociația 3

Această asociație este alcătuită predominant din specia *N.perforatus* forme-A și -B, iar sporadic din specia *N. beaumonti* forme-A și -B. Este mai puțin comună decât Asociația 2, dar apare aproape în toate aflorimentele studiate. Specimenele acestei asociații sunt cantonate în depozite nisipoase cu o matrice fin-granulară spre granulară. Testurile de *Nummulites* sunt în general bine păstrate.

Formele-A de *N. perforatus* sunt lenticular bombate, pe când formele-B au o formă lenticular bombată, lenticulară. Formele-A de *N. beaumonti* au formă subglobulară sau lenticular bombată, iar formele-B au formă de la subglobular la lenticular bombat. Rata A/B a speciei *N. perforatus* este între 15 și 135, iar în asociațiile unde formele-A de *N. beaumonti* sunt prezente rata A/B a acestei specii variază între 2 și 22. Cele mai comune biostructuri observate în Asociația 3 sunt dispunerile haotice și acumulările liniare a formelor-B de *N. perforatus*. În unele zone caracteristicile depozitionale de tipul suprafețelor erozionale, urmelor de curenți și umpluturilor pot fi observate (Figs. 4.2A, B).

4.3.3. Direcții de paleocurenți

Direcțiile de paleocurenți pot fi determinate în partea vestică, centrală și estică a acumulărilor nummulitice (Fig. 4.3). În partea vestică direcția generală a testelor imbricate de *N. perforatus* forma-B, indică direcții de paleocurenți spre est, est-nord-est (Fig 4.3A). Specimenele imbricate de *Nummulites* din partea centrală a acumulărilor indică direcții de paleocurenți spre est, sud-est (Fig. 4.3B). În partea estică a depozitelor studiate speciunile indică paleocurenți direcționați spre est (Fig. 4.3 C) sau spre est-sud-est (Fig. 4.3D).

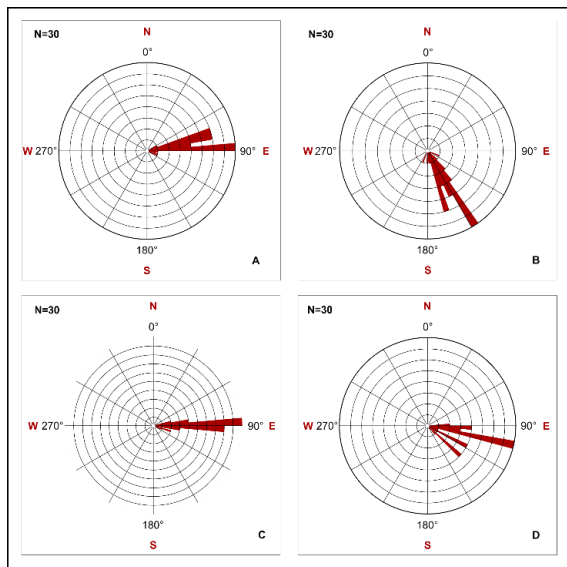


Fig.4.3. Diagramele rozetă al direcțiilor de paleocurenți măsurate pe testele imbricate de *Nummulites perforatus* formă-B. A-aflorimentul M, proba M5; B-aflorimentul Le, proba LeB; C-aflorimentul LuR, proba LuRB; D-aflorimentul LuR, proba LuRD.

4.4. Discuții

4.4.1. Rata A/B a asociațiilor de *Nummulites*

Raportul A/B al formelor -A și -B de *Nummulites* în cadrul unei asociații este frecvent folosită pentru descifrarea originii testelor, sau pentru a separa bancuri de acumulări nummulitice (Papazzoni & Seddighi, 2018 și referințele citate; Pleș et al., 2020).

Raportul A/B în cazul speciei *N. perforatus* variază între 15 și 176, iar în cazul *N. beaumonti* este între 2 și 42. Variațiile observate în raportul A/B al speciei *N. perforatus* nu este legat de abundența taxonilor în cadrul asociațiilor identificate. Cel mai mare coeficient de corelare (r^2) obținut între media D/T a formelor-B de *N. perforatus* și raportul A/B este de 0.11. Variația ratei A/B la nivel stratigrafic ne indică fie o tendință crescătoare, fie una descrescătoare. Nici una dintre

aceste tendințe nu este constant corelată schimbărilor de biostructuri, a ratei D/T sau de facies. Rapoartele A/B determinate pe orizontală, de-a lungul aceluiași nivel stratigrafic, prezintă variabilități similare ca și în cazul distribuției verticale. De exemplu, în cazul aflorimentului FCF, același nivel a fost probat pe laterală în 4 puncte diferite. Deși biostructurile din toate cele 4 puncte de probare prezintă urme de curenți și umpluturi, raportul A/B are o creștere de la 16 la 59 și are cel mai bun coeficient de corelare ($r^2=0.42$), cu media valorii D/T a formelor-B de *N. perforatus*.

Raportul A/B al speciei *N. beaumonti* prezintă diferențe între asociații: cel mai mare (42) este în Asociația 1, care este dominată de specia *N. beaumonti*. În Asociația 3, unde *N. beaumonti* apar sporadic, raportul A/B este cel mai scăzut 2-5 (unde doar 3-6 specimene ale acestui taxon sunt prezente).

Specia *N. perforatus* are cel mai mare raport A/B (145), sau prezintă doar forme-A în Asociația 1, asociația fiind dominată de *N. beaumonti*. Acest lucru poate fi explicat fie prin ecologia populației, prin strategia de reproducere, sau prin procesele sedimentare. Lipsa unei corelări între raportul A/B și D/T al speciilor *N. perforatus* sau *N. beaumonti*, sugerează faptul că raportul A/B nu este influențat de energia, adâncimea sau turbulența mediului depozițional.

4.4.2. Interpretarea asociațiilor de *Nummulites* identificate

Asociația 1 este interpretată ca fiind autohtonă și reprezintă cea mai adâncă parte a acumulării nummulitice. Caracterul autohton al acestei asociații este indicat de dominanța gradului de păstrare TS1 a testurilor, dispunerea haotică a acestora și de sedimentul fin granular sau grosier dispus în matrice fină. Un alt argument pentru poziția in-situ a asociației este dat de co-ocurența speciilor de *Nummulites* cu dimensiuni mici cum ar fi *N. beaumonti* și a celor mari *N. perforatus*. Această co-ocurență numită relație impară este indiciu pentru asociațiile aflate in-situ (Kövecsi et al., 2016).

Testurile specimenelor de *N. perforatus* au forma lenticular bombată spre lenticulară (forme-A), sau lenticulară (forme-B), și au cea mai ridicată valoare a raportului D/T. Comparăția acestor date cu datele foraminiferelor mari recente, sugerează un mediu depozițional aflat puțin deasupra bazei valurilor de furtună, cu ape cu energie scăzută, sau medii cu luminozitate sau ape cu transparentă scăzută în cea mai adâncă parte a acumulării nummulitice (Hallock & Glen, 1986; Renema, 2005; Hallock & Seddighi, 2021).

Asociația 2 este interpretată ca fiind una autohtonă spre para-autohtonă depozitată în ape mai puțin adânci și cu un regim hidrodinamic mai ridicat comparativ cu Asociația 1. Gradul de păstrare TS1 sugerează faptul că materialul studiat a suferit un transport pe distanță scurtă, datorită acțiunii valurilor, sau a fost depozitat in-situ. Transportul pe scurtă distanță al unor specimene este indicat

de imbricațiile decimetrice de teste de *Nummulites*. În unele părți ale acumulării nummulitice, această asociație este cantonată în sedimente ce conțin granule glauconitice într-o abundență semnificativă (profilul Lu1, Lu2). Glauconitul este granular sau pelicular. Studiul morfologic și mineralogic al granulelor de glauconit sugerează că acestea au o origine intersecvențială (para-autohtonă) (Pop & Bedeleian, 1996). Testul speciei *N. perforatus* are o formă lenticular bombată (forma-A), sau lenticular bombată spre lenticulară (forma-B) și are un raport D/T mai scăzut decât speciile din Asociația 1. Prin urmare Asociația 2 a fost depusă în medii mai puțin adânci, undeva între baza valurilor normale și a celor de furtună, cu energie moderată a apelor, sau în medii cu luminozitate și transparență ridicată, comparativ cu Asociația 1 (Hallock & Glen, 1986; Renema 2005; Hallock & Seddighi, 2021).

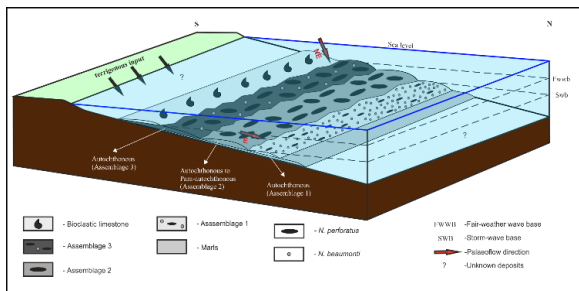
Asociația 3 este caracterizată de dominanța speciei *N. perforatus* în co-ocurență cu specia *N. beaumonti*. Co-ocurența acestor două specii de *Nummulites* este interpretată ca relație impară (*sensu* Hottinger, 1999). Acest tip de relație este cunoscută din asociații fosile autohtone, acest caracter fiind demonstrat în cazul asociațiilor de *Numulites* eocene (bartonian) (Kövecsi et al., 2016; Briguglio et al., 2017).

Formele-A de *N. perforatus* sunt lenticular bombate, iar formele-B sunt lenticular bombate spre lenticulare. Ambele forme sunt apropiate dar mai aplatizate decât specia *N. beaumonti* forma-A și -B (subglobular spre lenticular bombat). Prezența matricei fin granulare, non-cimentate indică, la fel, caracterul in-situ al Asociației 3 (Racey, 2001; Papazzoni, 2008; Briguglio et al., 2017). Această interpretare este în concordanță cu gradul de păstrare al testelor de *Nummulites*. Caracterele sedimentologice care pot fi atribuite curenților unidirecționali sunt absente, iar cea mai tipică biostructură în depozitele în care este cantonată Asociația 3 este reprezentată de dispunerile haotice a formelor-B de *N. perforatus*. Cum dispunerile haotice sunt considerate ca și rezultat al acțiunilor valurilor (Racey, 2001; Beavington-Penney et al., 2005) sau bioturbațiilor (Beavington-Penney et al., 2005), transportul extensiv poate fi exclus. A doua cea mai frecventă biostructură este dispunerea liniară a formelor-B de *N. perforatus*. Acest tip de biostructură este datorată compactării in-situ a testelor (Racey, 2001) sau a vânturării cauzate de valuri sau curenți (Aigner, 1985; Racey, 1995, 2001), susținând caracterul autohton al Asociației 3.

Media ratei D/T a speciei *N. perforatus* este cea mai scăzută în cadrul asociațiilor identificate. Asta înseamnă că formele-A și -B de *N. perforatus* sunt cele mai bombate în cadrul speciilor studiate. Prin urmare am interpretat această asociație ca fiind depusă în apropierea bazei valurilor normale, în medii cu energie a apei ridicată, în zona fotică (Hallock & Glen, 1986; Renema, 2005; Hallock & Seddighi, 2021).

4.4.3. Modelul depozițional și evoluția acumulărilor nummulitice

Pe baza caracteristicilor asociațiilor de *Nummulites* de vârstă eocen medie (bartonian)



identificate în Bazinul Transilvaniei, distribuției stratigrafice și geografice a acestora, a datelor tafonomice, a speciilor de *Nummulites* și a caracteristicilor sedimentologice, propunem un model depozițional comparativ pentru aceste acumulări nummulitice (Fig. 4.4).

Fig.4.4. Modelul depozițional propus pentru acumulările nummulitice eocen mediu (bartonian) din partea nord-vestică al Bazinului Transilvaniei, România.

