



Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno – matematički fakultet

Geološki odsjek

Igor Pejnović

**Zajednice eocenskih planktonskih
foraminifera odabranih lokaliteta
Dinarskog predgorskog bazena:
taksonomija, biostratigrafija i
paleoekologija**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2026



Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno – matematički fakultet

Geološki odsjek

Igor Pejnović

**Zajednice eocenskih planktonskih
foraminifera odabranih lokaliteta
Dinarskog predgorskog bazena:
taksonomija, biostratigrafija i
paleoekologija**

DOKTORSKI RAD

Mentor:

Prof. emer. dr. sc. Vlasta Čosović

Zagreb, 2026



University of Zagreb

Faculty of Science
Department of Geology

Igor Pejnović

**Eocene planktonic foraminiferal
assemblages from selected localities
within the Dinaric foreland basin:
taxonomy, biostratigraphy and
paleoecology**

DOCTORAL DISSERTATION

Mentor:

Prof. emer. Vlasta Čosović, Ph.D.

Zagreb, 2026

Ova doktorska disertacija izrađena je pod mentorstvom prof. emer. dr. sc. Vlaste Čosović na Geološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu. Disertacija je pisana u okviru doktorskog studija Geologije pri Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

Istraživanje je financirano od strane Hrvatske zaklade za znanost putem projekata IP-2019-04-5775 „Dinaridski predgorski bazen između dva eocenska termalna optimuma: mogući scenarij za sjevernojadranski bazen“ (BREEMECO) i DOK-02-9533 „Projekt razvoja karijera mladih istraživača“.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Geološki odsjek

Doktorska disertacija

Zajednice eocenskih planktonskih foraminifera odabranih lokaliteta Dinarskog predgorskog bazena:
taksonomija, biostratigrafija i paleoekologija

Igor Pejnović

Taloženje u paleogenskom Dinarskom predgorskom bazenu odvijalo se u uvjetima kompleksne sinsedimentacijske tektonike, što se odrazilo kroz raznovrsnost okoliša, uključujući bazenski dio u kojem se nakuplja fliš. U sklopu ove doktorske disertacije analizirane su zajednice planktonskih foraminifera iz laporovitih proslojaka fliša područja srednje Dalmacije (otok Hvar, Poluotok Pelješac i njegovo zaleđe).

Pomoću planktonskih foraminifera utvrđeno je da su naslage taložene u rasponu od gornjeg bartona do donjeg rupela (E13–O1 biozone). Promjene u zastupljenosti bentičkih i planktonskih foraminifera upućuju na postepeno produbljivanje taložnog prostora s dubine od ~750 m krajem bartona do dubine od ~1200 m početkom rupela. Zajednica planktonskih foraminifera mijenja se kroz srednji i kasni eocen tako što udio vrsta indikatora hladnih uvjeta raste, što ukazuje na eocensko–oligocensku izmjenu faune u Dinarskom predgorskom bazenu. Primarni pokretač promjene je pad temperature mora. Prve naznake zahlađenja uočljive su već u gornjem bartonu, a u priabonu ono izaziva slabljenje stratifikacije u vodenom stupcu i gubitak niše visoko specijaliziranih vrsta miješanog sloja. Intenzivnije zahlađenje bilo je na granici eocen/oligocen. Uzrokovalo je izumiranje posljednjih tipičnih eocenskih oblika kao što su *Globigerinatheka*, *Hantkenina* i većina *Turborotalia* i preostale su uglavnom vrste tolerantne na hladnije uvjete u okolišu.

Razvijeni modeli automatskog mjerenja kućica foraminifera omogućili su prikupljanje velike količine biometrijskih podataka i njihovu interpretaciju u okviru geološkog vremena. Kako bi zadržale svoje niše, tijekom eocena planktonske foraminifere prilagođavale su svoju morfologiju. Kućice vrste miješanog sloja *Pseudohastigerina micra* postaju manje i zaobljenije, a one termoklinske vrste *Turborotalia cerroazulensis* plosnatije i manje porozne.

Ključne riječi: Dinarski predgorski bazen, eocen/oligocen, planktonske foraminifere, fliš

Rad sadrži: X + 226 stranica, 30 slika, 3 tablice, 8 tabli, 7 priloga, 339 literaturnih navoda

Jezik izvornika: Hrvatski

Rad je pohranjen u: Nacionalna i sveučilišna knjižnica u Zagrebu

Mentor: prof. emer. dr. sc. Vlasta Čosović, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb

Ocjenjivači:

dr. sc. Đurđica Pezelj, izvanredna profesorica, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb

dr. sc. Damir Bucković, redoviti profesor u trajnom izboru, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb

dr. sc. Stjepan Čorić, stručni savjetnik, GeoSphere Austria, Beč

Rad prihvaćen: 12. lipnja 2026.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geology

Doctoral dissertation

Eocene planktonic foraminiferal assemblages from selected localities within the Dinaric foreland basin: taxonomy, biostratigraphy and paleoecology

Igor Pejnović

The Paleogene Dinaric foreland basin was characterized by a variety of depositional environments, influenced by complex synsedimentary tectonics. These included its *foredeep* where flysch deposition took place. Planktonic foraminifera assemblages from marly horizons within flysch deposits of central Dalmatia localities (Hvar island, Pelješac peninsula and its hinterland) were analyzed in this doctoral research.

Planktonic foraminifera biostratigraphy revealed the range of flysch deposition spanning from the upper Bartonian to the lower Rupelian (E13–O1 Biozones). Changes to the abundances of benthic and planktonic species revealed an increasing depositional depth, from ~750 m in the Bartonian to ~1200 m in the Rupelian. Planktonic foraminifera assemblage likewise changed during the middle and late Eocene as the cold-water species abundances increased, reflecting the period of biota adjustments known as the Eocene-Oligocene faunal turnover. These changes were primarily driven by decreasing sea temperatures. The first signs of this change are already present in the late Bartonian. During the Priabonian the cooling caused the water column to become less stratified, affecting niches inhabited by specialized foraminifera inhabiting the mixed layer. More pronounced cooling at the Eocene/Oligocene boundary caused extinction of the last typical Eocene taxa such as *Globigerinatheka*, *Hantkenina* and the majority of *Turborotalia* species, with the remaining assemblage consisting mostly of cold-tolerant species. Models developed for automatic foraminifera test measurements enabled collection of large quantities of biometric data. These suggest that planktonic foraminifera adapted their morphology during the Eocene, to retain their niches. *Pseudohastigerina micra*, a mixed-layer species, became smaller and less compressed, while tests of thermocline-dwelling *Turborotalia cerroazulensis* show increased compression and reduced porosity.

Key words: Dinaric foreland basin, Eocene/Oligocene, planktonic foraminifera, flysch

Dissertation contains: X + 226 pages, 30 text-figures, 3 tables, 8 plates, 7 appendices, 339 references

Original in: Croatian

Dissertation deposited in: National and University library, Zagreb

Supervisor: prof. emer. Vlasta Čosović, PhD, University of Zagreb, Faculty of Science, Zagreb

Reviewers:

Đurđica Pezelj, PhD, associate professor, University of Zagreb, Faculty of Science, Zagreb

Damir Bucković, PhD, full professor, University of Zagreb, Faculty of Science, Zagreb

Stjepan Čorić, PhD, senior research scientist, GeoSphere Austria, Vienna

Thesis accepted: June 12th, 2026

Extended summary

The Paleogene was a period when major tectonic changes related to formation of the External Dinarides occurred. Compressional tectonics caused by the subduction of Adria microplate under Europe-derived units and the subsequent collision left large parts of the Mesozoic Adriatic-Dinaric carbonate platform exposed and initiated the formation of the Paleogene Dinaric foreland basin. As the basin developed, it formed a deep *foredeep* in which hemipelagic and pelagic deposition occurred, influenced by terrestrial input via debritic and turbiditic flows. The resulting flysch deposits have been extensively studied in the Istria and North Dalmatia areas, however in the Central Dalmatia area their age and depth of deposition remain poorly constrained. The aims of this thesis were to, using foraminifera, define the timeframe of flysch deposition and determine the conditions of basin depth, temperature and water column conditions under which the flysch was deposited.

This doctoral study is based on research of marly horizons from select flysch outcrops of the Central Dalmatia area. Sampling was conducted on the island of Hvar (Podstine and Zračće bays), Pelješac peninsula (Trstenica bay and Podobuče and Viganj outcrops) as well as in its hinterland (vicinity of the town of Slano). Samples were processed for micropaleontological studies using standard laboratory procedures for marl disaggregation.

The age of flysch deposition in the Central Dalmatia area was determined by applying a biozonation based on planktonic foraminifera. A total of four biozones were recognized, corresponding an age of deposition spanning from the late Bartonian (E13 Biozone), across the Priabonian (E15 and E16 Biozones) up until the early Rupelian (O1 Biozone). These latter Rupelian deposits at the Viganj outcrop are the first Oligocene sediments on the Pelješac peninsula to be described using planktonic foraminifera. During this entire depositional timespan, the *foredeep*'s depth was on an increase, from the ~750 m in the upper Bartonian towards ~1200 m at the start of Rupelian. These conditions were largely uniform across the studied area, with minor exceptions likely caused by complex synsedimentary tectonics.

During the late Bartonian, planktonic foraminifera assemblage was dominated by species of genera *Acarinina*, *Globigerinatheka* and *Globoturbotalita* (which formed up to 11 %, 5 % and 33 % of the assemblage respectively), considered to be indices of warm-water conditions. Relative lack of diversity among typical middle Eocene forms belonging to the large muricate group is similar to late Bartonian deposits from other nearby basins and is here interpreted as early signs of sea surface cooling.

Warm conditions persist into the Priabonian, as evidenced by continued dominance of warm-water indicator species. Deeper-dwelling genera tolerant of cooler conditions such as *Paragloborotalia*, *Subbotina* and *Turborotalia* become more common (reaching up to 9 %, 16 % and 30 % of the assemblage respectively). This, with a decrease in diversity among the shallow-dwelling species indicates a shift towards cooler conditions. The subsequent changes to the water column stratification likely caused seasonal destabilizations of the thermocline. This enabled nutrient input to the shallower parts of the water column, most likely, via upwelling, as evidenced by the appearance of opportunistic species tolerant of oligotrophic conditions within the assemblage, with additional nutrient input via continental runoff as weathering on nearby land intensified.

Late Priabonian assemblages record a more pronounced cooling as several Eocene warm-water taxa are gradually replaced by species with increased tolerance to cooler conditions. These faunal changes are characteristic of a period of stepwise assemblage change known as the Eocene–Oligocene faunal turnover. At the beginning of the Oligocene species diversity recovers somewhat, but its morphological diversity remains low, indicating a reduction in number of distinct ecological niches.

A simple model for obtaining automatic measurements from microphotographs of foraminiferal tests was developed. This enabled collection of large biometric datasets for two species of planktonic foraminifera: *Pseudohastigerina micra*, a mixed layer-dweller and the thermocline-inhabiting *Turborotalia cerroazulensis*. Both species recorded a change in morphology. *P. micra* test size decreased during the Priabonian as a response to the cooling of the mixed layer. Its overall test shape became less compressed, possibly affected by the change in surface water density, or in an attempt to occupy a different ecological niche. *T. cerroazulensis* likewise changed its test shape, becoming more compressed during the Priabonian, which is interpreted here as an attempt to decrease its habitat depth, either to remain within its optimal temperature range during the late Eocene cooling, or following blooms or its phytoplankton prey, which became increasingly common due to nutrient input. Additional changes were discovered by analyzing test surface properties of this species. Across the Bartonian/Priabonian boundary the species adapted its test surface by reducing its pore density, likely in response to increased oxygen solubility in the seawater as it cooled during the Priabonian. In addition, Priabonian representatives displayed a smoother test surface by reducing the cancellate test ridges characteristic of Bartonian specimens. This, in

conjecture with the increased test compression, makes their morphology somewhat convergent with younger species in its evolutionary lineage, presenting a possibility of competition between them during the Priabonian.

Comparison of different foraminiferal fragmentation indices showed that the FV index, recently developed as a calcite dissolution proxy of recent sediments, is also applicable to Paleogene material. It was also discovered that the ratio of damaged to preserved surfaces of planktonic foraminifera tests may be another potential proxy of calcite dissolution.

Zahvale

Sadržaj

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA.....	II
BASIC DOCUMENTATION CARD.....	III
Extended summary	IV
Zahvale.....	VII
Sadržaj	VIII
1. Uvod.....	1
2. - Geološki smještaj istraživanog područja	4
3. - Pregled dosadašnjih istraživanja fliša srednje Dalmacije.....	6
4. - Metode istraživanja i obrade uzoraka	10
4.1 - Terensko uzorkovanje	10
4.1.1 - Zaleđe poluotoka Pelješca.....	10
4.1.2 - Poluotok Pelješac	14
4.1.3 - Otok Hvar	16
4.2 - Obrada uzoraka	17
4.2.1 - Mehanička i kemijska priprema uzoraka	17
4.2.2 - Mokro sijanje uzoraka	19
4.3 - Planktonske foraminifere	19
4.3.1 - Rast jedinke i stvaranje kućice	20
4.3.2 - Površina stijenke	21
4.3.3 - Pore i njihova uloga.....	23
4.3.4 - Način rasta kućice	24
4.3.5 - Ušće i njegove modifikacije.....	26
4.3.6 - Modifikacije najmlađe klijetke	27
4.3.7 - Ostali elementi građe	29
4.3.8 - Životni ciklus planktonskih foraminifera	30
4.3.9 - Životne strategije planktonskih foraminifera	33
4.3.10 - Istraživanja planktonskih foraminifera.....	34
4.4 - Taksonomska identifikacija, kriteriji i primjena na istraživanim uzorcima.....	35
4.5 - Biostratigrafska analiza	36
4.6 - Statističke metode	40
4.6.1 - Indeksi bioraznolikosti.....	40
4.6.2 - Indeksi koji definiraju abiotičke osobine okoliša	41
Paleodubina, neposredna metoda.....	41
Paledubina, posredna metoda kroz indekse oštećenosti kućica	42
4.7 - Morfometrijske metode	48
4.7.1 - Priprema kućica za mjerenja	48
4.7.2 - Izrada mikrofotografija.....	50
4.7.3 - Mjerenja kućica planktonskih foraminifera	51
4.7.4 - Skenirajući elektronski mikroskop.....	55
4.7.5 - Automatizirano prepoznavanje i mjerenje pora	56

4.8 - Korelacije taksonomskih značajki i morfometrijskih izmjera	56
5. - Rezultati	59
5.1 - Biostratigrafija	59
5.1.1 - Kompozitni stup Slano-Čepikuće.....	59
5.1.2 - Stup Trstenica.....	62
5.1.3 - Podobuče	62
5.1.4 - Viganj.....	64
5.1.5 - Stup Podstine	66
5.1.6 - Stup Zaraće.....	66
5.2 - Zajednice bentičkih foraminifera	69
5.3 - Paleoeколоške osobine taložnih okoliša	69
5.3.1 - Paleodubine	69
5.3.2 - Dijagenetske promjene na kućicama foraminifera	71
5.4 - Indeksi oštećenosti kućica	77
5.4.1 - Fragmentacijski indeks planktonskih foraminifera.....	77
5.4.2 - Usporedba fragmentacijskih indeksa	78
5.5 - Indeksi bioraznolikosti	79
5.6 - Promjene u raznolikosti planktonskih foraminifera pojedinih ekoloških zahtjeva.....	80
5.7 - Korelacija relativnih udjela planktonskih foraminifera.....	81
5.7.1 - Stup Slano-Čepikuće.....	82
5.7.2 - Stup Trstenica.....	82
5.7.3 - Stup Podstine	83
5.7.4 - Stup Zaraće.....	83
5.8 - Morfometrija	83
5.8.1 - Smjerovi namatanja najzastupljenijih trohospiralnih rodova i vrsta.....	83
5.8.2 - Biometrija vrste <i>P. micra</i>	87
Promjer i rast kućice	87
Stupanj kompresije	88
Aberantne jedinke i modifikacije najmlađe klijetke.....	88
5.8.3 - Biometrija vrste <i>T. cerroazulensis</i>	88
Odnosi vrsta evolucijskog niza <i>T. pomeroli</i> – <i>T. cunialensis</i>	88
Promjer kućice	89
Koeficijent zaobljenosti.....	89
Aberantne jedinke i <i>kummerform</i> kućice.....	90
Veličina i gustoća pora	92
5.8.4 - Korelacija izmjerenih parametara	94
6. - Diskusija	96
6.1 - Taksonomija odabranih vrsta	96
6.1.1 - Taksonomski opis vrste <i>P. micra</i>	96
6.1.2 - Rod <i>Turborotalia</i>	98
6.1.3 - Taksonomski opis vrste <i>T. cerroazulensis</i>	99
6.1.4 - Rod <i>Dentoglobigerina</i>	101
6.1.5 - Taksonomski opis vrste <i>D. galavisi</i>	102
6.1.6 - Taksonomski opis vrste <i>D. larmeui</i>	103
6.2 - Biostratigrafske posebnosti istraženih naslaga	104

6.2.1 - E13 - <i>Morozovelloides crassatus</i> biozona	105
6.2.2 - E15 - <i>Globigerinatheka index</i> biozona	106
6.2.3 - E16 - <i>Hantkenina alabamensis</i> biozona	107
6.2.4 - O1 - <i>Pseudohastigerina naguewichiensis</i> biozona	108
6.3 - Okoliš taloženja	108
6.3.1 - Dubina bazena (foredeep prostora)	109
6.3.2 - Učinkovitost fragmentacijskih indeksa i njihov potencijal za buduće interpretacije	111
6.4 - Zajednice planktonskih foraminifera	112
6.4.1 - Distribucija planktonskih foraminifera u vodenom stupcu	112
6.4.2 - Dinamika promjena u vodenom stupcu povezanih s klimatskim promjenama	115
6.5 - Biometrija planktonskih foraminifera	120
6.5.1 - Trendovi u smjerovima namatanja kao indikator nestabilnosti	120
6.5.2 - Biometrija kućica vrste <i>P. micra</i>	122
Veličina kućica	122
Stupanj kompresije kućica	122
Modifikacije ušća i aberantne jedinke	122
6.5.3 - Biometrija kućica vrste <i>T. cerroazulensis</i>	123
Promjer i površina kućica	123
Koeficijent zaobljenosti	124
Smjer namatanja	125
Kummerform kućice	129
Površina stijenke	131
7. - Zaključci	133
8. - Literatura	137
9. - Prilozi	172
10. - Životopis autora	222
11. - Popis objavljenih radova	223

1. Uvod

Paleogene naslage Vanjskih Dinarida taložene su za vrijeme značajnih kolizijskih procesa Alpske orogeneze (Schmid i sur., 2008; 2020). Relativno stabilni plitki sedimentacijski okoliši karbonatne platforme ustupili su mjesto raznovrsnijim uvjetima taloženja, tijekom nastanka i evolucije Dinarskog predgorskog bazena. Iako se taj razvoj može pratiti kroz slijed taložnih okoliša tipičan za predgorske bazene, on nije ujednačen čitavim njegovim prostiranjem. Zbog razlika u početku i intenzitetu tektonike, njegove pojedine sedimentacijske faze nisu vremenski ujednačene i jednako zastupljene unutar različitih dijelova bazena. Takav razvoj stvara probleme korelaciji naslaga i taložnih faza, što je posebno izraženo u područjima gdje one slabo izdanjuju kao što su to dijelovi srednje Dalmacije. Za razliku od područja Istre i sjeverne Dalmacije, gdje je paleogeni slijed naslaga detaljno opisan (primjerice Babić i sur., 2007; Ćosović i sur., 2004; Galović i sur., 2025; Živković i Babić, 2003), njegov razvoj na području srednje Dalmacije manje je poznat, za što je djelomično zaslužan i manjak kontinuiranih izdanaka na tom području.

Uz to što su naslage Dinarskog predgorskog bazena taložene za vrijeme značajnih tektonskih promjena, njihovo taloženje poklapa se s razdobljem restrukturiranja Zemljina klimatskog režima (Hutchinson i sur., 2021; Prothero, 2009). Prvotan porast prosječnih temperatura kulminira na kraju paleocena, tijekom Paleoceno–eocenskog termalnog maksimuma (Kennett i Stott, 1991), a vrlo topla klima nastavlja se i u eocenu (Huber i sur., 2000; Miller i sur., 1987). Procjene temperatura površinskog sloja mora tropskog pojasa u ranom eocenu od oko 35°C su tek nekoliko stupnjeva više od današnjih, no polarna područja su bila puno toplija, za 10–15°C u odnosu na današnje stanje (Cramwinckel i sur., 2018; Crowley i Zachos, 2000). Manji temperaturni gradijent odgovara klimatskom režimu koji se opisuje kao Staklenička Zemlja (*hot house* ili *warm house*; Katz i sur., 2008). Početkom srednjeg eocena dolazi do obrata i započinje trend pada globalnih temperatura (Keller, 1983), no i taj pad ispresijecan je nizom kratkotrajnih razdoblja relativno naglog zagrijavanja, takozvanim klimatskim maksimumima i optimumima (Bohaty i Zachos, 2003; Cramwinckel i sur., 2018). Krajem eocena globalni prosjek temperature površine mora spustio se za oko 4,5°C (Liu i sur., 2009) što je, uz promjene u cirkulaciji morskih struja (Kennett i sur., 1974), dovelo do glacijacije, odnosno uspostave klimatskog režima koji zovemo Ledena Zemlja (*icehouse*;

Katz i sur., 2008), s trajnim ledenim pokrovom na Antarktiku (Kennett, 1977; Ladant i sur., 2014; Miller i sur., 1987), koji traje i danas.

Takva dinamika klimatskih promjena predstavljala je izazov za biotu, mijenjajući staništa i stvarajući ekološki i evolucijski pritisak. Promjene klimatskog režima dovele su do faunalnih izmjena (*faunal turnover*) kod mnogih skupina organizama (Prothero, 2009; Prothero i Berggren, 2014) pri čemu se zajednice toplih klima postepeno, kroz specijacije i izumiranja, transformiraju u one vrsta otpornijih na hladniju klimu.

Paleogenski fliš Vanjskih Dinarida taložen je unutar bazenskog (*foredeep*) prostora. Takve prostore tipično nastanjuju pelagički organizmi kao što su planktonske foraminifere, pa njihove kućice često nalazimo u naslagama dubljevodnog dijela razvoja predgorskog bazena. Biostratigrafijom planktonskih foraminifera može se stoga utvrditi vremenski okvir taloženja fliša na području srednje Dalmacije. Promjene foraminiferskih zajednica mogu dati odgovor na pitanje na kojim dubinama se odvijalo taloženje te kako su se one mijenjale kroz geološko vrijeme. Uz to, praćenje promjena unutar planktonske foraminiferske zajednice, s posebnom pažnjom na vrste karakteristične za specifične dubinske i/ili temperaturne uvjete, može dati uvid u razvoj vodenog stupca i njegovih karakterističnih dijelova, te temperaturne promjene kojima su pojedini dijelovi bili zahvaćeni.

Ova doktorska disertacija temelji se na taksonomskim i funkcionalnim istraživanjima planktonskih foraminifera kako bi se upotpunilo znanje o postanku i distribuciji dubokomorskih prostora (bazena) u predgorskom bazenu Dinarida, u naslagama koje nalazimo u području srednje Dalmacije. S tim ciljem provedena su terenska istraživanja (uzorkovanje i izrada geoloških stupova; Poglavlje 4.1) i odrađen niz laboratorijskih (Poglavlje 4.2) kao i kabinetskih (Poglavlja 4.4–4.8) analiza. Ovim istraživanjem nastoji se postići sljedeće:

1. Kronostratigrafski i biostratigrafski interpretirati dio fliških naslaga na području srednje Dalmacije, točnije odabranih lokaliteta otoka Hvara, poluotoka Pelješca te njegova zaleđa. Kako bi se ostvarilo navedeno primijenjena je standardna biostratigrafska zonacija planktonskih foraminifera (Poglavlja 5.1, 6.2).
2. Odrediti dubinu taloženja istraživanih naslaga (Poglavlje 5.3) te interpretirati fizikalno-kemijske karakteristike morske vode (temperatura, količina nutrijenata, udio otopljenog kisika, stratifikacija vodenog stupca) (Poglavlja 5.3, 5.4). Za ostvarenje

ovog cilja prikupljeni su podaci o sastavu zajednica foraminifera (Poglavlja 5.2, 5.6 i 5.7) i promjenama u odnosu bentičkih i planktonskih vrsta kroz geološko vrijeme. Temeljem sedimentoloških opažanja, literaturnih podataka o ekološkim preferencijama pojedinih vrsta foraminifera te njihovom usporedbom s analognim vrstama u modernim zajednicama izgradit će se slika okoliša za vrijeme taloženja (Poglavlja 6.3 i 6.4).

3. Primijeniti biometrijske metode i metode strojnog učenja kako bi se uočile i pratile promjene u morfologiji odabranih vrsta planktonskih foraminifera. Dobiveni rezultati potpomoći će interpretaciji okoliša i uočiti promjene koje analiza zajednice ne može detektirati (Poglavlje 6.5).

Na temelju gore navedenih ciljeva, ovim doktorskim istraživanjem postavljene su i testirane sljedeće hipoteze:

1. Zajednica planktonskih foraminifera odražava stanje u okolišu za vrijeme taloženja naslaga.
2. Promjene u okolišu (prvenstveno u temperaturi mora) odrazit će se na morfologiju pojedinih vrsta kroz promjene veličine i/ili oblika kućica.
3. Promjene sastava zajednica i dominante morfologije skeleta/kućica pojedinih vrsta u njima će ukazivati na promjene temperature koje će se moćo povezati s epizodama „zatopljenja“ ili „zahlađenja“.

2. - Geološki smještaj istraživanog područja

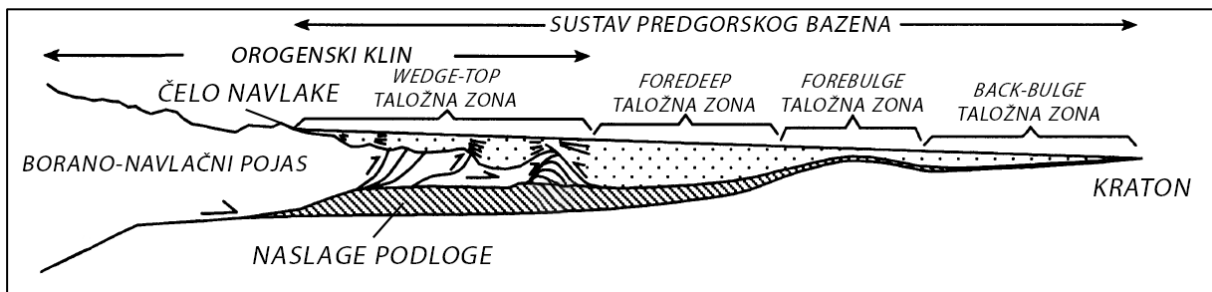
Naslage koje su istraživane u sklopu izrade ove doktorske disertacije pripadaju širem slijedu naslaga taloženih unutar predgorskog bazena (Slika 2.1) uzdižućih Dinarida. Tektonski procesi koji su doveli do nastanka bazena započinju u kasnoj kredi, kao posljedica subdukcije Adrija mikroploče pod euroazijske tektonske jedinice. Kolizija je izazvala savijanje litosfere, pokrećući val deformacija gornjih strukturnih jedinica. Posljedična orogeneza zahvaća široke prostore, između ostalog i područje od Alpa preko Dinarida do Helenida (Schmid i sur., 2008). Time započinje formiranje niza predgorskih bazena, među kojima nastaje i Dinarski predgorski bazen. Smjer pružanja bio mu je sjeverozapad–jugoistok, a njegov razvoj prati tri karakteristične faze s povećanjem akomodacijskog prostora (Sinclair, 1997) i dijakronom izmjenom facijesa. Podlogu naslagama predgorskog bazena tvore naslage mezozojske karbonatne platforme i mjestimice one paleozojskog šelfa Gondwane (Vlahović i sur., 2005). Granica naslaga predgorskog bazena s njima je uglavnom transgresivna, iako mjestimice postoji kontinuitet taloženja iz najgornje krede u najdonji paleocen (Ćosović i sur., 2006; Korbar i sur., 2015; 2017).

Prvu fazu razvoja u Dinarskom bazenu predstavlja taloženje plitkomorskih Liburnijskih naslaga (Drobne i sur., 1989; Stache, 1899). Ove naslage na području srednje Dalmacije su slabo razvijene (Korbar, 2009), odnosno najčešće je prisutan brakični član, naziva Kozina naslage. Na istraženom području na kredne naslage najčešće diskordantno naliježu vapnenci bogati ostacima velikih bentičkih foraminifera (predstavnicima porodica Alveolinidae, Nummulitidae i Orthophragminidae), Foraminiferski vapnenci (Ćosović i sur., 2004). Boranjem *wedge-top* prostora nastaje sustav antiklinalnih formi što omogućuju nastanak „privremenih“ karbonatnih rampi (Ćosović i sur., 2018) i taloženje vapnenaca s velikim bentičkim foraminiferama kao glavnim „konstruktorima“, što se nastavlja do kraja eocena. Distalnije, inicijalni plitkomorski bazen (Gobo i sur., 2023) uslijed tektonskih procesa postepeno produbljuje pa se nad foraminiferskim vapnencima u tom dijelu bazena počinju taložiti hemipelagičke „prijelazne naslage“, a potom i bazenske naslage („Globigerinski“ ili „Subbotinski“ lapori i fliš). Fliš, kao najdublji član ovog razvoja pretežno se sastoji od izmjene masivnih hemipelagičkih i plagičkih lapora s uslojenim laporima i pješčenjacima nastalih donosom debritnim i turbiditnim tokovima.

Nastanak bazena, zbog različitog intenziteta tektonike, nije bio istovremen unutar kompartmeniziranog taložnog prostora, što dovodi do razlika u početku taloženja

dubokomorskih naslaga duž njegova prostiranja. Najstariji fliš koji nalazimo na području Slovenije istaložen je tijekom kasnog paleocena i ranog srednjeg eocena (Drobne i sur., 2012), a idući prema jugu na današnjim priobalnim područjima taloženje započinje sve kasnije, primjerice u Pazinskom bazenu tijekom srednjeg eocena (Babić i sur., 2007; Živković i Babić, 2003), a u srednjoj Dalmaciji u kasnom srednjem i kasnom eocenu (Marjanac i sur., 1998).

Čitav prostor se tijekom eocena nalazio na nižim geografskim širinama nego što je to danas (najmanje 5° južnije; Brčić i sur., 2023). Bio je dio središnjeg Neotetis oceana, koji je u to vrijeme bio morski prolaz između Atlantskog i Indijskog oceana (Jovane i sur., 2009).



Slika 2.1: Idealizirani model predgorskog bazena. Prilagođeno prema DeCelles i Gilles (1996).

3.– Pregled dosadašnjih istraživanja fliša srednje Dalmacije

Za najranija geološka istraživanja naslaga na području srednje Dalmacije zaslužni su austrijski geolozi, koji od druge polovice 19. stoljeća, sve do raspada carstva 1918. provode primarno kartografske radove kojima postavljaju temelj kasnijim istraživanjima. Prve takve karte koje obuhvaćaju Pelješac i Hvar su geološki atlas Europe koji je izradio von König (1840). i Hauerova (1875) geološka karta Austro-Ugarske monarhije. Haurevi listovi i njihove revizije tvorili su okosnicu kasnijim namjenskim i detaljnim geološkim kartama za prostore monarhije, a na njima paleogenske naslage podijeljene su na „eocen formaciju“ i „neuslojeni fliš“.

Godine 1899. Stache u monografiji „*Die Liburnische Stufe und deren Grenz-Horizonte*“, između ostalog, opisuje facijese vapnenaca s Numulitima i naslage fliša na Pelješcu, a godinu kasnije Söhle (1900) opisao je sličan eocenski slijed naslaga u svom geološko-paleontološkom pregledu otoka Hvara.

Period između dva svjetska rata obilježio je mali broj istraživanja. Kao doprinos geologiji otoka Hvara treba istaknuti radove Marijana Salopeka (1927; 1931) u kojima ciljano obrađuje naslage eocena na jugozapadnoj strani otoka. Fokus prvog rada (Salopek, 1927) su naslage zapadno od grada Hvara (u uvalama Podstine i Majerovica), a drugim radom (Salopek, 1931) opisuje pojave paleogenskih naslaga istočno od grada. Za fliš navodi kako se sastoji od izmjene slojeva lapora i pješčenjaka, a temeljem vrsta fosilnih koralja i ježinaca koje pronalazi u pješčenjačkim slojevima, starost naslaga pozicionira u raspon srednjeg eocena.

Razdoblje 60-ih i 70-ih godina prošlog stoljeća obilježeno je intenzivnim terenskim i istraživačkim radom vezanim uz izradu listova Osnovne geološke karte SFRJ 1: 100 000. Područja koja su predmet istraživanja ove doktorske disertacije prikazana su na više listova karte i opisana u pripadajućim tumačima. Otok Hvar obuhvaćen je listom Vis (Jabuka, Svetac, Biševo) koji su izradili Borović i suradnici, a objavljen je 1975. te listom Jelsa (Marinčić i Majcen, 1975). Paleogen poluotoka Pelješca i njegova zaleđa u okolici Slanog obuhvaćen je listovima Korčula (Korolija i sur., 1975) i Ston (Raić i sur., 1980).

Potreba za točnom odredbom starosti kartiranih naslaga ubrzala je istraživanja vapnenačkog mikroplanktona i primjenu korelacijskih shema temeljenih na biozonama mikroorganizama.

Jednu takvu zonaciju paleogena na temelju planktonskih foraminifera objavljuju Krašeninnikov i suradnici (1968). Ovim radom obuhvatili su naslage područja od Krasa u

Sloveniji do Ulcinja u Crnoj Gori, a u sklopu njega uzorkovane su i fliške naslage na otoku Hvaru. Usporedbom s zajednicama planktonskih foraminifera iz istovremenskih naslaga Sirije (Krašeninnikov, 1964), postavljaju zonacijsku shemu kojom paleocen i eocen obuhvaćaju s 8 biozona planktonskih foraminifera te ju koreliraju s najčešće korištenim biozonacijskim shemama u svijetu. Indeks vrste pojedinih zona u potpunosti su se razlikovale od tadašnje verzije „standardne zonacije“ (Bolli, 1957). Starost fliša Hvara određuju na gornji eocen, smještajući ga u novodefiniranu biozonu „*Globigerina corpulenta*“.

Herak i suradnici (1976) daju pregled geološke građe Hvara u kojem potvrđuju prisutnost zajednice planktonskih foraminifera biozone „*Globigerina corpulenta*“.

Marinčić (1981) za potrebe INA - Naftaplina provodi opsežno istraživanje paleogenskog fliša i njegova prostiranja te u tu svrhu analizira naslage na 32 lokaliteta, od Dornberka do Herceg Novog, od kojih jedan na zapadu Hvara i jedan na Pelješcu kod Orebića. Određene planktonske foraminifere potvrdile su starost gornji eocen na Pelješcu te gornji eocen–donji oligocen na Hvaru.

U svojoj doktorskoj disertaciji Benić (1983) po prvi put primjenjuje biostratigrafiju vapnenačkog nanoplanktona na fliš obalnih područja Hrvatske. Pomoću njega fliš Hvara opisuje kao gornjoeocenski.

Koristeći vapnenački nanoplankton, Puškarić (1987) proširuje stratigrafski okvir taloženju fliša na Hvaru, iako ne navodi točne lokalitete uzorkovanja. Za njega su vrste kasne krede nađene u donjem dijelu serije fliša pretaložene, dok su vrste kasnog eocena autohtone. U gornjem dijelu naslaga određuje vrste karakteristične za raspon gornji oligocen–donji miocen, a izostanak vrsta karakterističnih za biozone od najmlađeg eocena do najstarijeg oligocena pripisuje eroziji.

Sveobuhvatnu sedimentološku, biostratigrafsku i sekvencijsko stratigrafsku analizu za naslage područja Pelješca i Hvara objavili su Marjanac i suradnici (1998). Ukupnu debljinu fliških naslaga na zapadom dijelu Hvara procjenjuju na 30 m, dok kod Orebića na Pelješcu ona iznosi 20–50 m. Početak taloženja fliša određuju pomoću vapnenačkog nanoplanktona na kasni (najmlađi) barton, dok kod Orebića ono započinje ranije u bartonu. Na oba područja određuju da se taloženje dubokomorskih naslaga nastavlja i u priabonu. Zaključuju da se taloženje fliša odvijalo tijekom značajnog produblivanja taložnog prostora uslijed tektonskih procesa koji su dezintegrirali i deformirali platformske karbonate mezozojske podine.

Schweitzer i sur. (2007) snimili su geološki stup u uvali Podstine na Hvaru. Opisali su novu vrstu rakovice (*Harpactocarcinus dalmatius*) iz foraminiferskih vapnenaca bartonske starosti.

Mikes i sur. (2008) interpretirali su na temelju analiza vapnenačkog nanoplanktona da se taloženje fliša u Vanjskim Dinaridima nastavljalalo u miocen. Ovi rezultati odskaku od dotadašnjih spoznaja i kasnije interpretacije (primjerice Ćorić i sur., 2008; Petrinjak i sur., 2013) opovrgavaju ovaj rezultat.

Potreba za novijim i aktualnijim podacima o geološkoj građi Republike Hrvatske dovela je do novog kartografskog projekta i sveobuhvatnih istraživanja u sklopu izrade Osnovne geološke karte Republike Hrvatske mjerila 1: 50 000, koja su još uvijek u tijeku u trenutku pisanja ove doktorske disertacije. Za razliku od kronostratigrafske podjele naslaga na kojoj su se temeljili listovi Osnovne geološke karte mjerila 1: 100 000, novi listovi dijele naslage na litostratigrafske jedinice i njihove članove. Veći dio otoka Hvara obuhvaćen je objavljenim listovima Omiš 3 (Oštrić i sur., 2015) i Vis 4 (Oštrić i sur., 2014). U njihovoj podjeli paleogena fliš je standardiziran kao jedna od formacija paleogena („Fliš“). Prateći kompozitni stupovi oba lista karata prikazuju prosječnu debljinu fliša od 50 m, a temeljem stratigrafskih raspona određenih vrsta vapnenačkog nanoplanktona, velikih bentičkih te planktonskih foraminifera, Oštrić i sur. (2014, 2015) određuju biozone ekvivalentne rasponu od srednjeg do gornjeg eocena.

Korbar sa suradnicima (2015) u uvali Majerovica, Hvar, pronalazi i opisuje neprekinut taložni slijed od najgornje krede do donjeg paleocena. Granicu krede i paleogena obilježava 30-centimetarski sloj s izraženom anomalijom iridija, kojeg su autori interpretirali kao post-impaktni tsunamit. Za njih to je distalni trag megatsunamija uzrokovanog udarom asteroida krajem krede na području današnjeg poluotoka *Yucatán*.

U sklopu šire paleoklimatske, paleogeografske i biostratigrafske interpretacije distribucije kokolitoforida Indijskog oceana, Paratetisa i Mediterana, Saxena i sur. (2022) opisuju zajednicu iz odabranih lapornih intervala fliša u uvali Zaraće (Hvar). Istraživani intervali su gornjoeocenski, a pomoću morfološke analize vrste *Nicklithus amplificus* (Burky i Percival) zaključuju da je taložni bazen bio prostorno ograničen, a klima vrlo topla.

Ištuk i sur. (2023) testirali su prednosti različitih metoda ekstrakcije kućica foraminifera iz lapora s različitim udjelom kalcita, među kojima i uzorak s lokaliteta Podstine na Hvaru. Zaključuju da je disagregacija lapora s manjim postotkom kalcita uz pomoć otopine

vodikovog peroksida najmanje invazivna, dugotrajna, ali učinkovita metoda, dok je metoda otapanja stijene acetilnom kiselinom visoke koncentracije na laporima s većim udjelom kalcita učinkovita metoda oslobađanja kućica, ali se procesom uništava i dio originalne strukture stijenske fosila.

Mineraloško-geokemijske osobine naslaga lapora iz fliša s dvije hvarske lokacije (uvale Podstine i Zaraće) analiziraju Horvat i suradnici (2025), u svrhu interpretacije indikatora kemijskog trošenja minerala. Otkrili su pojačano trošenje minerala tijekom priabona, što povezuju s promjenom klime iz aridne prema vlažnijoj u kasnom eocenu.

4. - Metode istraživanja i obrade uzoraka

4.1 - Terensko uzorkovanje

Terenska istraživanja s ciljem snimanja geoloških profila i prikupljanja uzoraka provedena su tijekom 2021. godine na području srednje Dalmacije. Terenski su obrađeni izdanci paleogena na poluotoku Pelješcu te njegovu zaleđu, u blizini mjesta Slano (Slika 4.1) te otoku Hvaru (Slika 4.2).

Uzorkovane su naslage fliša koje su na terenu prepoznate kao „glinovite“. To su lapori koji imaju dobre izgleda da će sadržavati zajednicu planktonskih foraminifera. Zbog visokog udjela gline u svojem sastavu, lapori mogu zaštititi kućice foraminifera od cirkulacije pornih voda u sedimentu i posljedičnih dijagenetskih promjena (Sexton i sur., 2006).

Na lokacijama gdje su površinski izdanci imali kontinuirano pružanje, Trstenica (Slika 4.1 A, B) na Pelješcu; Slano-Čepikuće u zaleđu poluotoka (Slika 4.1 C, D) i lokaliteti Podstine (Slika 4.2 A, B) i Zračće (Slika 4.2 C) na Hvaru, provedena su uzorkovanja takvih intervala. Ciljalo se na tanke slojeve lapora koji su bogatiji s organskom tvari (tamniji). Na mjestima gdje su lapori razvijeni u debljim naslagama, uzorkovani su slojevi neposredno iznad granice litološke promjene. Tamo gdje su izdanci bili isprekidanih površinskih pojava (lokaliteti Podobuče (Slika 4.1 E) i Viganj na Pelješcu), napravljeno je točkasto uzorkovanje na izdanku.

4.1.1 - Zaleđe poluotoka Pelješca

Slano-Čepikuće

Koordinate (WGS84): 42° 46,47258' N; 17° 53,26668' E (SL)

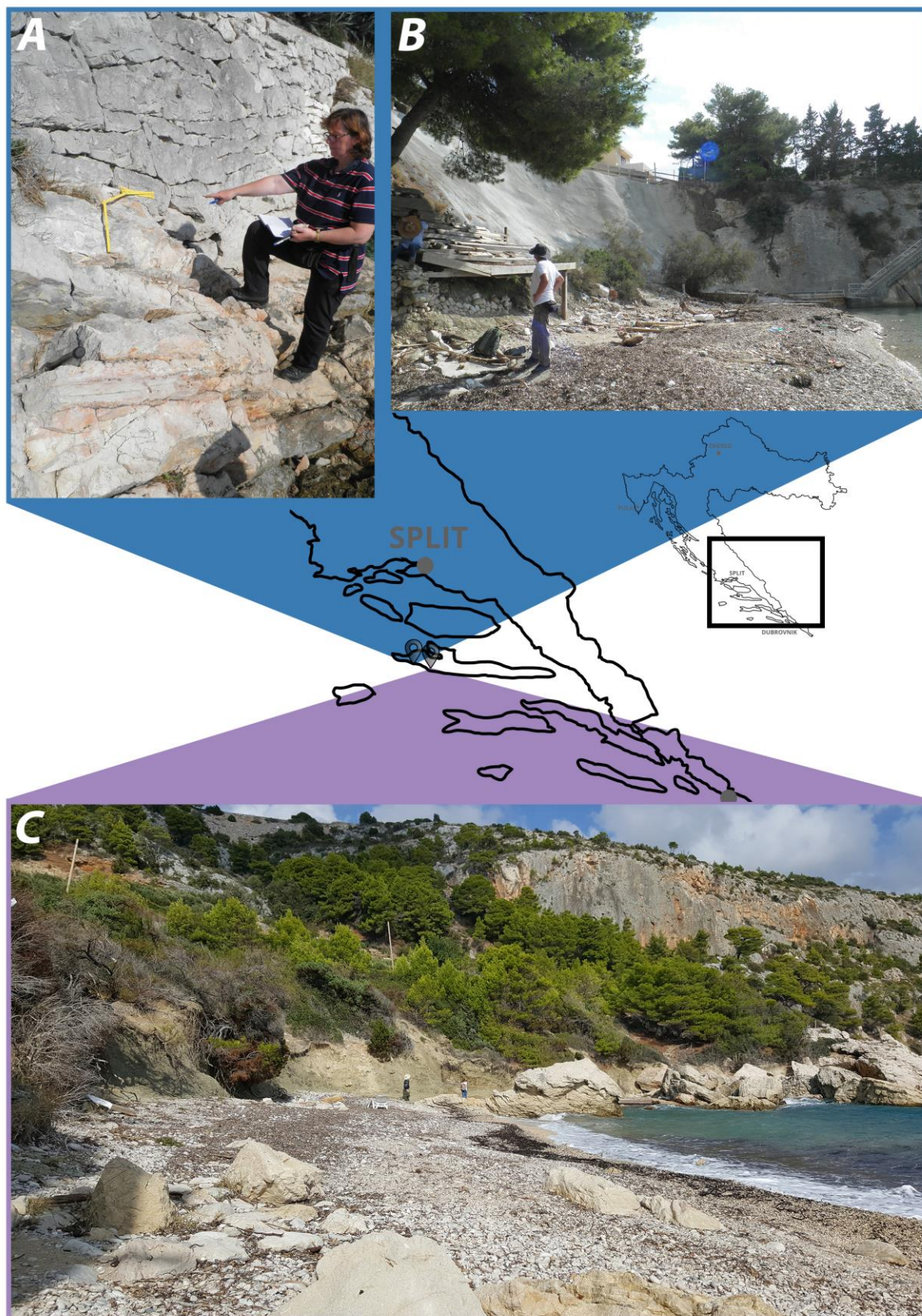
42° 47,41302' N; 17° 53,06346' E (ČEP)

U okolici mjesta Slano paleogenske naslage ne izdanjuju u kontinuitetu (Slika 4.3).

Uzorkovanje je stoga provedeno na dva izdanka uz Jadransku magistralu, s ciljem izrade kompozitnog stupa „Slano-Čepikuće“ (Slika 5.1). Lokacija prvog izdanka je na južnom prilazu mjestu Slano (Slika 4.1 C, D), a debljina slijeda je 5 m. Za potrebe mikropaleontoloških istraživanja prikupljena četiri uzorka, oznaka SL 2–5. U prvih ~3 m slijeda izmjenjuju se lapori i siltozni lapori, iz kojih je uzet uzorak SL 2. Preostali dio slijeda



Slika 4.1: Fotografije izdanaka na kojima su snimljeni geološki stupovi; poluotok Pelješac i zaleđe. A - Uvala Trstenica, laporoviti slijed; B – Izdanak lapora na lokalitetu Viganj, mjesto uzorkovanja VI 1–4; C – Siltozni lapori Slano–Čepikuće (SL 4, 5); D – Siltozni lapori u kontaktu s vapnencima (SL 2, 3); E – Izdanak u uvali Podobuče na kojem je provedeno točkasto uzorkovanje.



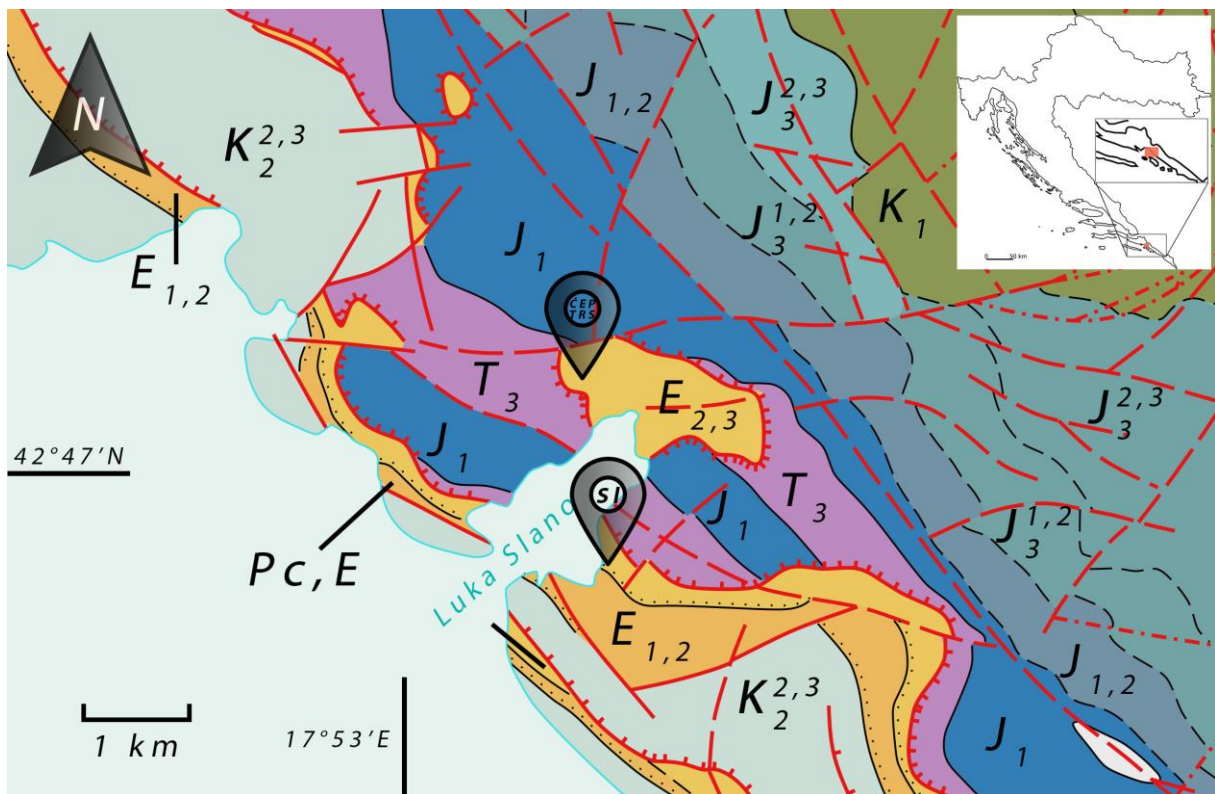
Slika 4.2 - Fotografije lokacija na kojima su snimljeni geološki stupovi; otok Hvar. A – Rt. Kovač, početak paleogenskog slijeda naslaga, B – Uvala Podstine; C – Uvala Zračće.

su uslojeni kalkareniti, debljine slojeva 30–40 cm, s proslojcima lapora. Iz lapora su uzeti uzorci SL 3, 4 i 5.

Drugi izdanak udaljen je oko 1,8 km zračne linije, smješten na zapadnom izlazu iz Slanog, u smjeru mjesta Čepikuće. Naslage su siltozni lapori, debljine oko 4 m. Iz njih prikupljena su četiri uzorka, označa ČEP 1–4.

U neposrednoj blizini uzorkovan je još jedan izdanak, lapori debljine oko 30 m. Za potrebe izrade stupa „Čepikuće II“ uzorkovana je svaka litološka promjena (uzorci TRS 1–17).

Na geološkoj karti područja Slanog (Raić i sur., 1980.) naslage na mjestima uzorkovanja su označene kao „Pješčenjaci, lapori i konglomerati s tankim proslojcima gline - fliš“ starosti srednjeg do gornjeg eocena.



Slika 4.3: Geološka karta područja okolice Slanog (preuzeto i modificirano prema Raić i sur., 1980) s označenim lokacijama uzorkovanja kompozitnog stupa Slano-Čepikuće. Oznake: Donji (SL) i gornji (ČEP) dio kompozitnog Slano-Čepikuće; Čepikuće II (TRS).

4.1.2 - Poluotok Pelješac

Trstenica

Koordinate (WGS84): 42° 58,93302' N; 17° 12,43812' E

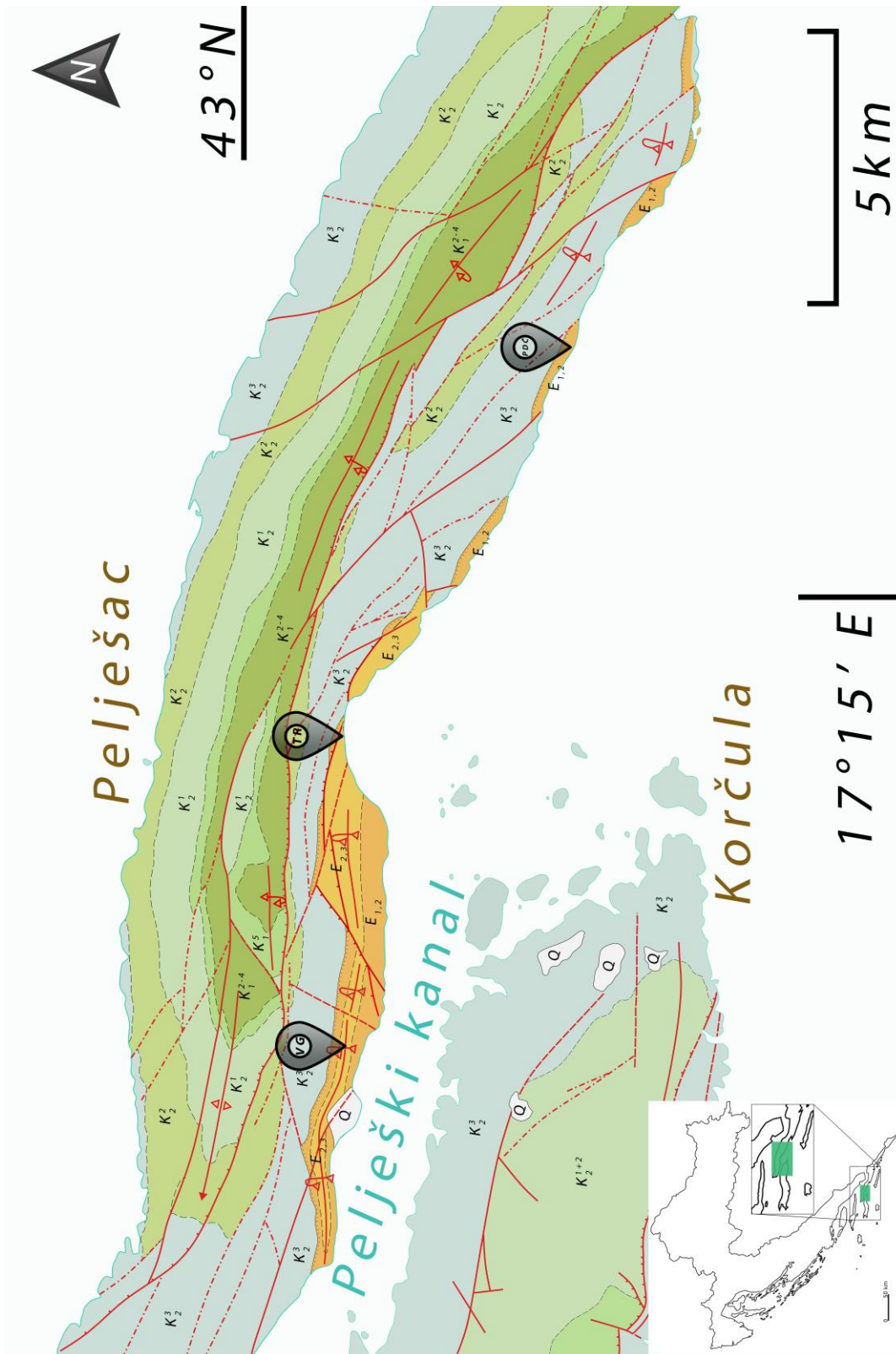
Uzorkovane naslage izdanjuju istočno od Orebića u uvali Trstenica, pored autokampa „Lavanda“ (Slika 4.1 A, B). Prema geološkoj karti područja (Korolija i sur., 1975) naslage su opisane pod nazivom „Lapori i kalkareniti“, a njihova starost naznačena kao srednji do gornji eocen.

Debljina slijeda iz kojeg su uzeti uzorci za mikropaleontološku analizu je otprilike 15 m, te je snimljen geološki stup Trstenica (Slika 5.2). Slijed naslaga sastoji se od siltoznih lapora koje presjecaju 10–15 cm debeli laminirani glinoviti lapori. Iz glinovitih lapora prikupljeni su uzorci TR 1–6. Pri vrhu slijeda nalaze se kalkareniti u izmjeni s siltoznim laporima, iz potonjih su uzeti uzorci TR 7 i 8.

Podobuče

Koordinate (WGS84): 42° 56,69970' N; 17° 17,31210' E

Izdanak se nalazi uz istoimenu uvalu. Zbog njegovog ograničenog prostiranja (Slika 4.1 E), provedeno je točkasto uzorkovanje. Prema geološkoj karti (Korolija i sur., 1975) naslage na toj lokaciji su starosti donjeg do srednjeg eocena i opisane kao „Foraminiferski, bioakumulirani vapnenci s miliolidama, alveolinama i numulitima“. Na okršnim vapnencima debljine 4 m otkriven je laporoviti sloj iz kojeg su, za mikropaleontološku analizu, prikupljena su tri (oznake PDČ 1, 2 i 4, Slika 5.3).



Slika 4.4: Geološka karta (modificirana prema Korolija i sur., 1975; Marinčić i sur., 1977) dijela poluotoka Pelješca s označenim lokacijama uzorkovanja. Od zapada prema istoku to su: Viganj (VG), Trstenica (TR) i Podbuče (PDC).

Viganj

Koordinate (WGS84): 42° 58,81464' N; 17° 7,39656' E (VG)

42° 58,87278' N; 17° 7,32456' E (VI)

Uz cestu koja povezuje Viganj s Orebićem, u blizini naselja Kučište, prikupljeni su uzorci laporovitih naslaga (Slika 5.3). Na mjestu uzorkovanja naslage su djelomično pokrivene vegetacijom pa je uzorkovanje provedeno na dva odvojena izdanka. Na prvom izdanku nalazi se breča debljine 20 cm iznad koje je mikritični vapnenac, te 30 cm debeo sloj lapora, iz kojeg je uzet uzorak VG 0C. On prelazi u limonitizirani lapor i prvi takav sloj je uzorkovan (uzorak VG 0D).

Drugi izdanak je fliš debljine oko 4 m, a iz laporovitih intervala su prikupljena četiri uzorka (oznake VI 1–4).

Prema geološkoj karti (Korolija i sur., 1975) naslage su opisane kao „Lapori i kalkareniti“, starosti srednjeg do gornjeg eocena.

4.1.3 - Otok Hvar

Podstine

Koordinate (WGS84): 43°10,46070' N; 16° 25,69920' E

Geološki stup (Slika 5.4) snimljen je u istoimenoj uvali na zapadnoj obali otoka (Slika 4.2 A), a pet uzoraka (oznake PP 0–4) su mikropaleontološki analizirani. Debljina laporovitog slijeda je oko 40 m. Uzorak PP 0 uzet je iz siltoznog intervala na oko 5 m, dok su ostali uzorci prikupljeni iz lapora. Prema geološkoj karti područja (Oštrić i sur., 2015) naslage se nalaze unutar litostratigrafske jedinice „Fliš“ a starosti su srednjeg do gornjeg eocena.

Zaraće

Koordinate (WGS84): 43° 9,03210' N; 16° 30,80310' E

Geološki stup (Slika 5.5) snimljen je u istoimenoj uvali na južnoj strani otoka (Slika 4.2 B) na slijedu fliša debljine gotovo 50 m. Prvih ~30 m su masivni lapori, a uzorkovanje je provedeno na mjestima ispred promjena u litologiji (uzorci oznaka ZAR 2–7). Ovi lapori pri vrhu postaju

bogatiji siltom (uzorak ZAR 8) nakon čega slijedi izmjena tankih slojeva lapora, siltoznih lapora (prikupljen uzorak ZAR 10 i pjeskovitih lapora (uzet uzorak ZAR 11)

Na geološkoj karti (Oštrić i sur , 2015) područje uzorkovanja naznačeno je kao dio litostratigrafske jedinice „Fliš“, srednji do gornjoeocenske starosti



Slika 4.5: Geološka karta jugozapadnog dijela otoka Hvara (preuzeto i modificirano prema Oštrić i sur. 2014; 2015) s označenim mjestima uzorkovanja. Od zapada prema istoku su geološki stupovi Podstine (PP) i Zaraće (ZAR). Kratice formacija su: PO - Porožina (gornji apt–donji alb); SIS - Sis (gornji alb–donji cenoman); MI - Milna (srednji–gornji cenoman); BS - Basina (gornji cenoman–donji turon); GH - Gornji Humac (turon–santon); DOL - Dol (kampan); SU - Sumartin (gornji kampan–mastriht; FV – Foraminiferski vapnenci (srednji eocen), FL - Fliš (srednji–gornji eocen).

4.2 - Obrada uzoraka

4.2.1 – Mehanička i kemijska priprema uzoraka

Svi uzorci obrađeni su metodom mokrog prosijavanja, koja je standardna metoda izdvajanja mikrofosila iz lapora (Thomas i Murney, 1985). 200 g mase suhog uzorka je odvagano pomoću kuhinjske vage. Priprema za prosijavanje uključuje mehaničko usitnjavanje

stijene na fragmente veličine $\sim 1\text{cm}^3$, mrvljenjem uzorka, u slučaju jače litificiranih lapora, uz pomoć čekića. Iz usitnjenih uzoraka potom je potrebno izolirati mikrofosilni sadržaj. Dio uzoraka lapora bio je snažno litificiran. Standardna praksa laboratorijske pripreme takvih uzoraka je acetoliza - otapanje usitnjenog uzorka u otopini acetilne (octene) kiseline visoke koncentracije (*cold acetolyse*; Lirer, 2000). Ištuk i sur. (2023) optimizirali su ovu tehniku na temelju uzoraka među kojima je i jedan koji je obrađen i u sklopu ovog istraživanja (Uzorak PP 4, Podstine, Hvar). Njihov eksperiment otkrio je da u čitavom rasponu efikasnih koncentracija otopine (50–70 %-tna otopina octene kiseline u deioniziranoj vodi uz period otapanja od 5 h) postoje tragovi otapanja na oslobođenim kućicama planktonskih foraminifera. Budući da će ova disertacija uključivati i izračun fragmentacijskih indeksa foraminifera, koji su osjetljivi na otapanje prilikom laboratorijske obrade te morfometrijske analize na kućicama odabranih vrsta, acetoliza nije idealan izbor. Za ovo istraživanje stoga je odabrana metoda disagregacije uzorka uranjanjem u otopinu vodikovog peroksida. Za ovu metodu Ištuk i sur. (2023) demonstrirali su da je manje destruktivna, na štetu slabije efikasnosti ekstrakcije kućica iz stijene.

Kao i za otapanje i za ovu metodu uzorke je prethodno potrebno usitniti na manje fragmente. Usitnjeni uzorci potom se stavljaju u 2 l vode, dodaje se 30 ml 30 %-ne otopine vodikovog peroksida (H_2O_2) na period od minimalno 24 h, ili dok vodikov peroksid ne prestane reagirati s uzorkom. Otopina vodikovog peroksida prodire u pore uzorka, minerali glina bubre u doticaju s vodom i širenjem razbijaju uzorak, a vodikov peroksid otapa bilo kakvu zaostalu organsku tvar, oslobađajući plin (CO_2), što stvara pritisak u porama uzorka. Rezultat je dodatno mehaničko usitnjavanje uzorka, uz uklanjanje organske tvari. Kako bi se dodatno oslobodila glina vezana uz površinu mikrofosila, uzorci su tretirani pomoću ultrazvučne kadice (Boltovskoy i Wright, 1976). To je učinjeno prema sljedećem postupku:

1. Posuda (menzura) volumena 250 ml postavlja se u ultrazvučnu kadicu
2. Razina demineralizirane vode u ultrazvučnoj kadici se regulira tako da ne prelazi rub menzure kada je ona u potpunosti uronjena
3. U menzuru se dodaju uzorak i demineralizirana voda do oznake od 200 ml, pri čemu menzura tone do dna kadice, ali njezin vrh ostaje izvan vode
4. Ultrazvučna kadica se aktivira na period od 15 sekundi (za slabo litificirane uzorke) odnosno 60 sekundi (za čvrsto litificirane uzorke)

4.2.2 - Mokro sijanje uzoraka

Odmah nakon tretiranja ultrazvukom višak vode s oslobođenom glinom se dekantira na setu sita na kojem će se odviti sijanje. Taj set se sastoji od 5 sita, promjera rupica 63 μm , 125 μm , 250 μm , 500 μm i 1000 μm . Uzorak se potom prosijava pod mlazom vode dok sva oslobođena glina nije odstranjena, a zaostali materijal na kraju se ispire demineraliziranom vodom. Uzorci su podijeljeni na dvije frakcije: 63–1000 μm i >1000 μm i stavljeni u pripadajuće posudice. Višak vode potom je dekantiran preko sita pora 63 μm te su talozi sa sita ostavljeni da se osuše pri sobnoj temperaturi. Nakon sušenja izmjerena je konačna suha masa obje frakcije.

Iz izoliranih kućica odabranih jedinki bentičkih foraminifera napravljeni su nabrusci kako bi se mogla promatrati njihova unutrašnjost u prolaznome svjetlu. To je učinjeno tako da su kućice očišćene gore navedenom metodom čišćenja pomoću ultrazvuka, pričvršćene na predmetno stakalce pomoću dvokomponentne epoksi smole i polirane s obje strane do debljine ~0,1 mm pomoću polirnog praha.

4.3 - Planktonske foraminifere

Proučavanje foraminifera od svog početka usko je vezano uz paleontologiju pa njihova klasifikacija ne slijedi biološki koncept vrste. Morfologija kućice osnova je taksonomije foraminifera (Loeblich i Tappan, 1988). Uz to, ona je fokus značajnog dijela ove disertacije. Iz tog razloga ovdje će biti opisani osnovni elementi njezine građe i njihova uloga, uz kratke opise pojmova najčešće korištenih pri njezinom opisivanju.

Planktonske foraminifere česti su stanovnici pelagičkih okoliša, s gustoćom koja broji na desetke jedinki po kubičnom metru morske vode (Hemleben i sur., 1989). Pripadaju eukariotskim, jednostaničnim organizmima. Najstariji fosili planktonskih foraminifera pronađeni su u naslagama donje jure (Gradstein i sur., 2017a; 2017b), a razvile su se iz malih bentičkih vrsta (BouDagher-Fadel, 1997; Gradstein i sur., 2021). Gotovo u potpunosti su nestale u masovnom izumiranju na prijelazu iz krede u paleogen (Molina i sur., 1998), no rekolonizirale su oceane i doživjele novi maksimum broja vrsta tijekom paleogena (D'Hondt i Keller, 1991).

Danas je poznato 50 vrsta planktonskih foraminifera (Brummer i Kučera, 2022), što je dvostruko manja raznolikost u usporedbi s kasnom kredom (~100 vrsta u mastrihtu, BouDagher-Fadel, 2015, odnosno 120 vrsta prema online bazi *Microtax.org*) i srednjim eocenom (lutet, 109 vrsta zabilježeno u bazi *Microtax.org*). Današnju zajednicu tvore potomci više bentičkih predaka (Arenillas i sur., 2022; Brummer i Kučera, 2022).

Heterotrofni su organizmi koji se mogu hraniti bakterijama, algama, drugim protistima (uključujući i kanibalizam; Spindler i sur., 1984), manjim životinjama i plutajućim detritusom.

Prikupljanje hrane se odvija uz pomoć mreže pseudopodija (izbojaka ektoplazme koje još zovemo i rizopodiji) u koju se uhvate čestice i organizmi, ili se njome pričvršćuju za plutajuće nakupine organskih ostataka (marinski snijeg) kako bi se hranile njima (Schiebel i Hemleben, 2017). Vrste koje imaju spine (dugačke, tanke bodlje) su predatori. One koriste svoje gusto koncentrirane, savitljive spine i mrežu ljepljivih pseudopodija koja ih okružuje poput zamke kojom hvataju različite zooplanktonske organizme (Bé, 1982; Grigoratou i sur., 2021). Pojedine vrste foraminifera preferiraju određeni plijen (Spindler i sur., 1984), a to su najčešće larve račića i mnogočetinaša te pelagički gastropodi (Hemleben i sur., 1989; Schiebel i Hemleben, 2017). Neke recentne vrste imaju simbiotski odnos s mikroalgama (dinoflagelate ili jednostanične smeđe alge; Takagi i sur., 2019) što im omogućuje izvor barem dijela potrebnih hranjivih tvari. Analize izotopnih sastava kućica upućuju da su i mnoge fosilne vrste imale simbiotski odnos (Norris, 1996).

4.3.1 - Rast jedinke i stvaranje kućice

Protoplazma i kućica imaju mnoge prilagodbe koje planktonskoj foraminiferi olakšavaju plutanje unutar vodenog stupca. Uz organske prilagodbe poput povećanja površine mrežom pseudopodija i nakupljanjem lipida gustoće manje od vode u citoplazmi, planktonske foraminifere kućicu najčešće tvore nizanjem poroznih kuglastih klijetaka jednostavne unutarnje građe. Povećanje ukupnog volumena kućice planktonskih foraminifera uglavnom slijedi logaritamsku krivulju (Schiebel i Hemleben, 2017). Rast jedinke može značajno odstupati od pravila za tu vrstu. Takve deformacije su primjerice promjene u načinu/ravnini namatanja, veličini klijetaka ili njihovu obliku. Najčešće se događaju uslijed rasta jedinke u nepovoljnim uvjetima u okolišu (Murray, 1991), ili kao rezultat popravaka oštećenih dijelova

kućice (Bé i Spero, 1981). Tako deformirane kućice nazivaju se aberantne, a njihov povećan broj u zajednici (Boltovskoy i Wright, 1976; Murray, 2006) može biti znak ekološkog stresa.

Stijenka kućice je bilamelarna (građena od dva kalcitna sloja za života odvojenih organskom membranom), s rijetkim monolamelarnim iznimkama (porodica Hastigerinidae). Najčešći način rasta je trohospiralni (Tabla 1), no poznati su i planispiralni (Tabla 2 A–C; Tabla 3), streptospiralni (Tabla 2 S, T) te bi- (Tabla 2 O, P), tri- i multiserijalni rast. U terminologiji istraživanja foraminifera najstarija, početna klijetka, naziva se prolokulus, a druga po redu deuterokonh. Kod trohospiralnih kućica razlikujemo spiralnu i umbilikalnu stranu (Slika 4.7), dok planispiralne kućice imaju dvije simetrične spiralne strane.

4.3.2 - Površina stijenske

Površina stijenske planktonskih foraminifera prekrivena je porama (Slika 4,7). Veličina pora karakteristična je za pojedine porodice planktonskih foraminifera i temelj je moderne taksonomske klasifikacije (Brummer i Kučera, 2022; Wade i sur., 2018a).

Osnovni kriterij podjele je tekstura stijenske, temeljem koje su planktonske foraminifere razvrstane u porodice. Kako je izumiranje na kraju krede predstavljalo svojevrсно resetiranje zajednice planktonskih foraminifera, jer preživjelo je tek pet vrsta (Olsson i sur, 1999), one su razvile nove tipove stijenske, među kojima je najvažnija pojava spinozne stijenske.

Niše upražnjene krednim izumiranjem ubrzo su iskoristile malobrojne preostale vrste, ali i nove skupine koje su se razvile iz bentičkih foraminifera (Morard i sur., 2022). Već nakon par tisuća godina (Lowery i sur., 2026) započinje oporavak zajednica s pojavama brojnih novih rodova i vrsta, s teksturama stijenki kakve pronalazimo i kod modernih vrsta (Olsson i sur., 1999).

Najosnovnija podjela tipova stijenske je prema veličini pora na makroperforatne (pore promjera većeg od 2 μm), medioperforatne (promjer pora 1–2 μm) i mikroperforatne (pore < 1 μm), a svaka tekstura stijenske nazvana je prema karakterističnom, najčešće recentnom taksonu koji ju posjeduje.

Morfološki najvažnija novina paleogenskih planktonskih foraminifera je razvoj spinozne stijenske kod makroperforatnih predstavnika kod porodice Globigerinidae. Ova porodica danas vrlo je uspješna u modernim oceanima (više od trećine živućih rodova pripadaju u

Globigerinidae; Brummer i Kučera, 2022). Ovisno o izgledu kancelatne teksture u eocenu i oligocenu razlikujemo sljedeće tipove spinoznih stijenki:

- *sacculifer* tip stijenke (Tabla 1 A, B). Primjeri vrsta s ovakvim tipom stijenke su *Globorotaloides eovariabilis*, *Subbotina linaperta* i *Catapsydrax unicavus*.
- *ruber* tip stijenke (Tabla 1 E, F). Dominantna tekstura je kod primjerice vrste *Subbotina tecta*.
- *sacculifer/ruber* i *ruber/sacculifer* tipovi stijenke (Tabla 1 G, H, M, N). Primjer vrste s takvim tipom stijenke je *Subbotina corpulenta*.
- *bulloides* tip stijenke (vrsta *Globigerina officinalis*)
- *Neogloboquadrina* tip stijenke (Tabla 1 C, D). Pojavljuje se kod vrste *Paragloborotalia nana*.
- *Ciperoella* tip stijenke (Tabla 1 O–R). Vrsta *Ciperoella anguliofficialis*.
- *Turborotalita* tip stijenke. Tekstura stijenke kakvu ima naprimjer vrsta *Turborotalita quinqueloba*.
- *Clavigerinella* tip stijenke (Tabla 2 A–D). Primjeri vrsta s ovakvim tipom stijenke su *Cribrorotalia inflata* i *Hantkenina alabamensis*.

Tijekom razmnožavanja, kako bi brže potonule na dubinu optimalnu za ispuštanje gameta, spinozne planktonske foraminifere, nakon odbacivanja spina, mogu otežati svoju kućicu prekrivajući je dodatnim slojem kalcita (Bé, 1980). Takva naknadno izlučena „kora“ naziva se gametogenetski kalcit i prikriva originalnu teksturu stijenke. Sama debljina tog sloja može poslužiti pri identifikaciji roda. To je slučaj kod rodova *Globigerinatheka* (primjer vrsta *G. indeks*, Tabla 1 I–L) i *Orbulinoides* kod kojih je ovaj sloj izraženo debeo.

Globoquadrina tip stijenke ima razvijenu kancelatnu, sačastu teksturu, koja razvija pustule na grebenima tijekom ontogenije. Današnja *Globoquadrina conglomerata* nema spine, no takav tip stijenke u paleogenu imali su rodovi *Alicantina* i *Dentoglobigerina* (primjerice vrsta *Dentoglobigerina galavisi*, Tabla 1 S–U), od kojih su neke vrste imale spinoznu stijenku. Taksonomski odnos rodova *Dentoglobigerina* i *Globoquadrina* je nerazjašnjen (Brummer i Kučera, 2022; Wade i sur., 2018c). Rod *Dentoglobigerina* možda je polifiletički (Fayolle i Wade, 2021) te je potencijalno samo dio vrsta pripadao spinoznoj skupini.

Ne-spinozne stijenke razlikujemo prema drugim „bodljama“ na površini stijenke poput prisustva i gustoće pustula, murika i grebena. Eocenske i oligocenske forme imaju sljedeće tipove:

Prvi tip ne-spinozne stijenke ima glatku površinu koja mjestimice može biti prekrivena pustulama, slično kao kod recentog roda *Globorotalia*. Ovakav tip stijenke isključivo su imale paleogenske vrste rodova *Globanomalina*, *Planoglobanomalina*, *Pseudohastigerina* i *Turborotalia* (primjeri *Turborotalia cocoaensis* i *Pseudohastigerina naguewichiensis*, Tabla 2 E–H).

Drugi tip ne-spinozne stijenke ima murikatnu teksturu i isto je postojao samo kod paleogenih vrsta. Murikatna stijenska također ima glatku površinu, ali je prekrivena murikama (primjerice kod vrsta *Acarinina medizzai* i *Morozovelloides crassatus*, Tabla 2 I–K). Ovaj tip teksture stijenke nalazimo kod rodova *Acarinina*, *Astrorotalia*, *Morozovella*, *Morozovelloides*, *Pearsonites* i *Planorotalites*. Kod rodova *Morozovella* i *Morozovelloides* murike su gusto koncentrirane na rubovima klijetaka i često srasle u murikokarinatni tip kobilice.

Mikroperforatnu stijenu odlikuju pore promjera $<1 \mu\text{m}$. Eocenske foraminifere s mikroperforatnom stijenkama dijelimo na dva glavna tipa:

Glutinata tip - izgrađena od fibroradijalnog kalcita (primjerice vrste *Dipsidripella danvillensis*, i *Tenuitella gemma*; Tabla 2 L–N).

Ototara tip - izgrađena od mikrogranularnog kalcita (rodovi *Chiloguembelina*, *Jenkinsina*, *Streptochilus* i *Zeauvigerina*; primjerice vrsta *Chiloguembelina ototara*. Tabla 2 (O–R).

Medioperforatnu stijenu imao je rod *Cassigerinella* (primjerice *Casigerinella chipolensis*; Tabla 2 S–U). Smatra se da se razvila iz mikroperforatne stijenske *ototara* tipa i stoga se medioperforatni *chipolensis* tip smatra njezinim pod-tipom (Pearson i sur., 2018c). Uz veličinu pora od $1\text{--}2 \mu\text{m}$, specifičan je i po tome što na unutarnjoj površini stijenke ima bodlje, koje Pearson i Wade (2009) nazivaju „endobodlje“ (*endospikes*).

4.3.3 – Pore i njihova uloga

Kalcit koji gradi kućicu gušći je od morske vode pa poroznost kućice umanjuje njezinu gustoću i negativan utjecaj na uzgon. Uz to, pore omogućuju izmjenu plinova (kisika i

ugljikovog dioksida) protoplazmi u unutrašnjosti kućice s okolišem, odnosno (uz pseudopodije) imaju respiratornu ulogu, a spinoznim vrstama možda služe i za migraciju koloidnih tvari (lipida). Kod bentičkih srodnika veličina pora prvenstveno je ovisna o količini dostupnog kisika otopljenog u vodi. U uvjetima suboksije jedinke će imati veće pore nego u optimalnim uvjetima, kako bi mogle uzeti više kisika iz okoliša (Murray, 2006). Većina planktonskih foraminifera nastanjuje okoliše dobre zasićenosti kisikom, posebice vrste iz miješanog sloja koji ima stalan donos kisika.

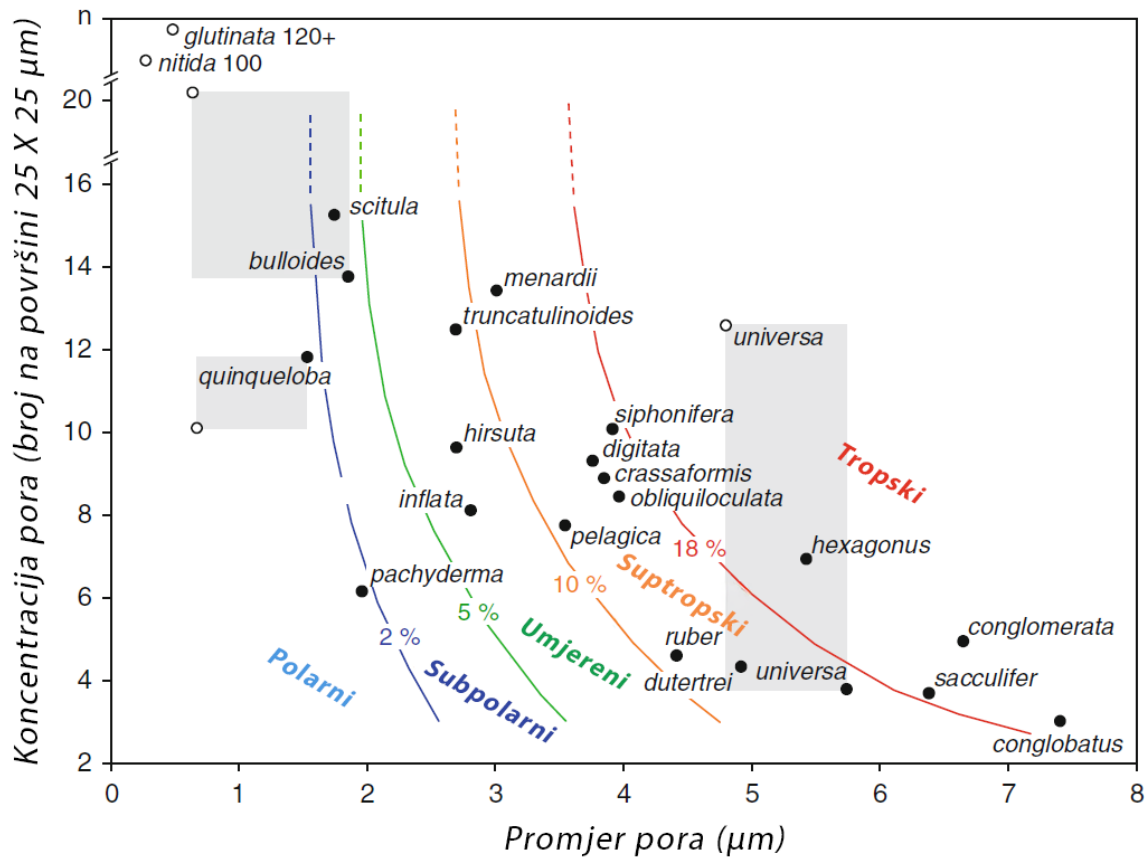
Veličina pora i distribucija pora planktonskih foraminifera može varirati čak i na razini vrste. Za planktonske foraminifere temperatura ima primarni utjecaj na gustoću i veličinu pora, odnosno porozitet stijenke raste s povećanjem temperature (Bé, 1968; Burke i sur., 2018; Kuroyanagi i sur., 2013). Burke i sur. (2018) otkrili su dodatnu povezanost poroziteta i veličine kućice, odnosno porasta metaboličke potrebe za kisikom s rastom foraminifere. Kod spinoznih vrsta, pore možda služe i migraciji citoplazmatskih tvari poput kapljica lipida van kućice (Bé i sur., 1980), a koje služe kao zaliha energije te, svojom gustoćom nižom od vode, pomažu regulaciji plutanja.

Metabolizam, ali onaj endoalgalnih simbionata, također utječe na porozitet foraminifere. Danju su oni razmješteni po pseudopodijima, dok noću, kada fotosintetska aktivnost staje, foraminifera ih transportira kroz ušće u unutrašnjost kućice (Schiebel i Hemleben, 2017).

4.3.4 - Način rasta kućice

Planktonske foraminifere dijele se u rodove temeljem ključnih morfoloških razlika poput načina rasta (trohospiralne, planispiralne, biserijalne, triserijalne), namatanja (visoko/nisko trohospiralna kućica), broja ušća (primjerice višestruka ušća roda *Globigerinatheka*; Tabla 1 L), prisustva karakterističnih struktura poput tubulospina rodova *Hantkenina* i *Cribrohantkenina* (Tabla 2 A, C) ili kobilice (Tabla 2 E).

Trohospiralne kućice mogu rasti (namatati se) ulijevo ili udesno. Kod nekih vrsta omjer lijevih i desnih jedinki je podjednak, dok druge preferiraju pojedini smjer namatanja, rezultirajući većim brojem takvih jedinki u populaciji.



Slika 4.6: Odnos promjera i koncentracije pora kod nekih recentnih vrsta planktonskih foraminifera u korelaciji s klimatskim zonama. Sivi pravokutnici prikazuju raspone varijacija za vrste *Globigerina bulloides*, *Turborotalita quinqueloba* i *Orbulina universa* (modificirano prema Schiebel i sur., 2017).

Uloga preferiranja određenog smjera namatanja još uvijek sadrži mnoge nepoznanice, (Schiebel i Hemleben, 2017), uključujući i uzroke promjenama u dominaciji pojedinog smjera kroz geološko vrijeme. Bolli (1971) primijetio je da većina vrsta planktonskih foraminifera ima podjednak omjer lijevih i desnih jedinki na početku svog stratigrafskog raspona, a dominacija jednog smjera, ukoliko do nje dođe, javlja se tek kasnije. Malmgren (1989) primijetio je da koncem krede većina trohospiralnih vrsta preferira desni smjer namatanja, ali nakon izumiranja krede/paleocen ostaju samo vrste s podjednakim omjerom lijevih i desnih kućica. Norris i Nishi (2001) dopunili su to sličnim rezultatima za paleogen i neogen. Uočili su da je taj obrazac sličan Cope-ovom pravilu (veličina jedinki vrsta nekog razvojnog niza raste kroz geološko vrijeme).

Brummer i Kroon (1988) interpretirali su smjer namatanja u sprezi s teksturom stijenke. To im je omogućilo podjelu recentnih makroperforatnih vrsta u dvije grupe. Prvu tvore spinozne vrste, kod kojih je udio lijevih i desnih jedinki podjednak, a drugu ne-spinozne koje preferiraju određen smjer namatanja.

Uzroci promjena smjera namatanja kućica predmet su brojnih rasprava, a obuhvaćaju niz abiotičkih i biotičkih parametara. Kao kontrolni mehanizmi ističu se: temperatura morske vode (Bandy, 1960a; Ericson, 1959) te salinitet (Thiede, 1971). Novija istraživanja naglašavaju biološke procese, poput specijacije i pojave kriptovrsta (Pearson i Penny, 2021; Ujiié i Asami, 2014), do spolnog dimorfizma (Darling i sur., 2006; Meilland i sur., 2023; Weitkamp i sur., 2025). Unatoč tome što uzrok još nije jasno utvrđen, varijacije u dominantnom smjeru namatanja primijenjene su u stratifgrafskoj korelaciji naslaga (Bolli i sur., 1968; Ericson i sur., 1955; King i sur., 2023; Pearson i Penny, 2021; Saito, 1976). Uz to, analiza smjera namatanja uspješno je primijenjena za rekonstrukciju okolišnih parametara kao što su temperatura mora (Desmares i sur., 2016; Luciani i sur., 2021) i količina dostupnih nutrijenata (Renaud i Schmidt, 2003).

4.3.5 – Ušće i njegove modifikacije

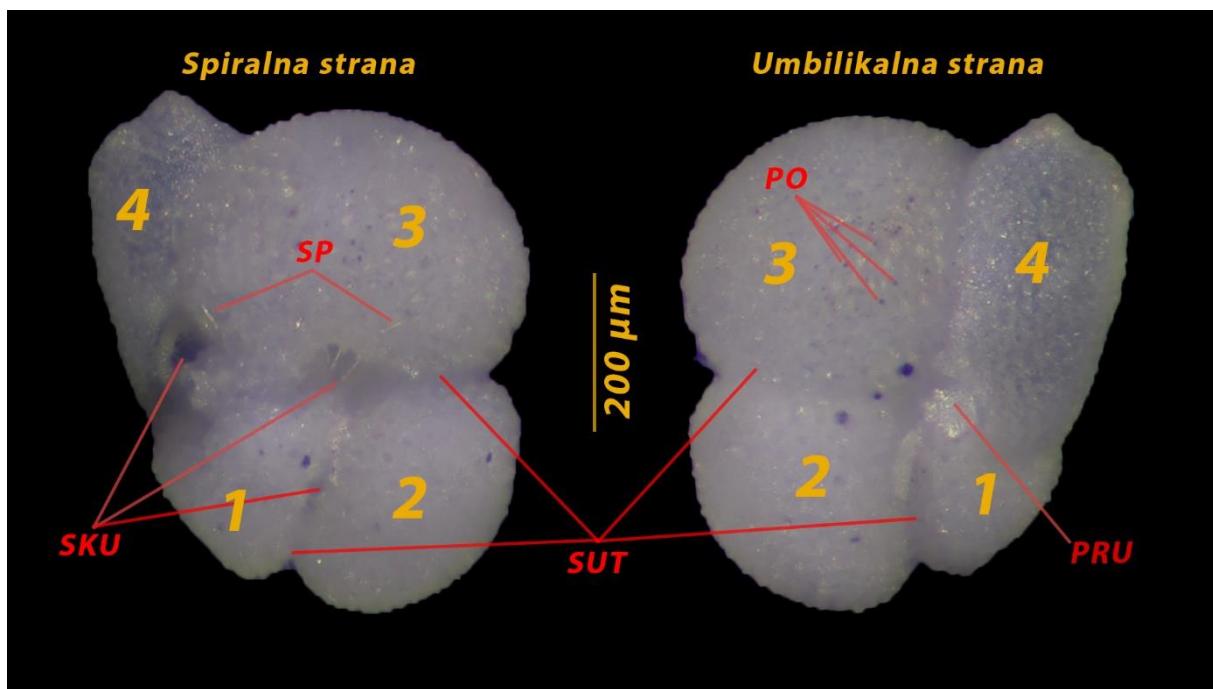
Primarno ušće je otvor koji se nalazi na najmlađoj klijetki (Slika 4.7), iz kojeg izlazi većina pseudopodija i glavni je otvor koji povezuje protoplazmu unutar kućice s onom izvan nje. Na ušću se odvijaju ključni procesi poput razgradnje i unosa hrane u kućicu, izbacivanja nusprodukata staničnih procesa uz pomoć pseudopodija, transporta simbionata u kućicu i izvan nje i oslobađanja gameta. Kod nekih rodova, primjerice moderni *Globigerinoides* i *Trilobatus* (Slika 4.7) te eocenski *Globigerinatheka* (Tabla 1 L), prisutna su sekundarna ušća, smještena na suturama (spojevima) klijetaka ili po površini klijetke. Kod foraminifera kod kojih najmlađa klijetka može u potpunosti obaviti ostatak kućice (poput recentnog roda *Orbulina* ili eocenskog *Orbulinoides*) primarno ušće izostaje, a sekundarna ušća preuzimaju njegovu ulogu.

Ušća planktonskih foraminifera mogu biti „ukrašena“ različitim modifikacijama poput usne (*lip*), obruba (*rim*) ili zuba (*tooth*). Posebna struktura vezana uz ušće je bula (*bulla*) koja prekriva ušće i često dio umbilikusa, a ima jedan ili više otvora. Ona ponekad nastaje na kućicama koje su dosegle terminalni, spolno zreli, stadij života pa je njezina uloga vjerojatno

vezana uz razmnožavanje (Hemleben i sur., 1989). Bule mogu nastati i na sekundarnim ušćima.