Acumulările nummulitice studiate reprezintă o succesiune sedimentară acumulată pe un șelf cu înclinare lină, cu o hidrodinamică scăzută spre ridicată, între baza valurilor normale și cele de furtună. Tranziția între asociațiile identificate este graduală și uneori alternează în spațiu și timp. Totuși o tendință generală de adâncire spre nord a fost observată pe baza raportului D/T, gradului de păstrare a speciilor de *Nummulites* și a caracteristicilor sedimentare. Lipsa urmelor de fenomene de resedimentare sugerează că acumulările de *Nummulites* au fost controlate de factori biotici, nu de procese de transport. Distribuția continuă a acumulărilor nummulitice din cadrul Bazinului Transilvaniei exclude resedimentările massive (Rusu, 1995). Cele trei asociații de *Nummulites* identificate și direcțiile de paleocurenți identificate, sugerează o adâncire a paleomediilor de la S la N. De-a lungul gradientului de adâncire, taxoni constructoare de acumulări (*Nummulites* în acest caz), și-au schimbat forma testului ca și răspuns la factorii de mediu. Asociațiile cu testuri mici și bombate de *Nummulites* indică medii cu apă puțin adâncă în cadrul zonei fotice, cu sau fără un regim cu hidrodinamică ridicată, pe când asociațiile cu testul mare și aplatizat indică medii mai adânci (Hallock, 1979; Hallock & Glenn, 1986; Hallock & Seddighi, 2021). Acest lucru este punctat și de schimbarea tipului de matrice. Imbricațiile, urmele erozionale sau urmele și umpluturile erozionale observate local sunt atribuite curenților tidali sau evenimentelor de furtună (Beavington-Penney et al., 2006), chiar dacă biostructurile imbricate pot fi generate de compactarea in-situ a testelor de *Nummulites* (Pleş et al., 2020). Diferențele taxonomice și cele a formelor de teste observate între asociații, cel mai probabil depind de schimbările de mediu. Alternativ, diferențele observate pot reflecta parametri ecologici ai speciilor care apar în Asociațiile 1 și 3. Asociația 1 apare în partea cea mai adâncă, distală a acumulării, Asociația 2 este restricționată în partea mediană, iar Asociația 3 domină în partea proximală, mai puțin adâncă, unde sezonabilitatea poate avea cel mai mare impact asupra asociațiilor.

Evoluția acumulărilor nummulitice din bazinul Transilvaniei poate fi sintetizată în felul următor. Faza 1: *N. beaumonti* și rarere specimene asexuate de *N. perforatus* au colonizat substratul în zona bazei valurilor de furtună, acestea reprezentând nașterea acumulări nummulitice.

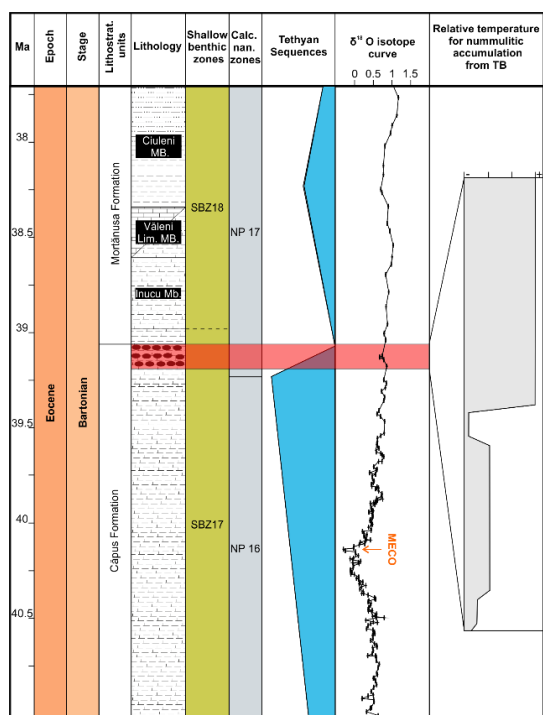


Fig.4.5. Secvența tethyană și curba de oxigen $\delta^{18}\text{O}$ corelată cu datele disponibile pentru temperatura relativă al acumulărilor nummulitice. De marcat coincidența limitei de secvență și incursia negativă $\delta^{18}\text{O}$ ce coincide cu timpul de depunere al acumulărilor nummulitice din Bazinul Transilvaniei. Ma, eoocă, etaj, secvențe tethyene după Gradstein et al. (2020), litostratigrafia și litologia după Kövecsi et al. (2018), zonele bentonice puțin adânci după Serra-Kiel et al. (1998), zonele de nannoplankton calcaros după Martini (1971), curba de $\delta^{18}\text{O}$ după Cramer et al. (2009) și curba relativă de temperatură după Bartholdy et al. (2000).

Colonizarea a fost precedată de o creștere relativă a nivelului mării rezultând într-o suprafață de raviniament în succesiunea sedimentară (Proust & Hosu, 1996). Faza 2: dezvoltarea acumulări nummulitice principale, faza principală a acumulări biotice. Este caracterizată, în principal, de evoluția Asociației 2 și de apariția mai puțin comună a Asociației 3. Acestea au creat o acumulare de *N. perforatus* cu relief scăzut între baza valurilor normale și a celor de furtună.

Presupunem că habitatul a fost caracterizat de o stabilitate relativă a condițiilor de mediu, după cum reflectă și foraminiferele bentonice mici și cele mari, cât și faptul că, uneori glauconitul apare în cadrul asociațiilor. Datele de $\delta^{18}\text{O}$ măsurate pe testele de *N. perforatus* (Bartholdy et al., 2000) din acest interval (Fig. 4.5), care corespunde acestei faze, prezintă un gradient de temperatură ridicat ($\sim 8^\circ\text{C}$) și temperaturi mai calde ale apei ($\sim 25^\circ\text{C}$). Interpretăm aceste date ca fiind un indiciu de scădere al nivelului marin.

Faza 3: cum scăderea adâncimii apei în cadrul habitatului a continuat, Asociația 3 a devenit mai dominantă, sau eventual a devenit singura asociație de foraminifere mari care a putut rezista condițiilor din jurul ori deasupra bazei valurilor normale. Asociațiile impare de *Nummulites* indică faptul că habitatele au fost afectate de sezonabilitate puternică ($\sim 10^\circ\text{C}$), iar temperatura de calcifiere detectată (Fig. 4.5) a atins cea mai mare valoare ($\sim 29^\circ\text{C}$) (vezi Hottinger, 1999; Bartholdy et al., 2000; Kövecsi et al., 2016). La sfârșitul acestei faze dezvoltarea acumulări nummulitice a devenit foarte restrictivă, sau a fost stopată datorită faptului că nivelul marin relativ a atins punctul ridicat (Fig. 4.6) și nu a mai rămas spațiu de acomodare pentru dezvoltare (Proust & Hosu, 1996).

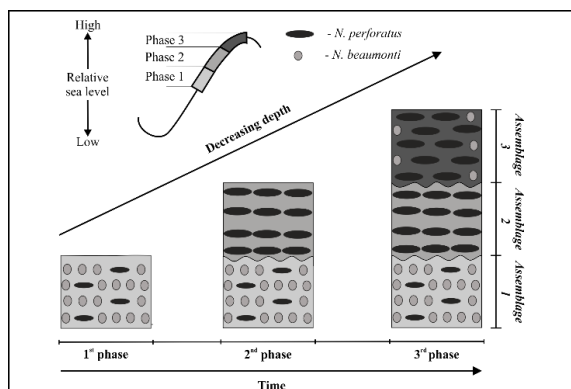


Fig.4.6. Evoluția presupusă al acumulărilor nummulitice din Bazinul Transilvaniei.

4.5. Concluzii

Acumulările nummulitice din Bazinul Transilvaniei conțin asociații de *Nummulites* autohtone și autohtone spre para-autohtone, depuse pe un șelf intern cu pantă lină, între baza valurilor

normale și a celor de furtună. Paleomediul avea o tendință de adâncire dinspre S spre N. Rezultatele noastre au arătat că acumulările nummulitice studiate conservă trei asociații de *Nummulites* diferite, care corespund la trei etape a nivelului relativ marin: Asociația 1 este alcătuită aproape în exclusivitate de forme-A și -B de *N. beaumonti*, și rare forme-A și -B de *N. perforatus*; Asociația 2 este alcătuită în exclusivitate din forme-A și -B de *N. perforatus*; Asociația 3 este dominată de forme-A și -B de *N. perforatus*, iar subordonat apar forme-A și -B al speciei *N. beaumonti*.

Dezvoltarea acumularii nummulitice este rezultatul interacțiunii dintre factorii biotici și abiotici. Așadar abundența relativă a taxonilor reflectă interacțiunea între preferințele ecologice ale speciilor de *Nummulites*, care au generat acumularile, evoluția bazinului (nivelul marin relativ și aportul sedimentar scăzut), cât și istoria climatului. În consecință, natura mono- sau bi-specifică a asociațiilor de *Nummulites* în cadrul acumulărilor este interpretată, în primul rând, ca rezultatul preferințelor ecologice și interacțiunii cu mediul, iar în al doilea rând reflectă abilitatea propagulelor de *Nummulites* de a coloniza habitate noi. În partile cele mai puțin adânci și cele mai adânci a acumulări nummulitice, unde condițiile ecologice sunt extreme sau puțin stabile, asociația este alcătuită de două specii dar dominantă de una, care era mai bine adaptată la habitatul specific. Asociațiile sunt monospecifice în partea mediană a acumulărilor nummulitice, unde condițiile de paleomediul erau cele mai stabile.

5. Date adiționale aduse de alte grupe fosile asociate acumulărilor cu *Nummulites perforatus*

5.1. Nanoplancton calcaros

Sub-capitolul 5.1 este ebazat pe articolele

Bindiu-Haitonic R., Bălc R., **Kövecsi S.A.**, Pleș G., Silye L. 2021. In the shadow of giants: Calcareous nannoplankton and smaller benthic foraminifera from an Eocene nummulitic accumulation (Transylvanian Basin, Romania). *Marine Micropaleontology*, 165(101988).

și

Bindiu-Haitonic R., Bălc R., **Kövecsi S.A.**, Pleș G., Silye L. 2021. A dataset of calcareous nannoplankton and smaller benthic foraminifera from a middle Eocene nummulitic accumulation (Transylvanian Basin, Romania). *Data in Brief*, 36(107154).

5.1.1. Introducere

Date legate de asociațiile de nanoplancton calcaros din cadrul acumulărilor cu *N. perforatus* din Bazinul Transilvaniei sunt foarte vag raportate. Doar câteva lucrări discută aspectele paleontologice și biostratigrafice al acestora (Bombiță et al., 1975; Popescu et al., 1978; Geța, 1984; Rusu et al., 2004).

Un studiu în detaliu al nanoplanctonului calcaros care sunt asociate comunităților de foraminifere bentonice mari din paleomediile acumulărilor numulitice poate oferi o vedere mai bună asupra paleomediului succesiuni sedimentare date și poate constrânge vârsta și paleoecologia comunităților fosile.

5.1.2. Material și metode

Acumulările numulitice au fost probate la o rezoluție mare: 21 de aflorimente grupate în jurul a nouă localități din zona sedimentară Gilău (de aici în colo GSA) și Meseș (de aici în colo MSA) din Bazinul Transilvaniei (vezi Fig. 5.1).

5.1.2.1. Metode de investigare

Asociațiile de nanoplancton au fost investigate din 77 de probe. Secțiunile subțiri au fost preparate folosind matricea dintre speciimenele de *Nummulites*, urmând tehnica standard pentru prepararea secțiunilor subțiri. În cadrul fiecărei secțiuni subțiri minimum 300 de speciimene au fost numărate.

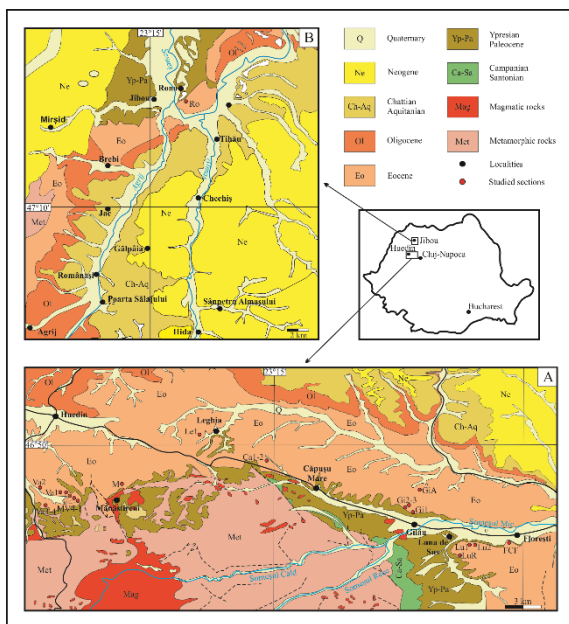


Fig.5.1. Harta geologică simplificată al arealului studiat: A- zona sedimentară Gilău; și B- zona sedimentară Meseș (după Răileanu & Saulea, 1968).

Probele mai puțin abundente în nanoplancton calcaros au fost analizate în 800 de câmpuri vizuale diferite. Taxoni de nanoplancton calcaros au fost clasificate pe baza catalogului online Nanotax 3. Datele cantitative au fost obținute numărând cel puțin 300 de specimene per probă, iar în cazul probelor mai puțin abundente au fost numărate toate speciile prezente în 800 de câmpuri vizuale diferite. Am corelat probele cu schemele de

biozonări dezvoltate pentru diferite latitudini, datorită lipsei speciilor marker principale în probele studiate, și ca să putem atribui cu cea mai mare precizie vârste acestor depozite.