4.3.6 - Modifikacije najmlađe klijetke

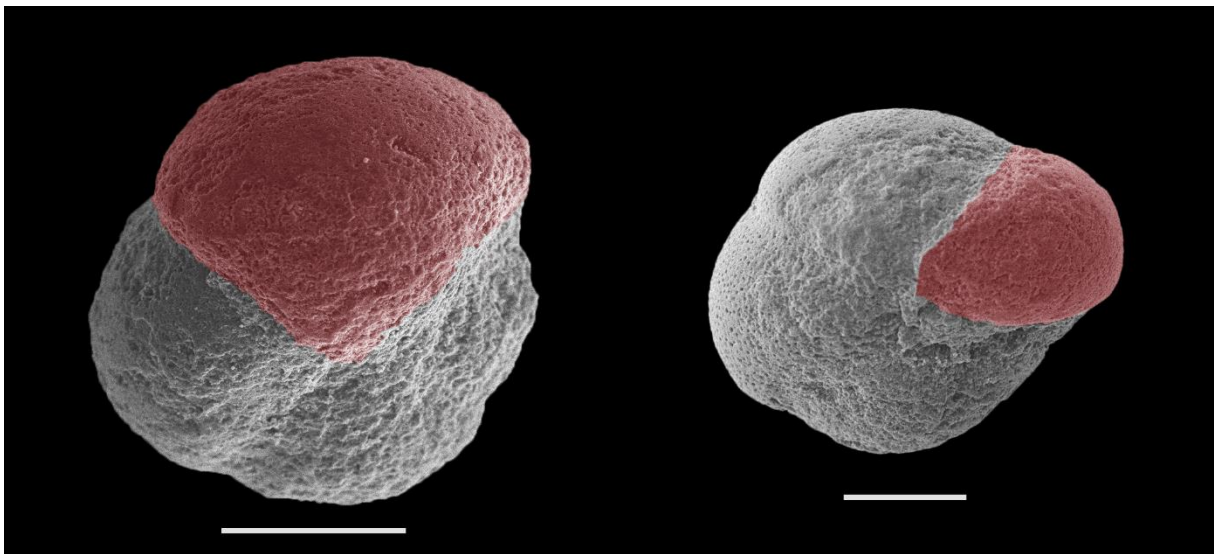
Za planktonske foraminifere specifična ontogenetska pojava je odstupanje najmlađih klijetaka veličinom i/ili oblikom. Ova pojava razlikuje se od deformacija kućice kod aberantnih jedinki (Schiebel i Hemleben, 2017). Uzrok ovakvom rastu klijetaka nije posve jasan, no kao i bula uvijek se javlja kod odraslih, reproduktivno zrelih jedinki i zahvaća najmlađu klijetku ili najmlađih nekoliko klijetaka. To je navelo više autora da pretpostave da ima reproduktivnu ulogu (Brummer i Kroon, 1988; Hemleben i sur., 1989; Schiebel i Hemleben, 2017; Spero, 1988). Oblici takvih klijetaka razlikuju se od vrste do vrste, ali i unutar populacija jedinki iste vrste, što je dovelo do toga da su opisane različitim nazivima. Neki od primjera su „vrećasta“ klijetka vrste *T. sacculifer* (Slika 4.7), izdužena klijetka vrste *Neoglobobulimina pachyderma* ili sferična klijetka vrste *Orbulina universa*.



Slika 4.7: Osnovni elementi kućice planktonske foraminifere na primjeru terminalnog stadija recentne vrste *Trilobatus sacculifer* (Brady). Jedinka iz komercijalno dostupnog materijala tvrtke Krantz GmbH & Co, porijeklom iz sedimenta Karipskog mora, prikupljenog s morskog dna dubine 2900 m. PO – pore; PRU – primarno ušće; SKU – sekundarna ušća; SP – ostaci spina; SUT - suture. Brojevima su označene klijetke u posljednjem zavoju, od najstarije prema najmlađoj. Kućica ima karakterističnu „vrećoliku“ najmlađu klijetku koja je ujedno *kummerform* i zaklanja veći dio primarnog ušća (4). Površina kućice prekrivena je slojem

gametogenetskog kalcita. Uz naznačene spine na vanjskoj površini kućice, kroz ušća vidljive su i brojne druge sačuvane u njezinoj unutrašnjosti.

Za slučajeve gdje je najmlađa klijetka manja ili podjednake veličine prethodnoj ustalio se naziv *kummerform* koji je predložio Berger (1969), dok se za kućice s regularnim logaritamskim rastom koristi naziv *normalform* (Slika 4.8). Uz to, Berger (1969; 1970) je smatrao da *kummerform* kućice uzrokuje ekološki stres, a što su i drugi, primjerice Hecht i Savin (1970) podržali.



Slika 4.8: SEM mikrofotografije kućica vrste *Turborotalia cerroazulensis* (uzorak Viganj VG 0D) u umbilikalnom položaju. *Normalform* kućica je prikazana lijevo, a *kummerform* kućica desno. Najmlađa klijetka na obje kućice naglašena je bojom. Jedinke iz uzorka Viganj VG 0D, priabon, biozona E16. Mjerila = 100 µm.

Olsson (1973) došao je do zaključka o postojanju optimalne veličine kućice odrasle jedinke. *Kummerform* jedinke bi prema tome uzrokovao mehanizam ograničavanja maksimalnog rasta u svrhu optimizacije volumena kućice.

Hommers (1997) je otkrio da u populacijama vrste *N. pachyderma* postoji značajno pozitivno preklapanje između relativnih brojnosti jedinki sa smanjenom *kummerform* klijetkom i onih s povećanom klijetkom (koju zbog kobasičastog oblika naziva *wurstkammer*). Zaključio je da se radi o dvije morfološke krajnosti istog fenomena, kojemu je uzrok ili reproduktivna funkcija ili stres uslijed promjena temperature i/ili saliniteta u okolišu.

Alternativno objašnjenje nastanka *kummerform* klijetaka je da su one rezultat izlučivanja preostalih zaliha kalcitnog iona iz stanice prije gametogeneze (u terminalnom stadiju života), kako potencijalno ne bi ometali stanične procese. Ovakvo razmišljanje temelji se na eksperimentima dobivenim podacima (Bijma i sur., 1992; Spero, 1988; Spero i DeNiro, 1987). Ovi autori su otkrili da u uvjetima prekomjerne dostupnosti plijena i svjetla (za simbiote), vrsta *O. universa* češće stvara drugu sferičnu klijetku (tzv. *Biorbulina* morfotip), koja je veličinom manja ili jednaka prethodnoj, odnosno *kummerform*.

Ovo objašnjenje daje odgovore na većinu problema vezanih uz *kummerform* klijetke. Jedinka ih tvori ako joj nakon stvaranja posljednje regularne klijetke i potencijalne gametogenetske kalcifikacije ostane zaliha kalcita (Schiebel i Hemleben, 2017). To bi objasnilo zašto se ne javlja kod svih jedinki koje su ušle u fazu gametogeneze i zašto klijetka ne slijedi trend povećavanja volumena. Isto tako, varijacije u preostalim zalihama iona objasnile bi varijacije u veličini najmlađe klijetke unutar populacije.

4.3.7 - Ostali elementi građe

Uz već opisane elemente građe kućice koji su zajednički većini ili svim planktonskih foraminiferama, postoje i drugi elementi građe koje nalazimo samo kod pojedinih skupina. Neki od njih su analogni, odnosno konvergentnom evolucijom nastali više puta u različitim skupinama kroz povijest planktonskih foraminifera. Najvažniji od njih su:

- Spine – duge, savitljive bodlje koje su građom monokristali kalcita (Slika 4.7). Rastu iz stijenke kućice. Fosilno se rijetko sačuvaju dijelom zbog svoje delikatne građe, a dijelom zato što ih foraminifera često odbaci ili apsorbira u terminalnoj fazi života. Na dobro očuvanim kućicama mogu se uočiti posredno, iz šupljina zaostalih nakon njihova nestanka (Tabla 1 B, U). Karakteristične za kenozojske porodice Globigerinidae i Hastigerinidae.
- Pustule – kratke, tupe do oštre stožaste strukture. To su višeslojne nakupine kalcita na površini kućice. Najčešće se koncentriraju na njezinim pojedinim dijelovima primjerice uz suture, na kobilici, između klijetaka ili u blizini ušća.
- Murike – izgledom slične pustulama, potencijalno njihov pod-tip (Pearson i sur., 2022). Također rastu nakupljanjem kalcita, ali početni sloj formira se savijanjem

vanjske lamele stijenke u piramidalan ili stožast oblik (Berggren, 1981).

Karakteristične za paleogensku porodicu Truncorotaloididae. Nedavno detaljno istraživanje morfologije murika na dobro očuvanim primjercima iz rodova *Acarinina*, *Morozovella* i *Morozovelloides* (Pearson i sur., 2022) otkrilo je šupljine koje prolaze dužinom murika i sadrže ostatke izduženih kalcitnih struktura sličnih spinama.

- Kobilica – ojačanje vanjskog ruba klijetaka koje tvori „pojas“ oko njezina vanjskog ruba. Konvergentno se razvila kod više skupina iz različitih struktura (Norris, 1991). Kod nekih vrsta kobilica je jedinstvena, dok druge mogu izgraditi dvije kobilice.
- Gametogenetski kalcit – kalcitni sloj različite debljine istaložen na površini kućice (Slika 4.7; Tabla 1), neposredno pred početak gametogeneze. Može prikriti primarna svojstva stijenke poput teksture, šupljina iz kojih su izlazile spine ili sekundarnih ušća, no istovremeno daje dokaz da je jedinka postigla spolnu zrelost i započela gametogenezu.

4.3.8 - Životni ciklus planktonskih foraminifera

Stvaranje uvjeta i mikrookoliša za uzgoj i proučavanje planktonskih foraminifera u laboratoriju je komplicirano (Schiebel i Hemleben, 2017), stoga njihov životni ciklus sadrži mnoge nepoznanice. Kod većine vrsta on je usklađen s Mjesečevim fazama, vjerojatno kako bi se razmnožavanje populacije vremenski sinkroniziralo i tako povećale šanse za susret i spajanje gameta. Dubljevodne vrste mogu biti sinkronizirane s godišnjim dobima i razmnožavati se sezonalno. Razmnožavanje (mitozom ili mejozom) koristi gotovo čitavu endoplazmu jedinke i predstavlja kraj njezina života, ostavljajući praznu kućicu. Iz tog razloga planktonske foraminifere u pravilu žive od dva tjedna do mjesec dana, dubljevodne vrste do godine dana, no gornji raspon nije utvrđen jer je cjelovit životni ciklus poznat za tek nekoliko vrsta (Meilland i sur., 2024). Najdulji trenutačno poznati životni vijek ima vrsta hladnih mora *N. pachyderma*, koja pod ledenim pokrovom u stanju „mirovanja“ može provesti i preko godine dana (Greco i sur., 2019; Weitkamp i sur., 2025; Westgård i sur., 2023).

Kod bentičkih srodnika postoje tri generacije:

1. – Agamont – nastao oplodnjom (spajanjem gameta), diploidan je (dvostruki set kromosoma) i mikrosferičan je (relativno malena početna klijetka). Razmnožava se mejozom proizvodeći mlade gamonte.
2. – Gamont – nastao iz agamonta višestrukim dijeljenjem nakon mejoze. Haploidan (jednostruki set kromosoma) i makro ili megalosferičan je (relativno velika početna klijetka). Razmnožava se proizvodeći gamete (gametogeneza).
3. – Shizont. Haploidan je i makrosferičan poput gamonta, no razmnožava se višestrukim dijeljenjem (mitozom). Tako nastale jedinice mogu naslijediti simbionte od stanice majke (BouDagher-Fadel, 2018). Hallock i Reymond (2022) vežu ovu generaciju uz očuvanje populacije tijekom razdoblja nepovoljnih uvjeta u okolišu.

Kod nekih foraminifera (posebice velikih bentičkih) spolni dimorfizam ne očituje se samo u veličini početne klijetke, već i u morfološkim karakteristikama odrasle kućice poput njezine veličine i ukupnom broju klijetaka.

Dugo vremena smatralo se da se planktonske foraminifere razmnožavaju samo spolno, gametogenezom. Izbacivanje gameta rano je dokumentirano (Rhumbler, 1911), no ekvivalent nespolnom razmnožavanju nije bio poznat sve do prije 20 godina. Neki autori pripisivali su nedostatak nespolne generacije evolucijskom gubitku sposobnosti ili razvitku planktonskog načina života kod samo jedne generacije bentičkog pretka (BouDagher-Fadel, 1997). Od prve potvrde (direktnim opažanjem) postojanju nespolne generacije (Kimoto i Tsuchiya, 2006) ono je bilo predmetom mnogih recentnih istraživanja (primjerice Davis i sur., 2020; Meilland i sur., 2024; Takagi i sur., 2020).

Životni ciklus spolne generacije dobro je poznat. Obuhvaća više faza koje su detaljno opisali Brummer i Kroon, 1988; Brummer i sur. (1987) i Caromel i sur. (2016). U nastavku su izdvojeni ključni stadiji tog procesa kod porodice Globigerinidae.

Početni stadij tvore dvije klijetke (veći prolokulus i manji deuterokonh). Prolokulus u početku nema kalcificiranu stijenku, već ona nastaje tek s izgradnjom deuterokonha. Njega slijedi juvenilni stadij, u kojem jedinka ima bitno različitu morfologiju od odrasle. Kućica je nisko trohospiralna, ušće maleno i pomaknuto bliže njezinom rubu (ekstraumbilikalno), pore koncentrirane uz suture, a spine rijetke i tanke, no bez razvijenih karakterističnih grebena kancelatne strukture. Prelaskom prema odraslom stadiju klijetke postaju zaobljenije, s ušćem smještenim u umbilikusu, a pore, spine i grebeni se pojavljuju po čitavoj površini stijenke. U

ovom stadiju jedinka postiže spolnu zrelost. Terminalni stadij obuhvaća modifikacije kućice koje vežemo uz spolno razmnožavanje (gametogenezu). On može uključivati: izgradnju bule, posebno modificirane ili smanjenje najmlađe klijetke (*kummerform*), odbacivanje ili resorpciju spina i stvaranje sloja gametogenetskog kalcita u svrhu tonjenja na veću dubinu.

Kako bi se povećala vjerojatnost susreta gameta i uspješnost oplodnje, jedinke prije gametogeneze migriraju u dublje, mirnije dijelove vodenog stupca te to čine vremenski sinkronizirano. Za većinu površinskih vrsta životni ciklus sinkroniziran je s sinodičkim ritmom Mjeseca (razmnožavanje jedanput ili dvaput mjesečno), uz moguć još precizniji utjecaj cirkadijskog ritma (razmnožavanje u određeno doba dana; Schiebel i Hemleben, 2017). Za vrste koje žive na većim dubinama postoje naznake obrnute migracije u pliće dijelove vodenog stupca kako bi tamo oslobodile gamete (Hemleben i sur., 1989).

Tijekom gametogeneze jedinka mejozom stvara oko 300–400 tisuća gameta (veličine oko 3–5 μm) koje potom izbacuje u okoliš (Schiebel i Hemleben, 2017), što ostavlja originalnu kućicu gotovo posve ispražnjenom, dok u preostaloj protoplazmi staje metabolička aktivnost (stanica ugiba) i prazna kućica tone prema morskom dnu.

Nespolno razmnožavanje dosad je dokumentirano samo kod ne-spinoznih vrsta *N. pachyderma* (Kimoto i Tsuchiya, 2006; Kimoto, 2015; Meilland i sur., 2022; 2024; Westgård i sur., 2023), *Globigerinita uvula* (Takagi i sur., 2020) i *Globigerinita glutinata* (Meilland i sur., 2022; 2024). Sinteza ovih istraživanja daje grubu sliku samog procesa. Odrasla jedinka „majka“ stvara i izbacuje ~70–300 juvenilnih jedinki „kćeri“ veličine ~25 μm . Broj jedinki ovisi o volumenu kućice (i time dostupne citoplazme) stanice majke (Meilland i sur., 2023). Jedinke kćeri već imaju razvijene dvije klijetke (prolokulus i deuterokonh) i simbionte, no nemaju još kalcificiranu stijenu. Zaostala protoplazma majke, kao i kod gametogeneze, ugiba nakon oslobađanja juvenilnih jedinki.

Meilland i sur. (2022) te Darling i sur. (2023) predložili su novi model razmnožavanja s izmjenom generacija, kao kod bentičkih foraminifera. Predstavnik dvije generacije može se razlikovati jednim slabo istraženim svojstvom, sa smjerom namatanja. Foraminifere s trohospiralnom kućicom mogu imati dva smjera namatanja, lijevi i desni. Kod bentičkih foraminifera ovo svojstvo povezivano je s izmjenom generacija (Nigam i Khare, 1992; Nigam i Rao, 1989) i utjecajem temperature (Collins, 1990; Galeotti i Coccioni, 2002; Hallock i Larsen, 1979). Kod planktonskih foraminifera također postoje vrste kod kojih prevladavaju jedinke s jednim smjerom namatanja, što je uočeno i kod živućih jedinki (Bolli, 1971; Darling

i sur., 2003; Duan i sur., 2021) i kod fosilnih vrsta (Desmares i sur., 2016.; King i sur., 2023; Luciani i sur., 2021)

Doprinos koji su dali Meilland i sur. (2022) i Darling i sur. (2023) je otkriće biološke uloge smjera namatanja na temelju praćenja razmnožavanja i ontogenije jedinki. Prema modelu koji su razvili, spolna generacija ili gamont razmnožava se ranije opisanim stvaranjem i izbacivanjem gameta. Sve jedinke koje su se tako razmnožile imale su kućice namotane ulijevo. Druga, nespolna generacija (agamont), razmnožava se višestrukim dijeljenjem, a može biti i lijevo i desno namotana.

Weitkamp i sur. (2025) mjerili su veličine prolokulusa jedinki gamonta i agamonta vrste *N. pachyderma*. Otkrili su da se veličine prolokulusa, uz određena preklapanja, uglavnom grupiraju u odvojene grupe (klastere). Veličine prolokulusa jedinki gamonta grupiraju odvojeno (prema srednjem rasponu veličina) od onih jedinki agamonta (veličine prolokulusa teže ili minimalnim ili maksimalnim veličinama i negativnim ekstremima vrijednosti). Grupiranje prolokulusa agamonta na ekstremno velike i male interpretirali su kao potencijalno postojanje trimorfizma odnosno prisustvo treće generacije (shizont) u životnom ciklusu vrste *N. pachyderma*. Shizont je kod bentičkih foraminifera nespolna generacija koja se razmnožava višestrukim dijeljenjem te može proizvesti nove shizonte. To omogućava održavanje populacije u nekom okolišu izmjenom samo nespolne generacije (Hohenegger, 2018). *N. pachyderma* je gotovo jedina vrsta polarnih mora, jer može prezimiti pod ledenim pokrovom (Greco i sur., 2019; Igarashi i sur., 1996). Weitkamp i sur. (2025) argumentiraju da bi postojanje shizonta olakšalo preživljavanje populacije ove vrste u zimskim mjesecima.

4.3.9 - Životne strategije planktonskih foraminifera

Iako su planktonske foraminifere po svom načinu života bliže oportunistima (r-stratezima) prema teoriji MacArthur i Wilson (2001), među njima postoje preferencije prema više ili manje oportunističkom načinu života. Porast udjela vrsta s izraženim oportunizmom može poslužiti kao alat za detekciju ekološkog stresa.

Schiebel i Hemleben (2017) razlikuju dvije glavne životne strategije modernih planktonskih foraminifera:

1. „Generalisti“ – Podrazumijeva planktonske foraminifere koje u svoj način života uklapaju mnoge elemente K-strategije (strategije specijalista). Karakteriziraju ih velike, morfološki složenije kućice odraslih jedinki, a vrlo često i prisutnost algalnih simbionata. Simbionti uvjetuju život u miješanom sloju i oligofotične uvjete (voda manje „zamućena“ nutrijentima omogućuje bolji prodor svjetlu). Primjeri takvih rodova kod modernih planktonskih foraminifera su *Globigerinoides*, *Orbulina* i *Trilobatus*. Uz njih Schiebel i Hemleben (2017) u ovu kategoriju svrstavaju i vrste velikih kućica specijalizirane za život na većim dubinama (primjerice *Globorotalia*). Specijalizacija za život u specifičnim uvjetima rezultira manjom otpornošću ovakvih foraminifera na promjene, a životni ciklus im traje i do godine dana u slučaju dubokomorskih vrsta kao što su *Globorotalia truncatulinoides* i *Globorotalia hirsuta* (Hemleben i sur., 1989).
2. Oportunisti – Pravi r-stratezi. Vrste koje se javljaju u malom relativnom udjelu u zajednici dok su uvjeti stabilni, no njihova populacija naglo raste u slučaju izraženog porasta nekog, za njih povoljnog, parametra. Za planktonske foraminifere to je prvenstveno izražen donos nutrijenata u moru (eutrofikacija). Kućice koje izgrađuju takve foraminifere su malene i jednostavne morfologije. Ne razvijaju simbiotske odnose s mikroalgama i imaju relativno kratak životni vijek, primjerice *Globigerinita glutinata* koja živi dva tjedna jer se populacija razmnožava dvaput mjesečno (Hemleben i sur., 1989). Recentne takve vrste su, uz već navedenu *G. glutinata*, *Globigerina bulloides* i *Turborotalita quinqueloba*.

4.3.10 - Istraživanja planktonskih foraminifera

Planktonske foraminifere imaju nekoliko prednosti koje ih čine pogodnom grupom fosila za biostratigrafsko određivanje starosti naslaga i njihovu korelaciju između bazena. Njihov pelagički životni prostor relativno je miran, udaljen od utjecaja kopna i stabilnijih i ujednačenijih uvjeta temperature i saliniteta u usporedbi sa šelfom. Planktonski način također omogućuje laku i brzu kolonizaciju novih prostora tako da je glavni ograničavajući faktor njihove distribucije temperatura (Sen Gupta, 2003). Nove vrste brzo evoluiraju, jedinke žive relativno kratko, a akumulacije njihovih kućica mogu tvoriti većinu fosilnog sadržaja sedimenata morskog dna (tzv. „Globigerinske ooze“).

Spoznajama o biologiji (Bé, 1982) i ekologiji (posebice povezanosti izotopnog sastava kućice s životnom dubinom foraminifere; Emiliani, 1954) ovih organizama, dio istraživanja usmjerio se prema upotrebi planktonskih foraminifera za rekonstrukciju klime Zemljine prošlosti.

Polovicom 20. stoljeća prepoznata je ranije navedena povezanost njihove distribucije s prostiranjem klimatskih pojaseva (Emiliani, 1954), a aktualne klimatske promjene i njihov odraz na živi svijet pojačale su interes za istraživanje utjecaja paleogenskih klimatskih oscilacija na planktonske foraminifere (Boersma i Premoli Silva, 1991; Filippi i sur., 2024; Kučera, 2007; Luciani i sur., 2010; D'Onofrio i sur., 2020; Pejnović i sur., 2025; Swain i sur., 2024).

Iako su analize stabilnih izotopa moćan alat paleoekološke interpretacije, kućice planktonskih foraminifera često su zahvaćene dijagenozom, što mijenja njihov izotopni sastav i metoda stabilnih izotopa često nije primjenjiva na fosilne zajednice. Paralelno izotopnim metodama su se stoga razvijale biometrijske metode na populacijama. Fizička svojstva kućice poput njezine veličine rano su povezana s promjenama u temperaturi mora (primjerice Ericson i sur., 1955; Hecht, 1976). Ove metode koriste statističku obradu mjerenja jednog ili više fizičkih svojstava na većem broju jedinki i prepoznavanju morfoloških obrazaca. Razvoj tehnika detaljnog promatranja vanjske (elektronska mikroskopija) i unutarnje (mikro-CT tomografija) građe kućice znatno je unaprijedio poznavanje funkcionalne morfologije njezinih pojedinih dijelova. Dostupnost snažnih računalnih sustava i pojava metoda strojnog učenja olakšali su obradu velikih setova prikupljenih mjerenja i uočavanje obrazaca unutar njih.

4.4 - Taksonomska identifikacija, kriteriji i primjena na istraživanim uzorcima

Svi uzorci pregledani su pomoću stereoskopske lupe pod reflektiranim svjetlom kako bi se procijenio njihov sadržaj. Pregledane su obje frakcije, a foraminifere su u svim uzorcima pronađene jedino u frakciji 63–1000 μm tako da je ona dalje analizirana. Uzorci koji su sadržavali kućice foraminifera su standardizirani, kako bi se dobio reprezentativan broj jedinki. Pomoću mikrosplitera uzorak je sveden na broj od otprilike 300 kućica koji se uzima kao zadovoljavajuće reprezentativan za populaciju (Phleger, 1960). Preostala količina uzorka pohranjena je za buduće kontrole i analize.

Kućice foraminifera su izolirane, izbrojene i pohranjene u Franke-ove ćelije, a nalaze se u Geološko-paleontološkom zavodu Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu. Jedinke

su identificirane na razini rodova i vrsta i brojane, dok je preostali fosilni sadržaj opisan samo kvalitativno i na razini skupina. Definicija rodova i vrsta je usklađena s Loeblich i Tappan (1988) kriterijima. Za identifikaciju planktonskih foraminifera korišteni su atlas relevantni za paleogen (Olsson i sur., 1999; Pearson i sur., 2006a i Wade i sur., 2018a). Podaci o njihovim staništima preuzeti su iz Aze i sur., 2011; Pearson i sur., 2006a, Wade i sur., 2018a te online baze *Microtax.org*, a sumirani su Prilogom 2a. Identifikacija bentičkih foraminifera temeljila se na atlasima AGIP (1982) i Holbourn i sur. (2013). Podaci o njihovim staništima preuzeti su iz Murray (1991; 2006) i baze *Microtax.org* te su popisani u Prilogu 2b.

Kod jedinki planktonskih foraminifera koje su imale trohospiralnu kućicu za svaku je zabilježen smjer namatanja kada promatramo njezinu spiralnu stranu i izražen kao udio jedinki s lijevim smjerom rasta. Ovi podaci korišteni su kako bi se utvrdili omjeri lijevih i desnih kućica za pojedine rodove te pratile moguće promjene omjera unutar geoloških stupova. Grupiranje podataka na razinu roda smanjuje broj kategorija i uključuje jedinke koje nije bilo moguće odrediti na razini vrste, no mana takve kategorizacije gubitak je vidljivosti utjecaja promjena u relativnim udjelima vrsta.

Kako bi se dobio uvid u promjene smjera namatanja na razini vrste, obrađeni su podaci za trohospiralne vrste s najvišom relativnom zastupljenošću i to na sljedeći način:

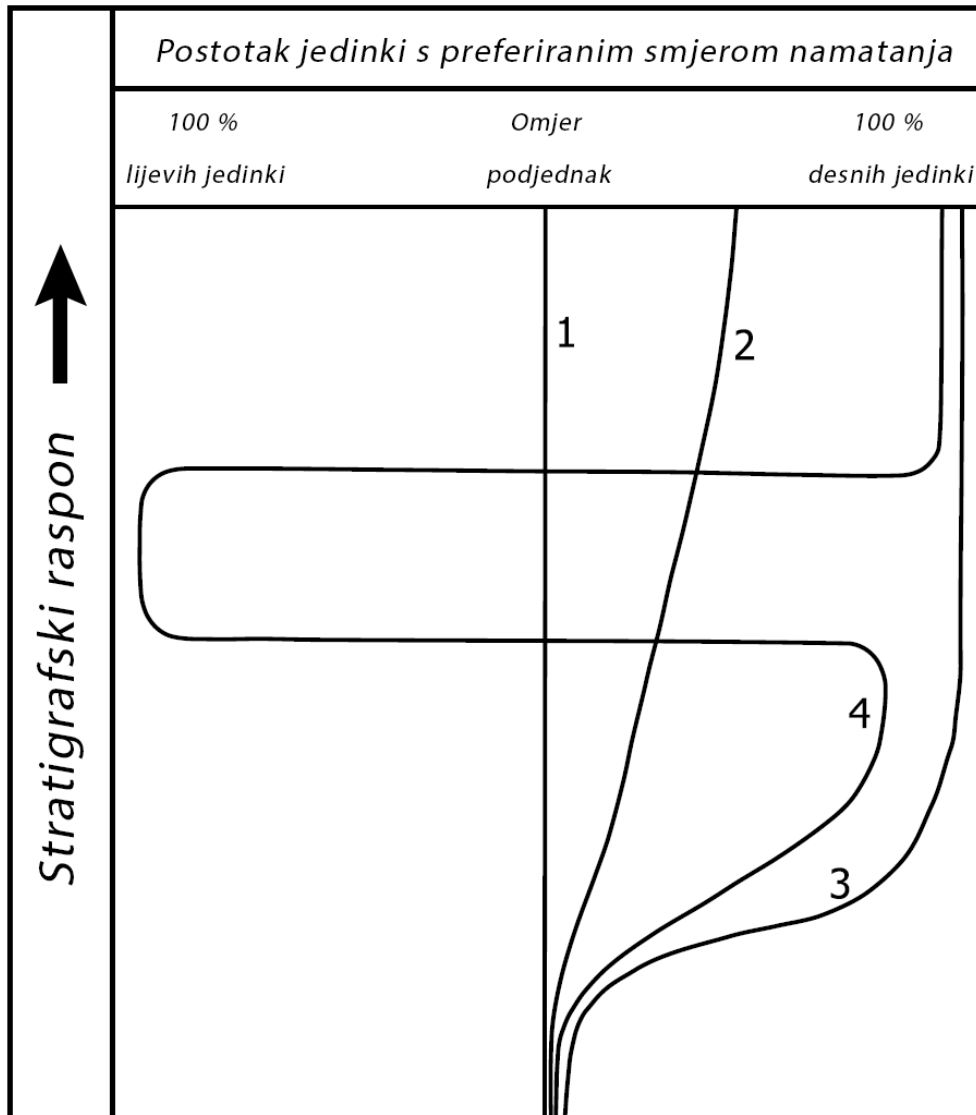
1. - Vrste su raspoređene u dvije grupe koje su definirali Brummer i Kroon (1988). Prvu grupu tvore vrste kod kojih nema preferiranog smjera namatanja, a drugu grupu one kod kojih postoji preferencija prema namatanju u lijevo ili desno.
2. - Vrste su grupirane prema karakteru smjera namatanja i njegovim promjenama kroz geološko vrijeme, koristeći podjelu koju je definirao Bolli (1971; Slika 4.9).

4.5 - Biostratigrafska analiza

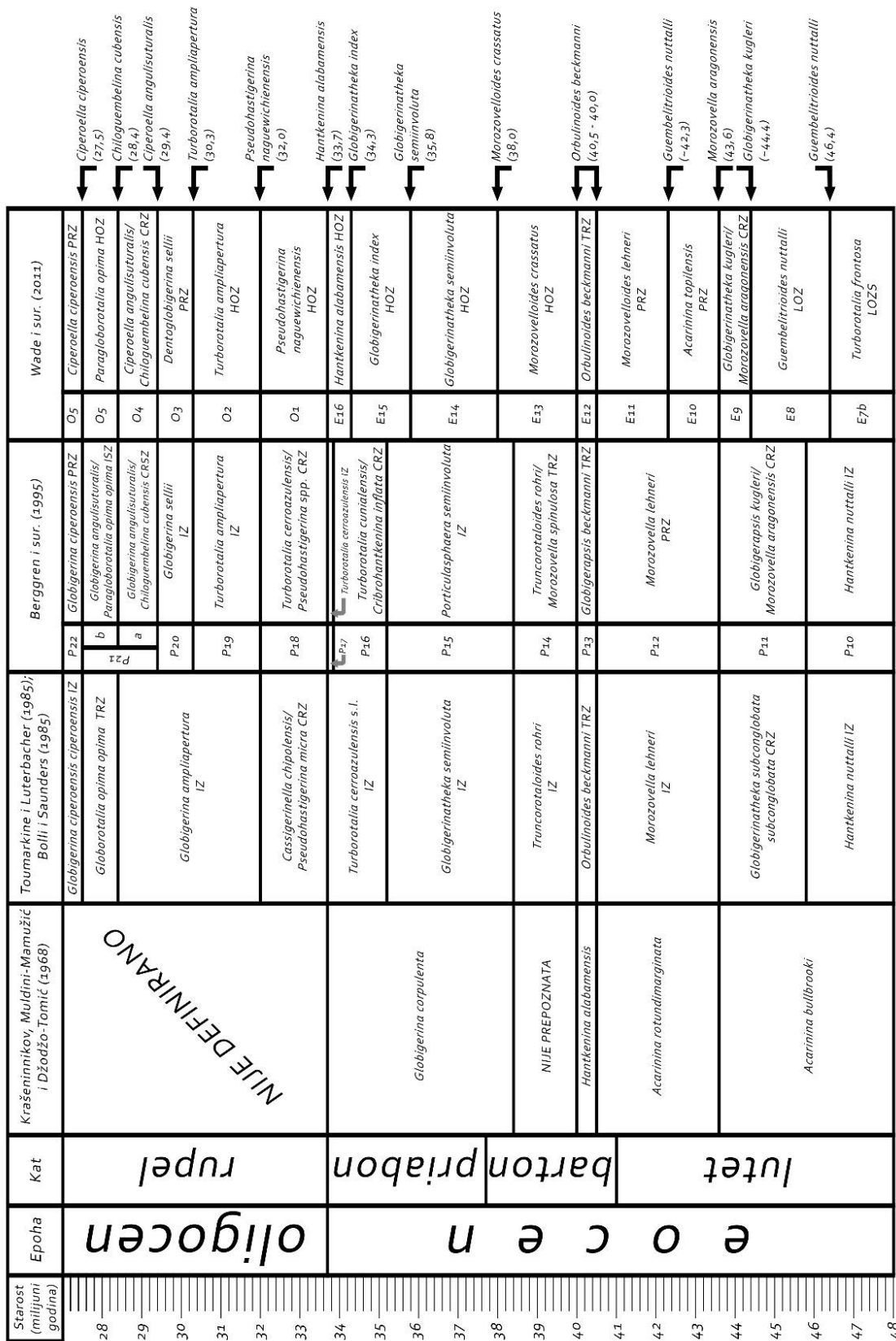
Određene vrste planktonskih foraminifera su biostratigrafski markeri. U ovom istraživanju primijenjena je biozonacijska shema kenozoika (Slika 4.10) za suptropska i tropska područja Wade i suradnika (2011), uz korekcije ovoj shemi prema Berggren i sur. (2018).

Biostratigrafska zonacija temelji se na pojavama i nestancima specifičnih vrsta, koji se dijele na primarne i sekundarne zonalne događaje. Primarni događaji su prve pojave ili izumiranja provodnih vrsta. Jasno su prepoznatljivi u zajednicama iz suptropskih i tropskih oceana i

geokronološki kalibrirani pomoću rezultata radiometrijskih i magnetostratigrafskih istraživanja. Pojedinih granicama biozona Wade i sur. (2011) dodjeljuju i sekundarne marker događaje koji su korisni kad provodne (indeks) vrste nedostaju. U svakom uzorku izbrojeni su još i fragmenti kućica planktonskih foraminifera, za potrebe izračunavanja foraminiferskog fragmentacijskog indeksa.



Slika 4.9: Trendovi promjene smjera namatanja kućica planktonskih foraminifera kroz idealizirani stratigrafski raspon vrste. Prema Bolli (1971), prilagođeno iz Gonera i sur. (2003). 1 – omjer ostaje podjednak; 2 – jedan smjer namatanja postaje zastupljeniji; 3 – jedan smjer namatanja postaje dominantan; 4 – dominacija postoji, ali smjer oscilira.



Slika 4.10: Usporedba najčešće korištenih biozonskih shema za raspon srednji eocen–donji oligocen na ovim prostorima s biozonom Wade i sur (2011). Strelice prikazuju marker događaje definiranja zona. Kratice zona su: IZ - Intervalna zona; TRZ - Zona potpunog raspona vrste; CRZ - konkurentna zona; CRSZ - Konkurentna pod-zona; PRZ - Zona djelomičnog raspona vrste; LOZ - Zona najviše pojave vrste; LOSZ - Pod-zona najviše pojave vrste; HOZ - Zona najviše pojave vrste.

4.5.1 - Povijesni pregled zonacijskih shema paleogena temeljenih na planktonskim foraminiferama

Iako su planktonske foraminifere korištene u biostratigrafiji i ranije, prve konkretne biozonacijske sheme nastale su tek u drugoj polovici 20. stoljeća (Stainforth, 1951).

Paleontolozi područja bivšeg Sovjetskog saveza bili su pioniri primjene paleogenskih foraminifera u biostratigrafske svrhe (primjerice Glaessner, 1934; Subbotina, 1936). Prvu biostratigrafsku zonaciju paleogena izradila je, istražujući naslage Kavkaza, Subbotina (1953). Ta biozonacija je okosnicu oko koje su se gradile kasnije sheme za područje SSSR-a, među kojima su najutjecajnije bile sheme koje su izradili Shutskaya (1965) i Krašeninnikov (1964; 1969).

Nekako istovremeno i na „zapadu“ postavljaju se biostratigrafske zonacije. Prvu takvu zonaciju je za područje Trinidada izradio Bolli (1957) i ona je, poznata pod nazivom „standardna zonacija“, temelj većine kasnijih zonacijskih shema na zapadu. Zbog široke primjene ova biozonacijska shema je često nadograđivana novim podacima. Prvu „nadogradnju“ objavio je sam Bolli (1966), slijedi Berggrenova (1969a) za suprotropska i tropska područja, a alfanumeričke oznake biozonama je pridodao Blow (1979). Svaka paleogenska zona tako nosi oznaku „P“ za *Paleogene* i broj koji odgovara njezinu relativnom stratigrafskom položaju. Toumarkine i Bolli (1970) predložili su biozonaciju srednjeg i gornjeg eocena na temelju raspona vrsta iz roda *Turborotalia*. Na ovim prostorima široku primjenu imala je njoj slična varijanta standardne zonacije koju su publicirali Toumarkine i Luterbacher 1985 (Slika 4.10).

90-ih godina započeo je proces usklađivanja dotad odvojenih zonacijskih shema. Prvi veći rezultat toga bila je zonacijska shema Berggren i sur. (1995; Slika 4.10), modifikacija sheme standardne zonacije Berggren i Miller (1989) koja uključuje spoznaje iz bivšeg Sovjetskog saveza. Berggren i Pearson (2005) korigiraju shemu, između ostalog uvodeći i nove alfanumeričke oznake temeljene na epohama. Prema ovoj zonaciji paleogenske biozone su označene slovom koje označava epohu („P“ za *Paleocene*, „E“ za *Eocene* i „O“ za *Oligocene*) te brojem koji označava njezin relativni stratigrafski položaj u odnosu na druge biozone unutar epohe. Iskorak predstavlja projekt međunarodnog tima (*Paleogene Planktonic Foraminifera Working Group, International Union of Geological Sciences*), koji rezultira objavom atlasa za planktonske foraminifere paleocena (Olsson i sur., 1999), eocena (Pearson i sur., 2006) i oligocena (Wade i sur., 2018). Trenutno se najviše koristi nadogradnja sheme

Wade i suradnika (2011) koja, od svoje objave, je tek neznatno nadopunjena (Berggren i sur., 2018). Uvažavajući te dopune ona je korištena u biostratigrafiji ove doktorske disertacije (Slika 4.10). Prema toj shemi paleogen je podijeljen na 30 biozona, a sadrži zone koje su definirane kao rasponske (definirane prvom i zadnjom pojavom taksona), zone djelomičnog raspona vrste (definirane prvim i zadnjim pojavama jednog ili dva taksona, uz prisustvo trećeg taksona), zone najniže (definirane prvom pojavom) i zone najviše pojave vrste (definirane zadnjom pojavom) te zone istovremenog raspona dviju vrsta (istovremeno prisustvo obje vrste).

4.6 - Statističke metode

4.6.1 - Indeksi bioraznolikosti

Za rekonstrukciju okolišnih prilika mogu se primijeniti indeksi bioraznolikosti. Oni omogućuju kvantitativno opisivanje sastava zajednice i usporedbu zajednica više uzoraka. U ovom radu korištena su tri indeksa, od kojih jedan da bi se izračunala dominacija pojedinih taksona te dva kojima je računata bioraznolikost. Njihov izračun odrađen je pomoću statističkog alata *Past*, verzija 4.03 (Hammer i Harper, 2001).

Simpson-ov indeks (D) dominacije

Ovaj indeks izračunava vjerojatnost da će dvije nasumično odabrane jedinice u uzorku pripadati istoj vrsti (Simpson, 1949). Formula mu glasi:

$$D = \sum (n/N)^2$$

Gdje n označava broj jedinki jedne vrste, a N ukupan broj jedinki. Vrijednosti mu se kreću od 0 (potpuna raznolikost) do 1 (potpuna dominacija jednog taksona). Kako bi mu vrijednosti rasle s porastom raznolikosti često se izražava kao komplementaran broj $1-D$, što je primijenjeno i u ovom radu.

Shannon-Wiener-ov indeks raznolikosti (H)

Kod izračunavanja ovaj indeks u obzir uzima i broj vrsta i udio jedinki svake vrste u uzorku (Shannon, 1948). Izračunava se prema formuli:

$$H = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$$

Gdje p_i predstavlja relativni udio svakog taksona u uzorku. Minimalna vrijednost ovog indeksa je 0, u slučaju kad imamo samo jednu vrstu u zajednici. Najveću vrijednost indeks će postići kad su sve vrste u zajednici jednako zastupljene, a ona će ovisiti o broju vrsta. U prirodi vrijednosti se uglavnom kreću od 1,5 za zajednice niske raznolikosti do 3,5 za one visoko raznolike.

Shannon-ov indeks jednolikosti (J)

Vrijednosti ovog indeksa izvode se iz Shannon-Wiener-ovog indeksa prema formuli:

$$J = \frac{H}{H_{max}}$$

Gdje su H vrijednost Shannon-Wiener-ovog indeksa H_{max} njegova potencijalna maksimalna vrijednost u slučaju idealiziranog uzorka s istim brojem vrsta, ali jednakom zastupljenošću svake od njih. Koristi se kao još jedan pokazatelj raspodjele jedinki po vrstama u uzorku.

4.6.2 - Indeksi koji definiraju abiotičke osobine okoliša

Paleodubina, neposredna metoda

Jednostavan izračun kojim se može procijeniti paleodubina je udio kućica planktonskih vrsta u standardu uzorka (Gibson, 1989), poznat kao omjer plankton/bentos:

$$\frac{P}{B} (\%) = \frac{N_{plankton}}{N_{plankton} + N_{bentos}} * 100$$

Prema Murray (1991) za otvorena mora vrijednosti ovog omjera koje su veće od 70 % približno odgovaraju gornjoj padini, vrijednosti u rasponu 40–70 % vanjskom šelfu, 10–60 % srednjem šelfu i <20 % unutarnjem šelfu. Iz preklapanja i širokih raspona ovih vrijednosti vidljivo je da ovaj omjer može dati samo jednostavnu, relativnu procjenu paleodubine.

Van der Zwaan i suradnici (1990) osmislili su napredniju formulu pomoću koje se iz omjera planktonskih i bentičkih foraminifera može izračunati paleodubina u oceanima:

$$\text{Dubina} = e^{(3,58718 + (0,03534 * P \%))}$$

Ova formula za udio P % koristi omjer planktonskih i epifaunalnih bentičkih foraminifera. Bentičke foraminifere koje žive infaunalno manje su ovisne o uvjetima u vodenom stupcu iznad, što je razlog zašto su izuzete iz ovog izračuna.

Paledubina, posredna metoda kroz indekse oštećenosti kućica

Očuvanost kućica može se izraziti na više načina pomoću različitih indeksa fragmentacije. Hemleben i sur. (1989), definiraju otapanje kao najčešći uzrok fragmentacije kućica. Porastom dubine raste tlak vode, a time i topivost mineralnih faza CaCO_3 , aragonita i kalcita (Broecker i Peng, 1987). Njihovu topljivost na većim dubinama će poboljšati i niža temperatura vode (Wells, 1915), a na morskom dnu otapanju može pridonijeti i snižen pH, uslijed oksidacije organskih tvari (Adebayo i sur., 2025; Le i Shackleton, 1992). Prema tome, topljivost kalcitnih kućica rasti će s dubinom. Dubina ispod koje nema taloženja kalcita odnosno na kojoj se stopa njegova otapanja izjednačava s onom donosa naziva se kompenzacijska dubina kalcita (*calcite compensation depth*, CCD), a područje vodenog stupca unutar kojeg dolazi do naglog porasta njegove topivosti poznato je kao lizoklina kalcita.

Kućice su potencijalno izložene uništavanju pa i otapanju dok tonu prema morskom dnu, budući da im treba i do nekoliko tjedana da stignu do batijalnih dubina. Jednom kada padnu na dno, ovisno o brzini sedimentacije, mogu biti izložene i više tisuća godina (Schiebel i Hemleben, 2007). Prilikom interpretacije stupnja otapanja kalcita pomoću fragmentacijskih indeksa foraminifera treba razmatrati i činjenicu da nisu sve kućice jednako podložne otapanju i, posljedično, fragmentaciji.

Fragmentacijski indeks planktonskih foraminifera

Ovaj indeks koristi se za izračun udjela kućica u uzorku koje su razbijene na fragmente i najšire je korišten takav indeks u istraživanjima planktonskih foraminifera. Izračunava se iz omjera broja fragmenata i broja cijelih kućica u uzorku, a temeljen je na pretpostavci da se

jedna kućica foraminifere u prosjeku raspadne na 8 fragmenata (Le i Shackleton, 1992). Izražava se u postotnom udjelu fragmentiranih jedinki, a prilagođen za planktonske foraminifere glasi:

$$\text{Fragmentacijski indeks} = (n_{\text{pfrag}}/8)/(n_{\text{pfrag}}/8 + n)$$

gdje je „n“ broj cijelih kućica planktonskih i bentičkih foraminifera, a „n_{pfrag}“ broj fragmenata planktonskih foraminifera.

Kako bi se ovaj indeks mogao primijeniti konzistentno na sve uzorke, potrebno je imati jasno definiran pojam fragmenta kućice planktonske foraminifere. U ovom istraživanju fragment je definiran kao svaki ostatak koji je nedvojbeno prepoznatljiv kao dio kućice planktonske foraminifere, a prema vlastitoj procjeni tvori manje od 2/3 izvornog volumena kućice. Time su kućice s manjim oštećenjima, koje su prepoznatljive i do razine vrste, tretirane kao cjelovite i uvrštene u taksonomsku analizu. Kriterij prepoznatljivosti, s druge strane, eliminira sitne fragmente čije je porijeklo teško ili nemoguće utvrditi, a zbog svoje brojnosti mogu imati snažan utjecaj na rezultat.

Glavne kritike ovom modelu su vrijeme koje treba uložiti da se fragmenti izdvoje i prepoznaju i prebroje, subjektivni utjecaj u klasifikaciji fragmenta, te kritični broj od 8 fragmenata po jednoj razbijenoj kućici, koji je prema autorima (Le i Shackleton, 1992) „proizvoljan“.

To ovaj indeks čini pogodnim za grubu procjenu relativnih promjena dubine pružanja vodenih slojeva nižeg pH (položaj lizokline odnosno kompenzacijske dubine kalcita) za vrijeme taloženja naslaga. Prilikom interpretacije ovog indeksa treba uzeti u obzir i mogućnost da je dio fragmenata nastao oštećenjima tijekom uzorkovanja i laboratorijske pripreme uzoraka.

Indeks fragmentacije i očuvanosti (FV indeks)

Noviji pokušaji razvijanja boljeg fragmentacijskog indeksa uključuju i primjenu metoda strojnog učenja i neuralnih mreža kako bi se bolje racionaliziralo s vremenom. Jedan takav indeks razvili su Suárez-Ibarra i sur. (2021). Njihov FI (*Fragmentation index*) temelji se na činjenici da je opseg čitave kućice manji od zbroja opsega fragmenata nastalih njezinim raspadom. Autori su demonstrirali pouzdanost indeksa, no metoda pripreme i dalje uključuje značajan ljudski napor jer je potrebno ručno odvojiti kućice od fragmenata te ih orijentirati i mjeriti u specifičnom položaju.

Marchant i sur. (2020) razvili su kompleksan sistem za automatsko sortiranje, brojanje, mjerenje i identifikaciju kućica planktonskih foraminifera uz pomoć algoritma temeljenog na neuralnoj mreži. Automatski sistem pokazao se pouzdanim u identifikaciji sub-recentnih kućica, no na fosilnom materijalu manje je uspješan (Thiam i sur., u postupku recenzije).

Adebayo i sur. (2025) odlučili su iskoristiti prednosti ovog sistema (brzo automatsko mjerenje i identificiranje mikrofosila) kako bi automatski mjerili površine kućica i fragmenata, a sve u svrhu razvoja novog fragmentacijskog indeksa. Rezultat njihovog rada je FV (*Fragmentation variance*) indeks. Formula mu glasi:

$$FV_{\text{indeks}} = \frac{\text{Varijanca veličina fragmenata}}{\text{Varijanca veličina kućica}}$$

Ovaj indeks je pokušaj kvantificiranja pozitivnog utjecaja veličine kućice na otpornost. Polazi se od pretpostavke da će pri slaboj fragmentaciji i otapanju zajednicom dominirati male kućice pa će varijacije u veličini (i posljedično varijanca) među njima biti male, dok će fragmenti biti veći i različitih veličina, s posljedično višom varijancom. U slučaju značajnog otapanja, male kućice će biti u potpunosti otopljene, a među preostalim kućicama će postojati visoka varijacija veličina. Fragmenti će, s druge strane, biti brojni i „usitnjeni“ do približno iste veličine. Prema tome, vrijednosti FV indeksa biti će visoke u dobro očuvanom materijalu, a niske pri lošem očuvanju.

U sklopu izrade ovog doktorskog rada testirana je alternativna metoda automatske klasifikacije i mjerenja fragmenata. Kako bi se zaobišla (trenutno) financijski skupa i tehnološki napredna upotreba strojnog učenja pomoću neuralnih mreža, korišten je hibridni pristup. Izdvajanje kućica i fragmenata iz fosilnog materijala odrađeno je ručno, a sustav klasifikacije prilagođen je puno jednostavnijoj metodi strojnog učenja (razvrstavanje ili klasifikacija) pomoću algoritama. Ovako prilagođena metoda sastojala se od sljedećih koraka:

1. Fotografiranje:
 - a. Standardiziranje male količine uzorka (odabran je uzorak VI 3 s lokaliteta Viganj) iz frakcije $>125 \mu\text{m}$ pomoću mikrosplitera tako da njome možemo pokriti površinu plitice za mikroskopiranje bez dodirivanja pojedinih zrna (8 splitanja za 1 g uzorka).
 - b. Ravnomjerno raspoređivanje standardiziranog uzorka po plitici.

- c. Fotografiranje uzorka dio po dio (ukupno 30 kadrova u boji) pri povećanju 20 X u dvije fokalne ravnine
- d. Kombinacija dobivenih fotografija dviju fokalnih ravnina u kompozitnu sliku pomoću metode *Z-stacking* u programu *Adobe Photoshop*.
- e. Smanjenje mikrofotografija iz dimenzija 1920 X 1080 piksela (~2,1 MP) na dimenzije 447 X 245 piksela (~0,1 MP) i konverzija u 8-bitni crno-bijeli profil. Ovim korakom značajno se smanjuju memorijski zahtjevi i vrijeme treninga modela.

2. Treniranje algoritma za klasifikaciju:

- a. 30 dobivenih slika učitano je u modul *Trainable Weka segmentation*.
- b. Definirane su tri kategorije: „Foraminifera“, „Fragment“ i „Pozadina“.
- c. Ručno su označena područja na svakoj mikrofotografiji koja pripadaju pojedinim kategorijama.
- d. Treniran je model klasifikacije temeljen na algoritmu *Fast Random Forest*. Ovaj algoritam odabran je nakon testiranja između nekoliko kandidata. Dobro barata s setovima podataka u kojima nisu podjednako zastupljene sve vrijednosti (što je očekivano u korištenom setu od samo 30 mikrofotografija) i pokazao je zadovoljavajuće rezultate u odnosu na utrošeno vrijeme i računalne resurse.

Jednom istreniran model se može primijeniti za razlikovanje i označavanje cijelih kućica i fragmenata u mikrofotografijama većih rezolucija i iz drugih uzoraka.

Za potrebe testiranja pomoću mikrosplitera izolirana je nova, jednaka količina istog uzorka i prema gore opisanom postupku pripremljen je drugi set mikrofotografija. Ovaj set obrađen je prvo ručno, metodom brojanja kućica i fragmenata, te izračuna klasičnog Fragmentacijskog indeksa, a potom je iskorišten istrenirani model kako bi se automatski klasificirali i izmjerili kućice i fragmenti. Time se uspješnost modela direktno može usporediti s ljudskom.

Nakon klasifikacije i mjerenja, daljnji postupak obrade dobivenih podataka slijedi metodu koju su koristili Adebayo i sur. (2025). Atipične (*outlier*) vrijednosti detektirane su i

uklonjene iz podataka. Donja i gornja granica atipičnih vrijednosti izračunate su koristeći formule:

$$\text{Donja granica} = Q1 - 1.5 * IQR$$

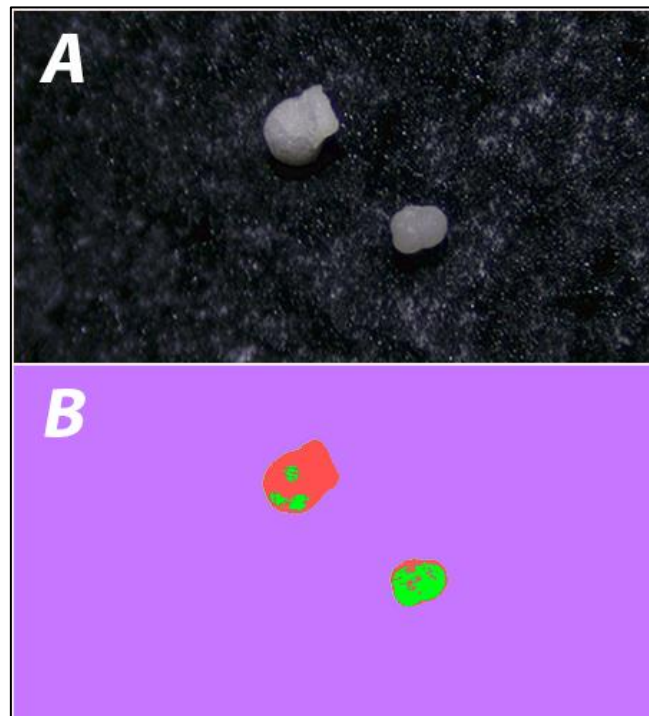
i

$$\text{Gornja granica} = Q3 + 1.5 * IQR$$

pri čemu je Q1 donji 25-postotni percentil vrijednosti veličina, Q3 75-postotni percentil vrijednosti veličina, a IQR interkvartilni raspon. Iz tako pročišćenih podataka izračunate su varijance fragmenata i čitavih kućica te je pomoću njih konačno izračunat i FV indeks uzorka.

Indeks oštećenosti kućica planktonskih foraminifera

Tijekom treniranja modela za strojno prepoznavanje kućica foraminifera i njihovih fragmenata, otkriveno je da model dobro uočava oštećene površine, neovisno radi li se o fragmentu ili kućici (Slika 4.11).



Slika 4.11: A: Mikrofotografija oštećene, ali cjelovite kućice planktonske foraminifere (ispod) i fragmenta veće kućice (iznad). B: Rezultati razvrstavanja na istoj mikrofotografiji pomoću razvijenog

modela strojnog učenja. Razlikuju se pozadina (ljubičasto), očuvane površine (zeleno) i oštećene površine (crveno).

Ovo neočekivano svojstvo modela otvara mogućnost da se izmjere sve očuvane i oštećene površine u uzorku. Prednost ovog pristupa je da se izbjegava potreba za klasificiranjem pojedinih zrna na kućice i fragmente. Njihove vrijednosti možemo izraziti kao omjer:

$$\text{Indeks oštećenosti} = \frac{P_{\text{oštećena}}}{P_{\text{oštećena}} + P_{\text{neoštećena}}}$$

gdje su $P_{\text{oštećena}}$ i $P_{\text{neoštećena}}$ ukupne površine oštećenih i neoštećenih dijelova slike dobivenih modelom. Time dobivamo novi indeks koji izražava koliko su kućice u uzorku oštećene. Njegove vrijednosti kreću se od 0 (nema oštećenja niti fragmenata) do 1 (samo fragmenti i/ili potpuno oštećene kućice). Glavna odlika ovog indeksa je fleksibilnost jer u obzir uzima i promjene na kućicama koje su rezultirale fragmentacijom kućice poput klasičnog fragmentacijskog indeksa, ali i ostala manja oštećenja na cjelovitim kućicama poput napuklih klijetaka ili abradirane površine.

Ovaj indeks i za njega razvijeni model strojnog učenja nose neka ograničenja i preduvjete koje materijal mora zadovoljiti:

1. Uzorak mora biti temeljito očišćen. Zaostala glina ili kalcit na površini kućica imaju visoku refleksiju što model u svojoj trenutnoj inačici ne razlikuje od oštećenih površina. Uz to indeks je posebno osjetljiv na bilo kakva oštećenja kućica nastala naknadno tijekom obrade materijala i priprema za analize što treba imati na umu prilikom interpretacije njegovih rezultata.
2. Iz količine uzorka koja se fotografira potrebno je odstraniti sve čestice koje nisu kućice foraminifera ili njihovi fragmenti što u fosilnom materijalu uključuje ostatke drugih mikro i makroorganizama, neotopljene fragmente stijene i mineralna zrna. S istim problemom susreli su se Suárez-Ibarra i sur. (2021) prilikom razvoja FI indeksa pa je i ovdje preuzeta njihova metoda pripreme ručnim izdvajanjem kućica i fragmenata. Ovaj problem potencijalno bi se mogao otkloniti unaprjeđenjem modela klasifikacije uvođenjem novih kategorija kojima bi se pokrila čitava raznolikost čestica u fosilnom materijalu, no izrada takvog modela zahtijevala bi eksponencijalno veće memorijske resurse.

Model je testiran na istom setu mikrofotografija materijala uzorka Viganj VI 3 za koje su izračunati Fragmentacijski indeks i FV indeks, kako bi dobivene vrijednosti sva tri indeksa bile usporedive.

4.7 - Morfometrijske metode

Ovaj set metoda pod jednim nazivom okuplja različite postupke prikupljanja podataka o veličini, obliku i ostalim morfološkim karakteristikama kućica planktonskih foraminifera. Glavni i najjednostavniji parametar koji se može izmjeriti je veličina same kućice, bilo kroz njezin promjer (minimalni ili maksimalni), opseg ili površinu. Poznato je da veličina kućica planktonskih foraminifera pozitivno korelira s temperaturom mora (Bé i sur. 1973; 1977; Bijma i sur., 1990; Schmidt i sur., 2004), a ovo pravilo primjenjivo je i na paleogenske vrste. Analize promjena u veličini kućica pojedinih vrsta već su pokazale uspjeh u praćenju značajnih klimatskih događaja paleogena poput ranoeocenskog klimatskog optimuma (Luciani i sur. 2021) i prijelaza iz eocena u oligocen (Wade i Pearson, 2008).

Oblik kućice (zaobljeniji–plosnatiji) ima utjecaj na sposobnost plutanja kućice (Caromel i sur., 2014) pa njegove promjene mogu pratiti gustoću vode kako se ona mijenja s porastom temperature, dubine i saliniteta. Oblik kućice može se različito aproksimirati primjerice iz omjera njezinih dimenzija (širina, visina), preko izduženosti elipse koja opisuje kućicu ili pomoću odnosa opsega i površine dijela kućice vidljivog u odabranom položaju.

Površina stijenke može biti više ili manje porozna. Uz ranije navedenu evolucijsku varijaciju u porozitetu (makro, medio i mikro-perforatne stijenke), čak i među jedinkama iste vrste postoje razlike u veličini i gustoći pora. Rast poroziteta kod pora kod planktonskih foraminifera veže se uz porast temperature mora (Bé, 1968; Slika 4.6), no predloženi su i drugi uzroci varijacije poroziteta poput metaboličkih potreba (Burke i sur., 2018) ili promjene gustoće kućice (Zarkogianis i sur., 2019). Mogu se mjeriti veličina pora, njihov broj po jedinici površine te porozitet stijenke. Zbog dimenzija pora koje su reda do nekoliko mikrometara, njihove dimenzije mjere se iz snimaka kućica napravljenih pomoću skenirajućeg elektronskog mikroskopa.

4.7.1 - Priprema kućica za mjerenja

Kako bi rezultati mjerenja bili statistički relevantni potrebno je odabrati reprezentativan broj kućica. Kučera (2007) predložio je da je za planktonske foraminifere dovoljno izdvojiti 50 kućica da bi se zadovoljavajuće pokrila morfološka varijabilnost populacije. Da bi se ciljano izolirao taj broj kućica, korišteni su podaci iz taksonomske analize na standardiziranom poduzorku. Temeljem broja traženih kućica u standardu od ~300 jedinki i broja dijeljenja uzorka prilikom standardizacije izračunata je količina uzorka koja sadrži oko 50 kućica. Uzorak je podijeljen mikrospliterom i ravnomjerno prebačen na pliticu za mikroskopiranje s iscrtanom mrežom koja ju dijeli na 45 (9 X 5) polja oblika kvadrata. Pomoću generatora nasumičnih brojeva stvoren je redoslijed kojim će se polja pregledavati. Korišten je online generator (www.random.org) na datum 30. 1. 2023. Plitica je potom pregledana i izolirane su sve kućice tražene vrste. Ako je na kraju pregleda plitice njihov broj bio manji od 50, standardizirana je nova, volumenom ista, količina uzorka i pregledana gore opisanom metodom sve dok nije izolirano 50 kućica.

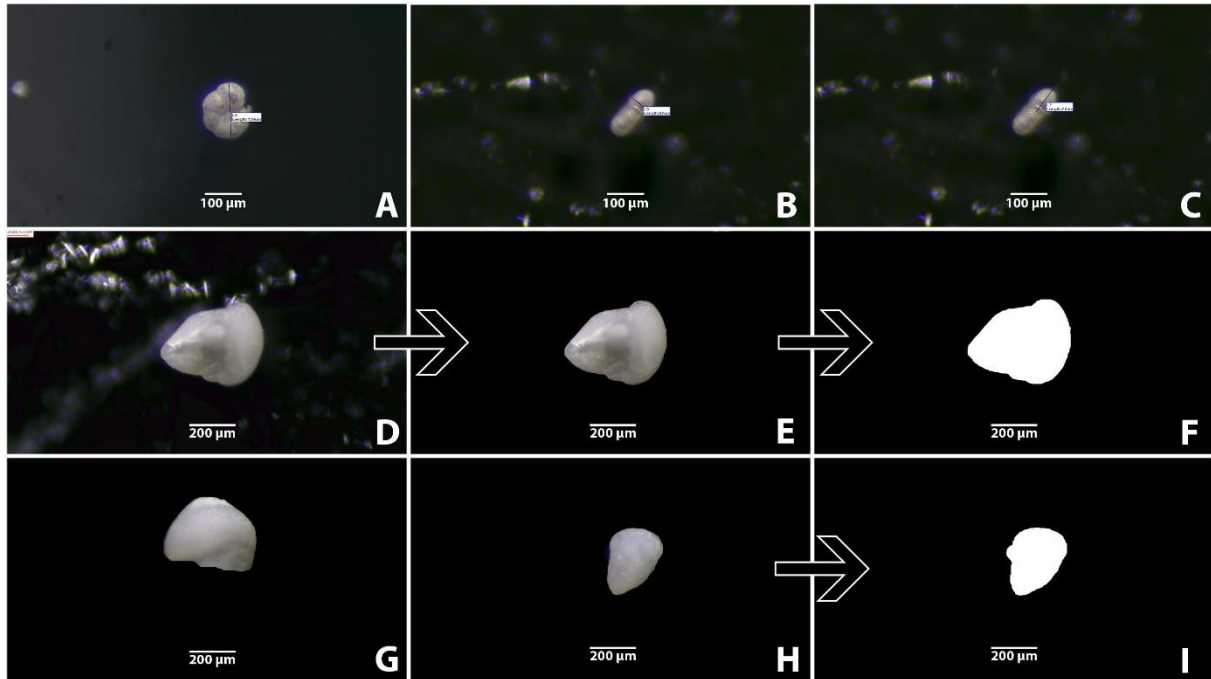
Odabir vrsta kojima će se mjeriti dimenzije kućica napravljen je po sljedećim kriterijima:

1. Vrsta je prisutna u naslagama u kontinuitetu i dobroj zastupljenosti (>5 % relativnog udjela)
2. Vrsta je zanimljiva zbog ranije poznatih morfoloških promjena
3. Postoji barem jedan rad u literaturi posvećen morfologiji odabrane vrste, prema kojemu se mogu odabrati i/ili proširiti dimenzije koje će biti mjerene.

Iz naslaga lokaliteta na Hvaru izabrana je vrsta *Pseudohastigerina micra*. Ova vrsta je brojna i prisutna u svim uzorcima koji sadrže foraminifere. Zanimljiva je zato što je poznato da je na prijelazu iz eocena u oligocen došlo do značajnog smanjenja veličina kućica ove vrste (Cordey i sur., 1970; Hernitz Kučenjak, 2012; Wade i Olsson, 2009). Mjerenjem njihovih kućica želi se utvrditi postoje li slične promjene i ranije, tijekom eocena. Morfometriju ove vrste u sklopu njezina filogenetskog položaja s jasno definiranim parametrima radili su Cordey i sur. (1970) i Coxall i sur. (2003).

Vrsta *Turborotalia cerroazulensis* prisutna je u svim uzorcima lokaliteta Pelješca i područja Slanog. Opisane su promjene u morfologiji ove vrste tijekom eocena (Pearson i Ezard, 2014), a dodatno je zanimljivo da se radi o vrsti koja je izumrla na prijelazu u oligocen. Vrsta je stoga odabrana kako bi se istražilo prethode li morfološke promjene njezinom izumiranju i ako da, kakve su ove.

U slučaju vrste *P. micra* izolirane su samo kućice te vrste, dok su za morfometrijsku analizu vrste *T. cerroazulensis* izvađene i sve kućice koje su pripadale ostalim vrstama iz njezinog evolucijskog niza (*Turborotalia pomeroli*, *T. cocoaensis* i *T. cunialensis*). Kućice koje su na površini imale zaostale tragove gline ili karbonata, dodatno su čišćene ultrazvukom u trajanju od 15 sekundi prema ranije opisanom postupku.



Slika 4.12: Pojednostavljeni prikaz procesa pripreme mikrofotografija i mjerenja. Ručno mjerenje dimenzija vrste *Pseudohastigerina micra*: promjer (A); širina najmlađe klijetke (B); visina najmlađe klijetke. Automatizirana priprema mikrofotografije kućice *Turborotalia cerroazulensis* za automatska mjerenja (D–F). Moguće pogreške prilikom automatizirane obrade: kućica nije u cijelosti prepoznata (G); kućica nije u potpunosti izolirana od pozadine u blizini ušća (H) i nakon konverzije taj dio pozadine interpretiran je kao dio kućice (I).

4.7.2 - Izrada mikrofotografija

Kako bi se dobila što točnija mjerenja trebalo je odabrati orijentacije u kojima će kućice biti fotografirane. Zbog lakše i brže izrade mikrofotografija kućica u željenom položaju one su pričvršćene za ravnu, crnu plastičnu podlogu pomoću dvostruko ljepljive trake. Svojstva ove trake (slabo, ali gusto ljepilo) omogućavaju lako postavljanje, uklanjanje i rukovanje kućicama uz pomoć iglice, što umanjuje vjerojatnost da će one biti oštećene tijekom orijentacije u željeni položaj. Negativno svojstvo trake je njezin visok odsjaj, što umanjuje

kontrast. Da bi sve mikrofotografije bile ujednačene svjetline, ovaj efekt otklonjen je kasnije tijekom računalne obrade mikrofotografija.

Sve kućice su fotografirane pojedinačno, pri istom povećanju, koje je za vrstu *P. micra* bilo 90 X, a za kućice *Turborotalia* 60 X. Kućice su fotografirane u reflektiranom svjetlu kamerom *Euromex HD-Ultra* pričvršćenom pomoću 0,5 X C-adaptera na stereoskopsku lupu *Euromex NexiusZoom EVO*. Kako bi se dobila ciljana povećanja, na objektiv lupe postavljena je pomoćna leća uvećanja 2 X. Kućice su postavljane u središte kadra (Slika 4.12) kako bi se postigla najveća moguća oštrina. Prethodno fotografiranju izmjereno je odstupanje duljina zbog debljine podloge i ljepljive trake na koju su kućice montirane te je prividno povećanje horizontalnih dimenzija iznosilo oko 1 μm . Ovo odstupanje uračunato je prilikom kalibracije mjerila u kasnijim procesima obrade mikrofotografija. Postavke ekspozicije (dužina, pojačanje signala) bile su jednake za sve mikrofotografije, a količina svjetlosti je kontrolirana smanjivanjem ili pojačavanjem intenziteta reflektiranog svjetla ugrađenog u lupu. Nakon fotografiranja, kućice su prebačene u Franke-ove ćelije i pohranjene u Geološko-paleontološkom zavodu u Zagrebu.

4.7.3 - Mjerenja kućica planktonskih foraminifera

Kako bi se mogla dobiti automatska mjerenja veličina kućica, mikrofotografije je trebalo pojednostavniti odnosno pretvoriti u oblik bijelih silueta na crnoj pozadini koji program može lako i konzistentno prepoznati. Prvi korak je uklanjanje pozadine na kojoj je kućica slikana. Iako je podloga na kojoj su kućice slikane tamna, reljef i odsjaj ljepljive trake pomoću koje su one pričvršćene za nju mogu biti pogrešno interpretirani kao dijelovi kućice ili kao zasebni objekti. Da bi se to izbjeglo korištena je jednostavna automatizirana *macro* skripta u programu *Adobe Photoshop* verzija 14, a sastojala se od sljedećih koraka:

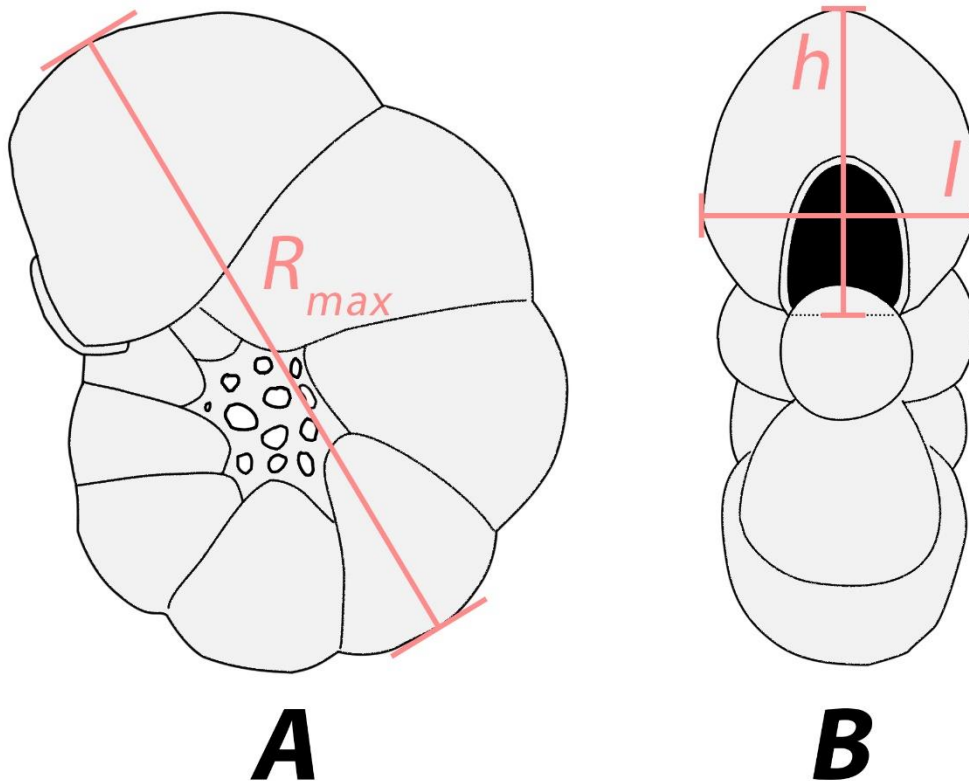
1. Odabir svega što nije objekt u sredini pomoću *quick selection* i *inverse selection* naredbi
2. Zamjena pozadine jednobojsnom (crnom)
3. Pohrana slike u .png formatu

Sve slike su pregledane i eventualne pogreške prilikom detekcije obrisa kućice ručno ispravljene unutar programa. Daljnja obrada, kao i konačna automatska mjerenja, odrađeni su

pomoću programa *ImageJ*. Za te potrebe napisana je automatska skripta koja se pojednostavljeno sastojala od sljedećih koraka:

1. Pojednostavljenje slike pretvorbom u 8-bitni monokromatski (crno-bijeli) format
2. Konverzija mjerila iz piksela u mikrometre
3. Pretvaranje svijetlih dijelova slike (kućica foraminifere) pomoću naredbe *threshold* u potpuno bijelu siluetu kućice
4. Pomoću naredbe *analyze particles* mjerenje svih objekata većih od $1000 \mu\text{m}^2$, kako bi se iz mjerenja izuzeli eventualni zaostali artefakti detekcije
5. Pohrana rezultata mjerenja u tablicu

Mjerenja kućica vrste *P. micra* obavljena su djelomično uz pomoć programa *ImageJ* (Collins, 2007) s instaliranim *Fiji* paketom proširenja (Schindelin i sur., 2012). Kako se radi o planispiralnoj kućici, simetričnoj s obje strane (Slika 4.13), kućice su fotografirane samo s jedne strane, bez preferiranja orijentacije (Slika 4.12). Iz mikrofotografije u ovom položaju program je jednostavno mogao izmjeriti maksimalni promjer kućice (Slika 4.12 A). Preostala svojstva mjerena su iz mikrofotografija u bočnom položaju kućice (Slika 4.13), u kojem su jasno vidljivi najmlađa klijetka i ušće koje je kod ove vrste interiomarginalno (Slika 4.12 B, C). Budući da su kućice često bile rekristalizirane, kontrast među pojedinim klijetkama bio je nizak. To je sprječavalo program da pouzdano izdvoji i potom izmjeri najmlađu klijetku. Iz tog razloga širina i visina najmlađe klijetke mjerene su ručno, tijekom snimanja mikrofotografija, pomoću alata ugrađenih u *software* kamere. Za mjeru širine najmlađe klijetke odabran je raspon na njezinom najširem dijelu paralelan s osi namatanja. Za mjeru koja predstavlja njezinu visinu mjerena je dužina od sredine baze ušća do vanjskog ruba kućice (Slika 4.12 B, C). U slučaju primjeraka kod kojih je najmlađa klijetka bila smanjena (*kummerform* kućica; Berger, 1969) mjerene su dimenzije predzadnje klijetke.



Slika 4.13: Skice kućice *P. micra* (prema jedinki iz uzorka Zračice ZAR 5) u spiralnom (A) i bočnom (B) položaju. Crvene linije prikazuju mjerene dimenzije: Najveći promjer (R_{max}); širina najmlađe klijetke (l); visina najmlađe klijetke (h).

Iz ovih podataka izračunat je još i stupanj kompresije (plosnatosti) kućice. Plosnatije kućice imaju veći omjer površine i volumena, što utječe na sposobnost plutanja kućice (Caromel i sur., 2016). Za računanje stupnja kompresije jedinki roda *Pseudohastigerina*, Cordey i sur. (1970) razvili su jednostavnu formulu. Ona koristi promjer kućice i širinu najmlađe klijetke kao mjeru najveće širine kućice (idući od starijih prema mlađima volumen klijetaka vrste *P. micra* se povećava, stoga je kućica najšira na najmlađoj klijetki). Kako bi rast vrijednosti ovog indeksa odgovarao povećanju kompresije kućice formula je ovdje prilagođena tako što je uzeta njegova komplementarna vrijednost. Konačna formula glasi:

$$\text{Stupanj kompresije} = 1 - \frac{\text{Širina najmlađe klijetke}}{\text{Promjer kućice}}$$

Uz ove mjere za svaku kućicu zabilježene su i opisne morfološke karakteristike. One uključuju broj klijetaka u zadnjem zavoju, pojavu aberantnih oblika kućice, pojavu kućica

koje imaju podijeljeno, dvostruko ušće što je karakteristično za neke primjerke ove vrste (Olsson i Hemleben 2006) te jedinke kod kojih je zadnja, najmlađa, klijetka veličinom manja ili jednaka predzadnjoj (omjer *normalform* i *kummerform* kućica).

Dok je tekstura stijenke jako podložna promjenama tijekom cementacije i dijageneze (Sexton i sur. 2006), dimenzije kućice lakše će se sačuvati u svojem izvornom obliku. Stupanj komprimiranosti i oblik rubnog dijela kućice najbolje su vidljivi kad se ona postavi na bok i to je standardna praksa mikropaleontologa prilikom određivanja vrsta iz ovog roda (Slika 4.14). Iz tog razloga sve kućice su fotografirane u bočnoj orijentaciji (Slika 4.12 D). Kao i kod kućica vrste *P. micra*, bilježene su učestalosti pojava aberantnih kućica i *kummerform* kućica. Budući da kod trohospiralnih kućica razlikujemo dvije strane, umbilikalnu i spiralnu, moguća su i dva smjera namatanja odnosno rasta, što je također zabilježeno i izraženo kroz relativnu brojnost *Turborotalia* s lijevim smjerom namatanja.

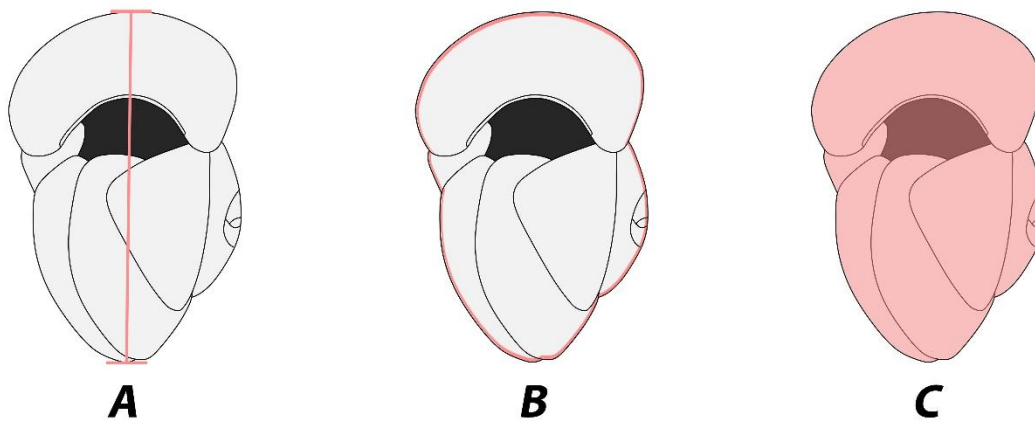
Program *ImageJ* može brzo izmjeriti nekoliko korisnih parametara kućice (Slika 4.12), od kojih su za ovo istraživanje izabrani:

1. Najveći i najmanji promjer kućice. Program vrijednosti promjera dobiva tako da svakom objektu opiše elipsu koja mu najbolje pristaje (*best fit*) i mjeri duljine njezine kraće i dulje osi. U slučaju kućice fotografirane u bočnom položaju, relevantna je samo mjera maksimalne osi opisane elipse i ona odgovara najvećem promjeru kućice.
2. Površina vidljivog dijela kućice
3. Zaobljenost, izračunata prema formuli:

$$4\pi * \text{površina} / \text{opseg}^2$$

Ova formula je inverzna standardnoj pa se njezine vrijednosti kreću od 0 do 1 što je vanjski obris objekta bliži kružnici. Budući da su kućice fotografirane gledano na njihovu bočnu stranu (Slike 4.12, 4.14) povećanje zaobljenosti odgovarat će smanjenju kompresije kućice i obrnuto.

Kako bi se provjerila statistička relevantnost svih prikupljenih mjerenja izračunati su 95 %-tni intervali pouzdanosti za svako od njih.



Slika 4.14: Skice kućice vrste *T. cerroazulensis* (prema jedinki iz uzorka Slano SL 2) u bočnom položaju. Crvenom bojom prikazane su mjerene dimenzije: najveći promjer (A); opseg vidljivog dijela kućice (korišten samo pri izračunu zaobljenosti) (B); površina vidljivog dijela kućice (C).

4.7.4 - Skenirajući elektronski mikroskop

Odabrane kućice planktonskih foraminifera izdvojene su za izradu snimaka pomoću skenirajućeg elektronskog mikroskopa (SEM). Za morfološku i taksonomsku ilustraciju zajednice birani su dobro očuvani primjerci na kojima su dobro vidljivi građa kućice i tekstura stijenke, odnosno taksonomski bitna svojstva. Jedinke su odabrane među primjercima ranije izoliranim tijekom taksonomske analize i morfometrije.

Kriteriji odabira kućica vrste *P. micra* za snimanje su postavljeni tako da pokriju dio morfoloških varijacija ove vrste (prvenstveno u veličini kućica) te da uključe karakteristične jedinke iz uzoraka gdje su rezultati morfometrije pokazali promjene u njihovim kućicama.

Za morfometrijsku analizu kućica vrste *T. cerroazulensis* izabrano je 25 kućica, po pet kućica iz pet uzoraka (Slano-Čepikuće SL 5, ČEP 2; Trstenica TR4; Viganj VG 0D i Podobuče PDČ 2).

Za oba seta kućica procedura pripreme je bila ista. Kućice su nakon izdvajanja stavljene u zatvorene staklene posudice napunjene demineraliziranom vodom i podvrgnute čišćenju pomoću ultrazvuka u trajanju 60 sekundi. Kućice su potom osušene i fiksirane za nosač za SEM analizu pomoću dvostruko ljepljive trake. Ovisno o morfološkom svojstvu koje se željelo naglasiti kućice vrste *P. micra* orijentirane su tako da im je vidljiva spiralna strana (za

prikaz promjera, oblika i broja klijetaka u najmlađem zavoju) ili bočna strana (za ilustraciju širine kućice i detalja ušća)

Kućice vrste *T. cerroazulensis* su orijentirane tako da im je vidljiva umbilikalna strana. Ova orijentacija daje dobar kompromis u broju vidljivih ključnih morfoloških svojstava jer je vidljiva najveća površina stijenke, ušće i dodatne modifikacije poput kobilice i smanjene najmlađe klijetke. Neprekinuti dijelovi vidljive stijenke koje ova orijentacija omogućuje također povećavaju točnost analize stijenke pomoću računalnog prepoznavanja veličine i gustoće pora.

Kućice planktonskih foraminifera s područja Hvara snimane su na SEM uređaju JEOL JSM-6510LV u prostorima tvrtke INA - Industrija nafte d.d.

Snimanje kućica s područja Pelješca i okolice napravljeno je u prostorima Hrvatskog geološkog instituta pomoću u modela SEM uređaja JEOL JSM-35 CF.

4.7.5 - Automatizirano prepoznavanje i mjerenje pora

Za automatizirano mjerenje gustoće i veličine pora na kućicama *T. cerroazulensis* SEM snimci pripremljeni su tako da je iz njih izrezana površina dimenzija 30 X 30 μm . Za *normalform* jedinke površina je uzeta iz središnjeg dijela najmlađe klijetke, a za *kummerform* jedinke korištena je ekvivalentna površina prethodne, najveće, klijetke. Biran je dio površine što je moguće bliže okomitom položaju u odnosu na objektiv kako bi se umanjile pogreške mjerenja. 5 segmenata korišteno je za trening modela raspoznavanja pora prema proceduri opisanoj u pot-poglavlju 3.4.3 za mjerenje čitavih kućica. Model je potom pokrenut na cijelom setu od 25 segmenata stijenki kućica kako bi izbrojao pore i izmjerio njihovu veličinu. Pore koje su odrezane rubovima snimka nisu razmatrane u daljnjoj analizi.

Za svaki snimak (jedinku) model je izmjerio površinu koju one zauzimaju i njihov maksimalni promjer, iz kojih su izračunate njihove prosječne vrijednosti. Broj pora je standardiziran na površinu od 1000 μm^2 .

4.8 - Korelacije taksonomskih značajki i morfometrijskih izmjera

Za korelaciju podataka taksonomske i morfometrijske analize, kao i za međusobnu korelaciju parametara izmjerenih morfometrijskom analizom, korišten je Pearson-ov koeficijent korelacije. Za primjenu ovog koeficijenta idealno je koristiti set podataka od minimalno 30 mjerenja po uzorku, a ti podaci moraju imati normalnu distribuciju. Prvi uvjet zadovoljen je odabirom 50 jedinki za mjerenje po uzorku, a drugi uvjet je testiran za svaki uzorak pomoću χ^2 (hi-kvadrat) testa. Ova provjera odrađena je u statističkom programu *Past*, dok su izračuni Pearson-ovog koeficijenta napravljeni u programskom okruženju *R* (R core team, 2021) uz programsko sučelje *RStudio* (RStudio team, 2020).

Vrijednosti Pearson-ova koeficijenta korelacije mogu imati raspon od -1 do 1. Ako je vrijednost 1 ona označava savršenu pozitivnu korelaciju između dva parametra pri kojoj rast jednog prati podjednak rast drugog. Negativne vrijednosti koeficijenta označavaju negativne korelacije gdje rast vrijednosti jednog parametra prati smanjenje vrijednosti drugog i obrnuto.

Kako bi se lakše kvalitativno interpretirale, vrijednosti Pearson-ovog koeficijenta kategorizirane su u rasponske skupine prema radu Evans (1996).

Moguće je da vrijednosti koeficijenta ukazuju na visoku pozitivnu ili negativnu korelaciju, ali da ona nije statistički relevantna, što se ne može vidjeti samo analizom distribucije. Iz tog razloga rezultate je potrebno ispitati dodatnom metodom statističke provjere. Uz Pearson-ov koeficijent obično se koristi metoda izračuna p-vrijednosti. Ova metoda uspoređuje vrijednosti dva parametra i izračunava kolika je vjerojatnost da bi takvu distribuciju dobili u slučaju da je točna nul-hipoteza, odnosno kad među parametrima ne bi postojala nikakva korelacija. P-vrijednosti kreću se između 0 i 1, a što je vrijednost niža to je korelacija statistički relevantnija. Odabir granice p-vrijednosti iznad koje se podaci proglašavaju statistički nepouzdanima je proizvoljan i bira se prema zahtjevima istraživanja. Za ovo istraživanje odabrana je najčešće korištena vrijednost pri kojoj su rezultati kod koje prati p-vrijednost $<0,05$ relevantni. P-vrijednosti manje od 0,05 označavaju najmanje 95 %-tnu vjerojatnost da dobiveni rezultati ne bi mogli nastati ako je nul-hipoteza točna i kad ne postoji korelacija među ispitanim parametrima.

Za korelacijsku analizu promjena u zajednicama kroz vrijeme međusobno su korelirani podaci o relativnim udjelima najčešćih rodova planktonskih foraminifera za pojedine stupove (Podstine, Zračće, Slano-Čepikuće i Trstenica). Ovom metodom mogu se dobiti kvantificirani podaci o odnosima u zajednici kroz stup i njegov stratigrafski raspon. Korištenje podataka na razini roda umanjuje utjecaj pogrešaka prilikom taksonomske identifikacije i grupira podatke

u manji broj kategorija koje je jednostavnije interpretirati. Kada se analiziraju podaci niske rezolucije kao što je to slučaj stupa s manjim brojem uzoraka, statistička pouzdanost je puno nesigurnija (broj mjerenja jednak je broju uzoraka) i rezultati korelacije relativnih udjela planktonskih foraminifera bit će osjetljivi samo na značajne pojave korelacije.

Kod vrste *P. micra* korelirani su parametri najvećeg promjera i površine kućice, broj klijetaka u najmlađem zavoju, stupanj komprimiranosti kućice i prisustvo bipartitnog ušća. Pet morfoloških parametara kućice (najveći promjer, površina, koeficijent zaobljenosti, smjer namatanja i prisustvo *kummerform* klijetke) odabrano je za korelaciju kućica vrste *T. cerroazulensis*.

5. - Rezultati

5.1 - Biostratigrafija

Od 57 prikupljenih i obrađenih uzoraka većina (njih 37) sadrži kućice planktonskih foraminifera, što je omogućilo definiranje vremenskog okvira u kojem su taloženi, primjenom zonacije pomoću planktonskih foraminifera. Planktonske foraminifere su bile prisutne u naslagama svih lokaliteta i stupova, s iznimkom izdanka „Čepikuće II“. Niti jedan od tamo prikupljenih uzoraka (TRS 1–17) ne sadrži mikrofosile. Ukupan raspon starosti uzorkovanih lapora je između 40 i 32 milijuna godina, od gornjeg bartona u eocenu do donjeg rupela u oligocenu, no uzorcima nisu pokrivene naslage čitavog raspona.

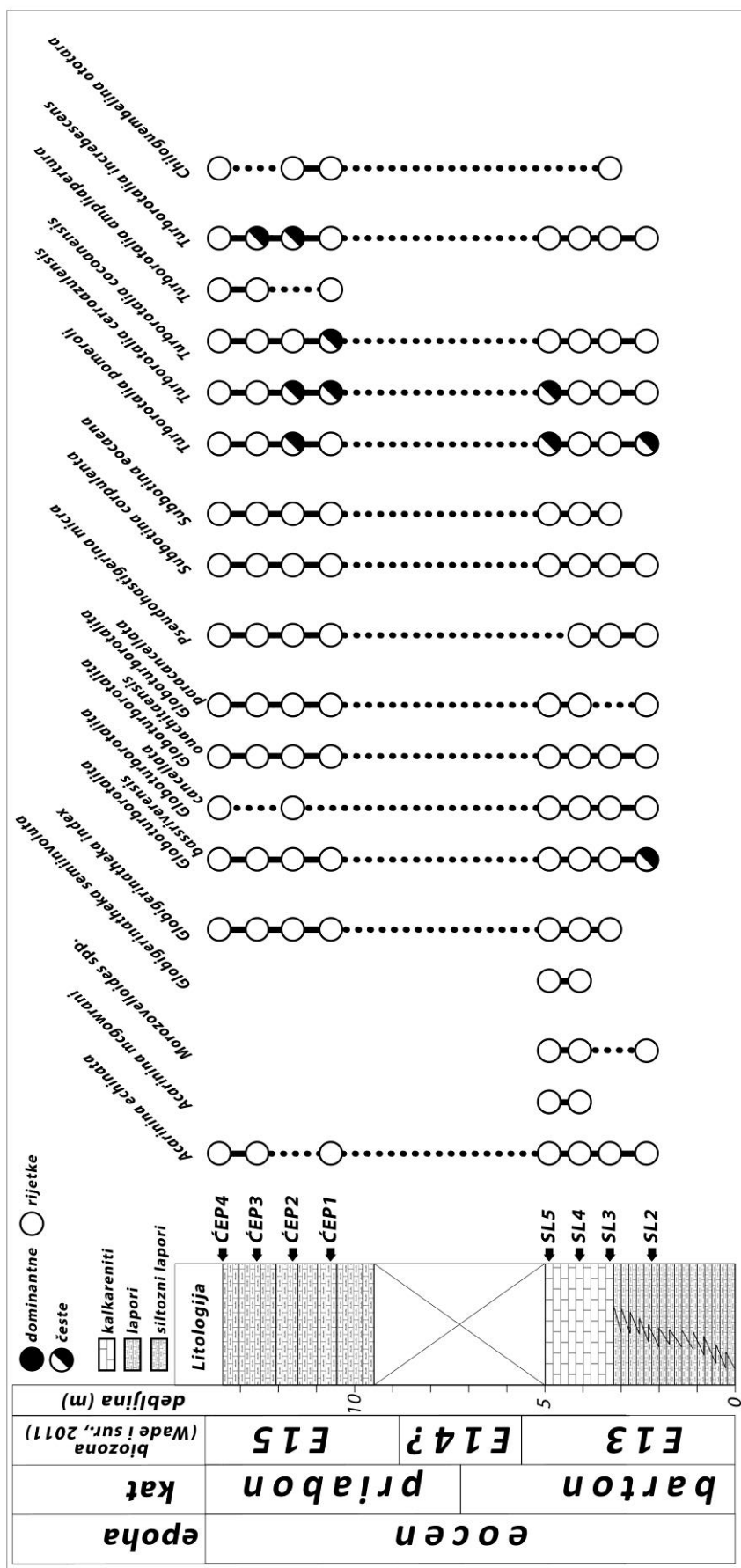
Najstarije uzorkovane naslage su one prikupljene kod mjesta Slano. One odgovaraju bartonskoj biozoni E13, zoni najviše pojave vrste *Morozovelloides crassatus* te priabonskoj biozoni E15, zoni najviše pojave vrste *Globigerinatheka index*. Vremenski raspon taloženju ovih naslaga je 40–34,3 milijuna godina. Taloženje naslaga prikupljenih na Pelješcu odvijalo se od kasnog eocena do ranog oligocena, u rasponu od 35,9–32 milijuna godina. Uz biozonu E15 *Globigerinatheka index*, prepoznate su još biozona E16, zona najviše pojave vrste *Hantkenina alabamensis* i O1, zona najviše pojave vrste *Pseudohastigerina nagewichiwenensis*. Na otoku Hvaru otkrivene su naslage taložene tijekom priabona. Zajednice planktonskih foraminifera odgovaraju dvjema zonama: E15 *Globigerinatheka index* i E16 *Hantkenina alabamensis*. Vremenski raspon koji obuhvaća te dvije biozone je od 35,8–33,7 milijuna godina i to je maksimalni vremenski okvir taloženju naslaga.