Analizele de date multivariate—analiză de cluster și analiza componentelor principale (PCA)—au fost realizate pentru a determina asociațiile și taxoni principali al asociațiilor încât și pentru a observa diferențele între asociații. Taxoni de nanoplancton calcaros pentru analizele de date multivariate au fost alese pe baza abundenței speciilor și grupurilor taxonomice, iar probele cu <50 de specimene au fost excluse din aceste analize.

5.1.3. Rezultate

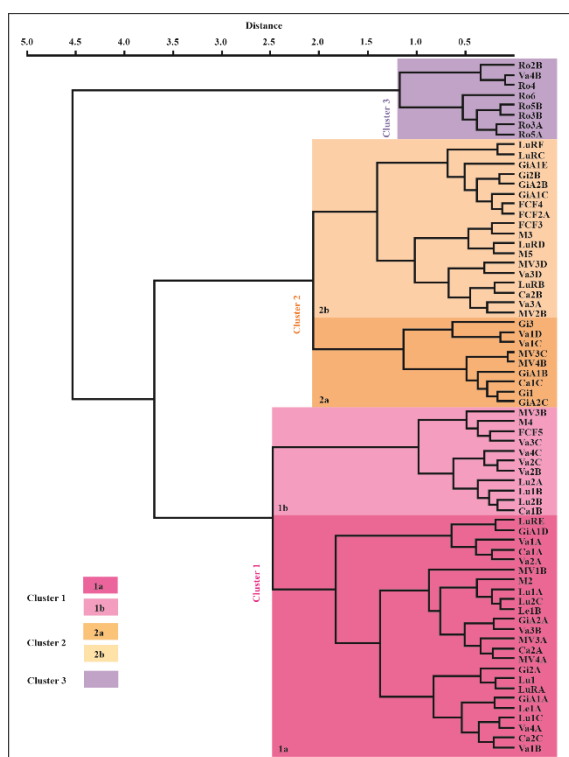
5.1.3.1. Compoziția asociațiilor și abundența speciilor

43 de specii de nanoplancton calcaros au fost identificate în probele studiate, dar unele specimene nu au putut fi identificate doar la nivel de gen, datorită gradului scăzut de preservare. Asociațiile de nanoplancton calcaros sunt dominate de următorii taxoni: *Reticulofenestra umbilica*, *Reticulofenestra dictyoda*, *Blackites inflatus*, *Reticulofenestra minuta*, *Neococcolites dubius*, *Zygrabolithus bijugatus*, *Coccolithus pelagicus*, *Reticulofenestra daviesii* and *Ericsonia spp.* O diferență clară în abundența și diversitatea speciilor poate fi observată în cazul probelor colectate din partea sudică și nordică a acumulari nummulitice. Diferențele principale sunt prezența mai abundentă a *Micrantholithus spp.* și *Discoaster spp.*, a speciilor *Sphenolithus predistentus* și *Helicosphaera compacta*, în cât și absența speciei *B. inflatus* și abundența scăzută a *Ericsonia spp.*, *N. dubius*, și *Z. bijugatus* în zona MSA comparativ cu asociațiile din GSA. Asociațiile din MSA

au un număr mai mare de taxoni decât cele din GSA, dar abundența asociațiilor variază însă de la probă la afloriment.

5.1.3.2. Analiză de cluster

Baza de date folosite pentru analiza de cluster este bazată pe principalii taxoni (> ~2%). Analiza de cluster ierarhic multivariat a grupat probele (asociațiile) în trei cluster și 4 sub-cluster (Fig. 5.2). Clusterul 1 conține 35 de probe și este divizat în două sub-cluster. Sub-clusterul 1a (Asociația *Zygrabliothus–Neococcolithes*) este caracterizat de fluctuația în abundență și schimbări intra-cluster a principalilor taxoni, prezentând cea mai mare variabilitate a abundenței relative a speciilor. Sub-clusterul 1b (Asociația *Blackites–Ericsonia*) grupează probele cu cea mai mare proporție a speciei *B. inflatus*. Clusterul 2 grupează 27 de probe. Sub-clusterul 2a (Asociația *Reticulofenestra umbilica*) coincide cu cea mai mare proporție de *R. umbilica*. Există doar o excepție (proba Gi3), care pe lângă *Reticulofenestra* spp., are cel mai mare procent de *B. inflatus*



și *C. pelagicus* comparat cu celelalte probe din acest sub-cluster. Sub-clusterul 2b (Asociația *Reticulofenestra dictyoda–R. umbilica*) grupează 18 probe care conțin reticulofenestride mari. Clusterul 3 (Asociația *Reticulofenestra minuta*) include 9 probe cu cea mai mare proporție a speciei *R. minuta* în asociere cu alți taxoni (*Discoaster* spp., *Micrantholithus* spp. și *Sphenolithus* spp.) care sunt rare sau absente în celelalte probe. Toate probele cu excepția Va4B, grupate în acest cluster sunt din aflorimentul Rona (MSA).

Fig.5.2. Gruparea probelor prin analiza de cluster (metoda Ward's) pe baza asociațiile de nannoplancton calcaros.

5.1.3.3. Analiza componentelor principale

Primele două componente principale sau dovedit a fi relevante (Fig. 5.3). Ele explică ~58% din variabilitatea prezentă în datele de abundență relativă a principalelor taxoni de nannoplancton calcaros. Componentul principal 1 explică 33.80% din varianță și constrânge probele cu *B. inflatus*, *N. dubius* și *Z. bijugatus*, încât și cele cu *Discoaster* spp., *R. minuta* și *Sphenolithus* spp.

Componenta principală 2 reține 24.10% din varianță și separă probele cu *B. inflatus*, *C. pelagicus* și *Ericsonia spp.* de la cele cu *R. dictyoda* și *R. umbilica*.

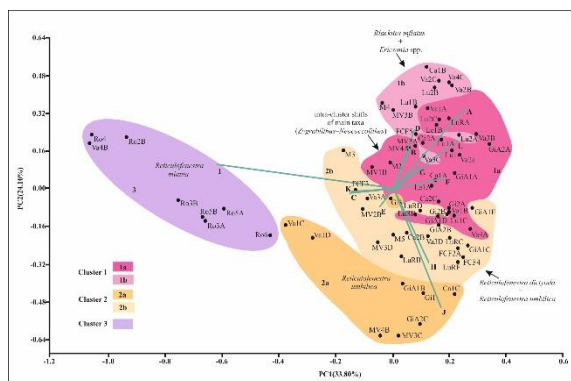


Fig.5.3. Rezultatul analizei componentelor principale rezultate pe baza taxonilor de nanoplankton calcaros selectați.

5.1.4. Biostratigrafie

Din asociațiile de nanoplankton calcaros din arealele studiate lipsesc principalele specii marker pentru Eocen, deci în consecință atribuirea lor la biozonările standard este dificilă. Bombiță et al. (1975) și Popescu et al. (1978) au descris asociații abundente de nanoplankton calcaros din cadrul Formațiunii Căpuș și al acumulărilor nummulitice. Ei au corelat aceste asociații cu partea superioară a NP15 și partea bazală a NP 16 a biozonelor lui Martini (1971). Aceste corelări nu sunt în concordanță cu cea propusă de Geță (1984), care a creat o zonare regională datorită absenței speciilor index al biozonărilor standard și a corelat acumulările nummulitice cu Zona *Rhabdosphaera inflata*. Prin urmare acesta a fost corelată cu partea superioară a NP 17 (Zona *Discoaster taninodifer*) a lui Martini (1971). Mult mai recent asociațiile de nanoflore din Formațiunea de Căpuș au fost atribuite Zonei NP 16 al lui Martini (1971) (Rusu et al., 2004). Pe baza probării la rezoluție mare am încercat să rezolvăm problema corelării zonelor standard cu acumulările nummulitice. Speciile marker lipsesc din asociațiile studiate. Totuși pe baza prezenței sau absenței al unor specii (ex. *R. umbilica*, *R. bisecta* and *Sphenolithus spiniger*) și rangul lor total, acumulările nummulitice au fost corelate cu Zona NP17 (CP14/CNE15/MNP17A) care este eocen (bartonian). Această corelare se potrivește cu datele oferite de foraminiferele bentonice mari (Kövecsi et al., 2016).

5.1.5. Interpretări paleoambientale

Asociațiile de nanoplankton calcaros din succesiunea stratigrafică studiată se pot separa în asociații bine definite, care sunt clar evidențiate de rezultatele analizelor de cluster și PCA (Fig. 5.2 și 5.3). Probele colectate din acumulările nummulitice au fost grupate în trei clustere principale. În cadrul a două clustere principale (Cluster 1 și 2), două sub-clustere (1a, 1b, 2a și 2b) pot fi identificate. Analiza PCA arată că aceste sub-clustere sunt grupate împreună și sunt separate de-a lungul componentului principal 2, bazat pe conținutul speciilor *B. inflatus*, *Ericsonia spp.*, *Z. bijugatus*, *N. dubius*, *C. pelagicus* și a reticulofenestridelor.

Asociația *Zygrabliothus–Neococcolithes* este o asociație diversă cu două specii dominante. *Zygrabliothus bijugatus* este considerată un taxon eutrofic (Tremolada & Bralower, 2004; Villa et al., 2008) sau oligotrofic (Wei & Wise Jr., 1990; Villa et al., 2008) care preferă ape calde (Bralower, 2002; Melinte, 2005) ori reci (Tremolada & Bralower, 2004). Acestea înfloresc în medii puțin adânci (Monechi et al., 2000) ori în apropierea coastei (Monechi et al., 2000; Melinte, 2005) sau în habitate mai adânci (Aubry, 1998). În consecință această asociație sugerează paleomedii oligotrofe, marine puțin adânci, în apropierea coastei cu pulsații al conținutului de nutrienți.

Asociația *Blackites–Ericsonia* conține în principiu trei taxoni. *Blackites inflatus* este abundent din medii puțin adânci până în zone hemipelagice, dar sunt rare în sediment pelagic (Lowrie et al., 1982) sau în asociații slab prezervate (Agnini et al., 2014). *Ericsonina* spp. este considerată o specie K-selectivă adaptată apelor temperate și calde și condițiilor oligotrofe (Bukry, 1973). *Coccolithus pelagicus* este considerat mai degrabă o specie care preferă ape temperate (Oszczypko-Clowes, 2001) sau calde (Wei & Wise Jr., 1990), cu toate că unii cercetători au interpretat această specie ca una care preferă ape reci (Okada & McIntyre, 1979). Acest taxon preferă condiții eutrofe (Rahman & Roth, 1990) sau oligotrofe (Ozdínová & Soták, 2014) și prosperă în medii cu aport nutrițional ridicat (McIntyre & Bé, 1967) sau aport sedimentar terigen scăzut (Auer et al., 2014). În consecință, considerăm că această asociație reflectă condiții marine, cu ape puțin adânci, calde cu condiții oligotrofe și probabil cu un aport sedimentar terigen scăzut.

Asociațiile *Reticulofenestra dictyoda–Reticulofenestra umbilica* și *Reticulofenestra umbilica* Acest grup este abundent la latitudini temperate și ridicate (Schneider et al., 2011) și preferă condiții mezotrofe (Villa et al., 2008). *Reticulofenestra umbilica* este o specie mesotrof-oligotrofă (Aubry, 1992), care apare în ape marine bine stratificate (Young, 1990) în zone cu climat temperat (Wei & Wise Jr., 1990; Villa et al., 2008). În concluzie aceste asociații reflectă o diferență în nivelul cantității nutrienților și posibil un mediu mai adânc decât asociațiile anterioare.

Asociația *Reticulofenestra umbilica* este considerat ca reflectând paleomedii mai adânci și mai bogate în nutrienți decât asociația *Reticulofenestra dictyoda–Reticulofenestra umbilica*. Asociația *Reticulofenestra minuta* este în principal prezentă în probele din partea nordică a acumulărilor nummulitice (secțiunea Rona), cu excepția unei probe (Va4B). Această specie este asociată condiții eutrofe cu productivitate ridicată, cu un aport crescut de sediment continental și prezintă o toleranță ridicată la stresul cauzat de mediul de viață (Auer et al., 2014).

În concluzie paleomediile din partea nordică a acumulărilor nummulitice au fost mai eutrofe și probabil mai adânci decât în sud. Acest lucru este sugerat de schimbările litologice, spre depozite mai argiloase.

5.1.6. Concluzii

Investigațiile noastre la rezoluție mare realizate pe baza asociațiilor de nanoplancton din succesiunea sedimentară studiată ne-a permis să constrângem vârsta și schimbările de paleomediū în cadrul acumulărilor cu *N. perforatus*.

Rezultatele obținute pot fi sintetizate cum urmează:

1. În probele studiate au fost identificate 52 de specii aparținând a 21 de genuri de nanoplancton calcaros.

2. În lipsa speciilor marker de nanoplancton calcaros, am fost nevoiți să adoptăm schema biozonală regional propus pentru depozitele bartoniene din Bazinul Transilvaniei și să comparăm aceasta cu schemele biozonale standard pentru acest interval de timp. Prin urmare, am reușit să corelăm acumulările nummulitice cu zona regional de *Reticulofenestra bisecta* și Zonele standard NP17/CP14.