5.1.1 - Kompozitni stup Slano-Čepikuće (Biozone E13 (gornji dio)–E15 (donji dio); barton–priabon)

Najstariji dio naslaga (Slika 5.1), ukupne debljine oko 5 m (uzorci označeni kao SL 2–5), sadrži mnogobrojne ostatke planktonskih foraminifera srednjeg eocena iz rodova *Globigerinatheka*, *Acarinina* i *Turborotalia* (posebice iz evolucijskog niza vrste *T. cerroazulensis*). Vrlo su brojne i česte manje Globigerinidae iz roda *Globoturborotalita* (*G. bassriverensis*, *G. martini*, *G. ouachitaensis*, *G. eolabiacrassata*, *G. paracancellata* i *G. cancellata*). Veći broj ovih vrsta su relativno nedavno opisane (Spezzaferri i sur., 2018) pa njihovi stratigrafski rasponi još nisu precizno utvrđeni. Biozona kojoj odgovara zajednica je E13, određena rasponom između najviše pojave vrste *Orbulinoides beckmanni* i najviše

pojave vrste *Morozovelloides crassatus*. *O. beckmanni* nije pronađen unatoč dobroj zastupljenosti srodnih sferičnih vrsta *G. semiinvoluta* i *G. index*. Vrsta *M. crassatus* je u zajednici vrlo rijedak pa njegov nestanak treba interpretirati s oprezom. Za gornju granicu biozone značajno je što uz njega izumiru i sve ostale „velike murikatne“ vrste. U istraživanim naslagama kao sekundarni marker poslužila je jedna takva vrsta, *Acarinina mcgowrani*. Uz njih određena je i malena (promjer kućice <250 µm) vrsta iz iste porodice, *Planorotalites capdevilensis*, također karakteristična za ovu biozonu. Preciziranje položaja donje granice biozone u naslagama omogućeno je prisustvom pripadnika vrste *T. cocoaensis*. Prva pojava ove vrste je geokronološki datirana na lokalitetu stratotipa granice eocen/oligocen u Massignanu u Italiji na gornji dio biozone E13 (Coccioni i sur. 1988). Prema tome donji dio stupa Slano-Čepikuće (Slika 5.1) odgovara gornjem bartonu, od gornjeg dijela biozone E13 *M. crassatus* do njezina kraja, a koji nije zabilježen na terenu zbog pokrivenosti naslaga (Slika 4.1 D).

Uzorci iz gornjeg djela stupa (oznaka ČEP 1–4, Slika 5.1) sadrže zajednicu u kojoj nema dominacije pojedinih vrsta. Na razini rodova dominiraju predstavnici porodice Globigerinidae, *Globoturborotalita*, *Dentoglobigerina* i *Subbotina*. Jedini predstavnici murikatnih vrsta su *Acarinina collactea*, *A. echinata* i *A. medizai*, koje se sve smatraju „malim“ predstavnicama roda širokog stratigrafskog raspona (Wade i Hertz Kučenjak, 2018). Nestanak svih „velikih“ murikatnih planktonskih foraminifera, uključujući i vrstu *M. crassatus*, dogodio se na kraju biozone E13, što sugerira da se gornja granica biozone nalazi u prekrivenom dijelu stupa. Naslage gornjeg dijela stupa su određene kao priabonske, biozona E15, zbog izostanka murikatnih vrsta. Biozona E15 je definirana rasponom od najviše pojave *G. semiinvoluta* do najviše pojave *G. index*, koja je prisutna u zajednici. Pripadnost naslaga ovoj biozoni potkrepljuju prve pojave roda *Tenuitella* i vrste *P. naguewichiensis* koji se prema literaturi (Huber i sur., 2006; Olsson i Hemleben, 2006; Pearson i sur., 2018a; Pearson i sur., 2018b) prvi put javljaju tek u biozoni E15. Rod *Turborotalia* i dalje tvori značajan dio foraminiferske zajednice, uz porast relativnog udjela vrsta *T. increbescens* i *T. ampliapertura*, što je također karakteristično za gornji eocen. Gornju granicu starosti naslaga definira prisustvo vrste *T. pomeroli* koja izumire u gornjem dijelu ove biozone (Pearson i sur., 2006b), pa taložene naslage odgovaraju donjem dijelu E15 biozone. U prekrivenom dijelu naslaga vjerojatno se nalazi cijela biozona E14 *Globigerinatheka semiinvoluta*, koja uključuje granicu barton-priabon.



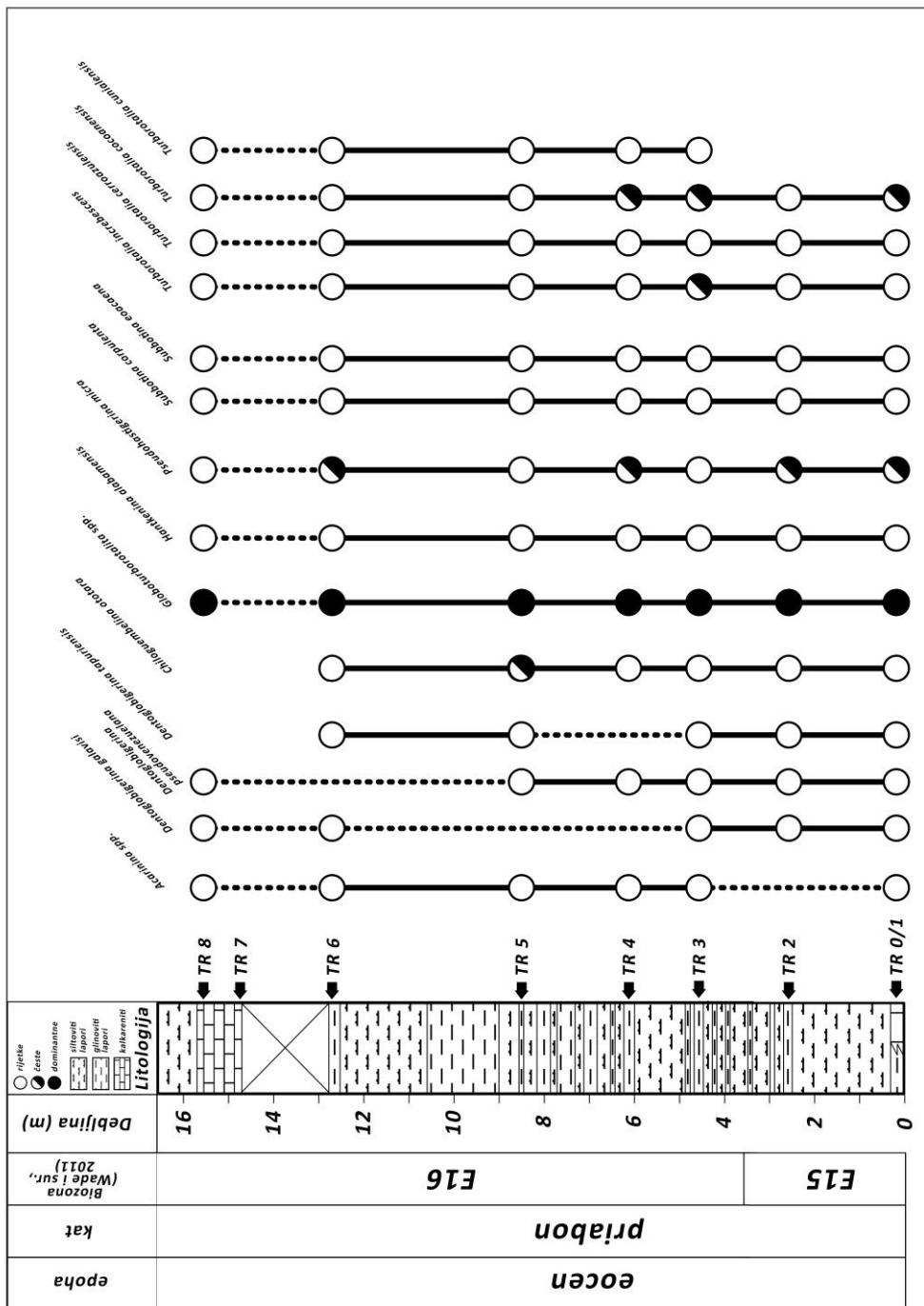
Slika 5.1: Kompozitni geološki stup Slano-Čepikuce s naznačenim pojavama biostratigrafski značajnih i odabranih čestih vrsta. Dominantne vrste su relativne zastupljenosti >10 %, česte vrste 5–10 % i rijetke <5 %.

5.1.2 - Stup Trstenica (Biozone E15 (gornji dio)–E16; priabon)

Analiza zajednice planktonskih foraminifera, kojom dominiraju krupne globigerinide *Dentoglobigerina pseudovenezuelana*, *D. galavisi*, *D. venezuelana*, *D. tapuriensis*, *Subbotina corpulenta*, *S. eocaena* i *S. jacksonensis*, ukazuje na taloženje naslaga tijekom priabona (Slika 5.2). Biostratigrafski najznačajnije vrste iz rodova *Globigerinatheka* i *Hantkenina* su rijetke (Slika 5.2) pa se biostratigrafska odredba temelji na sekundarnim indeks vrstama. To su vrste iz evolucijskog niza *T. cerroazulensis*. Granica između biozona E15 i E16 je pretpostavljena, određena pomoću vrste *T. cunialensis*. Nekoliko jedinki prisutno je u uzorku TR 2, no vrlo su rijetke i možda se radi o prijelaznim oblicima iz vrste *T. cocoaensis* (Slika 5.2). Početak biozone E16 stoga je poklapa se s uzorkom TR 3, gdje brojnost *T. cunialensis* prelazi 1 % relativnog udjela u zajednici. U mlađim dijelovima stupa primjetan je i porast malih, oportunističkih vrsta kao što je biserijalna *Chiloguembelina ototara*. Uzorak TR 7 na oko 15 m debljine naslaga (Slika 5.2) ne sadrži mikrofosile, čime odudara od ostalih istraženih uzoraka ovog stupa.

5.1.3 - Podobuče (Biozona E16; priabon)

Zajednicom, brojem i raznolikošću dominiraju velike i male globigerinide (Slika 5.3), dok rod *Turborotalia*, s manjim (srednje zastupljenim) udjelom u zajednici (5–10 %), broji pet vrsta. Loše očuvanje kućica kao i nedostatak provodnih vrsta otežali su biostratigrafsku odredbu, no zajednica je slična onoj u mlađem dijelu stupa Trstenica (uzorak TR 3 i oni iznad njega) . U uzorcima PDC 1 i 2 (Slika 5.3) nađena je sekundarni marker, vrsta *T. cunialensis*, iako u malom broju (<4 %), karakteristična za biozonu E16 *Hantkenina alabamensis*. Uzorak PDC 4 se razlikuje od ovih uzoraka po jednom biostratigrafski ključnom detalju. Vrlo je sličnog sastava zajednice uzorcima PDC 1 i 2, no bez vrsta *T. cerroazulensis*, *T. cocoaensis* i *T. cunialensis* (Slika 5.3). Kao sekundarni marker poslužila je veličine kućica vrste *P. micra*. Uzorku PDC 4 pridružena je starost gornjeg priabona, biozone E16 *Hantkenina alabamensis* i potencijalno predstavlja stanje zajednice neposredno pred ulazak u oligocen.



Slika 5.2: Geološki stup Trstenica s naznačenim pojavama biostratigrafski značajnih i odabranih čestih vrsta. Dominantne vrste su relativne zastupljenosti >10 %, česte vrste 5–10 % i rijetke <5 %. Za najdonji horizont prikazani su podaci uzorka TR 1.

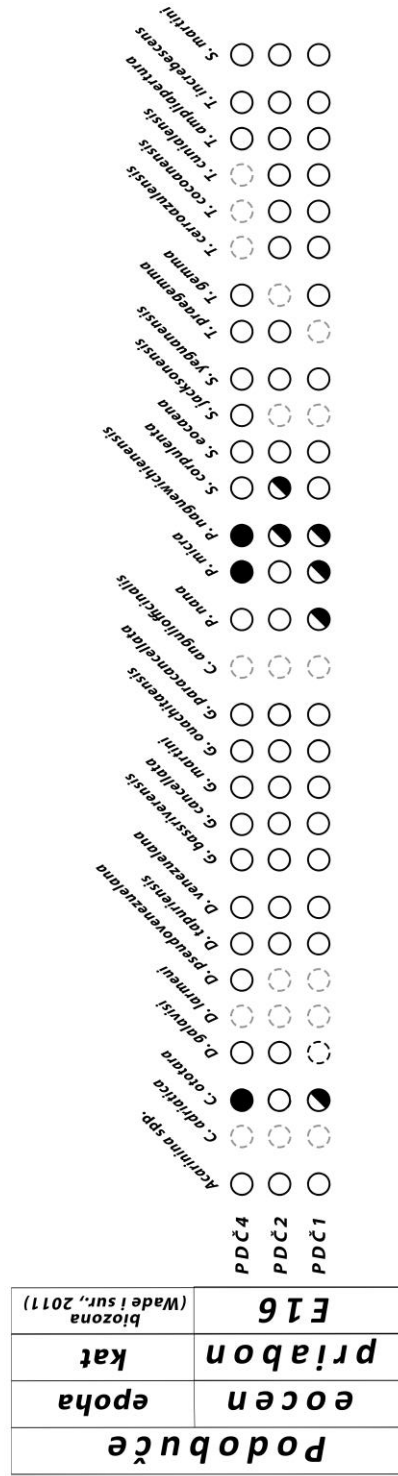
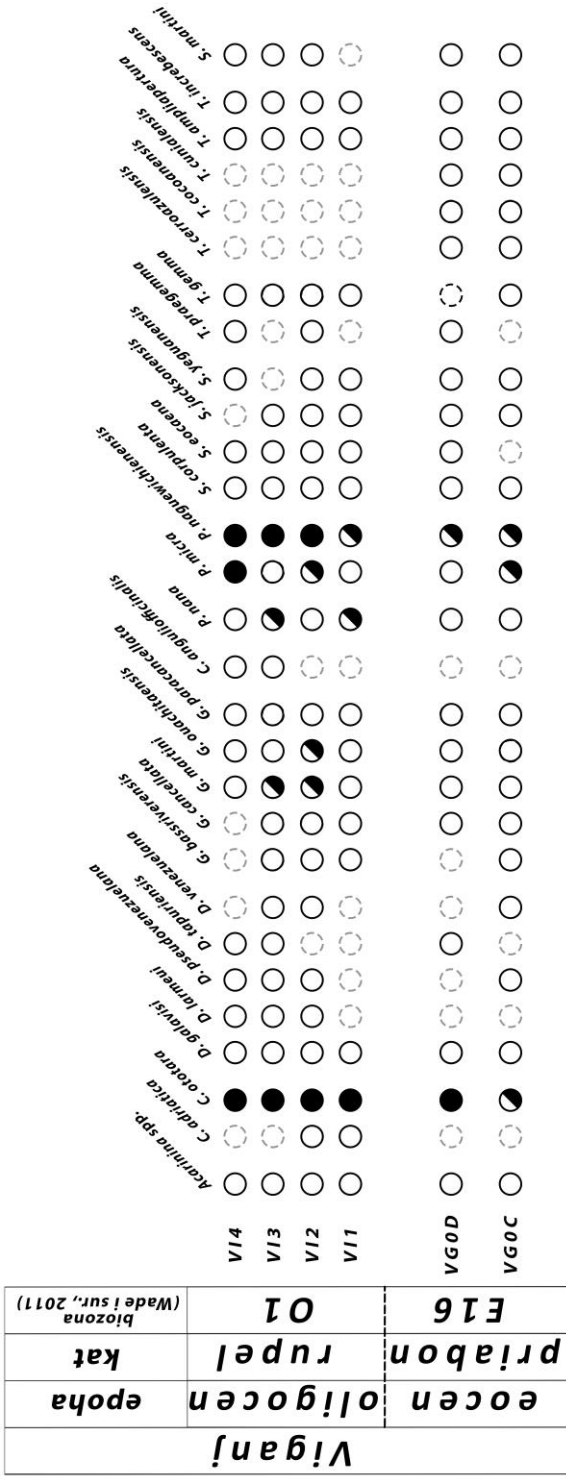
5.1.4 - Viganj (Biozone E16–O1; priabon–rupel)

Na lokalitetu Viganj postoje razlike među izdancima (Slika 5.3).

Uzorci prikupljeni na prvom izdanku (oznake VG 0C i VG 0D). Mikrofosilni sadržaj sličan je između ova dva uzorka. Zajednicu planktonskih foraminifera obilježava obilje velikih i malih globigerinida. Rod *Turborotalia* također je zastupljen (8–10 % relativnog udjela), a prisustvo vrste vrlo uskog stratigrafskog raspona, *T. cunialensis* (unutar biozone E16), ukazuje na taloženje unutar biozone E16 *Hantkenina alabamensis*. Vrste *P. naguewichiensis* i *Tenuitella* spp. su prisutne, što dodatno potkrepljuje gornjoeocensku odredbu starosti. Kao i kod naslaga biozone E16 s drugih lokaliteta, visok je (dominantnan) udio jedinki malih, oportunističkih vrsta iz rodova *Chiloguembelina* i *Pseudohastigerina*.

Drugom setu pripadaju četiri uzorka oznaka VI 1–4 (Slika 5.3). Zajednica se razlikuje od one iz uzoraka „VG“ po nižem udjelu predstavnika roda *Turborotalia* (2–8 %), uz prisustvo samo dvije vrste, *T. increbescens* i *T. ampliapertura*. To su jedine vrste koje su preživjele prijelaz iz eocena u oligocen, a izumiranje potonje je marker gornje granice oligocenske biozone O2.

Indikator taloženja u oligocenu je smanjenje veličine kućica vrste *P. micra*. Mjerenje kućica od uzorka VI 1 pokazuje trend, budući da promjer kućica ne premašuje 125 µm, što je odlika oligocenskih jedinki. Nedostatak *Turborotalia* eocenskog evolucijskog niza *T. cerroazulensis* te vrsta *Paragloborotalia griffinoides* i *S. linaperta*, služe kao dodatna potvrda za pripisivanje oligocenske starosti. U uzorcima je prisutna *P. naguewichiensis*, indeks vrsta za zonu O1, što definira gornju granicu starosti naslaga. Iz gore navedenog proizlazi da su uzorci iz seta „VI“ oligocenske starosti, pripadaju najdonjem rupelu, biozoni O1, zoni najviše pojave vrste *Pseudohastigerina naguewichiensis*.



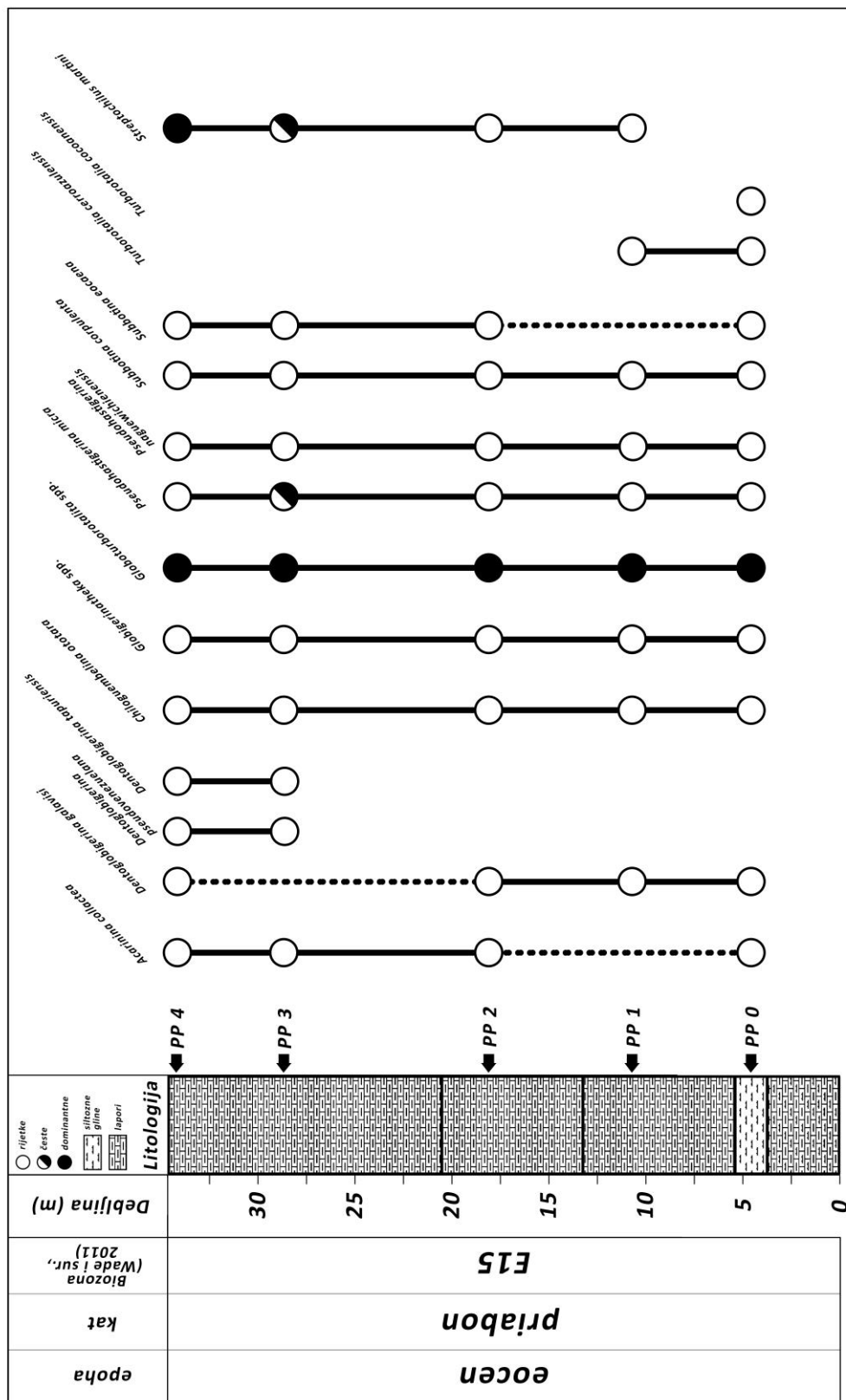
Slika 5.3: Relativna zastupljenost najčešćih vrsta i rodova za lokalitete Viganj (iznad) i Podbuče (ispod). Uzorci su poredani prema relativnim stratigrafskim odnosima unutar pripadajućih biozona. Udaljenosti između uzoraka su simbolične i ne predstavljaju stvarne odnose na izdancima.

5.1.5 - Stup Podstine (Biozona E15 (donji dio; priabon))

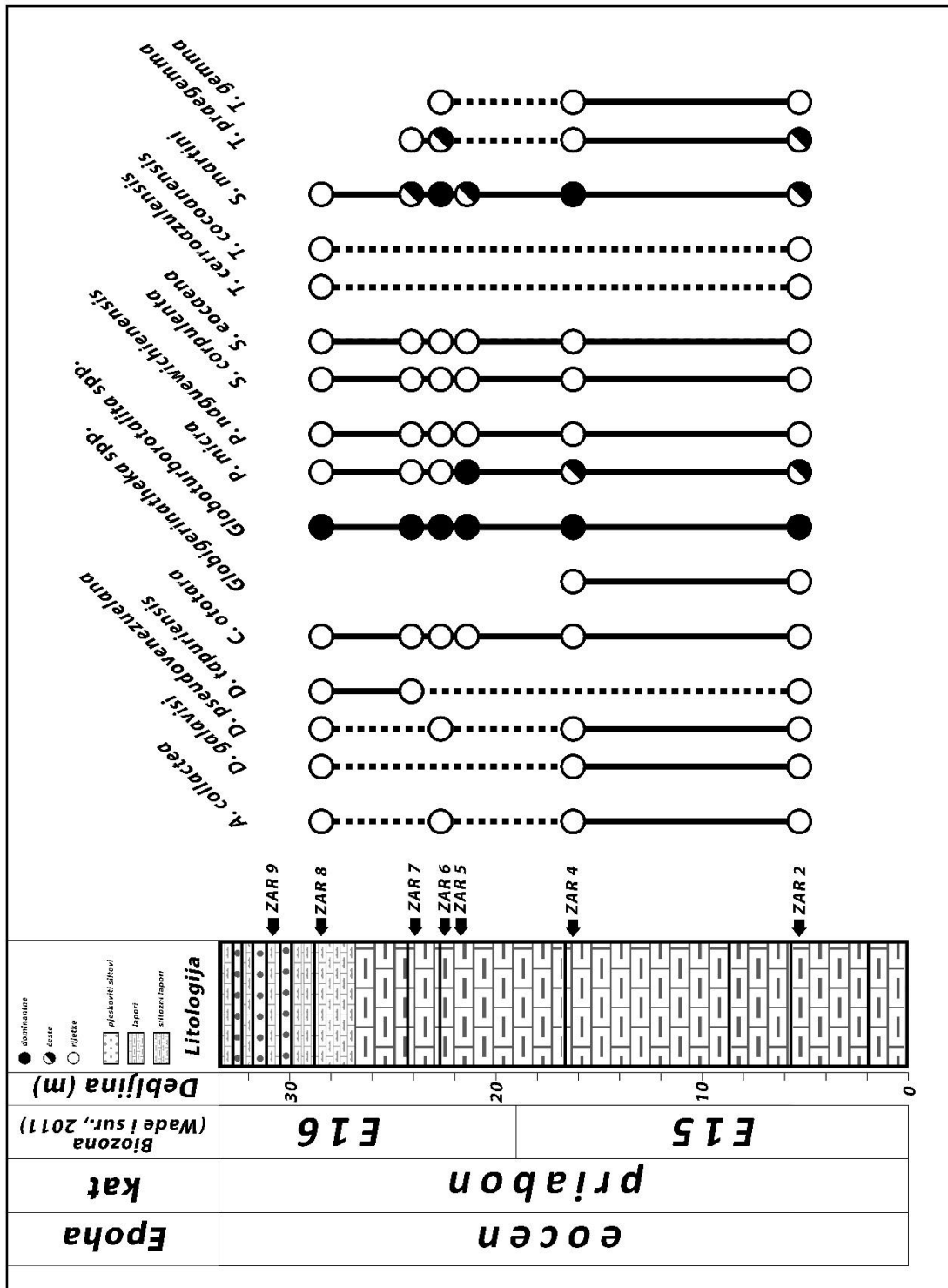
Zajednicu planktonskih foraminifera uglavnom tvore velike globigerinide karakteristične za kasni eocen (*S. corpulenta*, *S. linaperta*) i rani oligocen (*D. galavisi*, *D. pseudovenezuelana*, *D. tapuriensis*), a brojnošću i raznolikošću se posebno ističu one iz roda *Globoturborotalita* (Slika 5.4). Od indeks vrsta rijetke su ili vrlo rijetke *H. alabamensis* i *G. index*. Gornja granica stratigrafskog raspona vrste *G. index* označava vrh biozone E15, a uz nju izumiru i preostale vrste roda *Globigerinatheka* (*G. korotkovi* i *G. luterbacheri*). Prisustvo ovog roda (zbog loše očuvanosti uglavnom identificiranog kao *Globigerinatheka* spp., Slika 5.4) omogućuju biostratigrafsko pozicioniranje svih uzoraka iz ovog stupa u biozonu E15. Ono što odstupa od zajednica planktonskih foraminifera ostalih stupova za ovaj raspon je gotovo potpun nedostatak jedinki roda *Turborotalia*, što uključuje i tipične eocenske i oligocenske vrste. Rijetki primjerci vrste *T. pomeroli*, koja za vrijeme trajanja ove biozone E15 izumire, služe kao pomoćni dokaz pripadnosti naslaga ovoj biozoni. Prema tome starost svih uzoraka ovog stupa je unutar biozone E15, zone najviše pojave vrste *G. index*.

5.1.6 - Stup Zračće (Biozone E15–E16; priabon)

Zajednica planktonskih foraminifera vrlo je slična onoj na lokalitetu Podstine s dominacijom globigerinida, prvenstveno roda *Globoturborotalita*. U donjem dijelu sedimentološkog slijeda (do uzorka ZAR 5 na 21,4 m, Slika 5.5) vrlo rijetke (<1 %) su jedinke roda *Globigerinatheka*, uglavnom indeks vrste biozone E15 *G. index*. Jedinke roda *Turborotalia* su rijetke (1–5 %), a pronađene kućice vrste *P. micra* veličinom odgovaraju onima tipičnima za eocen (>125 µm). Nestanak roda *Globigerinatheka* između uzoraka ZAR 4 i ZAR 5 (Slika 5.5), označavaju prijelaz u biozonu E16 *Hantkenina alabamensis*. U uzorku ZAR 8 kućice foraminifera su rjeđe, a uzorak ZAR 9 ne sadrži foraminifere, tako da relativnu starost najmlađih naslaga stupa, kao i potencijalnu lokaciju granice eocena s oligocenom na lokalitetu nije bilo moguće utvrditi pomoću foraminifera.



Slika 5.4: Geološki stup Podstine s naznačenim pojavama biostratigrafski značajnih i odabranih čestih vrsta. Dominantne vrste su relativne zastupljenosti >10 %, česte vrste 5–10 % i rijetke <5 %.



Slika 5.5: Geološki stup Zaráčë s naznačenim pojavama biostratigrafski značajnih i odabranih čestih vrsta. Dominantne vrste su relativne zastupljenosti >10 %, česte vrste 5–10 % i rijetke <5 %.

5.2 – Zajednice bentičkih foraminifera

Zajednice bentičkih foraminifera slične su na svim istraživanim lokalitetima. Većinom su to male bentičke foraminifere koje žive infaunalno (Prilog 2), a najčešće su: *Oridorsalis umbonatus*, *Globocassidulina subglobosa* i *Bolivina* spp. Uz njih česti su i pripadnici rodova *Coryphostoma*, *Cibicidoides*, *Fissurina*, *Fursenkoina*, *Haplophragmoides*, *Hoeglundina*, *Lenticulina*, *Nuttalides*, *Osangularia*, *Plectina*, *Pleurostomella*, *Siphonodosaria*, *Stilostomella* i *Uvigerina*. Radi se o vrstama s kalcitnom perforatnom („staklastom“) stijenkom (Tabla 8 A–I), s rijetkim iznimkama aglutinirane stijenske, od kojih se brojnošću ističe *Plectina dalmatina* (Tabla 8 J).

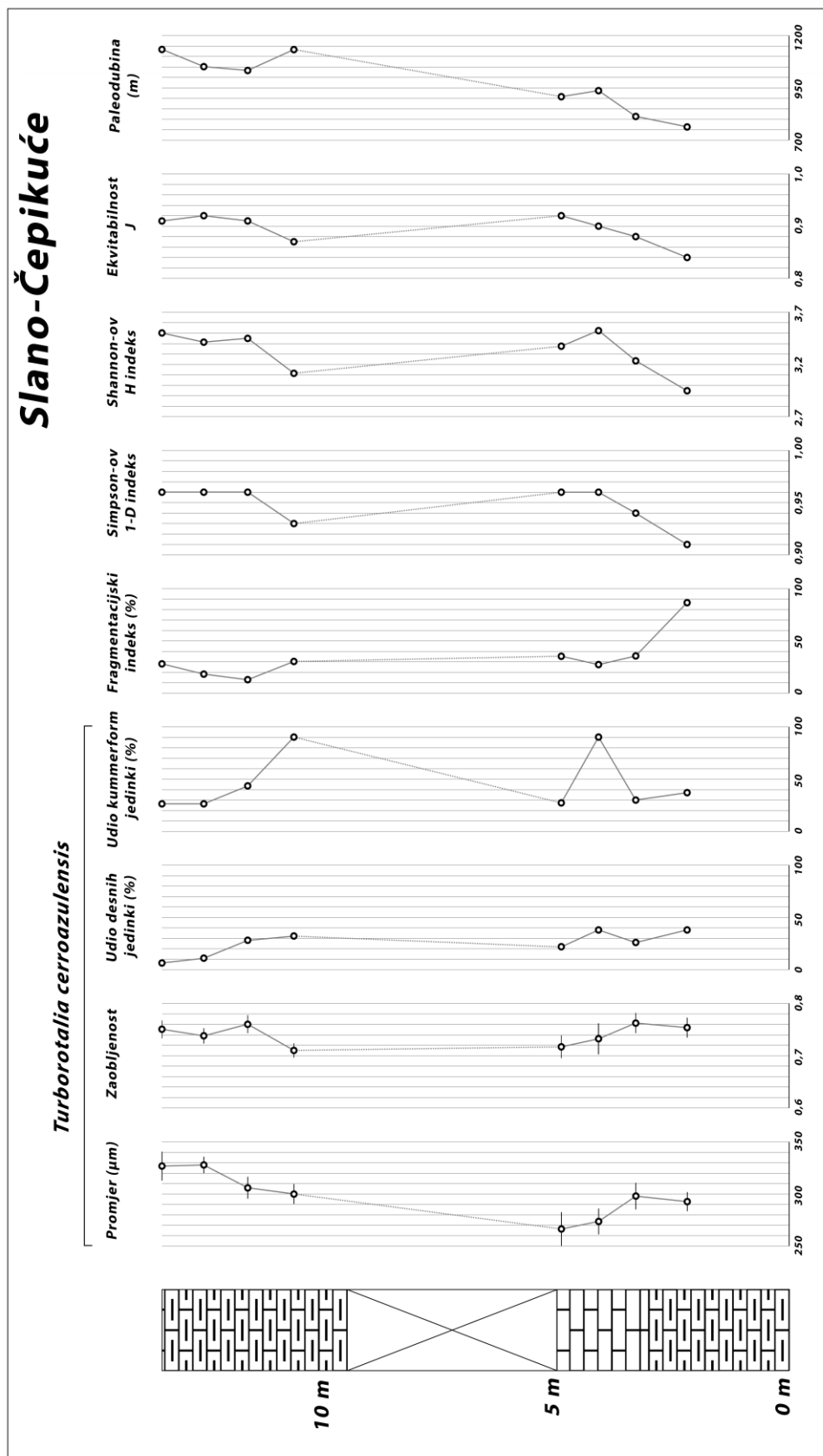
U većini uzoraka prikupljenih na Pelješcu i okolici Slanog pronađene su kućice i fragmenti rotalida složene unutarnje građe, takozvane „velike rotalide“ (*Rotalia* sp., Tabla 8 K–N), dok u onima uzorkovanim na Hvaru one nisu pronađene. Fragmenti su česti u frakciji >0,5 mm, dok su cjelovite kućice rijetke. Redovito su lošije očuvane kućica malih bentičkih foraminifera, s vidljivim tragovima transporta (Tabla 8 K, L) poput oštećenih klijetaka i abradirane vanjske površine stijenske.

5.3 – Paleokološke osobine taložnih okoliša

5.3.1 - Paleodubine

Prema identificiranim vrstama i njihovoj zastupljenosti dubine taloženja kretale su se između ~750–1200 m. Po Murrayevoj (1991) klasifikaciji batijala te dubine odgovaraju rasponu gornji–srednji batijal.

U uzorcima stupa Slano-Čepikuće omjer planktonskih i bentičkih vrsta raspona je od 80,95 % do 93,90 %. Prema Van der Zwaan i sur. (1992) izračunu, naslage biozone E13 (uzorci SL 2–5, Slika 5.6) taložile su se na dubinama raspona od 786 do 933 m (gornji batijal), dok su naslage biozone E15 taložene u nešto dubljem dijelu bazena, na dubinama između 1033 i 1132 m, što odgovara srednjem batijalu (Slika 5.6).



Slika 5.6: Pojednostavljeni geološki stup Slano-Čepikuće s usporedbom promjena morfoloških parametara vrste *T. cerroazulensis* i odabranih paleoekoloških pokazatelja.

U naslagama stupa Trstenica (omjer P/B od 74,68 do 93,31 %), a paleodubine ukazuju na taloženje na dubinama od 726 do 1149 m (Slika 5.7) i okolišima od gornjeg do srednjeg batijala. Dubina taloženja se smanjuje prema mlađim naslagama.

Na lokalitetu Viganj uzorci E16 biozone imaju omjer planktona i bentosa 78,57 % i 79,37 %, što ukazuje na taloženje pri gornjobatijalnim paleodubinama (879 i 944 m). U nešto dubljem okolišu, koji odgovara srednjem batijalu, taloženi su uzorci tijekom biozone O1. Paleodubine su bile od 1097 do 1167 m, a odnos P/B je u rasponu od 88,28 do 93,08 %.

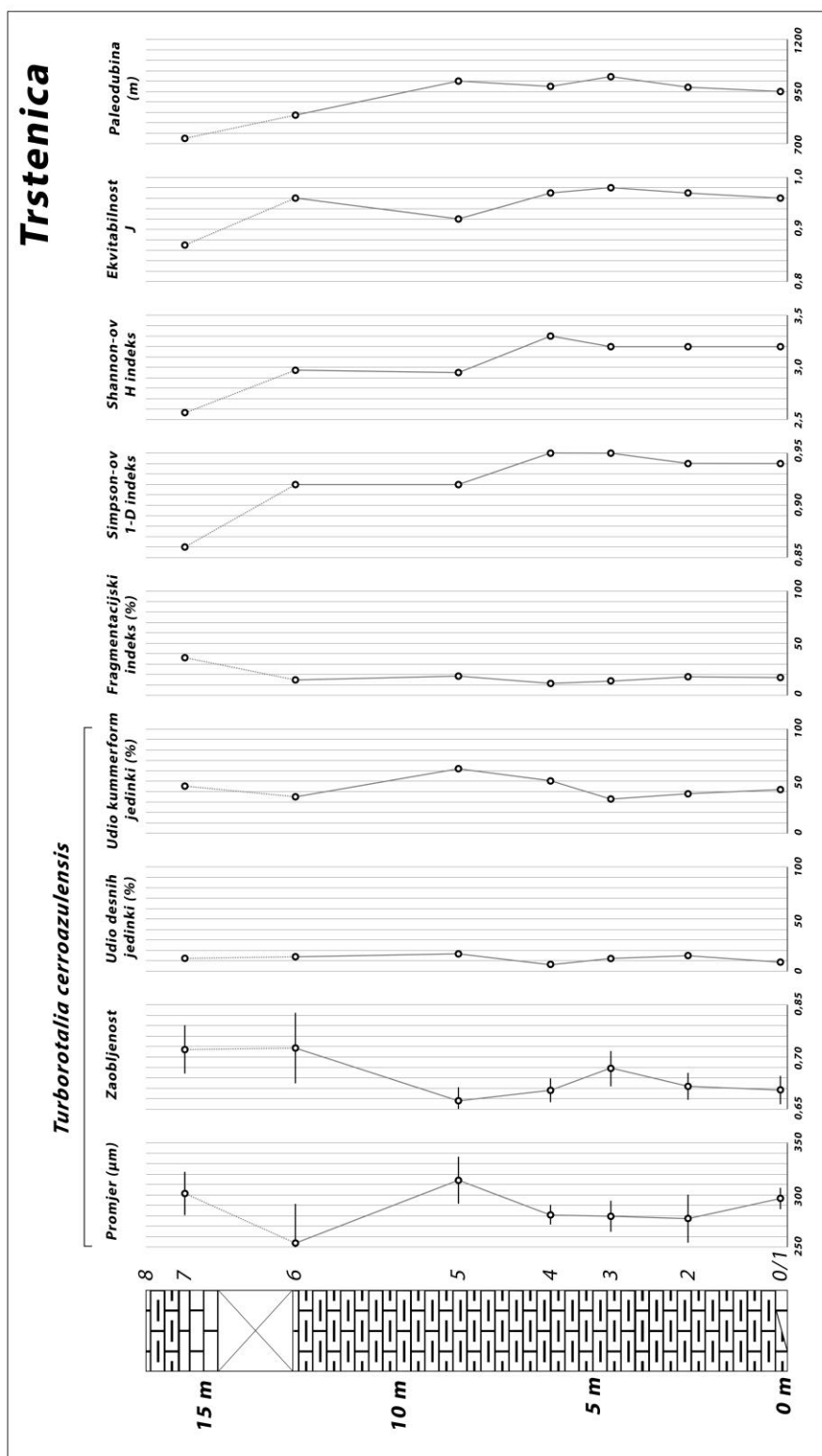
U uzorcima s lokaliteta Podobuče omjer P/B varira od 77,65 do 91,59 %. Izračunate paleodubine su u rasponu 833–1129 m i odgovaraju taloženju u prostorima gornjeg i srednjeg batijala.

U naslagama stupa uvale Podstine omjer planktona i bentosa u rasponu je od 83,39 do 91,88 %. Naslage su istaložene na srednjem batijalu, pri paleodubinama od 1002 do 1194 m (Slika 5.8).

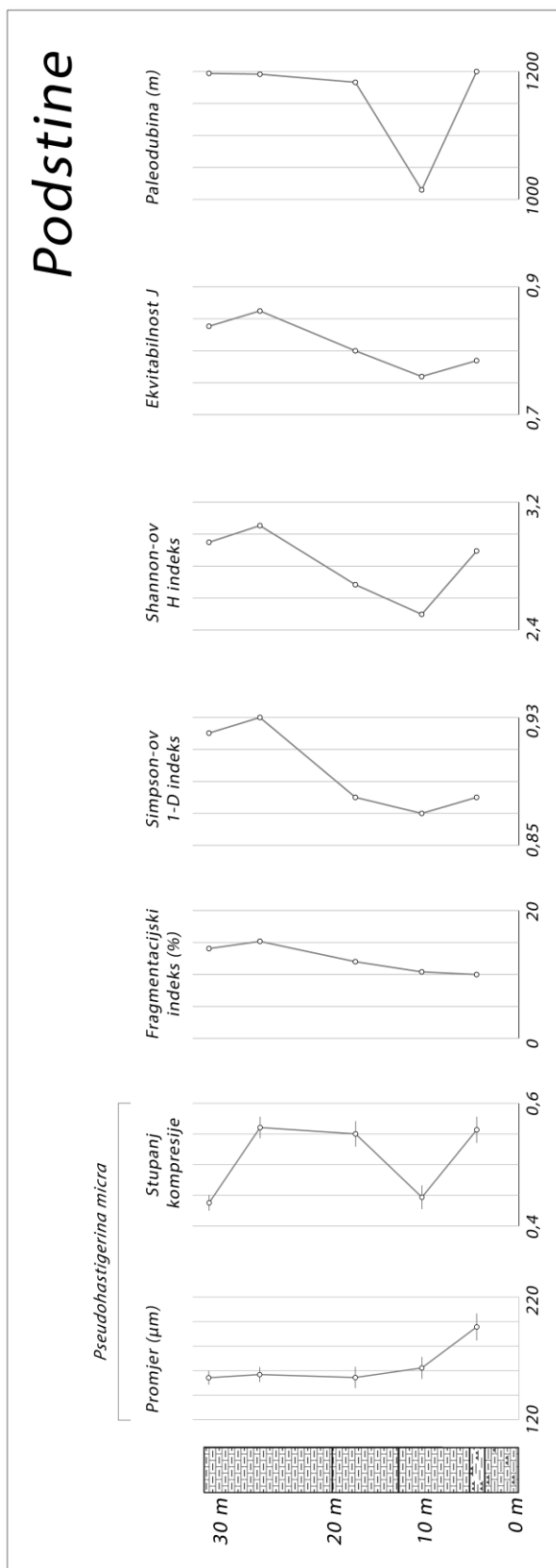
Omjer planktona i bentosa u naslagama uvale Zračće, raspona 89–96 %, odgovara okolišima srednjeg batijala, s paleodubinama (Slika 5.9) između 1134 i 1201 m.