3. Pe baza analizelor statistice (analiză de cluster și PCA) au fost identificate 5 asociații de nanoplancton. Acestea sunt următoarele: (1) *Reticulofenestra dictyoda*–*Reticulofenestra umbilica*; (2) *Reticulofenestra umbilica*; (3) *Reticulofenestra minuta*; (4) *Zygrablitus*–*Neococcolithes*; și (5) *Blackites*–*Ericsonina*, indicând condiții paleoambientale diferite. Prin urmare asociația *Zygrablitus*–*Neococcolithes* sugerează paleomedii din apropiere de coastă, ape marine puțin adânci și oligotrofe cu pulsația conținutului de nutrienți.

Asociația *Blackites*–*Ericsonina* reflecta paleomedii marine cu ape puțin adânci, calde, cu condiții oligotrofe și probabil cu un aport scăzut al materialului terigen. Asociațiile *Reticulofenestra dictyoda*–*Reticulofenestra* și *Reticulofenestra umbilica* indică medii mai adânci și diferențe în disponibilitatea nutrienților de cât asociațiile anterioare, pe când asociația *Reticulofenestra minuta* care este în principal restricționată în partea nordică, indică medii mai eutrofe și adânci decât în partea sudică a acumulărilor nummulitice studiate.

Pe baza distribuției spațiale al asociațiilor identificate de-a lungul acumulărilor nummulitice, se poate observa o diferență clară în condițiile paleoambientale. Prin urmare un paleomediū mezo-oligotrofic a fost detectată în partea sudică, iar unul mult mai eutrofic în partea nordică a acumulărilor nummulitice.

4. Caracteristicile asociațiilor în principal sunt legate de factori cum ar fi intensitatea lumini, aportul de nutrienți, nivelul de oxigenare și adâncimea apei, iar subordonat de factori biotici cum ar fi competiția cu foraminiferele mari.

5.2. Foraminiferele bentonice mici

Sub-capitolul 5.2 este bazat pe articolele

Bindiu-Haitonic R., Bălc R., **Kövecsi S.A.**, Pleş G., Silye L. 2021. In the shadow of giants: Calcareous nannoplankton and smaller benthic foraminifera from an Eocene nummulitic accumulation (Transylvanian Basin, Romania). *Marine Micropaleontology*, 165(101988).

și

Bindiu-Haitonic R., Bălc R., **Kövecsi S.A.**, Pleş G., Silye L. 2021. A dataset of calcareous nannoplankton and smaller benthic foraminifera from a middle Eocene nummulitic accumulation (Transylvanian Basin, Romania). *Data in Brief*, 36(107154).

5.2.1. Materiale și metode

Foraminiferele bentonice mici au fost studiate din 61 de probe grupate în jurul a 9 locații diferite (vezi Fig. 5.1 din capitolul 5.1.2). Probele au fost preparate cu metodele standard. Reziduul fost împărțit cu ajutorul unui Micro Sample Splitter ASC până au fost obținute aproximativ 200-300 de specimene de foraminifere. Valorile numerice ale foraminiferelor bentonice mici au fost folosite pentru calcularea unor indici paleoambientali și indicele de oxigen dizolvat al foraminiferelor – BFOI (Kaiho, 1994). Analizele de date multivariate cum ar fi analiza de cluster și analiza componentelor principale (PCA) au fost realizate pentru a determina asociațiile și taxoni principali ai asociațiilor pentru a constrânge trăsăturile comune încât și diferențele între asociații.

Taxoni de foraminifere bentonice mici cu abundență relativ scăzută $\leq 1\%$ au fost excluse din investigațiile folosite. Analiza de cluster ierarhică (Q-mode) a urmat metoda descrisă în Capitolul 5.1.2.1.

5.2.2. Abundență, compoziția asociațiilor, diversitate și BFOI

În probele studiate foraminiferele bentonice mici sunt destul de abundente în fracția între 63 μm și 1 mm, dar gradul de conservare variază de la slab la moderat. Numărul foraminiferelor bentonice mici per gram variază între profile de la 12 la 1410 (Fig. 5.4A). Analizele taxonomice indică 46 de specii aparținând a 33 de genuri (Plansa 5.2 și 5.3). În aflorimentul Ro, specimene de foraminifere planctonice foarte rare și prost păstrate au fost identificate. Între partea sudică (GSA) și partea nordică (MSA) a acumularilor nummulitice a fost observată o diferență clară în compoziție și abundență a principalelor specii. Cei mai abundenți taxoni în cadrul probelor din GSA sunt *Pararotalia* spp., *Cibicides* spp., *Lobatula lobatula* și *Neoeponides* spp., iar în cazul probelor

din MSA taxoni dominați sunt *Protelphidium* spp., *Pararotalia* spp., *Cibicides heidingeri*, *Nonion* spp. și *Sagrinopsis* spp..

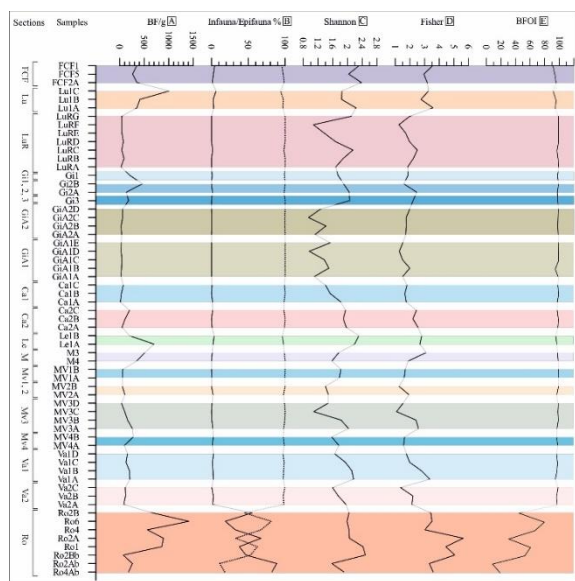


Fig. 5.4. (A) Abundența (densitatea) specimenelor de foraminifere per gram de sediment (B) Preferințele ecologice al foraminiferelor bentonice (epifaunal/infaunal). (C) Indicele de diversitate Shannon's în cadrul asociațiilor studiate. (D) Indicele de diversitate Fisher al asociațiilor studiate. (E) Indexul de Oxigen al Foraminiferelor (BFOI). De reținut: dreptunghiurile colorate separă profilele studiate; probele din cadrul unui profil sunt în ordine stratigrafică, iar ordinea profilelor studiate reflectă poziția lor geografică.

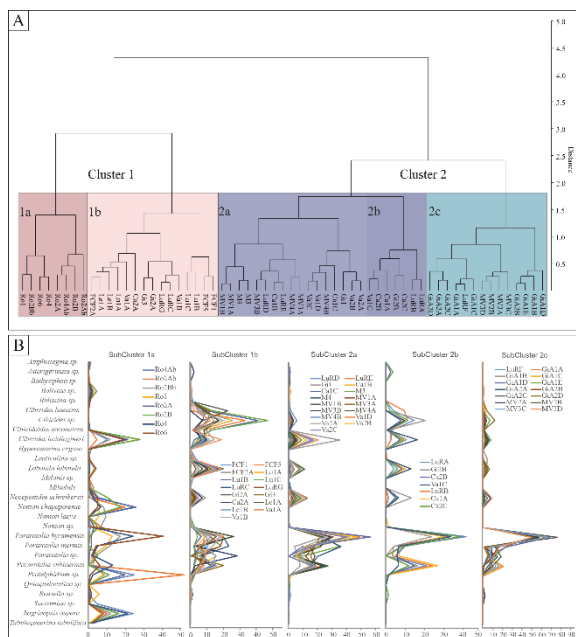
Prin urmare formele epifaunale domină în asociațiile din GSA (Fig. 5.4B), dar în cadrul aflorimentului Rona (MSA) pot fi observate

variații între formele infaunale și epifaunale. Indicele Fisher alpha și indicele de diversitate Shannon-Wiener prezintă valorile cele mai scăzute în probele din partea sudică a acumulărilor nummulitice, iar valorile cele mai mari în partea nordică (aflorimentul Rona) (Fig. 5.4C și 5.4D). Indicele BFOI au valori mai mari de 9, cu excepția probelor colectate din partea nordică a acumulărilor nummulitice (aflorimentul Ro), unde aceste valori oscilează între 8.20 și 80.97 (Fig. 5.4E).

5.2.3. Analiza de cluster

Analiza de cluster multivariată (metoda Ward) a separat asociațiile în două grupe principale: cluster 1 și cluster 2. Clusterul 1 este subdivizat în două sub-clustere (1a și 1b), iar clusterul 2 în trei sub-clustere (2a, 2b și 2c) (Fig. 5.5). Clusterul 1 grupează 23 de asociații din 7 aflorimente. Acestea sunt caracterizate de o abundență relativă moderată de *Cibicides* sp., *C. heidingeri*, *Nonion* spp., *Pararotalia* spp. și *Protelphidium* sp. Sub-clusterul 1a (Asociația *Protelphidium*–*Nonion*) include toate probele din aflorimentul Roma (MSA). Acestea reprezintă asociațiile cu cea mai mare proporție de *Protelphidium* sp. and *Sagrinopsis aspera* și sunt sigurele asociații cu foraminifere aglutinante. Sub-clusterul 1b (Asociația *Cibicides*) grupează probele cu cea mai mare abundență relativă cu *Cibicides* sp., care este asociat cu *Pararotalia* spp. și *L. lobatula*. Clusterul 2 grupează probele dominate de *Pararotalia byramensis*. Probele grupate în sub-clusterul 2a (Asociația *Pararotalia byramensis*–*Cibicides heidingeri*) sunt separate pe baza procentului ridicat de *P. byramensis*, *C. heidingeri* și *P. subinermis*, împreună cu *Neoeponides schreibersii* și *L. lobatula*.

Sub-clusterul 2b (Asociația *Pararotalia byramensis*–*P. subinermis*) este definit de procentul ridicat al speciei *Pararotalia byramensis* și *P. subinermis*.



În probele grupate în sub-clusterul 2c (Asociația *Pararotalia byramensis*), *P. byramensis* prezintă cea mai mare abundență relativă în cadrul asociațiilor studiate. Acesta este asociat cu *Cibicides sp.*, până când restul taxonilor însumă mai puțin de 9%.

Fig.5.5. (A) Gruparea probelor prin analiza de cluster (metoda Ward's) realizat pe bază foraminiferelor bentonice mici. (B) Abundența relativă taxonilor de foraminifere mici bentonice din cadrul fiecărui sub-cluster.

5.2.4. Analiza componentelor principale

Analiza PCA a abundenței relative a foraminiferelor bentonice a fost folosită pentru a corobora grupurile separate prin analiza de cluster (Fig 5.6). Primele două componente principale explică aproximativ 62% din variabilitate. Componentul principal 1 reține 36.8% din varianță și separă probele cu *Pararotalia spp.* de cele dominate de *Protelphidium sp.*, *Nonion chapapotense*, *Nonion sp.*, *S. aspera* și *Tubulogenerina tubulifera*. Componenta principală 2, explică 24.9% din varianță și separă asociațiile cu cea mai mare proporție de *Cibicides sp.* și *L. lobatula* de restul probelor.

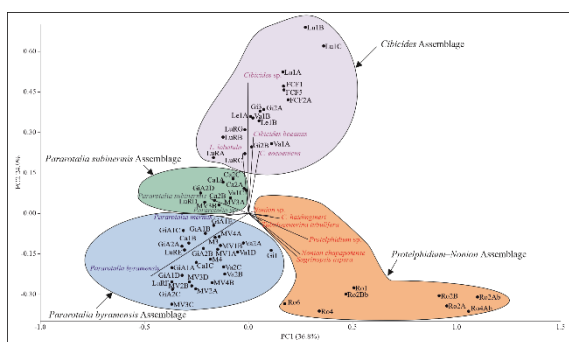


Fig.5.6. Primele două componente al analizei componentelor principale realizate pe baza taxonilor de foraminifere bentonice mici selectați.

Contrar analizelor de cluster, prin analiza componentelor principale au fost separate 4 asociații de foraminifere bentonice mici diferite, mult mai robuste: asociațiile *Protelphidium–Nonion*, *Cibicides*, *Pararotalia subinermis* și *Pararotalia byramensis* (Fig. 5.6).

5.2.5. Biostratigrafie

Taxoni de foraminifere bentonice mici studiate nu au o valoare biostratigrafică, cu excepția speciei *Pararotalia subinermis*, care este specia marker al Intervalului zonal de *Pararotalia*

subinermis care reprezintă bartonianul (Rusu et al., 2004). Acesta este definit de intervalul stratigrafic dintre prima apariție a *P. subinermis* și prima ocurență a *P. lithothamnica*, și poate fi corelat cu SBZ17 (sensu Serra-Kiel et al., 1998).

5.2.6. Interpretări paleoambientale

Pentru o mai bună constrângere a semnificațiilor paleontologice a asociațiilor identificate, au fost luate în considerare factori care controlează distribuția comunităților de foraminifere bentonice mici. Analiza de cluster a rezultat 5 asociații, dar 3 din acestea sunt foarte apropiate (grupate în același cluster), și sunt separate de componentul principal 2, în asociațiile *Pararotalia subinermis* și *Pararotalia byramensis* (Fig. 5.6). Acestea împreună cu Asociația *Cibicides* sunt restricționate în partea sudică a acumulărilor nummulitice (GSA), pe când a patra asociație, cea de *Protelphidium–Nonion* apare doar în partea nordică a acumulărilor nummulitice (MSA). Asociația *Pararotalia subinermis* și *Pararotalia byramensis* diferă doar la nivelul speciilor. În consecință am interpretat asociația *Pararotalia subinermis* și *Pararotalia byramensis* ca un indiciu pentru zona fotică, cu ape calde, a unei zone de self inter cu substrat argilos-nisipos, cu un aport nutrițional scăzut și conținut de oxigen dizolvat ridicat al apei. Dar totuși cele două asociații diferă în preferințele legate de turbulența mediului. Asociația *Cibicides* este mai puțin răspândită în cadrul acumulărilor nummulitice decât cele dominate de *Pararotalia* spp. *Cibicides* spp. iar *L. Lobatula* este cel mai abundent taxon în această asociație. Acești taxoni au preferințe ecologice similare (Murray, 2006). Acestea sunt cunoscute ca fiind sesile, epifaunale, atașate, iar distribuția lor este condiționată de existența ridicată a curenților de fund sau de prezența sedimentelor grosiere pe fundul mării (Murray, 2006). În consecință Asociația *Cibicides* poate fi interpretată ca și indiciu pentru medii cu ape puțin adânci, cu substrat dur, cu viteza ridicată a curenților de fund, nivel scăzut de nutrienți și nivel ridicat al oxigenului dizolvat.

Asociația *Protelphidium–Nonion* este dominată de taxoni bentonici calcaroși. *Pararotalia* spp. și *Cibicides* spp. Sunt similare cu cele prezente în asociațiile din zona GSA și sugerează ape calde și medii oligotrofe cu ape foarte puțin adânci. *Pararotalia* spp. Este mai puțin abundentă. Cei mai importanți taxoni sunt *Protelphidium*, *Nonion* și *Sagrinopsis*.

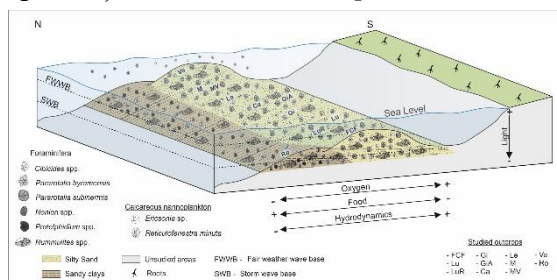


Fig.5.7. Distribuția taxonilor principali de nannoplancton calcaros și foraminifere bentonice mici în cadrul acumulărilor nummulitice și modelul paleoambiental propus acumulările nummulitice eocene din Bazinul Transilvaniei.

În consecință considerăm că Asociația *Protelphidium–Nonion* a trăit în ape marine calde, în partea bazală a zonei fotice, cu un nivel al cantității de nutrienți ridicat și condiții de oxigenare scăzută.

Proporția taxonilor epifaunali/infaunali (Fig. 5.4B), prezintă faptul că formele infaunale au un procentaj mai ridicat în probele din aflorimentul Rona, suportând interpretarea asociației *Protelphidium–Nonion*, care indică un mediu depozițional sub baza valurilor normale, cu un substrat mâlos și condiții ambientale eutrofe. Procentajul ridicat al formelor infaunale, împreună cu taxoni aglutinanți și planctonici, indică medii marine mai adânci în partea nordică al acumulărilor numulitice cu toate că această zonă face parte din șelful interior (Fig. 5.7). Această interpretare este subliniată de proporția relativ ridicată de *Pararotalia* și *C. heidingeri*, încât și de prezența specimenelor de *Nummulites* cu testul aplatizat și lenticular între partea mediană și superioară a aflorimentului. Procentajul specimenelor epifaunale crește de asemenea spre partea superioară a aflorimentului.

5.2.7. Concluzii

Probele studiate conțin asociații diverse de foraminifere bentonice mici. Zece genuri de foraminifere aglutinante, 21 de genuri de foraminifere calcaroase și un gen de foraminifer porcelanos au fost identificate din materialul studiat. Pe baza asociațiilor de foraminifere identificate și al analizelor statistice concluziile următoare pot fi menționate:

1. Taxoni de foraminifere bentonice mici nu au valoare biostratigrafică, cu excepția speciei *Pararotalia subinermis*. Aceasta este specia index al intervalului zonal la scară bazinală (bartonian) *Pararotalia subinermis*. Prezența abundentă al acestei specii suportă vârsta bartonian al acumulărilor cu *N. perforatus*.

2. Pe baza analizelor statistice în cadrul acumulărilor cu *N. perforatus* au fost identificate patru asociații de foraminifere mici bine definite (*Pararotalia subinermis*, *Pararotalia byramensis*, *Cibicides* și *Prothelphidium–Nonion*).

3. Asociația *Pararotalia subinermis* și *Pararotalia byramensis* diferă doar la nivelul speciilor. Prin urmare, pe baza preferințelor ecologice al taxonilor principali al acestor asociații, acestea au fost interpretate ca indiciu pentru zona fotică, cu ape calde, într-un self intern cu substrat argilos-nisipos, cu aport nutrient scăzut și conținut ridicat al oxigenului dizolvat al apei. Pe baza preferințelor ecologice al taxonilor principali, Asociația *Cibicides* indică ape puțin adânci, substrat dur, curenți de fund puternici, aport de nutrienți scăzut și medii cu nivel de oxigenare ridicat.

Asociația *Protelphidium–Nonion* a fost identificată doar în aflorimentul Rona, și diferă clar comparând cu celelalte asociații de foraminifere bentonice mici. Pe lângă principali taxoni al acestei asociații, sunt prezenți taxoni aglutinanți și planctonici. În consecință această asociație

reflectă medii cu ape calde în partea bazală a zonei fotice, cu condiții nutritive ridicate și condiții de oxigenare scăzute.

4. Distribuția spațială al celor patru asociații identificate prezintă o clară schimbare de-a lungul gradientului de paleomediul în cadrul acumulărilor nummulitice. În consecință un mediu oligotrof se poate atribui pentru partea sudică și unul mai eutrofi pentru partea nordică al acestor acumulări.

5.3. Briozoare

Sub-capitolul 5.2 este bazat pe articolele

Kövecsi S.A., Zágoršek K., Filipescu S., Silye L. 2018. First report of *Kylonisa triangularis* Keij, 1972 (Bryozoa) from the middle Eocene (Bartonian). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen*, 289(3): 325-330.

O asociație micropaleontologică ce conține briozoare fosile a fost identificată în depozitele carbonatic-siliciclastice a Formațiunii de Căpuș (Popescu, 1978), care află în partea nord-vestică a Bazinului Transilvaniei (Fig. 5.8). Lucrările precedente realizate în cadrul Formațiunii de Căpuș au tratat diferite subiecte cum ar fi sedimentologia, lito- și biostratigrafia (Koch, 1880; Papazzoni & Sirotti, 1995; Rusu, 1995; Proust & Hosu, 1996). Investigațiile noastre recente au dezvăluit prezența unor fragmente rare de briozoare în acumulările nummulitice bartoniene. Această asociație de briozoare sunt monospecifice și conțin rare specimene de *Kylonisa triangularis* Keij, 1972.

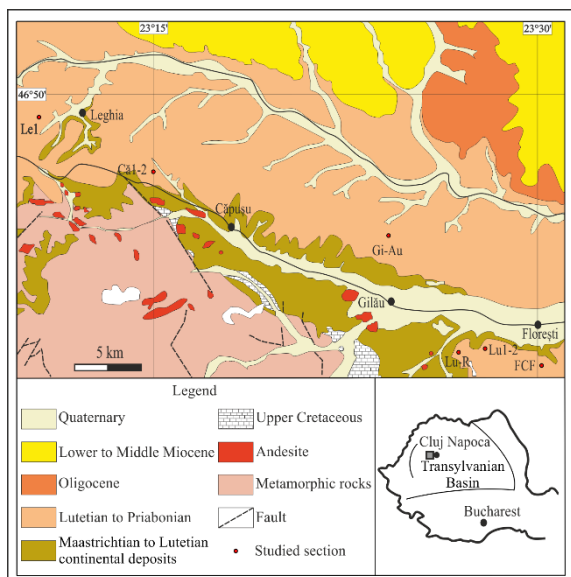


Fig.5.8. Harta geologică simplificată al zonei studiate (după Răileanu & Saulea 1968) și localizarea acestuia în cadrul Bazinului Transilvaniei, România.

Materialul studiat a fost colectat din depozitele bartoniene al Formațiunii de Căpuș, situată în partea nord-vestică a Bazinului Transilvaniei în cadrul unui studiu detaliat legat de acumulările cu *Nummulites perforatus* (Papazzoni & Sirotti, 1995; Rusu et al, 2004; Kövecsi et al., 2016). Această succesiune sedimentară conține aproape în exclusivitate specimene de *N. perforatus* precum și alte fragmente

rare de fosile cum ar fi moluște, briozoare și foraminifere bentonice mici care sunt cantonate într-o matrice mălăoasă-nisipoasă. Briozoarele au fost culese din fiecare probă, aleatoriu din rezidul spălat.

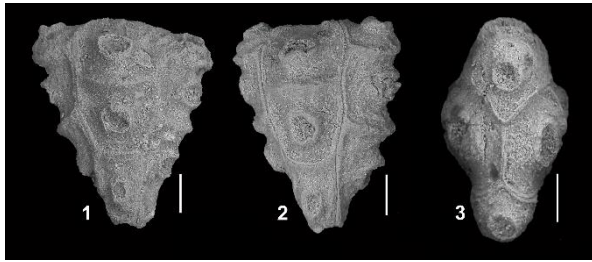


Plate.5.1. Imagini SEM al specimenelor selectate de *K. triangularis*. 1- vedere frontală (proba Că2C); 2- vedere oblică, frontală (proba LuRC); 3- vedere distală (proba GiAu2D). Scara este de 100 μ m.

Briozoarele sunt rare în probele studiate. Abundența relativă a briozoarelor diferă de la 1 la

58 în cadrul acumulărilor cu *Nummulites*, probabil fiind rezultatul proceselor tafonomice. Acest lucru este, de asemenea, indicat de variațiile observate la gradul de conservare al specimenelor și al biostructurilor nummulitice observate (sensu Aigner, 1985). Structurile sedimentare indică un transport scurt spre moderat.

Până în prezent, specia *K. triangularis* a fost cunoscută doar din sud vestul Franței (Keij, 1972). Depozitele din Franța conținând resturi de *K. triangularis*, au vârsta oligocen mediu. În această lucrare prezentăm noi specimene de *K. triangularis* din partea superioară a Formațiunii de Căpuș, o succesiune ce are vârsta eocen mediu (bartonian). Prin urmare considerăm că specia *K. triangularis* are prima ocurență mai timpurie și mai la est de ocurența din Franța. Ocurența speciei *K. triangularis* raportată din Bazinul Transilvaniei suportă ipoteza noastră, și sugerează că această specie a migrat de la est (Bazinul Transilvaniei) spre vest (sud-vestul Franței de astăzi) în timpul Eocen/Oligocen de-a lungul margini nordice a oceanului Neotethyan.

De și coloniile articulate de *Kylonisa* pot fi adaptate sedimentației fin granulare datorită faptului că ramuri acetora pot colecta mai bine sedimentul de cât coloniile non-articulate (Lagaaij & Gautier, 1965), interpretarea paleoambientale al acumulărilor nummulitice din Bazinul Transilvaniei în care sunt cantonate specia *K. triangularis*, sugerează faptul că coloniile de *Kylonisa* au trăit în medii marine puțin adânci cu o energie ridicată. Caracteristicile morfologice al fragmentelor de *Kylonisa* sugerează faptul că coloniile vii erau erecte și flexibile. Colonii similare sunt cunoscute din Miocen și au fost interpretate că au trăit în medii marine puțin adânci, aproape de baza valurilor sau zone influențate de curenții apei (Key et al., 2013).