5.3.2 - *Dijagenetske promjene na kućicama foraminifera*

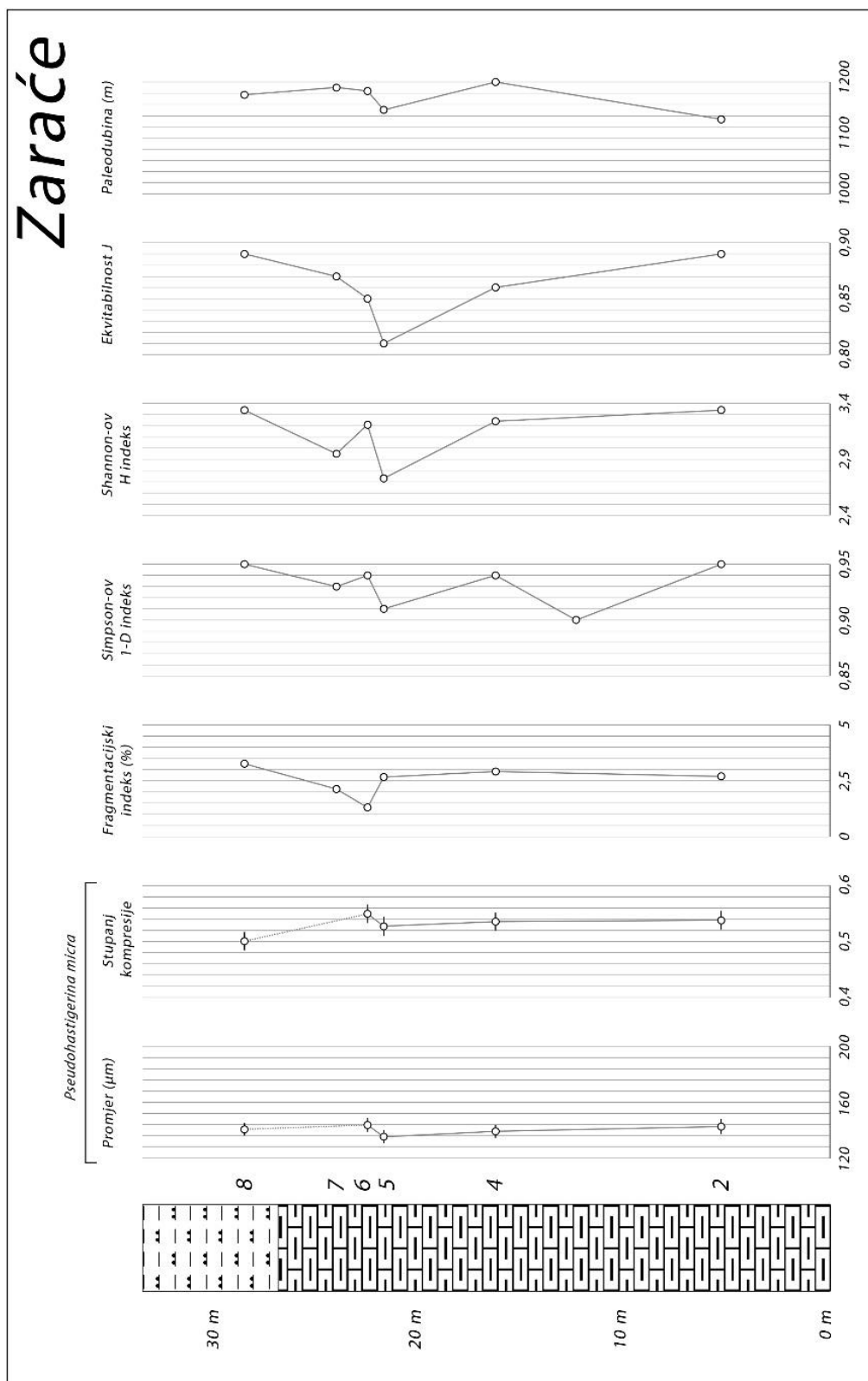
Očuvanje kućica planktonskih foraminifera različito je među istraženim lokalitetima, ali i između uzoraka pojedinih lokaliteta. Promatrana sveukupno, očuvanost se može opisati kao vrlo loša do dobra, ali nigdje izvrsna. Sve kućice foraminifera obuhvaćene ovim istraživanjem nose barem neki od znakova promjena. Kod većine promjene su vidljive već iz samog izgleda vanjske stijenke (Tabla 1, Tabla 2). Prema Sextonu i suradnicima (2006) mliječno bijela stijenka znak je rekristalizacije i ona je odlično vidljiva na mikrofotografijama dobivenim pomoću skenirajućeg elektronskog mikroskopa. Posebno se ističu kućice iz uzorka ZAR 5, gdje je velik broj zahvaćen tafonomskim i dijagenetskim promjenama (Slika 5.10). U uzorcima gdje je očuvanje bilo bolje, na nekim od kućica sačuvani su fini detalji vanjske stijenke poput šupljina u kojima su se nalazile spine (Tabla 1 B, U)



Slika 5.7: Pojednostavljeni geološki stup Trstenica s usporedbom promjena morfoloških parametara vrste *T. cerroazulensis* i odabranih paleoekoloških pokazatelja.



Slika 5.8: Pojednostavljeni geološki stup Podstine s usporedbom promjena odabranih morfoloških parametara vrste *P. micra* i paleoekoloških pokazatelja.

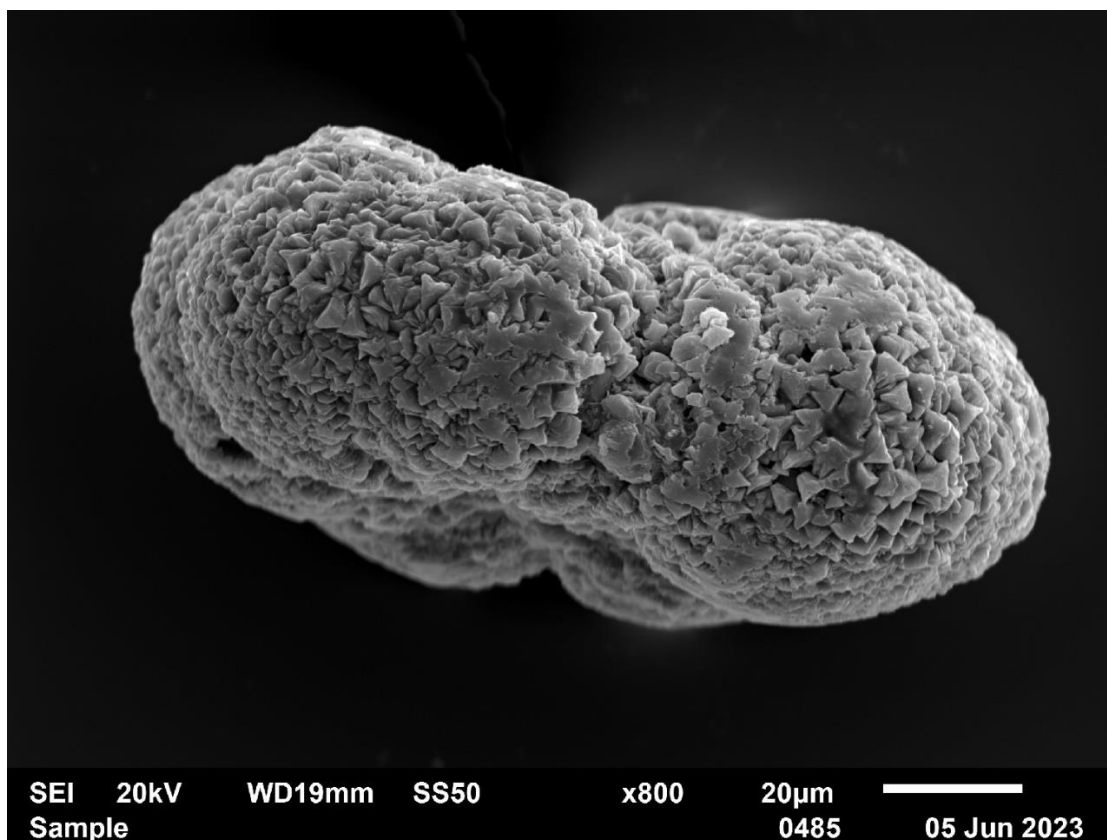


Slika 5.9: Pojednostavljeni geološki stup Zaraće s usporedbom promjena odabranih morfoloških parametara vrste *P. micra* i paleoekoloških pokazatelja.

Tablica 5.1: Vrijednosti odabranih morfoloških parametara vrste *T. cerroazulensis* i paleoekoloških pokazatelja za lokalitete poluotoka Pelješca na kojima su provedena točkasta uzorkovanja.

Lokalitet/Uzorak	Biozona i starost	Prosečni promjer kućica <i>T. cerroazulensis</i> (μm)	Stupanj zaobljenosti kućica <i>T. cerroazulensis</i>	Postotni omjer lijevih i desnih jedinki <i>T. cerroazulensis</i>	Udio kumerform kućica <i>T. cerroazulensis</i> (%)	Fragmentacijski indeks (%)	Simpson-ov 1-D indeks	Shannon-ov H indeks	Ekvivalencija	Paleodubina (m)
Viganj VI 4	O1 - donji rupel					8,5	0,9	2,85	0,78	1097
Viganj VI 3	O1 - donji rupel					9,55	0,93	3,047	0,85	1127
Viganj VI 2	O1 - donji rupel					7,42	0,94	3,241	0,86	1167
Viganj VI 1	O1 - donji rupel					15,13	0,94	3,17	0,87	1112
Viganj VG 0D	E16 - gornji priabon	258,99 +/- 10,85	0,71 +/- 0,01	95,5	23,73	11,39	0,95	3,246	0,89	945
Viganj VG 0C	E16 - gornji priabon	323,23 +/- 22,56	0,71 +/- 0,03	88,12	29,17	41,55	0,93	3,034	0,88	879
Podobučje PĐČ 4	E16 - gornji priabon		Ne sadrži <i>T. cerroazulensis</i>			8,89	0,9	2,882	0,79	1129
Podobučje PĐČ 2	E16 - gornji priabon	295,31 +/- 17,00	0,62 +/- 0,02	90,10	58,33	39,7	0,95	3,248	0,89	1075
Podobučje PĐČ 1	E16 - gornji priabon	299,5 +/- 14,33	0,71 +/- 0,02	93,7	53,85	39,91	0,94	3,125	0,86	833

Ne sadrži *T. cerroazulensis*



Slika 5.10: SEM mikrofotografija kućice vrste *P. micra* u bočnom položaju. Izvorno glatka, makroperforatna stijenka uništena je rekristalizacijom, mijenjajući mikrogranularni kalcit stijenke u idiomorfne kristale dimenzija nekoliko mikrona, Jedinka iz uzorka Zračće ZAR 5, biozona E16.

Mehanička oštećenja na kućicama ostavljaju raznovrsne promjene. Promjene najčešće zahvaćaju zadnju i predzadnju klijetku te rane zavoje kućice. Zadnja, najmlađa klijetka, često djelomično ili u potpunosti nedostaje, što je posebice izraženo kod slabije kalcificiranih *kummerform* klijetaka (Tabla 1 T). Druge krhke morfološke strukture i ukrasi poput bula, usni, obruba i zubića također su često oštećeni ili nedostaju. Najstariji dio zavojnice ponekad je abradiran ili čak i otkinut. Izrasline i modifikacije vanjske stijenke kućice kao što su murike, pustule i kobilica također mogu biti abradirane, izmijenjene ili međusobno srasle uslijed rekristalizacije i akumulacije sekundarnog kalcita. Unutrašnjost kućica gotovo uvijek je ispunjena sparitom i/ili glinom.

Kod nekih kućica došlo je do ljuštenja (defolijacije), pojave odvajanja i posljedičnog gubitka vanjske lamele stijenke (Tabla 2 G). Ta pojava je česta kod kućica roda *Turborotalia* (Pearson i sur., 2006b).

Kućice malih bentičkih foraminifera pretrpjele su slične dijagenetske promjene. Oštećenjima su posebno bili sklone tanke, izdužene kućice, poput onih rodova *Coryphostoma*, *Dentalina*, *Siphonodosaria* i *Stilostomella* (Tabla 8 H), koje u uzorcima nalazimo najčešće u obliku fragmenata.

„Velike rotalide“ izgledom odudaraju od ostalih kućica (Tabla 8). Rijetko je sačuvan veći dio kućice, a stijenka im je jako rekristalizirana s redovito visoko abradiranom, „uglačanom“ vanjskom površinom.

5.4 - Indeksi oštećenosti kućica

5.4.1 - Fragmentacijski indeks planktonskih foraminifera

U uzorcima prikupljenima na području Pelješca vrijednosti fragmentacijskog indeksa često su visoke. Prednjače uzorci najstarijih naslaga stupa Slano–Čepikuće (Slika 5.6), a najvišu vrijednost od 86,7 % ima uzorak SL 2, što odgovara intenzivnom oštećenju kućica. U ostatku stupa vrijednosti su niže (~13–37 %).

Relativno niske vrijednosti fragmentacijskog indeksa (<20%) karakteristika su zajednice iz naslaga Trstenica (Slika 5.7). Tek u najmlađem uzorku stupa (TR 8, ~15,5 m) zajednica pokazuje povišenu fragmentaciju (36,70 %).

Znatnu manju varijaciju vrijednosti indeksa imaju kućice naslaga lokaliteta Podobuča i Viganj. Približno iste vrijednosti su u prva dva uzorka (~39 %) iz Podobuča, dok je vrijednost indeksa u najmlađem uzorku puno niža (PDČ 4; 8,89 %). Razlike su uočene i između eocenskih uzoraka lokaliteta Viganj, koji imaju vrijednosti od 11 i 41 %, u odnosu na oligocenske uzorke nižih vrijednosti fragmentacijskog indeksa, u rasponu 7–15 %.

Vrijednosti fragmentacijskog indeksa za naslage otoka Hvara uglavnom su niske. Kućice iz naslaga stupa Podstine imaju vrijednosti u rasponu 9–15 % (Slika 5.8), što su relativno niske vrijednosti, s trendom pada idući prema mlađem dijelu stupa. Vrijednosti fragmentacijskog indeksa za zajednice foraminifera naslaga lokaliteta Zračće su vrlo niske, unatoč značajnoj rekristalizaciji kućica u dijelu uzoraka (Slika 5.10). Fragmentacijski indeks niti u jednom uzorku ne prelazi 5 % (Slika 5.9), a vrijednosti su mu uz to su i vrlo stabilne kroz čitav stup Zračće.

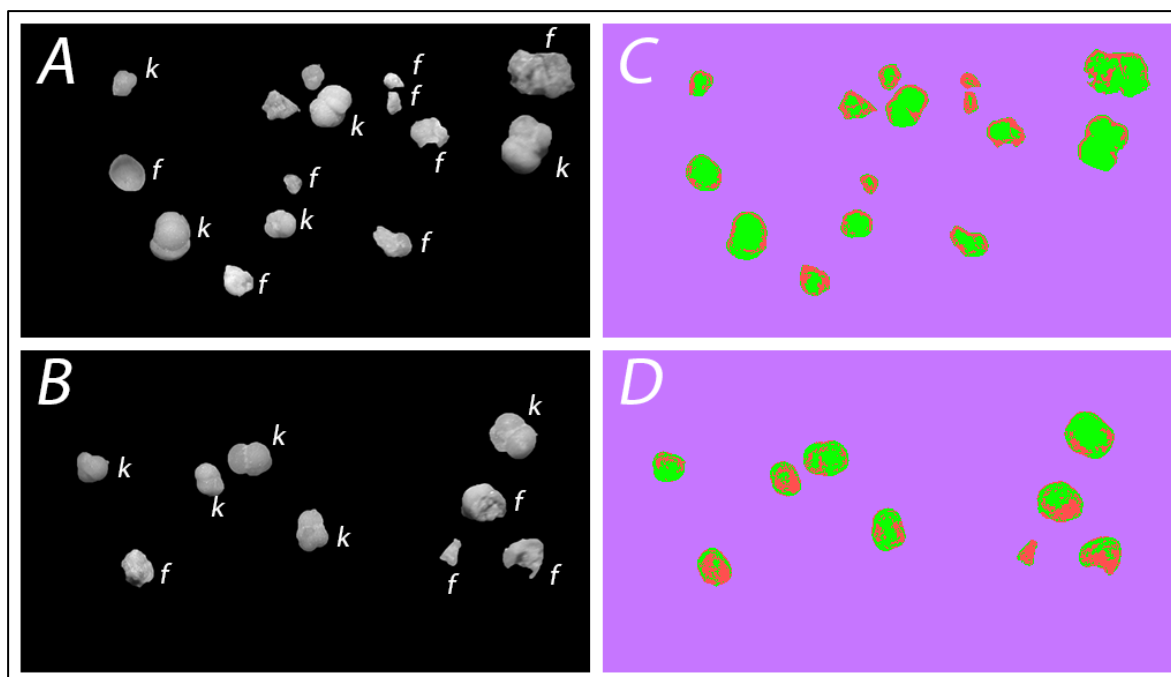
5.4.2 – Usporedba fragmentacijskih indeksa

U želji da se prepozna koja metoda određivanja fragmentacijskog indeksa, uključujući i frakciju koja se istražuje, otkriva najviše o rati otapanja, pH i možebitnom položaju lizokline, tri metode procjene fragmentacije su korelirane na zajednici uzorka Viganj VI 3. U frakciji $>125 \mu\text{m}$ vrijednost Fragmentacijskog indeksa bila je 11.1 % (0,11), što ukazuje na dobro očuvanje. Ova vrijednost također je slična onoj dobivenoj za frakciju $>63 \mu\text{m}$ (9,55 %) u istom uzorku (Tablica 4.1).

Model strojnog učenja testiran na istom uzorku postigao je točnost od 87,8 % u razlikovanju kućica foraminifera od njihovih fragmenata kada mu je zadano razvrstavanje nove količine istog uzorka. U svim slučajevima model je uspješno izdvojio objekte (kućice i fragmente) od pozadine. Glavne prepreke točnoj klasifikaciji ovom modelu mogu se, prema uzroku, podijeliti na dva. Prvi tip prepreka su situacije u kojima je kućica foraminifere imala minimalni gubitak volumena, ali bitno oštećenu površinu. Pri izračunu fragmentacijskog indeksa takve kućice bi, prema kriteriju očuvanosti volumena $>2/3$, bile procijenjene kao čitave, no model ih je često svrstao u fragmente. Drugi tip situacija koje su ometale model u uspješnom razvrstavannu uključuju pitanje veličine fosila. Vrlo malim kućicama je model katkad dodijelio status fragmenta.

Izračun FV indeksa iz automatskih mjerenja čestica nakon klasifikacije gore navedenim modelom dao je vrijednost indeksa od 0,84. Ova vrijednost označava srednje dobro očuvanje prema Adebayo i sur. (2025).

Model prepoznavanja oštećenih površina utvrdio je da je u istom materijalu njihov udio bio 60,8 %. Uzimajući u obzir da je raspon ovog indeksa od 0–100 %, ovaj rezultat kvalitativno pokazuje srednje dobro očuvanje i poklapa se s rezultatom FV indeksa, dok je očuvanje lošije nego što to pokazuje klasični fragmentacijski indeks. Glavnim izvorom pogreške kod ovog modela pokazalo se klasificiranje rubova kućice kao oštećene površine, uzrokovano neravnomjernim osvjetljenjem. Zahvaćeni dijelovi zauzimaju relativno malu površinu u odnosu na ukupnu kućicu (Slika 5.11). Model stoga blago precjenjuje udio oštećenih površina.



Slika 5.11: Usporedba manualne i automatizirane procjene oštećenja kućica: (A, B). Subjektivna klasifikacija za potrebe izračuna Fragmentacijskog indeksa, gdje „f“ označava fragmente, a „k“ za kućicu. (C, D): Rezultati modela oštećenosti površina primijenjeni za iste mikrofotografije. Boje pokazuju segmentaciju: zelena za očuvane površine, crvena za oštećene površine i ljubičasta za pozadinu.

5.5 - Indeksi bioraznolikosti

Kroz čitav kompozitni stup Slano–Čepikuće indeksi bioraznolikosti imaju stabilne vrijednosti (Slika 5.6). Uz to, vrijednosti su vrlo visoke, što govori da je na prijelazu iz bartona u priabon zajednica bila vrlo raznolika.

Slično stanje zajednica opisuju i vrijednosti indeksa za uzorke stupa Trstenica (Slika 5.7). Vrijednosti svih indeksa bioraznolikosti i u ovom su stupu visoke i ne mijenjaju se sve do najmlađeg uzorka, TR 8. U njemu vrijednosti svih indeksa padaju, što prati povećanje fragmentacijskog indeksa planktonskih foraminifera.

Zajednice uzoraka stupa Podstine također pokazuju dobru raznolikost. Jedini značajniji pad indeksa bioraznolikosti odvio se između prva dva uzorka (PP 0 i PP 1; Slika 5.8), no zajednica se do vrha stupa oporavlja, tako da uzorci vrha stupa (PP 3 i PP 4) ponovno imaju visoke vrijednosti indeksa bioraznolikosti (Slika 5.8).

Za uzorke stupa Zaraće izračunati indeksi ukazuju na vrlo visoku bioraznolikost (Slika 5.9). Iznimka je uzorak ZAR 5, u kojemu su vrijednosti indeksa niže (Slika 5.9)

Na lokalitetima na kojima je provedeno točkasto uzorkovanje indeksi uglavnom ukazuju na dobru bioraznolikost (Tablica 5.1), uz niže vrijednosti u uzorcima Podobuča PDČ 4 i Viganj VI 4.

5.6 - Promjene u raznolikosti planktonskih foraminifera pojedinih ekoloških zahtjeva

Slikom 5.12 prikazana su kretanja broja vrsta, kategoriziranih prema njihovim okolišnim preferencijama. Podaci o ekologiji pojedinih vrsta priloženi su taksonomskom popisu identificiranih vrsta (Prilog 2). Uračunate su samo one vrste koje se u barem 1 % relativne zastupljenosti u kontinuitetu, kroz najmanje jednu biozonu, jer one predstavljaju stabilne, temeljne taksone zajednica pojedinih biozona. Da bi se naglasile značajne promjene zajednica koje su nastupile tijekom biozone E15, ova biozona je ovdje podijeljena na donji i gornji dio koje odvaja horizont zadnje pojava vrste *T. pomeroli*. Za područje poluotoka Pelješca biozone E13 i E15 (njezin donji dio) predstavlja stup Slano–Čepikuće, gornji dio biozone E15 i biozonu E16 predstavlja stup Trstenica, a biozonu O1 lokalitet Viganj. Za područje Hvara donji dio biozone E15 prikazan je pomoću podataka za stup Podstine, a njezin gornji dio kao i biozona E16 prikazani su temeljem podataka za stup Zaraće.

Za zajednice s lokaliteta poluotoka Pelješca i područja okolice Slanog raznolikost je u porastu između biozona E13 i E15 (Slika 5.12), što je popraćeno porastom vrijednosti indeksa bioraznolikosti za taj vremenski raspon (Slika 5.6). Pojava novih post-bartonskih vrsta kao što je *P. naguewichiensis* u miješanom sloju priabona kao i pojačana prisutnost nekih vrsta *Globoturbotalita* zaslužne su za povećanje raznolikosti miješanog sloja u donjem dijelu biozone E15. Krivulja raznolikosti hladnih vrsta približava joj se kako se uspostavlja snažna i raznovrsna zajednica sloja termokline (Biozone E13 i E15, Slika 5.12). Oportunističke vrste (*C. ototara*, *S. martini*, *T. gemma* i *T. praegemma*) su tek neznatan dio zajednice u biozoni E13. Na prijelazu iz donjeg u gornji dio biozone E15 broj vrsta indikatora toplog okoliša pada ispod broja onih karakterističnih za hladnije okoliše. (Slika 5.12). Razlog tomu je da dio vrsta miješanog sloja nestaje ili postaju rijetke (*Acarinina* spp., *Globigerinatheka* spp. i *T. pomeroli*), što smanjuje njihov broj, dok broj vrsta termokline raste. Oportunističke vrste postižu svoj prvi vrhunac, zahvaljujući kontinuiranoj prisutnosti vrsta iz rodova *Pseudohastigerina* (*P. micra* i *P. naguewichiensis*) i *Tenuitella* (*T. gemma* i *T. praegemma*). Ulaskom u E16 biozonu blagi pad stabilnih vrsta javlja se među vrstama indikatorima hladnih

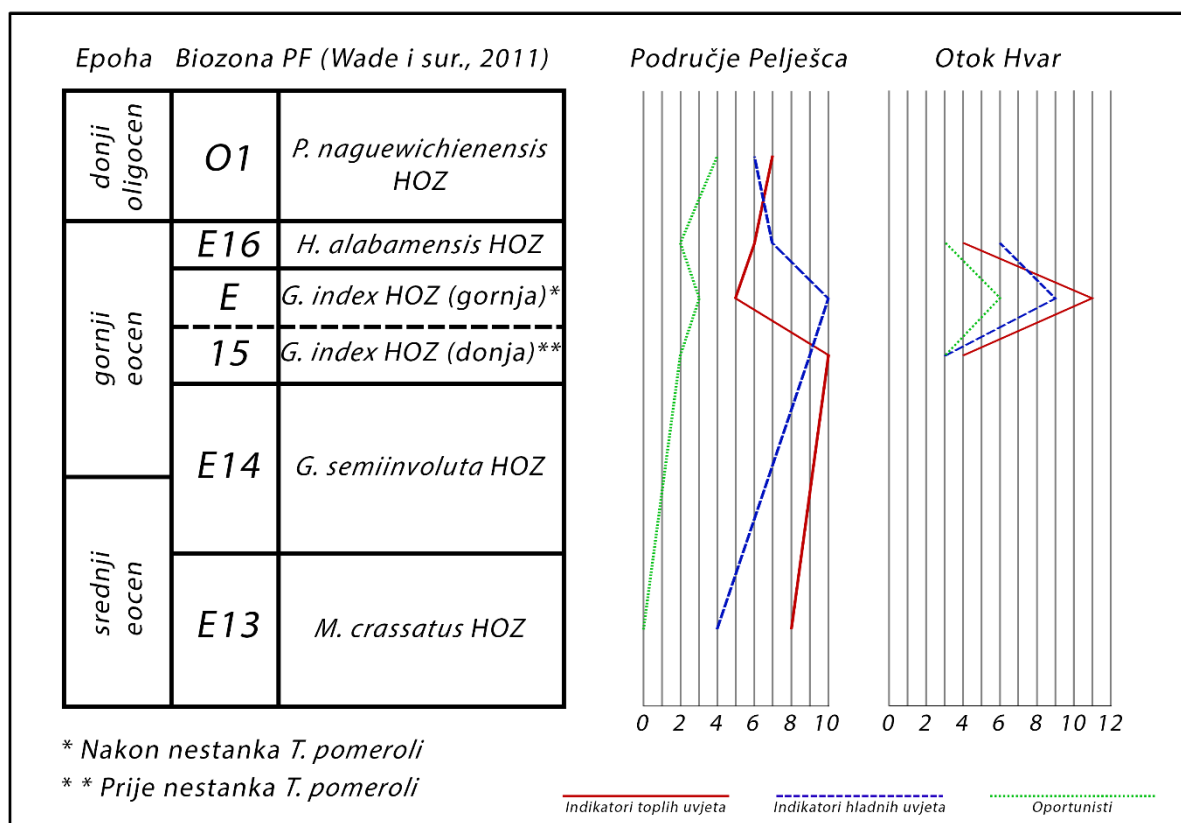
uvjeta u okolišu, dok je zajednica miješanog sloja u blagom oporavku, zahvaljujući daljnjoj diversifikaciji *Globoturborotalita*.

Na prelasku iz eocena u oligocen (biozone E16 i O1) vidljiva su tri trenda. Prvi je prividni oporavak zajednice miješanog sloja, no ovdje se radi o uspostavi nove zajednice u čijem je središtu rod *Globoturborotalita*. Drugi je pad broja stabilnih vrsta termokline, što je povezano s izumiranjem tri vrste iz roda *Turborotalia* koje su tvorile temelj eocenske zajednice toga sloja. Treći trend, koji je u skladu i s drugim pokazateljima (Tablica 5.1), je drugi vrhunac raznolikosti među oportunističkim vrstama.

Za zajednice s područja Hvara teže je popisati promjene u vodenom stupcu zbog očuvanosti materijala. Odnosi toplih i hladnih pokazatelja odražavaju specifičnosti zajednice ovog područja, s razlikama u odnosu na naslage poluotoka Pelješca. Broj stabilnih hladnih vrsta ne prelazi onaj vrsta iz miješanog sloja sve do biozone E16, zahvaljujući rijetkosti dubljevodnih *Turborotalia*. Raznolikost je najveća u gornjem dijelu biozone E15, za što je ponovno zaslužan rod *Globoturborotalita* koji je u ovom periodu posebno raznovrstan. Vrhunac oportunističkih vrsta tijekom biozone E16 podudara se s onim u naslagama Pelješca. Pad raznolikosti temeljnih vrsta ulaskom u biozonu E16 podudara se s padom vrijednosti indeksa bioraznolikosti u uzorku ZAR 5 (Slika 5.9).

5.7 - Korelacija relativnih udjela planktonskih foraminifera

Korelacija udjela planktonskih foraminifera može poslužiti kao mjera za otkrivanje ekoloških preferencija predstavnika različitih vrsta i rodova kroz pozitivne ili negativne vrijednosti, pogotovo ako su literaturni podaci o tome ograničeni ili kontradiktorni. Vrijednosti Pearson-ovog koeficijenta korelacije za pojedine stupove sažeti su u obliku tabličnog priloga (Prilog 3).



Slika 5.12: Promjene u broju vrsta planktonskih foraminifera pokazatelja temperature morske vode za istraživane naslage. Prikazane su vrste prisutne u kontinuitetu kroz sve korelirane stupove. Podaci za područje Pelješca i zaleđa objedinjuju profile Slano-Čepikuće i Trstenica te lokalitet Viganj, dok se podaci za Hvar temelje na profilima Podstine i Zaraće. Biostratigrafska zonacija modificirana prema Wade i sur. (2011) uz dodatnu podjelu biozone E15 radi preciznijeg prikaza lokalnih varijacija u taloženju.

5.7.1 - Stup Slano-Čepikuće

Korelacijom relativnih udjela planktonskih foraminifera u uzorcima otkrivene su dvije statistički značajne pojave: Rod *Acarinina* vrlo snažno pozitivno korelira s rodom *Globigerinatheka* u ovom stupu ($r=0,822$; $p < 0.012$), a rodovi *Globoturborotalita* i *Subbotina* međusobno imaju vrlo snažnu negativnu korelaciju ($r=-0.861$, $p < 0.006$).

5.7.2 - Stup Trstenica

U stupu Trstenica izračun Pearson-ovog koeficijenta otkrio je zanimljivu korelaciju između relativnih udjela rodova u zajednici. Radi se o snažnoj negativnoj korelaciji između rodova *Globoturborotalita* i *Turborotalia* ($r=-0,726$; $p < 0,042$).

5.7.3 - Stup Podstine

Relativni udjeli rodova u uzorcima stupa Podstine pokazuju veći broj vrlo snažnih korelacija. Rod *Dentoglobigerina* i *Acarinina* pozitivno koreliraju ($r=0,99$; $p<0,002$). *Pseudohastigerina* pozitivno korelira s rodom *Globoturborotalita* ($r=0,92$; $p<0,026$), a negativno s rodom *Subbotina* ($r=-0,94$; $p<0,017$). Rod *Subbotina* uz to još i negativno korelira s rodom *Globoturborotalita* ($r=-0,94$; $p<0,019$). Konačno, izračunata korelacija između rodova *Streptochilus* i *Tenuitella* otkrila je pozitivnu korelaciju relativnih zastupljenosti ova dva roda ($r=0,88$; $p<0,05$).

5.7.4 - Stup Zaraće

Izračun korelacije za uzorke iz ovog stupa dao je tri statistički značajne vrijednosti Pearson-ovog koeficijenta, sve tri vrlo snažne. Prva je negativnog karaktera, između rodova *Globoturborotalita* i *Paragloborotalia* ($r=-0,87$; $p<0,024$). Druge dvije pojave korelacije su otkrivene kod roda *Dentoglobigerina*. S rodom *Turborotalia* ovaj rod korelira pozitivno ($r=0,82$; $p<0,044$), a s rodom *Pseudohastigerina* negativno ($r=-0,84$; $p<0,038$).

5.8 – Morfometrija

5.8.1 - Smjerovi namatanja najzastupljenijih trohospiralnih rodova i vrsta

Za sve identificirane vrste pridodan je podatak o tipu rasta kućice (Prilog 2), što uključuje i trohospiralni rast. Podaci o omjeru lijevih i desnih jedinki kod trohospiralnih rodova prikazani su u Tablici 5.2, a oni za pojedine vrste u Tablici 5.3.

Tablica 5.2: Najzastupljeniji rodovi trohospiranih planktonskih foraminifera u uzorcima lokaliteta poluotoka Pelješca i okolice Slanog te njihova raspodjela prema smjeru namatanja, izražena kao postotni udio lijevo namotanih kućica. Uzorci su raspoređeni prema relativnim starostima, ali naslage između stupova nisu direktno usporedive. Kategorije su: 0 % - apsolutna dominacija desnih; 1–25 % - izražena dominacija desnih; 26–39 % - blaga dominacija desnih; 40–59 % - omjer podjednak, bez preferiranog smjera namatanja; 60–74 % - blaga dominacija lijevih; 75–99 % - izražena dominacija lijevih; 100 % - apsolutna dominacija lijevih.

Biocena	Uzrak/Ref	<i>Acanthin</i> spp.	<i>Denticulogibber</i> spp.	<i>Gaillardin</i> spp.	<i>Gaillardin</i> spp.	<i>Gaillardin</i> spp.	<i>Paragibberin</i> spp.	<i>Sublin</i> spp.	<i>Trochammina</i> spp.	<i>Turbocarinata</i> spp.	
O1 (trapez)	VH	60,00%	45,45%	Nisu prisutne	46,48%	100,00%	60,71%	50,00%	40,00%	40,00%	
	VE	100,00%	56,07%	Nisu prisutne	37,84%	50,00%	51,43%	100,00%	68,00%	68,00%	
	VI	46,67%	46,43%	Nisu prisutne	57,97%	63,64%	52,38%	43,75%	66,67%	66,67%	
	VII	60,00%	60,00%	Nisu prisutne	47,83%	57,14%	58,62%	57,14%	57,14%	42,85%	42,85%
E16 - vrh (priaba)	POC4	60,00%	28,57%	Nisu prisutne	36,98%	77,78%	56,00%	33,33%	50,00%	50,00%	
	POC2	100,00%	38,89%	Nisu prisutne	46,52%	33,33%	47,40%	50,00%	68,97%	68,97%	
	POC1	25,00%	33,33%	Nisu prisutne	46,43%	75,00%	69,23%	50,00%	80,65%	80,65%	
	VG0D	50,00%	33,33%	Nisu prisutne	55,88%	50,00%	43,24%	75,00%	68,00%	68,00%	
	VG0C	100,00%	50,00%	Nisu prisutne	47,06%	62,50%	50,00%	50,00%	50,00%	71,43%	71,43%
E16 (priaba)	TR8	100,00%	0,00%	Nisu prisutne	49,35%	33,33%	52,78%	Nisu prisutne	76,19%	76,19%	
	TR6	100,00%	37,50%	Nisu prisutne	65,22%	60,00%	50,00%	100,00%	73,91%	73,91%	
	TR5	50,00%	20,00%	Nisu prisutne	41,46%	44,40%	16,67%	66,67%	76,92%	76,92%	
	TR4	0,00%	52,00%	Nisu prisutne	90,00%	35,00%	38,16%	100,00%	74,01%	74,01%	
	TR3	0,00%	31,81%	Nisu prisutne	54,00%	54,55%	51,82%	50,00%	64,29%	64,29%	
	TR2	Nisu prisutne	58,82%	Nisu prisutne	57,97%	65,38%	50,94%	100,00%	66,67%	66,67%	
E15 - gornji dio (priaba)	TR1	77,78%	54,55%	Nisu prisutne	48,44%	85,71%	50,00%	100,00%	77,78%	77,78%	
	TR0	50,00%	33,37%	Nisu prisutne	49,43%	27,27%	50,00%	50,00%	55,56%	55,56%	
	TR-1	66,67%	40,91%	Nisu prisutne	56,52%	58,82%	60,00%	43,75%	66,67%	66,67%	
E15 - donji dio (priaba)	CEP4	27,59%	50,00%	33,33%	46,15%	40,00%	42,42%	Nisu prisutne	61,29%	61,29%	
	CEP3	77,78%	75,00%	42,86%	40,91%	55,56%	46,88%	Nisu prisutne	72,73%	72,73%	
	CEP2	16,67%	60,87%	85,71%	50,74%	72,73%	57,14%	0,00%	77,27%	77,27%	
	CEP1	68,75%	52,17%	42,86%	54,69%	37,50%	52,17%	Nisu prisutne	87,14%	87,14%	
E13 (barion)	SL5	72,72%	45,00%	57,89%	48,08%	57,14%	57,14%	Nisu prisutne	70,49%	70,49%	
	SL4	67,27%	52,63%	52,76%	54,88%	71,43%	40,63%	Nisu prisutne	69,33%	69,33%	
	SL3	50,00%	0,00%	42,85%	42,84%	55,55%	60,00%	Nisu prisutne	61,54%	61,54%	
	SL2	50,00%	60,00%	50,00%	33,75%	41,67%	56,37%	Nisu prisutne	50,00%	50,00%	

Tablica 5.3: Najzastupljenije vrste trohospiralnih planktonskih foraminifera u uzorcima lokaliteta poluotoka Pelješca i okolice Slanog te njihovi trendovi promjene smjera namatanja kroz geološko vrijeme. Kriteriji kategorija dominacije jednaki kao u Tablici 5.2.

Vrsta	Omjer lijevih i desnih kućica	Obrazac prema Bolli (1971)	Grupa prema Brummer i Kroon (1988)
<i>Acarinina medizzai</i>	Oscilirna	4 (dominantni smjer oscilirna)	1 (bez preferiranog smjera)
<i>Catapsydrax unicavus</i>	Ne slijedi obrazac	Ne može se utvrditi	Ne može se utvrditi
<i>Dentoglobigerina galavisi</i>	Podjednak omjer	2 (prevladava jedan smjer)	2 (preferiranje jednog smjera)
<i>Dentoglobigerina pseudovenezuelana</i>	Blaga dominacija desnih	2 (prevladava jedan smjer)	2 (preferiranje jednog smjera)
<i>Globigerinatheka index</i>	Podjednak omjer	1 (održava podjednak omjer)	1 (bez preferiranog smjera)
<i>Globoturbotalita bassriverensis</i>	Podjednak omjer	1 (održava podjednak omjer)	1 (bez preferiranog smjera)
<i>Globoturbotalita martini</i>	Podjednak omjer	1 (održava podjednak omjer)	1 (bez preferiranog smjera)
<i>Globoturbotalita ouachitaensis</i>	Podjednak omjer	1 (održava podjednak omjer)	1 (bez preferiranog smjera)
<i>Paragloborotalia nana</i>	Oscilirna	4 (dominantni smjer oscilirna)	2 (preferiranje jednog smjera)
<i>Subbotina corpulenta</i>	Podjednak omjer	1 (održava podjednak omjer)	1 (bez preferiranog smjera)
<i>Tenuitella praegemma</i>	Ne slijedi obrazac	Ne može se utvrditi	Ne može se utvrditi
<i>Turborotalia cerroazulensis</i>	Izražena dominacija lijevih	3 (dominacija jednog smjera)	2 (preferiranje jednog smjera)
<i>Turborotalia cocoaensis</i>	Izražena dominacija lijevih	3 (dominacija jednog smjera)	2 (preferiranje jednog smjera)
<i>Turborotalia increbescens</i>	Blaga dominacija lijevih	3 (dominacija jednog smjera)	2 (preferiranje jednog smjera)
<i>Turborotalia pomeroli</i>	Izražena dominacija lijevih	3 (dominacija jednog smjera)	2 (preferiranje jednog smjera)

Za područje Pelješca uočeni su sljedeći obrasci namatanja trohospiralnih kućica:

Rod *Acarinina*

U većini uzoraka dominiraju jedinke s lijevim smjerom namatanja kućice, posebice u mlađim naslagama gornjeg priabona i rupela (Tablica 5.2; uzorci TR 6–8, Podobučje PDC 2–4 i VG 0C–VI 4) gdje je preferencija za lijevi smjer posebno izražena (60–100 %). Bitna iznimka je prijelaz iz biozone E15 u biozonu E16 u stupu Trstenica (TR 3 i TR 4) gdje sve jedinke imaju desni smjer namatanja. Najčešća vrsta, *A. medizzai*, pokazuje umjerenu do snažnu preferenciju prema određenom smjeru namatanja, no on se mijenja kroz stratigrafski raspon naslaga (Tablica 5.3).

Rod *Dentoglobigerina*

U uzorcima bartona i donjeg dijela priabona ne mogu se uočiti obrasci u smjeru namatanja kućica ovog roda. U gornjem dijelu priabona (biozona E16) na svim lokalitetima pojavljuje se uglavnom blaga (do 67 %) dominacija jedinki s rastom kućice udesno. Ulaskom u oligocensku biozonu O1 na lokalitetu Viganj (Uzorci VI 1–4) omjer između desnih i lijevih jedinki postaje ujednačeniji. Vrste *D. galavisi* i *D. pseudovenezuelana* su tipični predstavnici roda i preferiraju desno namatanje kućice.

Rod *Globigerinatheka*

Udio lijevih i desnih jedinki je uglavnom podjednak tijekom taloženja naslaga gornjeg bartona i donjeg priabona. U gornjem dijelu biozone E15 ovaj rod postaje rijedak i izumire tako da podaci prikazani tablicom (Tablica 5.2) obuhvaćaju samo stup Slano–Čepikuće. Najzastupljenija vrsta, *G. index*, također ima podjednak omjer lijevih i desnih jedinki (Tablica 5.3).

Rod *Globoturborotalita*

U svim istraživanim naslagama i tijekom čitavog intervala nakupljanja naslaga, omjer lijevih i desnih jedinki je podjednak (Tablica 5.2). Rijetki otkloni u korist jednog smjera namatanja ne prelaze omjer 70:30, što ukazuje na odsutnost bilo ekološke, bilo genetske preferencije. Tri najčešće vrste (Tablica 5.3) pokazuju proporcionalan omjer smjera namatanja kroz cijeli raspon.

Rod *Paragloborotalia*

U većini uzoraka postoji blaga do izražena tendencija prema dominaciji jednog smjera namatanja, no ona nije stratigrafski postojana (Tablica 5.2). Umjesto jasnog trenda, uočene su učestale i nelinearne izmjene dominacije lijevih i desnih jedinki. Takve nasumične promjene dominantnog smjera su česte i karakteristične i za najčešću vrstu *P. nana* (Tablica 5.3).

Rod *Subbotina*

Slično rodu *Globoturborotalita*, omjer lijevih i desnih jedinki, uz manja odstupanja, teži prema omjeru 1:1 (Tablica 5.2). Raspodjela smjera namatanja kod vrste *S. corpulenta* korelira s rezultatom na razini roda, s ujednačenim omjerom oba smjera namatanja.

Rod *Tenuitella*

Prva pojava roda je u donjem dijelu biozone E15, no učestale postaju tek u mlađim naslagama te zone. Promjene dominacije kod ovog roda imaju neobičan trend, što je vidljivo iz Tablice 5.2. U pojedinim uzorcima podjednako su zastupljene lijeve i desne (primjerice uzorci TR 3, PDČ 1, 2; VI 1, 2), dok je u drugim zabilježena potpuna dominacija jedinki s lijevim namatanjem (npr. uzorci TR 1, 2, 4 i 6 lokaliteta Trstenica te VI 3 lokaliteta Viganj). Promjene smjera namatanja ne slijede nikakav uočljiv obrazac, a to vrijedi i za najčešću vrstu, *T. praegemma* (Tablica 5.3).

Rod *Turborotalia*

U gotovo svim uzorcima postoji blaga do izražena preferencija za lijevi smjer namatanja. Manje promjene prema ujednačenom omjeru pojavljuju se tek početkom oligocena uslijed izumiranja vrsta s dominantno lijevim smjerom namatanja (*T. cerroazulensis* i njezin evolucijski niz; Tablica 5.2, uzorci VI 1–4). Utvrđivanje smjera namatanja kućica *T. cerroazulensis* otkriva kako su jedinice biozone E15 i E16 preferirale lijevi smjer namatanja. Tijekom biozone E13, u uzorcima stupa Slano-Čepikuće, ta preferencija je nešto manje izražena, no raste u njegovom mlađem stupa (priabon, u biozoni E15, točnije njezinom donjem dijelu). U uzorcima s ostalih lokaliteta, taloženih od gornjeg dijela biozone E15 do kraja biozone E16, prevladava lijevi smjer namatanja kućice (>80 % jedinki u uzorku). Za preostale vrste *Turborotalia* broj promatranja je nešto manji, no može se uočiti slična razlika između jedinki koje su određene kao bartonske i onih koje su priabonske. Kod *T. pomeroli* razlika je manja jer lijevo namatanje postaje još dominantnije. Vrsta *T. cocoaensis* ima približno jednak omjer lijevih i desnih jedinki u biozoni E13, dok biozonama E15 i E16 prevladavaju jedinice s lijevim namatanjem. *T. cunialensis* je česta u naslagama biozone E16 stupa *Trstenica* i pokazuje snažnu sklonost prema lijevom smjeru namatanja.