6. Concluzii

Acest studiu este bazat pe 62 de probe colectate din 18 profile din diferite părți al acumulărilor cu *Nummulites perforatus* de vârstă eocen (bartonian) situată în partea nord-vestică al Bazinului Transilvaniei. Obiectivele propuse pentru acest studiu au fost de a documenta asociațiile de *Nummulites* colectate din materialele studiate, de a documenta alte grupe fosile, de a descrie și documenta caracteristicile sedimentare cum ar fi biostructurile și tipurile de microfacies, iar în final de a propune un model depozitional pentru această succesiune sedimentară deosebită, bazat pe datele micropaleontologice și sedimentologice obținute.

1. Studiile taxonomice bazate pe o amplă analiză biometrică a asociațiilor de *Nummulites*, ne-au permis să atribuim populațiile identificate speciei *Nummulites perforatus* ca și componentul principal în cadrul acumulărilor nummulitice, și speciei *Nummulites beaumonti* ca și componentă mai puțin frecventă. Aceste rezultate sunt în contrast cu datele publicate de Bombița (1984), care a raportat o asociație mai diversă de *Nummulites* din aceste depozite.

2. Co-ocurența speciei *N. perforatus* și *N. beaumonti*, având o morfologie a testului și structuri foarte similare dar având diferențe la mărimea testului, sugerează o relație impară sensu Hottinger (1999), definind specia *N. perforatus* ca membru Don, iar *N. beaumonti* ca membru San. Cele mai comune biostructuri nummulitice observate în cadrul acumulării nummulitice studiate sunt dispunerile haotice, dispunerile liniare și imbricațiile formelor-B de *N. perforatus*. Distribuția acestor biostructuri de-a lungul profilelor studiate, încât și prezenta sau lipsa cuplurilor impare în cadrul probelor, sugerează asociații de *Nummulites* para-autohtone (doar când membrul Don și imbricațiile sunt prezente) sau autohtone (în celelalte cazuri). Până în prezent cuplurile impare numulitice au fost interpretate ca fiind K-selective. Datele noastre sugerează că partenerul Don (*N. perforatus*) a fost mai K-selectivă, până când partenerul San (*N. beaumonti*) a fost mai puțin K-selectivă și mai oportunistă. Această concluzie este bazată pe distribuția mai amplă și a ocurenței mai abundente a partenerului Don comparat cu cea a partenerului San.

3. Raportul A/B al asociațiilor de *Nummulites* variază între 15 și 135. Variațiile observate nu sunt relatate schimbărilor de biostructuri ori caracteristicilor sedimentare. În consecință, variațiile observate nu sunt relatate proceselor de transport sau vânturare, sugerând că alți factori ca și ecologia populațiilor s-au strategia de reproducere a putut influența raportul A/B al asociațiilor de *Nummulites*. Bazat pe numărările individuale a formelor-A și -B realizate pe secțiunile subțiri raportul A/B obținut este între 6 și 41. Cele mai scăzute valori a raportului A/B au fost observate în cele mai compactate nivele caracterizate de structuri stilolitice abundente. Deoarece majoritatea formelor-A sunt sparte și fragmentate, putem concluda că aceste forme sunt mai predispuse la

fragmentare decât formele-B de *Nummulites*. În consecință, ne asumăm faptul că compactarea poate influența raportul A/B original după îngropare.

4. Studiile microfaciesale sugerează faptul că acumulările nummulitice studiate au suferit un stres de compactare ridicat, care a generat un număr mare de particule detritice nummulitoclastice, sisteme de stilolite bine dezvoltate și fracturi. Structurile amintite anterior au avut o influență importantă în dezvoltarea heterogenității structurale, gradului de consolidare și caracterelor morfostructurale păstrate în cadrul acumulărilor nummulitice. Presiunea de dizolvare observată pare a fi un indiciu important care a influențat istoria diagenetică, evoluția porozității și variațiile raportul A/B al asociațiilor de *Nummulites*.

Dezvoltarea seturilor de fisuri stilolitice, variația morfologică, modul de dezvoltare și alte caracteristici de compactare indică cel puțin două faze de stilolitizare succesivă, care au afectat acumulările nummulitice de-a lungul diogenezei de îngropare.

Numărul ridicat al debrisisului nummulitoclastic în cadrul și în jurul rețelelor stilolitice și în jurul testelor de *Nummulites* slab erodate suportă originea autohtonă sau para-autohtonă a acumulărilor cu *N. perforatus* studiate. Adicional, gradul de fragmentare observat în cazul testurilor de formelor-B de *N. perforatus* și numeroasele structuri bioerozionale pot fi relateate ca și consecință al presiuni de dizolvare în situ, urmat de o abradare razulată de procesele de transport.

5. Studiile paleontologice și sedimentologice detaliate realizate pe acumulările de *N. perforatus* eocene (bartonian) din partea nord-vestică a Bazinului Transilvaniei, ne-a permis identificarea a trei diferite asociații de *Nummulites* depozitate pe un self intern ce avea o înclinare lină, cu o hidrodinamică variabilă, între baza valurilor normale și cele de furtună. Asociațiile corespund a trei faze diferite al schimbării nivelului marin relative. Asociația 1 este dominată de forme-A și -B de *N. beaumonti* iar subordonat forme-A de *N. perforatus* sunt prezente. Asociația 2 este alcătuită exclusiv din forme-A și -B de *N. perforatus*, până când Asociația 3 este caracterizată de dominanța formelor-A și -B de *N. perforatus* și prezența rarelor forme-A și -B de *N. beaumonti*. Compoziția asociațiilor, biostructurile observate și caracteristicile sedimentologice asociate, sugerează că asociația 1 și 3 conservă asociații de *Nummulites* autohtone, iar Asociația 2 este considerat că ar conserva asociații de *Nummulites* autohtone spre para-autohtone.

Dezvoltarea acumulărilor nummulitice este rezultatul interacțiunii între factori biotici și abiotici. În consecință, conținutul taxonomic și abundența relativă între asociații reflectă preferințele ecologice ale celor doi taxoni identificați (*N. perforatus* și *N. beaumonti*), istoria bazinului și climatului. Prin urmare, natura mono- sau bi-specifică al asociațiilor identificate este interpretată ca fiind influențată de preferințele ecologice și interferență acestora cu mediul și abilitatea propagulelor de *Nummulites* de a coloniza habitate noi. În partea cea mai adâncă și cea mai puțin

adâncă a acumulărilor nummulitice, unde condițiile ecologice au fost aspre, instabile sau afectate de sezonabilitate, asociațiile sunt compuse din două specii, dar dominate de unul, care era mai adaptat habitatului specific. Asociațiile mono specifice s-au dezvoltat în partea mediană al acumulărilor nummulitice unde paleomediul a fost mult mai stabil.

6. Asociațiile de nanoplancton calcaros și de foraminifere mici sugerează o schimbare progresivă a condițiilor de mediu de la sud spre nord în cadrul acumulărilor nummulitice. În consecință partea sudică al acumulărilor nummulitice este caracterizată de condiții mezo-oligotrofe, până când partea nordică de paleomedii mult mai eutrofe.

7. Nanoplanctonul calcaros aparține zonei regionale de *Reticulofenestra bisecta* și zonelor standard NP17/CP14 care indică vârsta bartoniană. Foraminiferele bentonice mici au fost atribuite intervalului zonal bartonian de *Pararotalia subinermis*, prin urmare avem certitudinea că vârsta acumulărilor nummulitice este bartonian.

8. Investigațiile taxonomice realizate pe 33 de probe din 9 locații diferite a dezvăluit prezența unor specimen rare de briozoare atribuite speciei *Kylonisa triangularis* Keij, 1972. Acest briozoar până în prezent a fost cunoscut doar din sud-vestul Franței (Keij, 1972). Până la momentul descoperirii realizate de noi, briozoarul *K. triangularis* a fost cunoscut din depozite de vârstă oligocen mediu. Prezența acestuia în depozitele eocen medii, sugerează faptul că *K. triangularis* are prima apariție mai timpurie decât oligocenul mediu și a migrat de la est (Bazinul Transilvaniei) spre vest (sudvestul Franței) de-a lungul tranziției Eocen/Oligocen. Bazat pe caracteristicile morfologice al fosilelor de *Kylonisa*, concludem că coloniile vii erau erecte și flexibile, iar aceste cel mai probabil au trăit în medii marine puțin adânci influențate de curenții apelor.

9. Materialul studiat este caracterizat de un conținut micropaleontologic variat, care ne-a permis reconstruire condițiilor paleoambientale și paleoecologice al acumulărilor cu *N. perforatus*. Asociațiile de *Nummulites* autohtone spre para-autohtone au fost depozitate într-un cadru de self intern cu o înclinare lină, între baza valurilor normale și a celor de furtună, caracterizată de condiții mezo-oligotrofe în sud și eutrofe în nord. Compoziția acumulărilor nummulitice pare a fi rezultatul interacțiunii dintre factori biotici și abiotici.

Bibliografie

- Agini, C., Fornaciari, E., Raffi, I., Catanzariti, R., Pälke, H., Backman, J., Rio, D., 2014. Biozonation and biochronology of Paleogene calcareous nannoplanktons from low and middle latitudes. *Newsletter on Stratigraphy*, 47(2): 131-181.
- Aigner, T., 1982. Event-stratification in nummulite accumulations and in shell beds from the Eocene of Egypt. In: Einsele, G., Seilacher, A. (eds.) – *Cyclic and Event Stratification*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, pp. 248-262. <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2018.08.003>.
- Aigner, T., 1983. Facies and origin of nummulitic buildups: an example from the Giza Pyramids Plateau (Middle Eocene, Egypt). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, 166(3): 347-368.
- Aigner, T., 1985. Biofabrics as dynamic indicators in nummulite accumulations. *Journal of Sedimentary Research*, 55(1): 131-134. <http://doi.org/10.1306/212f86342b2411d78648000102c1865d>.
- Alsharhan, A., Sadd, J., 2000. Stylolites in Lower Cretaceous carbonate reservoir, U.A.E. *Society for Sedimentary Geology Special publication*, 69: 185-207 <https://doi.org/10.2110/pec.00.69.0185>.
- d'Archiac, A., Haime, J., 1853. Description des animaux fossils du groupe nummulitique de l'Inde. Précédée d'un résumé géologique et d'une monographie des *Nummulites*. Gide et Baudry, Paris, 409 pp.
- Arni, P., 1965. L'évolution des Nummulitinae en tant que facteur de modification des dépôts littoraux. *Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques Minières*, 32: 7-20.
- Aubry, M.P., 1992. Late Paleogene calcareous nannoplankton evolution: a tale of climatic deterioration. In: Prothero, D.R., Berggren, W.A. (eds.) - *Eocene–Oligocene Climatic and Biotic Evolution*. Princeton University Press, Princeton, NJ, pp. 272-309.
- Aubry, M.P., 1998. Early Paleogene Calcareous nannoplankton evolution: a tale of climatic amelioration. In: Aubry, M.P., et al. (eds.) - *Late Paleocene–early Eocene Biotic and Climatic Events in the Marine and Terrestrial Records*. Columbia University Press, New York, pp. 158-201.
- Auer, G., Piller, W.E., Harzhauser, M., 2014. High-resolution calcareous nannoplankton palaeoecology as a proxy for small-scale environmental changes in the early Miocene. *Marine Micropaleontology*, 111: 53-65.
- Bartholdy, J., Bellas, Spyridon, M., Keupp, H., Anatol, R., Hosu, A., 2000. Oxygen and carbon isotope paleontology and paleoecological conditions in nummulitic banks: First results from the Transylvanian Eocene. *GFF*, 122(1): 21-22. <http://dx.doi.org/10.1080/11035890001221021>.
- Beavington-Penney, S.,J., 2004. Analysis of the effects of abrasion on the test of palaeonnummulites venosus: implications for the origin of nummulithoclastic sediments. *Palaios*, 19: 143-155. [http://dx.doi.org/10.1669/08831351\(2004\)019<0143:AOTEOA>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1669/08831351(2004)019<0143:AOTEOA>2.0.CO;2).
- Beavington-Penney, S.,J., Racey, A., 2004. Ecology of extant nummulitids and other larger benthic foraminifera: applications in palaeoenvironmental analysis. *Earth-Science Reviews*, 67: 219-265. <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2004.02.005>.
- Beavington-Penney, S.,J., Wright, V.P., Racey, A., 2005. Sediment production and dispersal on foraminifera-dominated early Tertiary ramps: the Eocene El Garia Formation, Tunisia. *Sedimentology*, 52: 537-569. <http://dx.doi.org/10.1111/j.13653091.2005.00709.x>.
- Beavington-Penney, S.J., Wright, V.P., Racey, A., 2006. The Middle Eocene Seeb Formation of Oman: an investigation of acyclicity, stratigraphic completeness, and accumulation rates in shallow marine carbonate settings. *Journal of Sedimentary Research*, 76: 1137-1161. <http://dx.doi.org/10.2110/jsr.2006.109>.
- Bindiu-Haitonic, R., Bălc, R., Kövecsi, S.A., Pleş, G., Silye, L., 2021. In the shadow of giants: calcareous nannoplankton and smaller benthic foraminifera from an Eocene nummulitic accumulation (Transylvanian Basin, Romania). *Marine Micropaleontology*, 165: 101988. <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2021.101988>.
- Blainvill, H.M.D., 1827. *Manuale de malacology et de conchyliologie (1825)*. F.G. Levrault, Paris
- Blondeau, A., 1972. *Les Nummulites*. Vuibert, Paris, 254 pp.
- Bombiță, G., 1963. *Contribuții la corelarea eocenului epicontinental din R.P. Română*. Editura Academiei Republicii Populare Romine, București, 113 pp.
- Bombiță, G., 1984. Le Napocien, vingt ans après sa definition. *Revue de Paléobiologie*, 3 (2): 209-217.
- Bombiță, G., Gheța, N., Iva, M., Olteanu, R. 1975. Éocène moyen-supérieur et Oligocène inférieur des environs de Cluj. In “Guide micropaleontologique Mésozoic Tertiari Des Carpates Roumaines” Institut Géologie Géophysique Roumaine, 163-174.

- Bombiță, G., Moiescu, V., 1968. Données actualles sur le Nummulitique de Transylvanie. *Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et minières*, 58: 693-729.
- BouDagher-Fadel, M.K., 2008. *Evolution and Geological Significance of Larger Benthic Foraminifera*, Elsevier, 544 pp.
- Bralower, T.J., 2002. Evidence of surface water oligotrophy during the Paleocene–Eocene thermal maximum: nannoplankton assemblage data from Ocean Drilling Program Site 690, Maud Rise, Weddell Sea. *Paleoceanography and Paleoclimatology*, 17(2): 1029-1042.
- Brandano, M., Tomassetti, L., 2021. MECO and Alpine orogenesis: Constraints for facies evolution of the Bartonian nummulitic and Solenomeris limestone in the Argentina Valley (Ligurian Alps). *Sedimentology*. <https://doi.org/10.1111/sed.12829>.
- Briguglio, A., Seddighi, M., Papazzoni, A.C., Hohenegger, J., 2017. Shear versus settling velocity of recent and fossil larger foraminifera: New insights on nummulite banks. *Palaios*, 32(5): 21-329. <http://dx.doi.org/10.2110/palo.2016.083>.
- Bruckmann, F.E., 1727. *Specimen Physicum sistens Historiam naturalem lapidis nummalis transylvaniae. Wolfenbuttelae*, 17 pp.
- Bruguière, M., 1792. *Encyclopédie Méthodique ou par ordre de matières*. Histoire Naturelle des Vers. Panckoucke, Paris. 344 pp. <http://dx.doi.org/10.5962/bhl.title.8638>.
- Budai, T., Császár, G., Csillag, G., Fodor, L., Gál, N., Kericsmár, Z., Kordos, L., Pálfalvi, S., Selmeczi, I., 2008. Geology of the Vértes Mts. Explanatory Book to the Geological Map of the Vértes Hills (1:50 000). Geological Institute of Hungary, Budapest.
- Budai, T., Síkhegyi, F., 2005. Geological Map of Hungary, 1:100.000, Dorog (Esztergom) Hungarian Geological Institute, Budapest.
- Bukry, D., 1973. Low-latitude coccolith biostratigraphic zonation. *Initial Reports of the DSDP 15*, 685-703.
- Cramer, B. S., Toggweiler, J. R., Wright, J. D., Katz, M. E., Miller, K. G., 2009. Ocean overturning since the Late Cretaceous: Inferences from a new benthic foraminiferal isotope compilation. *Paleoceanography*. 24: PA4216, doi:10.1029/2008PA001683.
- Dunnington, H.V., 1967. Aspects of diagenesis and shape change in stylolitic limestone reservoirs. *Proceedings of World Petroleum Congres 7th, Mexico*, 2: 339-352.
- Eichwald, C.E., von, 1830. *Zoologia specialis. Pars altera*, Vilnae, 233 pp.
- Ferrández-Cañadell, C., 2012. Multispiral growth in *Nummulites*: paleobiological implications. *Marine Micropaleontology*, 96-97:105-122. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marmicro.2012.09.001>.
- Filipescu, S., 2001. Cenozoic lithostratigraphic units in Transylvania. In: Bucur, I.I., Filipescu, S., Săsăran, E. (eds.), *Algae and carbonate platforms in western part of Romania. 4th Regional Meeting of IFAA Cluj-Napoca 2001 - Field Trip Guidebook*. Cluj University Press, pp. 75-92.
- Filipescu, S., 2011. Cenozoic lithostratigraphic units in Transylvania. In: Bucur, I. & Săsăran, E. (eds.) - *Calcareous algae from Romanian Carpathians*, Presa Universitară Clujeană, pp 37-48.
- Flügel, E., 2010. *Microfacies of Carbonate Rocks. Analysis Interpretation and Application*. Second Edition, Springer, Berlin Heidelberg, pp. 984.
- Gheța, N., 1984. The Eocene of Transylvania. A new biostratigraphic interpretation. *Dări de Seamă ale Institutului, Seria Geologie-Geofizică*, 69(3): 95-106.
- Gradstein, F.M., Ogg, J.G., Schmitz, M.D., Ogg, G.M. (eds.) *Geologic Time Scale 2020*, pp. 1357, Elsevier.
- Hadi, M., Mosaddegh, H., Abbassi, N., 2016. Microfacies and biofabric of nummulite accumulations (Bank) from the Eocene deposits of Western Alborz (NW Iran). *Journal of African Earth Sciences*, 124: 216-233. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2016.09.012>.
- Hallock, P., 1985. Why are larger foraminifera large? *Paleobiology* 11:195-208. <http://dx.doi.org/10.2307/2400527>.
- Hallock, P., Glenn C.E., 1986. Larger foraminifera; a tool for paleoenvironmental analysis of Cenozoic carbonate depositional facies. *Palaios*, 1(1): 55-64. <https://doi.org/10.2307/3514459>.
- Hallock, P., Seddighi, M., 2021 Why did some larger benthic foraminifera become so large and flat? *Sedimentology*. <https://doi.org/10.1111/sed.12837>.
- de la Harpe, P., 1883. Monographie der in Aegypten und der libyschen Wüste vorkommenden *Nummulites*. *Palaeontographica*, 30:155–216.

- Haynes, J.R., 1965. Symbiosis, wall structure and habitat in foraminifera. *Contributions from Cushman Foundation for Foraminiferal Research*, 16:40-43.
- Hohenegger, J., 2006. The importance of symbiont-bearing benthic foraminifera for West Pacific carbonate beach environments. *Marine Micropaleontology*, 61(1-3): 4-39. <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2006.05.007>.
- Hohenegger, J., 2009. Functional shell geometry of symbiont-bearing benthic Foraminifera. *Galaxea, Journal of the Coral Reef Studies*, 11:81-89. <http://dx.doi.org/10.3755/galaxea.11.81>.
- Hohenegger, J., Yordanova, E., Hatta, A., 2000. Remarks on west Pacific Nummulitidae (Foraminifera). *Journal of Foraminifera Research*, 30: 3-28. <https://doi.org/10.2113/0300003>.
- Hottinger, L., 1960. Recherches sur les Alvéolines du Paléocène et de l'Éocène: *Schweizerische Paläontologische Abhandlungen*, 75-76: 1-253.
- Hottinger, L., 1982. Larger foraminifera, giant cells with a historical background. *Naturwissenschaften*, 69:361-371. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00396687>.
- Hottinger, L., 1983. Processes determining the distribution of larger foraminifera in space and time. *Utrecht Micropaleontological Bulletins*, 30: 239-253.
- Hottinger, L., 1997. Shallow benthic foraminiferal assemblages as signals for depth of their deposition and their limitations. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 168:491-505.
- Hottinger, L., 1999. "Odd partnership", a particular size relation between close species of larger foraminifera, with an emendation of an outstandingly odd partner, *Glomolvalveolina delicatissima* (Smout, 1954), Middle Eocene. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 92:385-393. <http://dx.doi.org/10.5169/seals-168680>.
- Hottinger, L., 2006. Illustrated glossary of terms used in foraminiferal research. *Carnets de Géologie / Notebooks on Geology-Memoir*, 2: 1-126.
- Hottinger, L., Drobne, K., 1988. Alvéolines tertiaires: Quelques problèmes liés à la conception de l'espèce. *Revue de Paléobiologie*, 2: 665-685.
- Hottinger, L., Lehmann, R., Schaub, H., 1964. Données actuelles sur la biostratigraphie du Nummulitique Méditerranéen. *Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et minières*, 28: 611-652.
- Jorry, S., Hasler, C.-A., Davaud, E., 2006. Hydrodynamic behaviour of *Nummulites*: implications for depositional models. *Facies*, 52: 221-235. <http://dx.doi.org/10.1007/s10347-005-0035-z>.
- Kaiho, K., 1994. Benthic foraminiferal dissolved-oxygen index and dissolved oxygen levels in the modern ocean. *Geology*, 22: 719-722.
- Keij, A.J., 1972. *Sylonica* and *Kylonisa*, two new Paleogene bryozoan genera (Cheilostomata, Skytoniidea). *Scripta Geologica*, 11: 1-15.
- Kercsmár, Z., 1995. *A Tatabányai medence keleti peremének öskörnyezeti rekonstrukciója és tektonosedimentológiai vizsgálata*. Master dissertation, Department of Paleontology. Eötvös Lóránd University, Budapest, p. 120.
- Kercsmár, Z., 2010. Eocene stratigraphy of the N-Gerecse. In: Wanek, F., Gagy, P.A. (eds.) - *XII. Conference on Mining, Metallurgy and Geology*. Hungarian Technical Scientific Society of Transylvania, pp. 148-153.
- Key, M.M.Jr., Zágoršek, K., Patterson, W., 2013. Paleoenvironmental reconstruction of the Early to Middle Miocene Central Paratethys using stable isotopes from bryozoan skeletons. *International Journal of Sciences*, 102(1): 305-318. <http://dx.doi.org/10.1007/s00531-012-0786-z>.
- Koch, A., 1880. Über das Tertiär in Siebenbürgen. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie*, I: 283-285.
- Kövecsi, S.A., Silye, L., Less, G., Filipescu, S., 2016. Odd partnership among middle Eocene (Bartonian) *Nummulites*: Examples from the Transylvanian (Romania) and Dorog (Hungary) Basins. *Marine Micropaleontology*, 127: 86-98. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marmicro.2016.07.008>.
- Kövecsi, S.A., Zágoršek, K., Filipescu, S., Silye, L., 2018. First report of *Kylonisa triangularis* Keij, 1972 (Bryozoa) from the middle Eocene (Bartonian). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen*, 289(3): 325-330. <https://doi.org/10.1127/njgpa/2018/0764>.
- Krézsek, C., Bally, A.W., 2006. The Transylvanian Basin (Romania) and its relation to the Carpathian fold and thrust belt: Insights in gravitational salt tectonics. *Marine and Petroleum*
- Lagaaij, R., Gautier, Y.V., 1965. Bryozoan assemblages from marine sediments of the Rhone delta, France. *Micropaleontology*, 11 (1): 39-58.