5.8.2 - Biometrija vrste *P. micra*

Ukupno je izmjereno 500 kućica vrste *P. micra* (iz uzoraka PP 0–4 i ZAR 2, 4, 5, 6 i 7). Rezultati mjerenja prikazani su priloženom tablicom (Prilog 4) kao prosječne vrijednosti mjerenja za pojedine uzorke.

Promjer i rast kućice

Kućice vrste *P. micra* iz uzoraka s otoka Hvara pokazuju zanimljive trendove u promjeni veličine, izražene promjenom promjera. Primjerci vrste iz najstarijih uzoraka (PP 0 na ~5 m i PP 1 na ~11 m, Slika 5.8) lokaliteta Podstine (biozona E15) su veliki u prosjeku 196 μm , a njihov se prosječan promjer smanjuje za oko 17 %, a površina za oko 31 % između uzoraka PP 0 i PP 1. Do idućeg uzorka (PP 2 na ~16 m) promjer kućica se neznatno smanjuje (za oko 4 %; Slika 5.8) i do najmlađeg dijela istraživanih naslaga poprima stabilne vrijednosti u rasponu od 154–156 μm . Te vrijednosti malo su veće od onih koje imaju jedinice iz uzoraka stupa Zaraće (biozone E15–E16), koje su prosječnog promjera u rasponu 139–150 μm .

Minimalnu vrijednost (139 μm) imaju jedinke stupa Zaraće uzorka ZAR 5 (~26 m, Slika 5.9), koji je prvi uzorak nakon granice biozona E15 i E16. Ovo je također uzorak u kojem *P. micra* ima najveću relativnu zastupljenost. Opseg i površina prate vrijednosti maksimalnog promjera kućice.

Broj klijetaka vidljiv u najmlađem zavoju kreće se u rasponu od 5 i $\frac{1}{2}$ do 8, a medijan je 6 u većini uzoraka. Raspon broja klijetaka neznatno je širi od 6–7 klijetaka prema literaturi (Olsson i Hemleben, 2006).

Stupanj kompresije

Dimenzije najmlađe klijetke kao i stupanj kompresije kućice donekle koreliraju s promjerom kućice, no te promjene su manje pravilne. Jedinke iz stupa Podstine imaju stupanj kompresije širokog raspona (prosjeci se kreću od 0,438 do 0,561). Smanjenje kompresije jedinki koje su nađene u naslagama starijeg dijela stupa, između dva najstarija uzorka (Slika 5.8) u skladu je s ranije spomenutim smanjenjem promjera jer postoji pozitivna korelacija između njih, dok u ostatku stupa to nije slučaj i ta dva svojstva kućice nisu u vezi. Jedinke iz stupa Zaraće pokazuju minimalne varijacije stupnja kompresije kroz većinu istraživanih uzoraka. Između uzoraka ZAR 2 i ZAR 6 prosječna komprimiranost kućice je u rasponu 0,527–0,549 (Slika 5.9). U najmlađem uzorku stupa u kojem su pronađene foraminifere (ZAR 8 na ~28 m), njihove kućice imaju blago niži stupanj kompresije (prosječna vrijednost od 0,5).

Aberantne jedinke i modifikacije najmlađe klijetke

Kućice koje imaju podijeljeno, bipartitno ušće su rijetke. U naslagama oba istražena stupa niti u jednom uzorku udio jedinki s takvom konfiguracijom ušća nije prelazio 4 %. Jedinke s smanjenjom najmlađom klijetkom (*kummerform*) su češće, no njihov broj niti u jednom uzorku ne prelazi 6 %. Relativni udio aberantnih jedinki po uzorku je nizak u stupnju Zaraće (također <4 %), no u stupu Podstine njihov udio doseže do 12 %.

*5.8.3 - Biometrija vrste *T. cerroazulensis**

*Odnosi vrsta evolucijskog niza *T. pomeroli*–*T. cunialensis**

Promatrajući relativne odnose u broju jedinki između vrsta evolucijskog niza *T. pomeroli*–*T. cerroazulensis*–*T. cocoaensis*–*T. cunialensis*, u svim uzorcima, osim u jednom (Slano–Čepikuće SL 5) najbrojnija vrsta je *T. cerroazulensis*, a slijede je *T. pomeroli* i *T. cocoaensis*. U uzorku SL 5 najbrojnija je *T. cocoaensis*, a slijede je *T. cerroazulensis* i *T. pomeroli*. Relativni udio *T. pomeroli* je niži u odnosu na ove dvije vrste, a tijekom biozone E15 vrsta nestaje iz zajednice. *T. cunialensis* se prvi put javlja u biozoni E16 i rjeđa je u odnosu na *T. cerroazulensis* i *T. cocoaensis*.

Rezultati mjerenja dimenzija kućica *T. cerroazulensis* prikazani su kroz njihove prosječne vrijednosti za pojedine uzorke u Prilogu 5. Kućice su mjerene iz uzoraka SL 2–5, ČEP 1–4, TR 1–8, VG 0C i 0D te PDC 1 i 2. Izmjerene su ukupno 933 kućice *T. cerroazulensis*, 343 vrste *T. cocoaensis*, 87 vrste *T. cunialensis* i 209 kućica *T. pomeroli*.

Promjer kućice

Prosječni promjeri kućica vrste *T. cerroazulensis* u uzorcima s područja Pelješca su između 254 i 327 μm . Manje kućice (~290–300 μm) pronalazimo u dijelu stupa Slano–Čepikuće koji odgovara biozoni E13 (uzorci SL 2–5) i prosječne vrijednosti promjera se smanjuju prema mlađim uzorcima pa su u najmlađem uzorku ovog dijela stupa (SL 5) kućice promjera tek 266 μm . U biozoni E15 (uzorci ČEP 1–4) promjeri kućica postižu vrijednosti oko 300 μm , ali kako su uzorci mlađi tako promjeri kućica rastu, dostižući vrijednosti do 325 μm .

U priabonskim naslagama stupa Trstenica loša očuvanosti kućica umanjila je pouzdanost mjerenja za pojedine uzorke (TR 2, TR 5, TR 6 i TR 8). Izmjereni promjeri kućica imaju prosječnu vrijednost između 254 i 315 μm , no varijacije među njima nisu statistički pouzdane. Iznimka su jedinke između uzoraka TR 4 i TR 6, gdje su varijacije u promjeru statistički značajne.

Kućice iz naslaga Viganj pokazuju značajnu razliku u veličini između dva uzorka biozone E16. U uzorku VG 0C prosječan promjer iznosi 324 μm , dok je u uzorku VG 0D on tek 259 μm . Kućice *T. cerroazulensis* iz uzoraka Podobuče PDC 1 i PDC 2 imaju približno iste vrijednosti prosjeka promjera od oko 300 μm .

Koeficijent zaobljenosti

Usporedba koeficijenta zaobljenosti četiri vrste iz evolucijskog niza *T. pomeroli*–*T. cerroazulensis*–*T. cocoaensis*–*T. cunialensis* otkriva sklonost prema opstanku i dominaciji plosnatijih oblika s vremenom. *T. cerroazulensis* iz srednjeg eocena oblikom su sličnije njihovom pretku, *T. pomeroli*, dok su one iz gornjeg eocena bliže mlađoj vrsti *T. cocoaensis*.

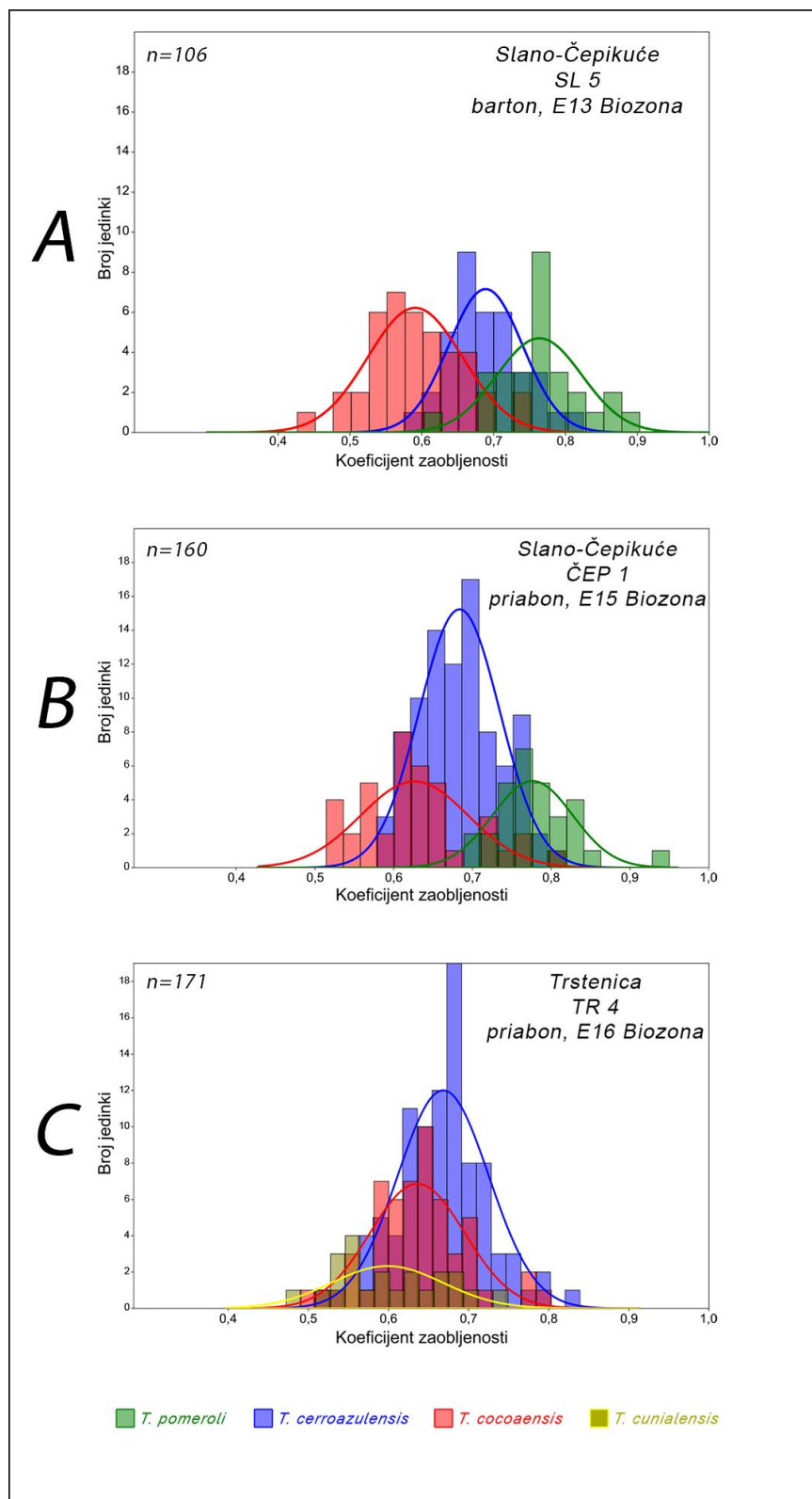
Tijekom biozone E13 prosječne vrijednosti koeficijenta zaobljenosti za *T. cerroazulensis* su u rasponu od 0,66 do 0,72. Iz histograma distribucije zaobljenosti (Slika 5.13) vidi se da se jedinke *T. cerroazulensis* dosta dobro izdvajaju od zaobljenijih *T. pomeroli* i plosnatijih *T. cocoaensis*.

Priabonske jedinke svjedoče trendu smanjenja razlika između *T. cocoaensis* i *T. cerroazulensis*. Obje vrste postaju manje zaobljene tijekom biozone E15, dok *T. pomeroli* ostaje približno sličnog raspona vrijednosti kao u bartonu (Slika 5.13).

U gornjem priabonu (biozona E16) jedinke *T. cerroazulensis* postaju još plosnatije. Osim dvije iznimke (uzorci TR 6 i TR 8), raspon vrijednosti stupnja kompresije vrlo je sličan onome *T. cocoaensis* (Slika 4.15). Vrsta koja u ovoj biozoni bilježi prvu pojavu, *T. cunialensis*, ima najniži raspon koeficijenta (0,50–0,60), no ne izdvaja se previše od *T. cocoaensis*. (Slika 5.13).

Aberantne jedinke i kummerform kućice

Najčešća opažena deformacija je promjena oblika nekoliko klijetaka u nizu u najmlađem zavoju, što rezultira atipičnim oblikom kućice. Promatrane u bočnoj orijentaciji kućice, takve klijetke mogu imati izraženo zaobljeni, ovalni, trobridni trapezoidni ili trokutasti obris. Prve jedinke s aberantnim kućicama nalazimo u priabonskim uzorcima. Njihov udio kreće se do 5 %, osim u jednom uzorku s lokaliteta Podobuče (PDČ 2) gdje iznosi 8,33 %. Udio *kummerform* kućica *T. cerroazulensis* jako varira čak i među sukcesivnim uzorcima u pojedinom stupu, no rijetko su zastupljene s više od 50 %. Takva kućica ima klijetku koja oblikom i izgledom odgovara prethodnoj, ali je dimenzijama (najčešće širinom, ali ponekad i visinom) manja.



Slika 5.13: Histogrami distribucija koeficijenta zaobljenosti četiri vrste *Turborotalia*, na primjerima uzoraka iz biozona E13 (A), E15 (B) i E16 (C). Prikazan je raspon vrijednosti koeficijenta uz njegovu distribuciju prema rasponskim kategorijama, s razmacima u vrijednosti od 0,02. Vrijednosti za sve četiri vrste imaju normalnu distribuciju, prikazanu Gausovim krivuljama.

Veličina i gustoća pora

Iz SEM fotografija kućica *T. cerroazulensis* (Table 4 i 5) vidi se njihova loša očuvanost. Svih 25 kućica pokazuje tragove rekristalizacije, a dio njih i mehanička oštećenja. Manji broj kućica, njih 11, ima dijelove stijenske s očuvanom primarnom teksturom (bez uočljivih znakova rekristalizacije), površine prikladne veličine i orijentacije za analizu pora.

Distribucija tih 11 jedinki po uzorcima je sljedeća:

Stup Slano-Čepikuće:

SL 5 (biozona E13) – **0/5**

ĆEP 2 (biozona E15, donji dio) – **5/5**

Stup Trstenica:

TR 4 (biozona E15, gornji dio) – **3/5**

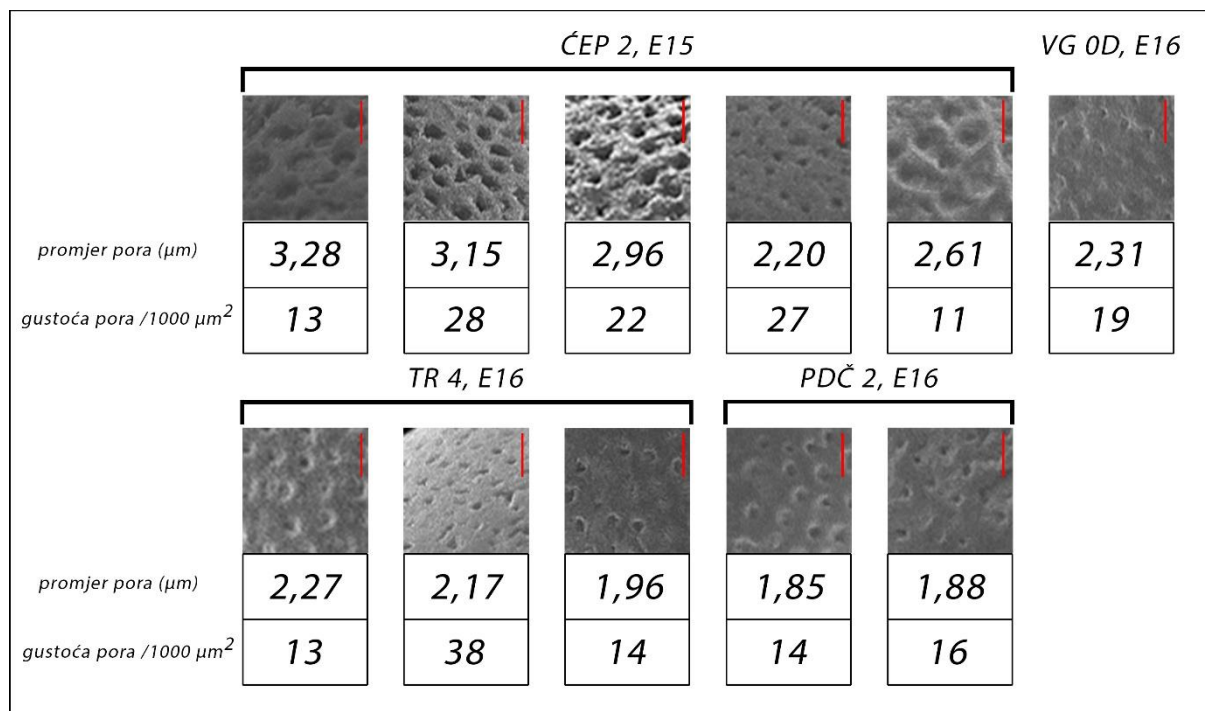
Lokalitet Viganj:

VG 0D (biozona E16) – **1/5**

Lokalitet Podobuče:

PDČ 2 (biozona E16) – **2/5**

Broj pora manje je podložan dijagenetskim promjenama od njihove površine i zato je odabrano računanje gustoće pora (broj pora po jedinici površine stijenske) umjesto klasične poroznosti stijenske (udio površine pora po jedinici površine stijenske). Dobivene vrijednosti gustoće i prosječni promjeri pora prikazani su na slici (Slika 5.14).



Slika 5.14: Uvećane SEM fotografije stijenki odabranih jedinki vrste *T. cerroazulensis*. Navedene vrijednosti promjera i gustoće pora dobivene su automatskom analizom slike, detekcije i mjerenja pora. Mjerila: 10 μm .

Postoje primjetne razlike u broju pora na 1000 μm^2 površine. Većina jedinki (njih 7) ima relativno manju gustoću pora (11–19 pora/1000 μm^2). Tri od pet jedinki iz biozone E15 stupa Slano–Čepikuće imale su veću gustoću pora (22–28 pora/1000 μm^2). Rekordnu gustoću od 38 pora/1000 μm^2 registrirana je na jedinki biozone E16 iz stupa Trstenica, no kod nje je, zbog nedostupnosti boljih površina, mjerena ona pod izraženim kutom pa je i gustoća pora prividno povećana. Prosječna gustoća pora vrste *T. cerroazulensis* iznosi 20 pora/1000 μm^2 .

Izuzimajući atipično visoku vrijednosti gustoće kao rezultat metodološke pogreške, tada je prosječna gustoća pora 18 pora/1000 μm^2

Prosječni promjeri pora kreću se u rasponu 1,85–3,28 μm , što potvrđuje pripadnost makroperforatnim foraminiferama ($>1 \mu\text{m}$). Uočljiva je stratigrafska razlika pa jedinke iz biozone E15 uglavnom imaju veće promjere (2,2–3,28 μm) od onih iz biozone E16 (1,88–2,27 μm).

5.8.4 - Korelacija izmjerenih parametara

Korelacijskom analizom mjerenja kućica *P. micra* utvrđeno je nekoliko statistički značajnih poveznica među parametrima (Prilog 6). Vrlo snažna korelacija ($r > 0,9$) postoji između promjera kućice i površine njezina vidljivog dijela u spiralnoj orijentaciji.

U većini uzoraka oba ova parametra veličine kućice pozitivno koreliraju i s brojem klijetaka u najmlađem zavoju, odnosno veće kućice imaju i veći broj klijetaka.

Stupanj kompresije također pozitivno korelira s drugim parametrima. U dijelu uzoraka (Prilog 6) postoji slabo do umjereno izražena pozitivna korelacija s parametrima veličine (promjer, površina), dok u drugima kompresija kućice pozitivno korelira s brojem klijetaka u najmlađem zavoju. Ove dvije pojave pozitivne korelacije nikad ne dolaze zajedno (Prilog 6).

Izračun Pearson-ovog koeficijenta korelacije otkrio je nekoliko zanimljivih veza među morfološkim parametrima i kod kućica *T. cerroazulensis*. Izražena pozitivna korelacija je između parametara koji opisuju veličinu kućice (najveći promjer kućice i površina njezinog vidljivog dijela). U svim uzorcima ona je bila statistički vrlo značajna, s rasponom vrijednosti koeficijenta između 0,94 i 0,99 te minimalnim varijacijama između pojedinih uzoraka (Prilog 7).

U uzorcima biozona E13 i E15 stupa Slano-Čepikuće uglavnom ne postoji značajna veza među ostalim parametrima i uočene su tek manje pojave korelacije. Specifično u uzorku SL 3 (gornji barton, ~3,2 m) postoji vrlo slaba negativna korelacija između oba parametra veličine (najvećeg promjera i površine kućice) i pojave smanjene najmlađe klijetke. To znači da u uzorku SL 3 manje kućice imaju veću vjerojatnost da će biti *kummerform* tip. Slična, ali ovaj put srednje jaka negativna korelacija postoji između *kummerform* kućica i zaobljenosti kućice postoji u najvišem uzorku, ČEP 4 (~16 m). U uzorku ispod njega, ČEP 3 (14 m), postoji slaba pozitivna korelacija između površine kućice i njezine zaobljenosti. Oba ova uzorka su starosti donjeg priabona.

Kod jedinki iz stupa Trstenica zabilježen je veći broj korelacija među parametrima kućica *T. cerroazulensis* (Prilog 7). Već u najstarijem uzorku (TR 1, biozona E15), uočena je slaba negativna korelacija između promjera i zaobljenosti kućice. Ista negativna korelacija uočena je i u uzorku TR 3 (E16 biozona), gdje poprima srednje jaku vrijednost. U uzorku iznad (TR 4) zabilježen je veći broj korelacija. Prvo se ističe slaba pozitivna korelacija između površine kućice i njezine zaobljenosti. Uz to je uočena slaba negativna korelacija između pojave

kummerform kućica i parametara veličine, tj promjera i površine. Daljnje korelacije su zapažene u uzorku TR 6. U ovom uzorku zaobljenost pokazuje umjerenu negativnu povezanost s površinom kućice te snažnu negativnu korelaciju s njezinim najvećim promjerom. Uz to, veličina kućice ima slabu pozitivnu korelaciju s pojavom smanjene najmlađe klijetke.

U dva uzorka biozone E16 s lokaliteta Podobuče također postoje korelacije među izmjerenim morfološkim parametrima *T. cerroazulensis* (Prilog 7). U uzorku PDČ 1 postoji srednje snažna negativna korelacija između zaobljenosti kućice i vjerojatnosti da će ona imati lijevi smjer namatanja. U uzorku PDČ 2 uočena je srednje snažna pozitivna povezanost između površine kućice i njezine zaobljenosti.

U oba eocenska uzorka s lokaliteta Viganj analiza morfologije kućica *T. cerroazulensis* otkrila je tek slabu negativnu korelaciju između najvećeg promjera kućice i njezine zaobljenosti (Prilog 7).

6. - Diskusija

6.1 – Taksonomija odabranih vrsta

Tijekom ovog istraživanja izmjeren je niz morfoloških parametara na velikom broju kućica vrsta *P. micra* i *T. cerroazulensis* (Prilozi 4 i 5). Količina prikupljenih podataka omogućuje uvid u raspone unutar kojih su se kretali pojedini morfološki parametri kod jedinki iz Dinarskog predgorskog bazena. Dio parametara (oblik kućice, broj klijetaka u najmlađem zavoju, oblik i broj ušća) ključan je za identifikaciju vrsta pa će, temeljem prikupljenih podataka i uz pomoć SEM snimaka jedinki, biti ovdje opisana i interpretirana njihova karakteristična obilježja. Poseban osvrt napravljen je i na rod *Dentoglobigerina*, jer se radi o rodu trenutno upitnog taksonomskog položaja (Brummer i Kučera, 2022; Fayolle i Wade, 2021) te će za odabrane vrste (*D. galavisi* i *D. larmei*) biti napravljen i prodiskutiran taksonomski opis.

6.1.1 - Taksonomski opis vrste *P. micra*

Pseudohastigerina micra (Cole 1927)

Tabla 3

Sinonimija:

Nonion micrus Cole, 1927: Tabla 5, slika 12. Srednji eocen, Guyabal formacija, Meksiko.

Nonion micrum (Cole) - Cushman, 1935: Tabla 43, slike 6a–c. Gornji eocen, jugozapad SAD-a.

Globigerinella micra (Cole) - Glaessner, 1937: Tabla 1, slike 4a–b. Gornji eocen, sjeverozapadni Kavkaz, SSSR.

Nonion? micrum (Cole) - Hamilton, 1953: Tabla 30, slika 4. Eocen, Guyot horizont, srednji Pacifik.

Hastigerina micra (Cole) - Bolli, 1957: Tabla 35, slike 1a–b, 2a–b. Srednji do gornji eocen, Navet i San Fernando formacije, Trinidad.

Globigerina micra (Cole) - Hofker, 1962: Slike 19a–c. Barton, Nizozemska.

Pseudohastigerina micra (Cole) - Dieni i Proto Decima, 1964: Tabla 43, slike 1a–b. Gornji eocen, Castelnuovo, Italija.

Globanomalina micra (Cole) - Jenkins, 1974: Tabla 2, slike 50–54. Srednji eocen, Tyeec formacija, Oregon, SAD.

Hastigerina micra (Cole) – Postuma, 1971: Stranica 229. Guayabal formacija, Meksiko.

Pseudohastigerina micra (Cole) - Olsson i Hemleben, 2006: Tabla 14.3, slike 11–24. Ponovno ilustrirani primjerci s više lokaliteta.

Opis: Makroperforatna, planispiralna involutna kućica glatke površine, često s pustulama u umbilikalnom području. Kućica odraslih jedinki malena (~120–180 μm). U najmlađem zavoju ima 6–8 kuglastih klijetaka koje se brzo povećavaju, što kućici daje ovalan obris kada se promatra neka od njezine dvije spiralne strane. Maksimalni broj klijetaka je malo veći od 7 kojeg su za vrstu dali Olsson i Hemleben (2006). Suture su slabo do umjereno usječene, savijene unazad, posebice bliže rubu kućice. Promatrana u bočnom položaju kućica je plosnata. Kod većine jedinki ušće je interiomarginalno, oblika luka i obrubljeno tankom usnom. Kod manjeg broja jedinki (do 6 %) ušće je bipartitno, odnosno sastoji se od dva manja, simetrično postavljena luka. *Kummerform* oblici su rijetki (<5 %), s zadnjom klijetkom koja je oblikom identična prethodnima, no manjeg rasta.

Ova vrsta prvotno je opisana kao bentička vrsta roda *Nonion* (Cole, 1927). Da se radi o planktonskoj vrsti prvi je prepoznao Glaessner (1937). Klasificirana je u porodicu Globanomalinidae (Olsson i Hemleben, 2006; Pearson i sur., 2018a).

Olsson i Hemleben (2006) smatraju da se razvila iz vrste *Pseudohastigerina wilcoxensis* krajem ranog eocena (biozona E7). Zadnja pojava joj je u donjem oligocenu, pri vrhu biozone O1 (Olsson i Hemleben, 2006; Wade i sur., 2011). Iz ove vrste se u kasnom eocenu (biozona E15) razvila *P. naguewichiensis* (Olsson i Hemleben, 2006).

Granicu eocen-oligocen preživjele su samo manje jedinke pa je smanjenje veličine kućica pomoćni biostratigrafski marker (Wade i Pearson, 2008; Wade i sur., 2011) koji se pokazao korisnim i u ovom istraživanju.

Jedinke vrste *P. micra* su rijetke u naslagama gornjeg bartona i donjeg priabona, s udjelom u zajednici manjim od 5 %. Tijekom E15 biozone njezina zastupljenost se povećava na 5–10 % te ostaje stabilna do biozone E16 i iduće biozone, O1, kad njezino pojavljivanje postaje

nepravilno. Iako kasni eocen i rani oligocen obilježava pad udjela ispod 5 %, te vrijednosti nisu stabilne i uzorci Podobuče PDC 4 (E16 biozona) i Viganj VI 4 (O1 biozona) imaju rekordne vrijednosti od 13,8 i 14,8 %.

P. micra se javlja u zajednici s „malim“ vrstama miješanog sloja iz rodova *Acarinina* (*A. collactea*, *A. echinata*, *A. medizzai*) i *Globoturborotalita* (*G. bassriverensis*, *G. martini* i *G. ouachitaensis*). Od biozone E15, a posebice u biozonama E16 i O1, uz nju dolazi i *P. naguewichiensis*, koja se iz vrste *P. micra* razvila.

6.1.2 - Rod *Turborotalia*

Prve i zadnje pojave vrsta roda *Turborotalia* poslužile su kao pomoćni biostratigrafski markeri, a njihove morfološke promjene pomogle u interpretaciji okolišnih uvjeta kroz istraživano razdoblje.

Rod *Turborotalia* (donji eocen; biozona E7 do donji oligocen, biozona O2) odlikuje se visokom morfološkom raznolikošću. Ona se očituje u pogledu kompresije kućice, položaja ušća i razvoja površinskih modifikacija poput grebena, pustula i kobilice, a koja se često javljaju reverzibilno. Kriteriji razlikovanja vrsta *Turborotalia* slijede standarde Pearson i sur. (2006a) uz taksonomske i biostratigrafske nadopune prema Wade i sur. (2018a).

Danas se smatra da je predak ovog roda vrsta *Globanomalina australiformis* (Pearson i sur., 2006b), nisko trohospiralne kućice s plosnatim klijetkama, glatkom teksturom stijenke i s ušćem u ekstraumbilikalnom položaju. Najstarija vrsta, *T. frontosa* evoluirala je u ranom eocenu (biozona E7), s kućicom „globigerinidnog“ oblika (zaobljene klijetke, ušće pomaknuto prema umbilikusu, pojava kancelatnih grebena posebice na starijim klijetkama). Zbog tih je morfoloških značajki prvotno bila svrstavana u rodove *Globigerina* i *Subbotina*.

Tijekom srednjeg eocena, pojavom vrste *T. pomeroli* u biozoni E10, započinje proces stjecanja oblika tipičnog za rod, jer vrsta većim dijelom gubi kancelatnu stijenku i poprima nisko trohospiralni oblik s blago spljoštenim klijetkama. Ova vrsta je glavno ishodište diversifikacije roda, s više smjerova razvojnih nizova. Za ovo istraživanje ključan je onaj vrste *T. cerroazulensis* (*T. pomeroli*–*T. cerroazulensis*–*T. cocoaensis*–*T. cunialensis*). Njega obilježava nastavak promjene morfologije prema nisko-trohospiralnom bikonveksnom, „spljoštenom“ obliku kućice, ekstraumbilikalnom pomaku ušća i glatkoj stijenci s pustulama

u blizini ušća te razvojem kobilice. Mlađe vrste ovog razvojnog niza pokazuju snažnu konvergenciju s rodom *Globorotalia* (miocen–recentno) te su dugo vremena smatrani paleogenskim vrstama ovog roda. *T. pomeroli* izumire u kasnom eocenu, dok *T. cerroazulensis*, *T. cocoaensis* i *T. cunialensis* izumiru praktički istovremeno, malo prije granice eocen/oligocen.

6.1.3 - Taksonomski opis vrste *T. cerroazulensis*

***Turborotalia cerroazulensis* (Cole, 1928)**

Table 4, 5

Sinonimija:

Globigerina cerro-azulensis Cole, 1928: Tabla 1, slike 11–13. Gornji eocen, Chapapote formacija, Meksiko.

Globorotalia centralis Cushman & Bermudez, 1937: Tabla 2, slike 51–53. Eocen, Santa Clara, Kuba.

Globorotalia (Turborotalia) cerro-azulensis (Cole) - Cushman i Bérnudez, 1949: Tabla 8, slike 8–12. Gornji eocen, Guantanamo formacija, Kuba.

Acarinina centralis (Cushman & Bérnudez) - Subbotina, 1953: Tabla 1, slike 24a–25c. Gornji eocen, sjeverni Kavkaz, SSSR.

Turborotalia centralis (Cushman & Bérnudez) - Hagn, 1956: Tabla 1, slike 8a–b. Gornji eocen, sjeverna Italija.

Globorotalia cerroazulensis cerroazulensis (Cole) - Toumarkine i Bolli, 1970: Tabla 1, slike 19–24. Gornji eocen, Possagno, Italija.

Globorotalia centralis (Cole) – Postuma, 1971: Stranica 183. Kuba.

Turborotalia cerroazulensis cerroazulensis (Cole) - Toumarkine i Luterbacher, 1985: slike 34.3–4, 36.16–18. Ponovljene ilustracije različitih primjeraka iz literature.

Turborotalia cerroazulensis (Cole) - Poore i Bybell, 1988: Tabla 2, slike 10–12. Gornji eocen, New Jersey, SAD.

Turborotalia cerroazulensis (Cole) - Pearson, Premec-Fuček i Premoli Silva, 2006. Tabla 15.3. Ponovljene ilustracije jedinki srednjeg i gornjeg eocena s više lokaliteta.

Opis: Tekstura stijenke je makroperforatna, a površina kućice najčešće glatka. Jedinke iz starijih (bartonskih) naslaga mogu imati blago kancelatnu teksturu. U kasnom eocenu prosječna gustoća pora na najmlađoj klijetki iznosi 18 pora/1000 μm^2 . Kućica je nisko trohospiralna, prosječne veličine odraslih jedinki ~250–330 μm . Dominantno je lijevo namatanje, a volumen klijetaka jednoliko se povećava s rastom.

Na spiralnoj strani kućice vidljivo je 10 do 13 klijetaka u 3–3,5 zavoja. Najmlađi zavoj tvori 4 ili 5 klijetaka trokutastog obrisa. Neki primjerci imaju imperforatnu kobilicu koja nikad nije u potpunosti formirana na najmlađoj klijetki. Suture izraženo savijene unazad, slabo ili nimalo usječene. Kod nekih jedinki prekrivene su imperforatnim slojem koji se na rubu klijetke može spajati s kobilicom.

Na umbilikalnoj strani kućice vidljivo je 4–5 klijetaka ovalnog do trapezoidalnog oblika. Na klijetkama zadnjeg zavoja česte su pustule, koncentrirane u području ušća. Područje umbilikusa usko i otvoreno. Suture umbilikalne strane blago su savijene unazad i umjereno usječene.

Promatrana s bočne strane kućica je nisko konična, gotovo plankonveksna, s rubom koji na starijim klijetkama posljednjeg zavoja može biti oštar, dok su najmlađe klijetke zaobljenije. Oblik i položaj ušća vrlo su varijabilni. Može biti smješteno bliže umbilikusu, nadvijajući se nad njim, ili pozicionirano bliže rubu kućice. Oblik varira od ovalnog i oblika visokog luka do izduženog, niskog luka. Često je ukrašeno tankom usnom. *Kummerform* kućice mogu biti česte (do ~60 % jedinki u uzorku) s puno varijacija u veličini i obliku najmlađe klijetke.

U priabonskim uzorcima s Hvara (stupovi Podstine i Zračće) vrsta *T. cerroazulensis* je vrlo rijetka (<1 %), dok u uzorcima ostalih lokaliteta njezina zastupljenost iznosi 1–10 % i najzastupljenija je u uzorcima koji pripadaju biozoni E15. Uz nju javljaju se i druge vrste njezinog evolucijskog niza (*T. pomeroli* i *T. cocoaensis*) te vrsta *S. corpulenta*, što upućuje na zajednicu dubljih dijelova vodenog stupca (termokline).

6.1.4 - Rod *Dentoglobigerina*

Objavom atlasa za oligocen (Wade i sur., 2018a) kompletirana je taksonomska revizija paleogenskih planktonskih foraminifera, nadovezujući se na paleocenski (Olsson i sur., 1999) i eocenski atlas (Pearson i sur., 2006). Ovaj dodatak taksonomiji donosi i značajnu reviziju roda *Dentoglobigerina* (Wade i sur., 2018c).

Originalno rod je postavio Blow (1979), unutar porodice Globoquadrinidae, određivši vrstu *Globigerina galavisi* Bermudez za tipsku vrstu. To je ujedno i najranija predstavica roda, za koju Blow (1979) smatra da potječe od neke od vrsta roda *Subbotina*.

Taksonomskom revizijom Olsson i sur. (2006b), rod *Dentoglobigerina* zadržan je unutar porodice Globoquadrinidae. Zbog ne-spinozne teksture stijenke, autori negiraju njegovu evolucijsku povezanost s porodicom Globigerinidae i predlažu razvoj iz roda *Acarinina*, procesom redukcije murikatne stijenke u pustuloznu.

Wade i sur. (2018c) značajno mijenjaju taksonomski položaj rodu. Autori se slažu s Blow-om (1979) da se rod razvio iz roda *Subbotina*, što potkrepljuju nalazima spina i njima pripadajućih šupljina kod vrste *D. galavisi*. Temeljem toga pridružuju rod *Dentoglobigerina* porodici Globigerinidae. U porodici Globoquadrinidae zadržavaju samo miocensku vrstu *Globoquadrina dehiscens*, dok recentnu vrstu *Globoquadrina conglomerata* smatraju nevažecim taksonom zbog morfološke istovjetnosti s vrstom *Dentoglobigerina venezuelana* koja je prisutna od paleogena.

S ovime se nisu složili Brummer i Kučera (2022) u svojoj reviziji taksonomije živućih planktonskih foraminifera. Koristeći podatke istraživanja genoma vrste *G. conglomerata* (Morard i sur., 2019), autori navode na zaključak kako vrsta ne pripada porodici Globigerinidae. Problematiku roda *Dentoglobigerina* ostavljaju za buduća istraživanja vezana uz izradu atlasa planktonskih foraminifera neogena i kvartara, koja su trenutku pisanja ove doktorske disertacije još nije objavljen.

U godinama proteklim od njegove zadnje revizije (Wade i sur., 2018), došlo je do novih spoznaja o rodu *Dentoglobigerina*. Uz sugestije da mnogim vrstama donje granice stratigrafskog raspona treba produljiti prema srednjem eocenu (Fayolle i Wade, 2019; Wade i sur., 2021), otkrivene su značajne razlike u morfologiji stijenke unutar roda (Fayolle i Wade,

2019). Ovi autori analizirali su teksture stijenke na izvrsno očuvanim primjercima više vrsta iz naslaga srednjeg eocena, starosti ekvivalentne biozoni E9. Otkrili su da dio vrsta ima morfološke sličnosti s rodom *Acarinina*, a dio s rodom *Subbotina*, što su potkrijepili SEM snimcima detalja stijenke i potencijalnih prijelaznim oblicima iz ova dva roda. Temeljem toga sugerirali su da rod *Dentoglobigerina* ima polifiletičko podrijetlo.

Kako je rod *Dentoglobigerina* prisutan u naslagama analiziranim za potrebe ovog doktorskog rada, izrađene su mikrofotografije više vrsta (Tabla 1 S; Tabla 6 N–T) te SEM snimci jedinki vrsta *D. galavisi* (Tabla 1 T, U) i *D. larmeui* (Tabla 6 U). Potonje dvije vrste ovdje će biti pobliže diskutirane uz pomoć pripadajućih SEM snimaka.

6.1.5 - Taksonomski opis vrste *D. galavisi*

***Dentoglobigerina galavisi* (Bermudez 1961)**

Tabla 1 T, U

Sinonimija:

Globigerina galavisi Bermudez 1961, Tabla 4, slika 3. Gornji eocen, Upper Jackson formacija, Mississippi, SAD.

Dentoglobigerina galavisi (Bermudez) - Olsson i sur., 2006b, Tabla 13.1. Gornji eocen, jedinke s više lokaliteta.

Dentoglobigerina galavisi (Bermudez) - Wade i sur., 2018c, Tabla 11.5.

Dentoglobigerina galavisi (Bermudez) - Fayolle i Wade, 2019, Slika 9 A–F. Srednji eocen, greben Walwis, južni Atlantik.

Opis: Površina stijenke je makroperforatna kancelatna, vrlo vjerojatno spinozna. Rast kućice je trohospiralan, nizak. Klijetke su kuglaste, no u zadnjem zavoju, koji tipično sadrži 4–5 klijetaka, poprimaju ovalan obris. Suture su ravne i usječene, umbilikus uzak i ograđen klijetkama. Ušće je umbikalno smješteno, oblika niskog luka, s vrlo tankom usnom koja

prema sredini ušća prelazi u trokutasti, asimetrični zubić. *Kummerform* oblici su prisutni, no najmlađa klijetka kod takvih primjeraka (Tabla 1 T) rijetko ostaje sačuvana.

Jedinka *D. galavisi* iz donjeg oligocena (Tabla 1 T) izgledom kancelatne stijenke jako nalikuje rodu *Subbotina* (Tabla 1 E–H). Sličnost s nisko trohospiralnim vrstama *Subbotina* (primjerice *S. tecta*, Tabla 1 E, F) postoji i u općoj morfologiji, posebice u kuglastom obliku klijetaka starijih zavoja *D. galavisi*. Na stijenci su prisutne šupljine (Tabla 1 U) koje oblikom i položajem izgledaju kao šupljine zaostale gubitkom spina. Prema tome, za pretpostaviti je da je jedinka bila spinozna. Ipak, prisutnost blagog otapanje stijenke, vidljivo na međupornim grebenima (Tabla 1 U), nalaže oprez pri interpretaciji. Ne može se sasvim isključiti da su vidljive šupljine artefakt nastao post-mortem otapanjem.

D. galavisi se javlja kroz čitav stratigrafski raspon istraživanih naslaga, no njezin relativni udio u zajednici je uvijek manji od 5 %, a često i od 1 %. Iz izgleda stijenke najvjerojatnije je da je *D. galavisi* pripadala spinoznoj porodici Globigerinidae te da je bila srodna rodu *Subbotina*, kao što tvrde Wade i sur. (2018c).

6.1.6 - Taksonomski opis vrste *D. larmei*

Dentoglobigerina larmei (Akers)

Tabla 6 R–U

Sinonimija:

Globoquadrina larmei Akers, 1955: Tabla 65, slike 4a–c. Miocen, Louisiana, SAD.

Globoquadrina larmei larmei Akers. Blow, 1969: Tabla 28, slika 6. Srednji miocen, Venezuela.

Dentoglobigerina larmei (Akers). Spezzaferri i Premoli Silva, 1991: Tabla 2, slike 6a–c. Oligocen, Meksički zaljev.

Dentoglobigerina larmei (Akers). Wade i sur., 2018c: Tabla 11.8, slike 1–16. Oligocen–miocen, ilustrirani primjerci s više lokaliteta.

Dentoglobigerina larmei (Akers). Lam i Leckie, 2020: Tabla 1, slike 13–19. Miocen, sjeverozapadni Pacifik.

Opis: Tekstura stijenke je makroperforatna kancelatna, s pustulama koje rastu na međupornim grebenima, koncentriranim u blizini ušća (*Globoquadrina* tip stijenke). Kućica je vrlo nisko trohospiralna, s 3 ½–5 ovalnih klijetaka vidljivih na umbilikalnoj strani. Najmlađa klijetka zaravnjena je u području ušća i blago nadvijena nad njim. *Kummerform* oblici su česti, s malom, ovalnom najmlađom klijetkom koja može u potpunosti zakloniti ušće. Suture su blago usječene, većim dijelom ravne, no prema rubu kućice postaju blago savijene. Umbilikus uzak, djelomično ograđen klijetkama koje ga okružuju. Ušće umbilikalno–ekstraumbilikalno smješteno, nisko i oblika širokog nepravilnog proreza. Može nositi širok i nizak trokutasti zubčić.

D. larmei pronađena je u uzorcima lokaliteta Viganj oligocenske starosti. Jedinke nisu brojne, no morfološki se jasno izdvajaju od vrste *D. galavisi* (Tabla 1 T, U) iz koje se, prema Wade i sur. (2018c), *D. larmei* najvjerojatnije razvila. Jedinica prikazana SEM fotografijom (Tabla 6 U) ima dobro razvijen *Globoquadrina* tip stijenke. Šupljine zaostale gubitkom spina nisu uočene, no stijenka je prekrivena debelim slojem gametogenetskog kalcita pa se ne može isključiti da ih jedinka za života nije stvarala. Jedinica je *kummerform*, a gametogenetski kalcit prekriva čak i najmlađu klijetku. Predzadnja klijetka je oljuštena, a ona prije nje je napukla, ali cjelovita (Tabla 6 U).

Wade i sur.(2018c) navode širok stratigrafski raspon vrste, od donjeg oligocena do donjeg miocena, no niti prva niti zadnja pojava nisu jasno utvrđene. Predložena donja granica najranije pojave je unutar biozone O2, no u naslagama lokaliteta Viganj ona je otkrivena u biozoni O1 i istovremena je s zonskim markerom *P. naguewichiensis*. Pregled dostupne literature nije otkrio stratigrafski ekvivalentne ili ranije pojave ove vrste pa prisustvo ove vrste u naslagama biozone O1 u istraživanim naslagama predstavlja trenutno najraniju zabilježenu pojavu ove vrste.