- Lamarck, J.B., 1801. *Système des animaux sans vertèbres, ou tableau général des classes, des ordres et des genres de ces animaux; Présentes leurs caractères essentiels et leur distribution d'après la considération de leurs rapports naturels et de leur organisation, et suivant l'arrangement établi dans les galeries du Muséum d'Histoire Naturelle, parmi leurs dépouilles conservées; Précédé du discours d'ouverture du Cours de Zoologie, donné dans le Muséum National d'Histoire l'an 8 de la République*. Deterville, Paris, 433 pp.
- Lee, J.J., 2006. Algal symbiosis in larger foraminifera. *Symbiosis*, 42(2): 63-75.
- Lee, J.J., Hallock, P., 1987. Algal symbiosis as the driving force in the evolution of larger foraminifera. *Annals of New York Academy of Science*, 503: 330-347. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-6632.1987.tb40619.x>.
- Lee, J.J., Sang, K., ter Kuile, B., Strauss, E., Lee, P.J., Faber Jr., W.W., 1991. Nutritional and related experiments on laboratory maintenance of three species of symbiont-bearing, large foraminifera. *Marine Biology*, 109: 417-425. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01313507>.
- Less, G., Kecskeméti, T., Ozsvárt, P., Kázmér, M., Báldi-Beke, M., Kollányi, K., Fodor, L., Kertész, B., Varga, I., 2000. Middle-Upper Eocene shallow water benthos in Hungary. *Annali Dell' Università 'Di Ferrara Scienze Terra*, 8: 151-181.
- Leutenegger, S., 1977. Ultrastructure de foraminifères perforés ainsi que de leurs symbiotes. *Cahiers de Micropaléontologie*, 3:1-52.
- Leutenegger, S., 1984. Symbiosis in benthic foraminifera; specificity and host adaptations. *Journal of Foraminiferal Research*, 14: 16-35. <http://dx.doi.org/10.2113/gsjfr.14.1.16>.
- Levy, A., 1994. Sur un phénomène de spéciation induit par l'environnement chez les Soritidae actuels (Foraminifères). *Oceanological Acta*, 17:33-41.
- Loeblich, A.R., Tappan, H., 1984. Suprageneric classification of the Foraminiferida (Protozoa). *Micropaleontology*, 30: 1-70.
- Lowrie, W., Alvarez, W., Napoleone, G., Perch-Nielsen, K., Premoli Silva, I., Toumarkine, M., 1982. Paleogene magnetostratigraphy in Umbrian pelagic carbonate rocks: the Contessa sections, Gubbio. *The Geological Society of America Bulletin*, 93: 414-432.
- Martini, E., 1971. Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation. In: Farinacci, A. (ed.) - *Proceedings 2nd International Conference Planktonic Microfossils Roma*, pp. 739-785.
- McIntyre, A., Bé, A.W.H., 1967. Modern coccolithophoridae of the Atlantic Ocean – I. *Placoliths and cyrtoliths*. *Deep-Sea Research and Oceanographic*, Abstract 14(5): 561-597.
- Melinte, M.C., 2005. Oligocene palaeoenvironmental changes in the Romanian Carpathians, revealed by calcareous nannoplankton fluctuation. *Annales Societatis Geologicae Poloniae*, 85: 18-28.
- Mészáros N., Moga V., Ianoliu C. 1987. Studying the various groups of fossil organisms of Leghia-Leghia Băi. In: Ghergari, L., Mészáros, N., Nicoric, E., Petrescu, I. (eds): - *The Eocene from the Transylvanian Basin Romania*, pp. 143-150.
- Mészáros, N., Moisescu, V., 1991. Bref aperçu des unités lithostratigraphiques du Paléogène dans le Nord-Ouest de la Transylvanie (région de Cluj –Huedin), Roumanie. *Bulletin d'Information des Géologues du Bassin de Paris*, 28(2): 31-39.
- Monechi, S., Buccianti, A., Gardin, S., 2000. Biotic signals from nannoflora across the iridium anomaly in the upper Eocene of the Massignano section: evidence from statistical analysis. *Marine Micropaleontology*, 39: 219-237.
- de Montfort, D., 1808. *Conchyliologie systématique, et classification méthodique des coquilles*. Tome 1. F. Schoell, Paris, 676 pp. <http://dx.doi.org/10.5962/bhl.title.10571>.
- Murray, J.W., 2006. *Ecology and Applications of Benthic Foraminifera*. Cambridge University Press, pp. 440. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511535529>.
- Okada, H., McIntyre, A., 1979. Seasonal distribution of the modern Coccolithophores in the western North Atlantic Ocean. *Marine Biology*, 54(4): 319-328.
- Oszczypko-Clowes, M., 2001. The nannoplankton biostratigraphy of the youngest deposits of the Magura Nappe (east of Skawa River, Polish Flysch Carpathians) and their palaeoenvironmental conditions. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 71: 139-188.
- Ozdínová, S., Soták, J., 2014. Oligocene–Early Miocene planktonic microbiostratigraphy and paleoenvironments of the South Slovakian Basin (Lučenec Depression). *Geologica Carpathica*, 65: 451-470.
- Papazzoni, C.A., 2008. Preliminary palaeontological observations on some examples of “nummulite banks”: sedimentary or biological origin? *Rendiconti Online Società Geologica Italiana*, 2: 135–138.

- Papazzoni, C.A., Čosović, V., Briguglio, A., Drobne, K., 2017. Towards a calibrated larger foraminifera biostratigraphic zonation: celebrating 18 years of the application of shallow benthic zones. *Palaios*, 32(1): 1-4. <http://dx.doi.org/10.2110/palo.2016.043>.
- Papazzoni, C.A., Seddighi, M., 2018. What, if anything, is a nummulite bank? *Journal of Foraminifera Research*, 48(4): 276-287. <https://doi.org/10.2113/gsjfr.48.4.276>.
- Papazzoni, C.A., Sirotti, A., 1995. Nummulite biostratigraphy at the Middle-Upper Eocene boundary in the northern Mediterranean area. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 101(1): 63-80.
- Park, W.C., Schot, E.H., 1968. Stylolites: their nature and origin. *Journal of Sedimentary Petrology*, 38: 175-191. <https://doi.org/10.1306/74D719102B2111D78648000102C1865D>.
- Pecheux, M.J.F., 1995. Ecomorphology of a recent large foraminifer, *Operculina ammonoides*. *Geobios*, 28: 529-566. [http://dx.doi.org/10.1016/S0016-6995\(95\)802096](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-6995(95)802096).
- Pleş, G., Kövecsi, S.A., Bindu-Haitonic, R., Silye, L., 2020. Microfacies analysis and diagenetic features of the Eocene nummulitic accumulations from northwestern Transylvanian Basin (Romania). *Facies*, 66:(3), paper 20. <https://doi.org/10.1007/s10347-020-00604-x>.
- Pop, D., Bedelea, I., 1996. Case histories of some Transylvanian glauconites. *Acta Mineralogica-Petrographica, Szeged*, 37:5-33.
- Popescu, B., 1978. On the lithostratigraphic nomenclature of the NW Transylvania Eocene. *Revue Roumaine de Géologie, Géophysique et Géographie, Géologie*, 22: 99-107.
- Popescu, B., Bombiță, G., Rusu, A., Iva, M., Gheța, N., Olteanu, R., Popescu, D., Tiutu, E., 1978. The Eocene of the Cluj - Huedin area. *Dări de Seamă ale Institutului de Geologie și Geofizică*, LXIV(4): 295-357.
- Proust, J.N., Hosu, A., 1996. Sequence stratigraphy and Paleogene tectonic evolution of the Transylvanian Basin (Romania, Eastern Europe). *Sedimentary Geology*, 105: 117-140. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(95\)00144-1](https://doi.org/10.1016/0037-0738(95)00144-1).
- Racey, A., 1995. Lithostratigraphy and larger foraminiferal (nummulitid) biostratigraphy of the tertiary of northern Oman. *Micropaleontology*, 41: 1-123. <http://dx.doi.org/10.2307/1485849>.
- Racey, A., 2001. A review of Eocene nummulite accumulations: structure, formation and reservoir potential. *Journal of Petroleum Geology*, 24: 79-100. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1747-5457.2001.tb00662.x>.
- Rahman, A., Roth, P.H., 1990. Late Neogene paleoceanography and paleoclimatology of the Gulf of Aden region based on calcareous nannoplankton. *Paleoceanography*, 5(1): 91-107.
- Răileanu, G., Marinescu, F., Popescu, A., 1968. Harta geologică a Republicii Socialiste România, scara 1:200.000, foaia 27-Târgu Mureș, Comitetul de Stat al Geologiei, Institutul Geologic, Bucharest.
- Răileanu, G., Saulea, E., 1968. Harta geologică a Republicii Socialiste Române, scara 1:200.000, foaia 10-Cluj. Comitetul de Stat al Geologiei, Institutul Geologic, Bucharest.
- Reiss, Z., Hottinger, L., 1984. *The Gulf of Aqaba. Ecological Micropaleontology*. Springer-Verlag, New York, 354 pp. <http://doi.org/10.1007/978-3-642-69787-6>.
- Renema, W., 2005. Depth estimation using diameter-thickness ratios in larger benthic foraminifera. *Lethaia*, 38: 137-141. <http://dx.doi.org/10.1080/00241160510013259>.
- Rozlozsnik, P., 1929. *Studien über Nummulinen*. Geologica Hungarica, Series Paleontologica 2, Institutum Regni Hungariae Geologicum, Budapest, 164 pp.
- Rusu, A., 1987. Ostrina Biohorizons in the Eocene of the North-West Transylvania (Romania). In: Petrescu, I. (ed.) - *The Eocene from the Transylvanian Basin, Romania*. Geological Formations of Transylvania, Romania, 1:175-182.
- Rusu, A., Brotea, D., Melinte, M.C., 2004. Biostratigraphy of the Bartonian deposits from Gilău area (NW Transylvania, Romania). *Acta Palaeontologica Romaniaae*, 4: 441-454.
- Rusu, A., 1995. Eocene formations in the Călata region (NW Transylvania): a critical review. *Romanian Journal of Tectonics and Regional Geology*, 76: 59-72.
- Schaub, H., 1981. *Nummulites et Assilines de la Téthys Paléogène*. Taxinomie, phylogénèse et biostratigraphie. *Schweizerische Paläontologische Abhandlungen*, 104-106: 1-236.
- Schneider, L.J., Bralower, T.J., Kump, L.R., 2011. Response of nannoplankton to early Eocene Ocean deoxygenation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 310: 152-162.

- Seddighi, M., Briguglio, A., Hohenegger, J., Papazzoni, C.A., 2015. New results on the hydrodynamic behaviour of fossil *Nummulites* tests from two nummulite banks from the Bartonian and Priabonian of northern Italy. *Bollettino della Societa Paleontologica Italiana*, 54: 106-116. <http://dx.doi.org/10.4435/BSPI.2015.06>.
- Serra-Kiel J, Reguant S (1984) Paleoeological conditions and morphological variations in monospecific banks of *Nummulites*: an example. *Benthos 83, 2nd International Symposium on Benthic Foraminifera* (Pau, 1983), 557-563 pp.
- Serra-Kiel, J., Hottinger, L., Caus, E., Drobne, K., Ferrandez, C., Jauhri, A.K., Less, G. Pavlovec, R., Pignatti, J., Samso, J., M., Schaub, H., Sirel, E., Strougo, A., Tambareau, Y., Tosquella, J., Zakrevskaya, E., 1988. Larger foraminiferal biostratigraphy of the Tethyan Paleocene and Eocene. *Bulletine de la Société Géologique de France*, 2: 281-299.
- Toussaint, R., Aharonov, E., Koehn, D., Gratier, P., Ebner, M., Baud, P., Rolland, A., Renard, F., 2018. Stylolites: A review. *Journal of Structural Geology*, 114: 163-195. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2018.05.003>.
- Tremolada, F., Bralower, T.J., 2004. Nannoplankton assemblage fluctuations during the Paleocene–Eocene thermal Maximum at Sites 213 (Indian Ocean) and 401 (North Atlantic Ocean): palaeoceanographic implications. *Marine Micropaleontology*, 52: 107-116.
- Triantaphyllou, M.V., Dimiza, M.D., Koukousioura, O., Hallock, P., 2012. Observations on the life cycle of the symbiont-bearing foraminifer *Amphistegina lobifera* Larsen, an invasive species in coastal ecosystems of the Aegean Sea (Greece, E. Mediterranean). *Journal of Foraminiferal Research*, 42: 143-150. <http://dx.doi.org/10.2113/gsjfr.42.2.143>.
- Vandeginste, V., John, C.M., 2013. Diagenetic implications of stylolitization in pelagic carbonates, Canterbury Basin, Offshore New Zealand. *Journal of Sedimentary Research*, 83(3): 226-240. <https://doi.org/10.2110/jsr.2013.18>.
- Villa, G., Fioroni, C., Pea, L., Bohaty, S., Persico, D., 2008. Middle Eocene–late Oligocene climate variability: calcareous nannoplankton response at Kerguelen Plateau, Site 748. *Marine Micropaleontology*, 69: 173-192.
- Wanek, F., Mészáros, N., Zotoiu, B. 1987. The Eocene ostracods belonging to the Inferior Marine Series from the North-Western part of the Transylvanian Basin in the light of the Leghia section. In: Ghergari, L., Mészáros, N., Nicoric, E., Petrescu, I. (eds.). *The Eocene from the Transylvanian Basin Romania* pp. 123-126.
- Wei, W., Wise Jr., S.W., 1990. Biogeographic gradients of middle Eocene– Oligocene calcareous nannoplankton in the South Atlantic Ocean. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 79: 29-61.
- Young, J., 1990. Size variation of Neogene Reticulofenestra coccoliths from Indian Ocean DSDP Cores. *Journal of Micropaleontology*, 9(1): 71-86.
- Zachos, J.C., Dickens, G.R., Zeebe, R.E., 2008. An early Cenozoic perspective on greenhouse warming and carbon-cycle dynamics. *Nature*, 451(7176):279-283. <https://doi.org/10.1038/nature06588>.
- Zohary, T., Reiss, Z., Hottinger, L., 1980. Population dynamics of *Amphisorus hemprichii* (foraminifera) in the Gulf of Elat (Aqaba), Red Sea. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 73: 1071-1094. <http://dx.doi.org/10.5169/seals-165002>.