6.2 - Biostratigrafske posebnosti istraženih naslaga

Pomoću planktonskih foraminifera u istraživanim naslagama određene su 4 biozone iz zonacijske sheme Wade i suradnika (2011). U okolici Slanog određene su dvije biozone: biozona E13 *Morozovelloides crassatus* i biozona E15. Na području otoka Hvara opisane su biozone E15 *Globigerinatheka index* i E16 *Hantkenina alabamensis*. U naslagama lokaliteta poluotoka Pelješca također su prepoznate zajednice biozona E15, E16m, ali i ona biozone O1 *Pseudohastigerina naguewichiensis*.

Iako su pronađene zone E13 i E15, biozona E14 *Globigerinatheka seminvoluta* u potpunosti izostaje. Biozona je relativno dugog trajanja, ~2 milijuna godina (prema Wade i sur., 2011). Na profilima Slano–Čepikuće, okolice Slanog, nedostatak biozone E14 može se povezati s ograničenim površinskim prostiranjem naslaga (Slike 4.1, 5.1). Naslage ove biozone rijetko su zabilježene u površinskim naslagama Dinarskog bazena, no prisutne u bušotinama odobalja Istre (Mancin, 2007; Premec Fuček, 2009; Premec Fuček i sur., 1998). U Istri i sjevernoj Dalmaciji taloženje fliša započinje i završava ranije (Babić i sur., 2007; Drobne i sur., 2012) nego u srednjem i južnom dijelu predgorskog bazena. U Sjevernodalmatinskom bazenu već u gornjem bartonu talože se Promina naslage (Mrinjek i sur., 2012), koje su stratigrafski ekvivalentne ovdje opisanom prijelazu iz srednjeg u gornji eocen. U južnijim dijelovima bazena ova zona nije dokumentirana iz više razloga. U slučaju starije literature (primjerice Marinčić, 1981) zato što zona jednostavno još nije bila definirana, a zonacijska shema Krašeninnikova i suradnika (1968) slabije je rezolucije za gornji eocen jer ga objedinjuje unutar *Globigerina corpulenta* zone. U novijoj literaturi naslage E14 biozone ili ne izdanjuju (primjerice Saxena i sur., 2022) ili su vrlo ograničene debljine (npr. Marjanac i sur., 1998) zabilježili su tanki interval istovremene nanoplanktonske zone NP18).

Biostratigrafsko određivanje istraženih naslaga otežao je izostanak primarnih indeks vrsta za pojedine biozone. U takvim okolnostima, kako bi se odredila starost naslaga prema Wade i sur. (2011) zonaciji iznimno važnima i korisnima pokazale su se sekundarne indeks vrste, odnosno markeri njihovih pojava i izumiranja. Kao i primarni markeri, oni su biokronološki kalibrirani, no obuhvaćaju događaje koji se ne mogu u potpunosti korelirati na čitavom području tropskog i subtropskog pojasa.

6.2.1 - E13 - *Morozovelloides crassatus* biozona

U istraživanim naslagama koje su određene kao biozona E13 rijetki su pronađeni primjerci indeks vrste *M. crassatus*, što ograničava biostratigrafsku primjenjivost ove vrste. Za definiranje biozone E13 puno korisnijom pokazala se vrsta *A. mcgowrani* (Tabla 6 E–H) koja je brojnija i sekundarni je marker za ovu biozonu (Wade i sur., 2011). Ova vrsta, kao i *M. crassatus* pripada u neformalnu grupu „velikih murikatnih“ foraminifera (Tabla 6 A–H). One su često bile dominantne planktonske foraminifere u zajednicama paleocena i dijela eocena (Pearson i sur., 2006a), no bile su visoko specijalizirane foraminifere sa simbiontima i stoga ekološki osjetljive (Edgar i sur., 2013; Filippi i sur., 2024; Luciani i sur., 2017; Wade i sur., 2008). Do kasnog srednjeg eocena i biozone E13 su, prema Pearson-u i suradnicima (2006), preživjele tek četiri vrste: tri iz roda *Acarinina* (*A. mcgowrani*, *A. primitiva* i *A. rohri*) i marker vrsta zone, *M. crassatus*. Nabrojane vrste izumiru do kraja biozone pa u zajednici ostaju samo rastom malene i manje specijalizirane vrste: *A. collactea*, *A. echinata*, *A. medizai* i *P. capdevilensis* (Pearson i sur., 2006a; Wade i sur., 2018d). U zajednici biozone E13 iz naslaga okolice Slanog prisutne su sve navedene „male“ vrste, no od „velikih“ vrsta identificirane su samo *A. mcgowrani* i *M. crassatus*. Pearson i sur. (2006a) smatraju da je *A. mcgowrani* izumrla neposredno prije vrste *M. crassatus* i kraja biozone E13, a to su potvrdili i Wade i sur. (2011) koji su izumiranje vrste odabrali za sekundarni marker vrha biozone. Premec Fuček (2009) navela je da u sedimentima odobalja Istre velike murikatne vrste postaju rijetke kasno u biozoni E13 te da su *A. mcgowrani* i *M. crassatus* vrste koje posljednje nestaju iz zajednice. Identično opažanje objavila je s koaturicama i za naslage Sirije (Premec Fuček i sur., 2021). Temeljem značajnih sličnosti u sastavu i učestalosti murikatnih vrsta s gore navedenim naslagama, može se zaključiti da ovim radom opisane naslage bartona u okolici Slanog predstavljaju slično stanje zajednice neposredno pred prijelaz iz srednjeg u kasni eocen i odgovaraju gornjem dijelu biozone E13.

6.2.2 - E15 - *Globigerinatheka index* biozona

Prijelaz između srednjeg i gornjeg eocena nije zahvaćen u istraženim naslagama pa su iduće dokumentirane naslage tek one biozone E15. U istraženim naslagama mogu se razlikovati dva dijela ove biozone prema zajednici planktonskih foraminifera. Njezin „donji“ dio obilježen je brojnošću vrsta iz roda *Turborotalia*, posebice vrstom *T. cerroazulensis* (vrsta je već korištena kao indeks fosil ekvivalentnih biozona u zonacijskim shemama Berggren i sur., 1995 i Toumarkine i Luterbacher, 1985). U ovom dijelu biozone još uvijek su brojne vrste roda

Globigerinatheka, što uključuje i marker vrstu gornje granice biozone, *G. index*. Vrsta *P. nagewichiensis*, koja se, prema literaturi, prvi put javlja u ovoj biozoni (Olsson i Hemleben, 2006), također je prisutna. Granica između donjeg i gornjeg dijela biozone je definirana zadnjom pojavom vrste *T. pomeroli* koju Pearson i sur. (2006b) stavljaju unutar ove biozone, a Coccioni i sur. (1988) datiraju događaj na prije 35,5 milijuna godina. U istraživanim naslagama postoje značajne promjene u zajednici planktonskih foraminifera tijekom biozone E15 (Slika 5.12) od kojih se ističe pad relativnog udjela roda *Globigerinatheka* paralelan nestanku *T. pomeroli*. Na temelju toga mogle bi se definirati dvije lokalne intervalne biozone. Prva bi bila definirana rasponom između zadnje pojave vrste *G. semiinvoluta* i zadnje pojave vrste *T. pomeroli*. Ova biozona bila bi ekvivalentna donjem dijelu biozone E15 zonacijske sheme Wade i suradnika (2011). Druga biozona bila bi definirana rasponom od zadnje pojave *T. pomeroli* do prve pojave *T. cunialensis*. Ova biozona obuhvaćala bi gornji dio biozone E15 i ulazila u biozonu E16 zonacijske sheme Wade i sur., 2011.

6.2.3 - E16 - *Hantkenina alabamensis* biozona

Iako je gornju granicu E16 biozone bilo lako prepoznati po nestanku vrste *T. cerroazulensis* i smanjenju kućice vrste *P. micra*, utvrđivanje njene donje granice puno je nesigurnije zbog nedostatka provodnih vrsta. Početak biozone E16, prema Wade i sur. (2011) definira izumiranje vrste *G. index* koja, kako je već navedeno, u istraživanim naslagama postaje vrlo rijetka tijekom biozone E15. U takvim situacijama (primjerice u stupu Trstenica) za najbližu aproksimaciju početka biozone E16 odabrana je prva pojava vrste *T. cunialensis*. Za isto rješenje u obližnjem Venecijanskom bazenu odlučila se i Premec Fuček (2009).

Indeks vrsta gornje granice, *H. alabamensis*, te njoj srodne ostale Hantkeninidae izumiru na kraju biozone odnosno granici eocena s oligocenom (Pearson i sur., 2006; Wade i sur., 2011). Kako se radi o vrlo rijetkim vrstama u analiziranim naslagama (<1 %), njihovo odsustvo ne može se koristiti kao dokaz kraja biozone E16. Iz tog razloga primijenjena su dva pomoćna markera. Prvi je nestanak vrsta *Turborotalia cerroazulensis*, *T. cocoaensis* i *T. cunialensis*. Prema Wade i sur. (2011) njihov nestanak je istovremen i zbio se prije otprilike 33,8 milijuna godina. Na lokalitetu stratotipa granice (Coccioni i sur., 1988) nestanak vrsta *T. cocoaensis* i *T. cunialensis* bio je prije 33,76 milijuna godina, samo 54 tisuća godina prije nestanka zadnjih pripadnika porodice Hantkeninidae. Drugi izabrani marker granice je drastična promjena veličina kućica vrste *P. micra*. Utvrđeno je kako na granici eocena s oligocenom (Wade i sur.,

2011; 2018a) brojnost ove vrste smanjuje, a kućice nestaju iz frakcije $>125 \mu\text{m}$ (Wade i Pearson, 2008; Wade i sur., 2011). U istraženim naslagama pad relativne zastupljenosti ove vrste dogodio se ranije (tijekom biozone E16 na lokalitetima Zračće, Trstenica, Podobučje i Viganj), no trend smanjenja kućica je uočen u naslagama na lokalitetu Viganj i podudara se s nestankom porodice Hantkeninidae i strogo eocenskih vrsta roda *Turborotalia*.

6.2.4 - O1 - *Pseudohastigerina naguewichiensis* biozona

Prva, najstarija oligocenska biozona utvrđena je samo u naslagama lokaliteta Viganj, temeljem prisustva indeks vrste (*P. naguewichiensis*) i sekundarnog markera (sve kućice vrste *P. micra* promjera $<125 \mu$). Razlikuje se od ostalih opisanih eocenskih zajednica na istraživanom području. Zajednicom dominiraju biserijalni rod *Chiloguembelina* i foraminifere iz porodice Globigerinidae (*Dentoglobigerina*, *Globoturborotalita* i *Subbotina*). Od *Turborotalia* prisutne su samo *T. ampliapertura* i *T. increbescens*. Zona je utvrđena pomoćnim markerom, mjerenjem veličine kućica vrste *P. micra*. Gornja granica biozone O1 nije zahvaćena u istraženim naslagama, a indeks vrsta biozone, *P. naguewichiensis*, dobro je zastupljena u zajednici. Zajednica ove biozone slična je onoj iz Venecijanskog bazena (Hernitz Kučenjak i Premec Fuček, 2013). Ove autorice također su uočile smanjenje veličine kućica *P. micra* na granici eocen/oligocen, a ovaj fenomen je detaljnije obradila i dokumentirala Hernitz Kučenjak (2012) u svojoj doktorskoj disertaciji.

Može se pretpostaviti da je izostanak naslaga biozone E14 rezultat nedostatka izdanaka uslijed pokrivenosti terena. Unatoč tome, naslage srednjeg eocena (biozona E13) se od onih gornjeg eocena (biozone E15 i E16) jasno mogu razlikovati po prisustvu odnosno izostanku velikih murikatnih vrsta. U gornjoeocenskim naslagama izostanak provodnih vrsta zona koje su definirali Wade i sur. (2011) otežava odvajanje priabonskih biozona E15 i E16 te granicu eocen/oligocen. Taj problem može se otkloniti pomoću sekundarnih markera pa se početak biozone E16 može aproksimirati prvom pojavom *T. cunialensis*, a granica epoha smanjenjem brojnosti i maksimalne veličine vrste *P. micra*. Značajne promjene zajednice tijekom biozone E15 daju potencijalnu osnovu za definiranje dvije lokalne intervalne zone, odvojene zadnjom pojavom vrste *T. pomeroli*.

6.3 – Okoliš taloženja

6.3.1 - Dubina bazena (*foredeep* prostora)

Opisane naslage, od najstarijih (biozone E13) do najmlađih (O1 biozona) otkrivaju trend produbljivanja bazena. On započinje na dubinama gornjeg batijala (~750 m, Slika 5.6) i napreduje prema srednjem batijalu i dubinama blizu 1200 m (Slike 5.6, 5.8, 5.9). Uzroci produbljivanja prostora mogu biti različiti: od eustatskog porasta morske razine, kompakcije istaloženih naslaga, subsidencije bazena, usporavanja karbonatne produkcije ili donosa materijala te tektonske deformacije bazena (Catuneanu, 2002). Eustatske promjene razine mora vjerojatno nisu bile uzrokom produbljivanja. Tijekom bartona i priabona one su varirale do ~50 m (Miller i sur., 2005), nedovoljno za zabilježeni porast dubine od ~400 m. Štoviše, oledba Antarktika izazvala je eustatski pad od ~50–60 m početkom oligocena (Houben i sur., 2012). Prema tome, uzrok produbljivanju bazenskog prostora treba potražiti među regionalnim faktorima. Ono može biti posljedica tektonike povezan se izdizanjem Dinarida. Kompresijska tektonika koja je stvarala dubokomorski bazen bila je izražena u srednjem i kasnom eocenu te ranom oligocenu (Mrinjek i sur., 2012; Schmid i sur., 2020), i to odgovara ovdje zabilježenom generalnom trendu produbljivanja prostora od gornjeg prema donjem batijalu.

Iznimka trendu utvrđena je u uzrocima stupa Trstenica u gornjem priabonu. Razlika u izračunatim paleodubinama prema drugim lokalitetima je značajna i iznosi ~400 m plice dubine taloženja. Vrijednosti fragmentacijskog indeksa su više nego u ostalim stupovima (Slika 5.7) pa se manji dio te razlike može objasniti lošijom očuvanošću planktonskih foraminifera koje su podložnije otapanju od bentičkih (Corliss i Honjo, 1981). Glavni uzrok ipak treba potražiti u paleoreljefu. Budući da je bazen bio tektonski aktivan u kasnom eocenu, za vrijeme taloženja naslaga stupa Trstenica, moguće je da je došlo do diferencijacije njegovih dijelova. Tektonska aktivnost koja je produbljivala bazen mogla je, preko reversnih rasjeda, lokalno izdići neke njegove dijelove.

Dubina bazena direktno se veže na stopu otapanja kućica foraminifera. Porastom dubine, kako se mijenja temperatura, tlak, pH i koncentracija CO₂, mijenja se i topljivost CaCO₃. U današnjim tropskim i subtropskim oceanima lizoklina (zona na kojoj naglo raste rata otapanja) započinje na dubinama većim od 3000 m (Sarmiento i Gruber, 2006). Tijekom kasnog eocena, njezin vrh u tropskim oceanima nalazio se i dublje (Krause i sur., 2023; Lyle i sur., 2002).

Brzina otapanja tijekom tonjenja ovisi i o osobinama kućica. Sitnije kućice i juvenilne jedinice bit će, u pravilu, sklonije otapanju od onih većih (Peeters i sur., 1999; Schiebel i Hemleben, 2017). Postoji više istraživanja otpornosti na otapanje kućica paleogenskih planktonskih foraminifera (Nguyen i sur., 2009; 2011; Orabi i Zaky, 2016; Petrizzo i sur., 2008).

Najotpornije kućice su one s murikatnom stijenkom. Otpornošću se ističe rod *Acarinina*, dok je rod *Morozovella* manje otporan (Petrizzo i sur., 2008). *Subbotina*, zbog svoje kancelatne stijenke, podložnija je otapanju. Unutar ovog roda uočene su razlike u otpornosti na otapanje. Vrste koje tvore masivnije kućice, posebice *S. senni* koja često stvara debelu gametogenetsku koru, otpornije su od ostalih vrsta *Subbotina* (Oraby i Zaky, 2016; Petrizzo i sur., 2008).

Kućice rodova s tanjom, glatkom stijenkom kao što su *Globanomalina* i *Zeauvigerina* (Nguyen i sur., 2009) najpodložnije su otapanju (Petrizzo i sur., 2008). U istraživanim naslagama prisutni su njihovi srodnici s istim tipom (teksturom) stijenke. *Turborotalia* dijeli tip stijenke s rodom *Globanomalina*, a *Chiloguembelina* s rodom *Zeauvigerina*. Prema tome, u sedimentima koji su zahvaćeni otapanjem, može se očekivati smanjen broj kućica prvo rodova *Chiloguembelina* i *Turborotalia*, a potom i roda *Subbotina*. To se može prepoznati tijekom priabona kod naslaga tri stupa: Podstine, Zračće i Trstenica.

Stup Trstenica pokazuje neke od znakova utjecaja otapanja na sastav fosilne zajednice u biozoni E16. Uzorak TR 7 uopće nema fosilni sadržaj (Slika 5.2), dok malena, biserijalna vrsta *C. ototara* nedostaju u uzorku iznad (uzorak TR 8; Slika 5.2), što je ujedno i uzorak u kojem je fragmentacijski indeks najviši, otprilike trostruko veći nego u ostatku stupa (Slika 5.7). Slična situacija je i u slučaju uzoraka hvarskih lokaliteta. Njih karakterizira manji udio rodova *Chiloguembelina* i *Turborotalia* (Slike 5.4, 5.5) u odnosu na stratigrafski ekvivalentne naslage Pelješca (Slike 5.3, 5.4). Iako su fragmentacijski indeksi iz hvarskih uzoraka niski (do 15 % za Podstine, Slika 5.8 i do 4 % za Zračće, Slika 5.9), njihove vrijednosti koreliraju sa stupnjem očuvanosti ova dva roda. Veća zastupljenost ovih rodova zabilježena je u naslagama stupa Zračće, gdje su fragmentacijski indeksi najniži. Fragmentacija je stoga povezana s pojačanim otapanjem njihovih kućica.

Dinarski predgorski bazen bio je pod utjecajem suptropske klime (Brčić i sur., 2023), a lizoklina, u smislu kako je definirana, nije postojala (paledubine bazena jedva prelaze 1000 m; Slike 5.6–5.9). Prema tome, kućice su imale kraći put do dna nego što je to slučaj s otvorenim oceanom, kroz vodu dobre zasićenosti kalcitom i svako povećano otapanje je atipično i zahtijeva pažnju.

Uzrok treba potražiti u pojavi otapanja na manjim dubinama, koja je poznata kao supralizoklinalno otapanje (Schiebel i sur., 2007), odnosno razvoj sloja supralizokline. Supralizoklina kalcita najčešće nastaje uslijed pritoka hladnih pridnenih struja što poboljšava njegovu topivost, ili zbog sniženja pH uvjeta u vodenom stupcu i na morskom dnu oksidacijom organske tvari. Utjecaj pridnenih struja može se minimalizirati, jer je Dinarski predgorski bazen bio zaštićen od njihova utjecaja svojim geografskim položajem i manjom dubinom u odnosu na okolna područja. Vjerojatniji uzrok je snižen pH u vodenom stupcu uslijed oksidacije organske tvari i oslobađanja CO₂. To se, primjerice, može dogoditi prilikom oksidacije ugljika iz organskih spojeva. Izvor organskih spojeva može biti sama foraminifera nakon što uginu (Berger, 1970a; Miliman i sur., 1999), ostaci drugih organizama (poput fitoplanktona; Petró i sur., 2021) ili organska tvar kopnenog porijekla. Oksidacijom nastao CO₂ može tvoriti uvjete u vodenom stupcu i na dnu koji su korozivni za CaCO₃. Jedinka nakon ugibanja može tonuti i do nekoliko tjedana (Hemleben i sur., 1989), a na dnu također je izložena otapanju. U sva tri stupa (Trstenica, Podstine i Zračće) radi se o priabonskim naslagama, u kojima povišene relativne zastupljenosti drugih oportunističkih rodova kao što su *Streptochilus* i *Tenuitella* sugeriraju obogaćenje mora fitoplanktonom. Nakon ugibanja ostaci fitoplanktona postaju izvor organske tvari koja bi oksidirala dok kućice tonu prema morskome dnu i talože se na njemu, a što bi pojačalo njihovo otapanje. Dodatno, organska tvar mogla je doći i s kopna, pojačanim donosom materijala, koji su Horvat i sur. (2025) dokazali za uzorke stupova Podstine i Zračće. Unatoč taloženju na dubinama puno plićima od onih tipične lizokline, mala brojnost kućica planktonskih foraminifera kućica podložnih otapanju kao što su *Chiloguembelina* i *Turborotalia*, kao i pojave povišenih vrijednosti fragmentacijskog indeksa daju dovoljne dokaze postojanju povremenog supralizoklinalnog sloja tijekom priabona. Otapanje kalcita u njemu najvjerojatnije je bilo izazvano korozivnim uvjetima pH uslijed oksidacije organskih tvari, tijekom perioda njihove povišene koncentracije tvari na dnu i/ili u vodenom stupcu.

6.3.2 - Učinkovitost fragmentacijskih indeksa i njihov potencijal za buduće interpretacije

Vrlo slične vrijednosti Fragmentacijskog indeksa (Le i Shackleton, 1992) i FV indeksa (Adebayo i sur., 2025) na probnom uzorku (Viganj VI 3) dokazuju da su njihovi rezultati usporedivi i da je noviji indeks primjenjiv na zajednice paleogenskih planktonskih foraminifera.

Jednostavni model prepoznavanja i mjerenja fragmenata pokazao se relativno točnim (točnost od 87,8 % na temelju jednog uzorka). U standardu uzorka od 300 jedinki s fragmentacijskim indeksom ~10 %, model ove točnosti izračunao bi fragmentacijski indeks od ~9 %, što nije golemo odstupanje, no model treba dodatno usavršiti kako bi se ono umanjilo u odnosu na klasično ručno brojanje fragmenata. To bi se moglo postići povećanjem trening seta podataka (više materijala većeg raspona starosti i s više lokaliteta) ili poboljšanjem osjetljivosti algoritma, potencijalno kroz povećani broj morfoloških parametara.

Predloženi indeks oštećenosti kućica predstavlja zanimljivu alternativu fragmentacijskim indeksima jer u obzir uzima ne samo broj fragmenata i njihovu veličinu, već i očuvanost njihove stijenke. Potencijal bi mogao ostvariti i na kućicama bentičkih foraminifera koje su otpornije na otapanje pa je ono vidljivije iz promjena na površini stijenke. Model automatizirane klasifikacije oštećenosti površina koji je razvijen za potrebe testiranja ovog indeksa potrebno je dalje usavršiti. To bi se moglo ostvariti tako da se trenira na materijalu koji je kontrolirano u laboratoriju otapan do različitih stupnjeva fragmentiranosti, kako bi se utvrdila krivulja njegova porasta mogla napraviti direktna usporedba s ekvivalentnim krivuljama drugih fragmentacijskih indeksa.

6.4 - Zajednice planktonskih foraminifera

6.4.1 - Distribucija planktonskih foraminifera u vodenom stupcu

Izračun Pearson-ovog koeficijenta između relativnih zastupljenosti rodova omogućuje uvid u dinamiku zajednica. Ako rast ili pad relativnog udjela jednog roda prati trendove kretanja drugog, to ne znači su oni direktno povezani i utječu jedan na drugog, no može biti znak utjecaja istih okolišnih faktora na oba roda. Kod vrsta sličnih ekoloških uloga koje dijele životni prostor ne može se isključiti pojava kompeticije koja bi išla na korist jedne a na štetu druge od njih. Ako je korelacija između dva roda negativna, to može biti indicacija kompeticije među njima, no kompeticija za resurse među planktonskim foraminiferama rijetko se događa. Zbog odnosa njihove veličine (promjer s pseudopodijima do ~2 cm) i gustoće populacije u moru koja je reda desetaka jedinki po m³ (Hemleben i sur., 1989), populacije planktonskih foraminifera imaju rijetku distribuciju i najčešće nisu u direktnoj kompeticiji za resurse.

Karakteristike izdanaka (Slike 4.1, 4.2) ograničile su broj uzoraka, a takav protokol uzorkovanja omogućio je prepoznavanje samo izraženih korelacija. Visoka je vjerojatnost da su zajednice obuhvaćale složenije odnose šireg raspona intenziteta, koji nisu ostavili dovoljno snažan signal da ih se detektira. Uz to, treba uzeti obzir da uzorak ne predstavlja stvarno stanje zajednice u jednom trenutku već obuhvaća interval geološkog vremena (*time averaging*) tijekom kojeg su se generacije kućica nakupljale na morskom dnu, a što uključuje i potencijalne dijagenetske procese poput otapanja, premještanja i pretaloživanja.

Gdje postoji statistički značajna korelacija, ona uvijek grupira rodove zajedno prema okolišima koje su nastanjivali. Dobiveni rezultati (Prilog 3) uspoređeni su s podacima dostupnim iz literature (Aze i sur., 2011; Pearson i sur., 2006a; Wade i sur., 2018a), a otkrivaju podjelu na dvije grupe (zajednice) planktonskih foraminifera: zajednicu miješanog sloja te zajednicu termokline i područja ispod nje (dubljevodne foraminifere).

Prva grupa okuplja rodove koji nastanjuju najplići, miješani sloj vodenog stupca, preferiraju više temperature mora, oligotrofične uvjete i često imaju simbionte. (Prilog 3). Za rodove *Acarinina*, *Globigerinatheka*, *Globoturborotalita* i *Morozovelloides* ovakva interpretacija njihovih staništa u skladu je s interpretacijom prema literaturi (Pearson i sur., 2006a). Za rod *Pseudohastigerina* postoje različita mišljenja. Dio istraživanja izotopnog sastava ($\delta^{18}\text{O}$ izotopa) upućuje na miješani sloj (Olsson i sur., 2006c; Pearson i sur., 2001; Poore i Matthews, 1984), no manji dio (Keller i sur., 1992 i Sexton i sur., 2006) ukazuju na život unutar termokline. Pozitivna korelacija s rodovima *Acarinina*, *Globigerinatheka* i *Morozovelloides* ukazuje na to da je miješani sloj bio primarno stanište roda *Pseudohastigerina* u bazenu Dinarskog predgorja. Ovakva korelacija otklanja prethodne dileme u interpretaciji životnog prostora ovog roda te će on u daljnjoj diskusiji biti interpretiran kao stanovnik miješanog sloja.

Prostor termokline obuhvaća dio vodenog stupca gdje temperatura mora naglo pada s porastom dubine. Uz to, budući da gustoću mora primarno kontrolira temperatura, ovaj prostor podudara se s piknoklinom i porastom njegove gustoće. Za planktonske foraminifere važan je pad temperature u ovome sloju, kojeg nastanjuju vrste prilagođene hladnijim uvjetima, poput rodova *Subbotina*, *Dentoglobigerina* i *Paragloborotalia*. Dok se rodovi *Subbotina* i *Dentoglobigerina* smatraju stanovnicima termokline tijekom eocena (Olsson i sur., 2006a), postoje indicije da su možda bili dubinski fleksibilni. Izotopna istraživanja roda *Subbotina* pokazuju da je dio vrsta mogao nastanjivati pliće dijelove vodenog stupca u

kasnom eocenu (Kearns i sur., 2021; Wade i Pearson, 2008), što ukazuje na određenu razinu vertikalne fleksibilnosti unutar niše, kao kod moderne vrste *G. bulloides* (Rebotim i sur., 2017). Slične indikacije postoje i za rod *Dentoglobigerina* tijekom oligocena (Dowsett i sur., 2023; Matsui i sur., 2016). Razlike u životnim dubinama unutar ovog roda mogle bi biti i do različitog porijekla pojedinih vrsta (Fayolle i Wade, 2021). Rod *Paragloborotalia* je također stanovnik termokline, no neke vrste (kao što je *P. nana*) mogle su živjeti i dublje (Olsson i sur., 2006b). Korelacijom (Prilog 3) je ovdje utvrđeno da na razini roda grupiraju zajedno pa ih možemo nazvati „grupa dubljevodnih foraminifera“ što uključuje stanovnike termokline i prostora ispod nje.

Vrste roda *Turborotalia* pokazuju varijabilnost u preferencijama dubina staništa. U naslagama obuhvaćenima ovim istraživanjem, relativni udjeli ovog roda negativno su korelirali s onima roda *Globoturborotalia* iz miješanog sloja, a pozitivno s primarno dubokovodnim rodом *Dentoglobigerina*. Takvi odnosi ukazuju da je u Dinarskom predgorskom bazenu rod *Turborotalia* živio dublje, što odgovara izotopnim podacima (Pearson i sur., 2001; 2006b; Wade i sur., 2018a) za najčešće vrste u zajednici (*T. cerroazulensis* i *T. cocoanensis*).

Analiza korelacije rodova *Tenuitella* i *Streptochilus* pokazuje nekonzistentnost u ponašanju jedinki jer, ovisno o lokalitetu, one koreliraju različito u odnosu na vrste miješanog sloja i termokline. Oba roda su rastom male i građom jednostavne foraminifere. *Streptochilus* ima samo jednu eocensku vrstu, *S. martini*. Sexton i sur. (2006) smjestili su je u prostor termokline, no novije istraživanje (Woodhouse i sur., 2025) smješta je u miješani sloj. Smatra se da je rod tijekom paleogena bio oportunistički jer je njegovo širenje povezano s eutrofikacijom i suboksijom (Boersma i Premoli Silva, 1989; Darling i sur., 2003; Luciani i sur., 2010). Živuče morfovvrste „*S. globigerum*“ i „*S. globosum*“, unatoč planktonskom načinu života, genetički pripadaju bentičkoj vrsti *Bolivina variabilis* (Darling i sur., 2009). Slijedom toga, moguće je pretpostaviti da je i paleogenski rod *Streptochilus* odlikovala ekološka plastičnost i oportunistička distribucija, što bi objasnilo varijacije u životnom prostoru prema literaturi, ali i napravljenoj korelacijskoj analizi (Prilog 3).

Huber i sur. (2006) su za rod *Tenuitella* utvrdili da je nastanjivao termoklinu, no novija sinteza spoznaja (Pearson i sur., 2018b) premješta rod u miješani sloj i uz nadopunu da se također radilo o oportunističkom rodu. Pozitivna korelacija (Prilog 3) u kretanjima relativnih udjela u stupu Podstine između *Tenuitella* i *Streptochilus* sugerira da su rodovi tijekom priabona dijelili oportunističku životnu strategiju.

Brojnost roda *Chiloguembelina*, za koji izotopna istraživanja ne daju ujednačen podatak o životnom prostoru (Luciani i sur., 2020), negativno korelira s brojnosti roda dubljevodnog roda *Subbotina* (Prilog 3). To ukazuje da je rod vjerojatno nastanjivao miješani sloj tijekom priabona, no moguće je da je njegova ekološka uloga bila kompleksna. Nagle fluktuacije u brojnosti (od <1 % do preko 10 % udjela u zajednici između pojedinih uzastopnih uzoraka) ukazuju na oportunističku životnu strategiju. Distribuciju jedinki možda je primarno određivao razvoj nekog povremenog utjecaja, a ne temperatura morske površine.

Ako sažmemo gore navedeno, u vodenom stupcu razlikujemo dvije odvojene zajednice planktonskih foraminifera:

1. Zajednicu miješanog sloja (najčešći rodovi *Acarinina*, *Globigerinatheka* i *Globoturbotalita*). To su foraminifere koje preferiraju toplija mora. Njima je pridružena i *Pseudohastigerina* za koju korelacijska analiza dokazuje da je nastanjivala isti dio vodenog stupca u bazenu Dinarskog predgorja.
2. Zajednicu termokline i dubljih dijelova vodenog stupca (najčešći rodovi *Dentoglobigerina*, *Paragloborotalia* i *Subbotina*). Ove foraminifere toleriraju hladnije uvjete u moru. Korelacijskom analizom ovim rodovima pridružena je *Turbotalia*.

Uz ove dvije dubinski jasno odvojene zajednice prisutni su i oportunisti (*Chiloguembelina*, *Streptochilus* i *Tenuitella*). Njihova distribucija primarno je uvjetovana trofičnim režimom mora, a tek manje promjenama temperature i potencijalno su dubinski fleksibilni. Uglavnom tvore „pozadinski“ dio zajednice i njihov porast je indikator pojačane količine nutrijenata u moru.

6.4.2 - Dinamika promjena u vodenom stupcu povezanih s klimatskim promjenama

Istraživane naslage taložile su se prije najviše 40,0 do najmanje 32,1 milijun godina. Taj raspon preklapa se s nekoliko poznatih klimatskih prijelaza. Taloženje najstarijih naslaga, prije ~40,0–38,0 milijuna godina (raspon biozone E13), uslijedilo je nakon završetka srednje eocenskog klimatskog optimuma (*MECO*; prije ~40,5–40,13 milijuna godina; Bohaty i Zachos, 2003), i odgovara *Post-MECO* periodu. Razdoblje je obilježio pad temperatura

morske vode, osobito površinskog sloja, što se negativno odrazilo na planktonske foraminifere miješanog sloja (Luciani i sur., 2010).

Dominacija foraminifera miješanog sloja u ovom periodu odgovara suptropskim do tropskim uvjetima klime, uz naznake promjena koje će uslijediti u kasnom eocenu. Miješani sloj bogat je brojem vrsta i raznolikošću njihovih morfologija, što odgovara velikom broju ekoloških niša u njemu i stabilnoj zajednici (Saraswati, 2021). Dobra relativna zastupljenost rodova *Acarinina* i *Globigerinatheka* ukazuje na tople, oligotrofične uvjete, kakve preferiraju njima analogne recentne planktonske foraminifere sa simbiontima (Schiebel i Hemleben, 2017). Relativno krupne kućice *Globigerinatheka* kakve pronalazimo u zajednici (Tabla 1 I, J) bile su karakteristične za mora nižih geografskih širina (Premoli Silva i sur., 2006). Mala relativna zastupljenost i relativno male kućice vrste *M. crassatus* (Tabla 6 A–D), kao i prisustvo tek jedne „velike“ vrste roda *Acarinina* (*A. mcgowrani*) ipak daju naslutiti da uvjeti nisu bili optimalni svim vrstama miješanog sloja. Ova pojava nije bila lokalna. Vrlo sličnu zajednicu biozone E13, gdje su ove dvije vrste jedini predstavnici velikih murikatnih vrsta opisale su u naslagama područja Sirije Premec Fuček i suradnice (2021), a u sjeverozapadnom Atlantiku i Wade (2004; vrste navedene kao *Acarinina praetopilensis* i *Morozovella spinulosa*). Sličnosti postoje i sa zajednicom srednjeg i gornjeg dijela biozone P14 (~= biozona E13 u ovom radu; slika 4.10) u sedimentima sjevernog Jadrana (Venecijanski bazen, bušotina Istra More 5; Premec Fuček i sur., 1998). Prema tome, uzrok pojavi mora biti šireg djelovanja, a najizgledniji je pad temperature miješanog sloja. Smanjene kućice vrste *M. crassatus* biozone E13 sedimentata sjeverozapadnog Atlantika Wade i sur. (2008) povezali su s smanjenom fotosintetskom aktivnosti simbionata ili čak njihovim potpunim gubitkom.

Svojim sastavom zajednica miješanog sloja odgovara istovremenskim naslagama koje su istaložene u područjima niskih paleogeografskih širina. Dinarski predgorski bazen bio je tijekom srednjeg eocena unutar suptropskog pojasa (Brčić i sur., 2023; Scotese, 2014), a ovakvi rezultati u skladu su i s *greenhouse* klimatskom režimom srednjeg eocena (Pagani i sur., 2014).

U toplim uvjetima vodeni stupac bio je dobro stratificiran, slabih sezonskih oscilacija temperature, s stabilnim miješanim slojem i trajnom termoklinom. Stratifikacija je pritom stvarala prepreku vertikalnoj izmjeni vode između slojeva. To je posljedično usporavalo donos nutrijenata vodom iz dubljih slojeva i „zamućenje“ mora, što je odgovaralo vrstama s fotosintetskim simbiontima.

Stratifikacija je bila barijera i u suprotnom smjeru, sprječavajući zagrijavanje dubljih slojeva vodom iz miješanog sloja. To je dovelo do toga da je termoklina bila plitka i oštrog temperaturnog gradijenta, što potvrđuju i planktonske foraminifere iz tog sloja koje su slabo zastupljene te male raznolikosti zbog malog broja raspoloživih temperaturnih i/ili dubinskih niša. Vrste koje dominiraju, kao što je *T. cerroazulensis*, vjerojatno su bile dobro prilagođene uvjetima trajne termokline.

Vrlo rijetka zastupljenost vrsta koje su nastanjivale prostor ispod termokline u istraživanim naslagama ukazuje na nepovoljne uvjete za takve vrste. Prostor ispod termokline odlikuje stabilna niska temperatura. Zbog relativno plitke dubine bazena u srednjem eocenu od 750–950 m (Slika 5.6) čak i plitka termoklina mogla se prostirati sve do njegova dna pa područje njihovog optimalnog temperaturnog raspona možda uopće nije niti postojalo ili je bilo ograničenog vertikalnog prostiranja. To može biti razlog zašto su dubokovodni rodovi kao *Globorotaloides* i *Paragloborotalia* rijetki tijekom srednjeg eocena.

Promjene u zajednici planktonskih foraminifera između naslaga bartona i priabona (biozone E13–E15) odgovaraju periodu promjena koji se ponekad naziva Srednje–kasno eocenska izmjena faune (*Middle/late Eocene turnover, MLET*; Kamikuri i Wade, 2012). Nestanak nekoliko vrsta indikatora tropskih uvjeta iz miješanog sloja znak je pada temperature morske površine na prijelazu u kasni eocen te smanjenog broja ekoloških niša u njemu. Suprotno tome, raste raznolikost vrsta termokline (Slika 5.12), kao i njihova relativna brojnost, a vrste prostora ispod termokline također postaju brojnije. Pojava sezonskih oscilacija temperature dovela je do toga da tijekom hladnijih perioda stratifikacija slabi, voda iz miješanog sloja lakše dopire u dublje slojeve i prenosi toplinu u termoklinu. Time ona poprima blaži gradijent.

U kasnom eocenu dubina bazena znatno se povećava (Slike 5.6–5.9), što je omogućilo formiranje šireg prostora postojano hladnih uvjeta ispod termokline i stvorilo životni prostor kojeg su nastanili dubokomorskih, sub-termoklinski rodovi, što se vidi iz porasta njihove relativne brojnosti (Slika 5.12).

Naslage gornjeg priabona taložene su za vrijeme klimatskih događaja vezanih uz prijelaz iz eocena u oligocen. Krajem eocena dolazi do promjena u cirkulaciji oceana ključnih za hlađenje cijelog planeta. Otvaranje novih morskih tjesnaca u području Antarktika (Bijl i sur., 2013; Toumoulin i sur., 2020) dovelo je do reorganizacije dubokomorskih struja, što je izoliralo kontinent od toplih pritoka koje su ga dotad zagrijavale. Time započinje stvaranje trajnog ledenog pokrova na njemu, što povećava albedo (slabija insolacija) i snižava morsku

razinu (više kopna smanjuje ukupni toplinski kapacitet planeta), a duboke, hladne struje potom se šire prema oceanima nižih geografskih širina, hladeći i njih.

Neotetis ocean, a s njime i Dinarski predgorski bazen bili su izoliraniji i velikim dijelom van utjecaja hladnih oceanskih cirkulacija. Rezultat toga je da zajednicom i dalje dominiraju topli taksoni (*Globoturborotalita* i *Pseudohastigerina*). Ovi rodovi nadomjestili su dio raznolikosti miješanog sloja izgubljene tijekom kasnog eocena, posebice *Globoturborotalita* koja je potencijalno preuzela nišu koju su tijekom eocena zauzimale murikatne vrste i *Globigerinatheka*. Pojava vrste *T. ampliapertura* također se može interpretirati kao znak promjena. Za ovu vrstu smatra se da je nastanjivala miješani sloj i bila dobro prilagođena na hladniju klimu (Pearson i sur., 2018a). Poznata je još od srednjeg eocena (biozona E12; Pearson i sur., 2006b). U istraživanom dijelu bazena (Prilog 2), kao i sjevernije, u Venecijanskom bazenu (Premec Fuček, 2009), ona se prvi put javlja u gornjoeocenskoj biozoni E15. Moguće je stoga da je ona migrirala u ove bazene tek nakon što joj se oslobodila ekološka niša, koja joj je u otvorenijim, hladnijim, oceanima bila dostupnija puno ranije nego što je to slučaj s Neotetis oceanom.

Sve ovo ukazuje na hladnije uvjete u vodenom stupcu, primarno miješanog sloja. Njegovo hlađenje umanjilo je razlike u temperaturi u odnosu na dublje slojeve vodenog stupca. Time je trajna termoklina postala destabilizirana. Gubitak, ili barem destabilizacija trajne termokline, štetila je vrstama specijaliziranim za život u tom dijelu vodenog stupca. Moguće je da je destabilizacija trajne termokline bila pokretač prvo evolucije unutar roda *Turborotalia* u srednjem i kasnom eocenu, a potom i njegova izumiranja na kraju eocena.

Granica eocen–oligocen predstavlja kulminaciju duljeg perioda promjena u živom svijetu poznatog kao Eocensko-oligocenska izmjena faune (*Eocene/Oligocene faunal turnover*), a koja je dokazano utjecala i na planktonske foraminifere (Boersma i Premoli Silva, 1986; Hernitz Kučenjak i sur., 2006; Keller, 1983; Molina i sur., 1993; Wade i Pearson, 2008).

Na prijelazu epoha značajno raste relativni udio oportunističkih (Slika 5.12), što nije neobično. Obilje biserialnih planktonskih foraminifera česta je pojava u periodima ekološke nestabilnosti (Smart i Thomas, 2006; 2018). Slična pojava zabilježena je i na drugim lokalitetima u svijetu, primjerice na području današnje Sirije (Hernitz Kučenjak i sur., 2006), ekvatorijalnog Pacifika (Moore i sur., 2014), Otway bazena Australije (McGowran, 1987) i Atlantika (Boersma i Premoli Silva, 1986), ali i unutar samog Neotetis oceana (Nocchi i sur., 1986; 1988). Uzrok porastu njihovog udjela u zajednici vjerojatno je kombinacija barem dva

čimbenika. Za razliku od postepenog pada temperatura površine oceana kroz kasni eocen, onaj na samoj granici bio je relativno brz. Prema nedavnoj procjeni (Woodhouse i sur., 2025) prijelaz je sveukupno trajao oko 790 000 godina. Pritom se, u prosjeku, površina mora ohladila za oko 2°C na niskim (Hutchinson i sur., 2021) do oko 5°C na visokim (Liu i sur., 2009) geografskim širinama. Dinarski predgorski bazen bio je negdje između ova dva ekstrema, vjerojatno bliže procjeni za niske širine zbog svojeg geografskog položaja (Brčić i sur., 2023) i izoliranosti od cirkulacije polarnih voda. Ta promjena destabilizirala je niše unutar miješanog sloja (izumiranje roda *Hantkenina*, smanjenje brojnosti i veličine kućica *P. micra*), koje su do stabilizacije okoliša popunili biserijalni oportunisti kao što su *C. ototara* i *S. martini*. Woodhouse i sur. (2025) predložili su da je porast relativnih udjela ove dvije vrste na granici eocen/oligocen rezultat njihove bolje otpornosti na zahlađenje u odnosu na vrstu *P. micra*.

Drugi uzrok porastu oportunističkih vrsta je *upwelling* tijekom hladnijih dijelova godine koji je omogućio povremeni porast brojnosti fitoplanktona i posljedično oportunističkih vrsta, slično modernim zajednicama u zimskim mjesecima (Jonkers i Kučera, 2015). Pojačano trošenje tijekom kasnog eocena (Horvat i sur., 2025), također je moglo povećati dostupnost nutrijenata kroz donos minerala s kopna. Eutrofikacija pritom nije bila izražena, jer bi u suprotnom raznolikost zajednice drastično pala, što nije slučaj (Slike 5.7–5.9). Oportunističke vrste su pritom imale tek povremene ekurzije koje se ne mogu razlučiti, jer kroz dulji period njihove kućice nakupljale su se na dnu i time postale trajno prisutne u uzorcima koji predstavljaju dulji vremenski period taloženja.

Moguća rana naznaka stabilizacije okoliša u oligocenu je diversifikacija roda *Globoturborotalita*, koji je, iako preferira toplu moru, jako dobro podnio prijelaz iz eocena u oligocen. Njegova diversifikacija uzrok je naizgled kontradiktornom porastu broja vrsta indikatora toplih uvjeta (Slika 5.12). Radi se o rodu relativno malena rasta, koji je izvorište više važnih evolucijskih nizova oligocena i miocena (Spezzaferri i sur., 2018). Diversifikacija ovog roda možda je rezultat ulaska u simbiozu s novom vrstom simbionta otpornim na hladnija mora, vrstom dinoflagelata *Pelagodinium beii*. Takagi i sur. (2025) su uz pomoć rRNK analize simbionata planktonskih foraminifera otkrili da je ova simbiotska veza nastala otprilike u gornjem eocenu, kod neke od vrsta *Globoturborotalita*. Uspjehu ovog roda dodatno bi pridonijela upražnjena niša zbog izumiranja kasnoeocenskog roda s simbiontima *Globigerinatheka*.

Promjene zajednica prate razvoj bazena na prijelazu iz eocena u oligocen. Djelomično su uvjetovane promjenama dubine bazena (uspostava dubokovodne zajednice porastom dubine), no primarni pokretač je zahlađenje mora, uzrokovano padom prosječnih temperatura zraka na globalnoj razini (Toumoulin i sur., 2020). U moru miješani sloj postaje hladniji pa u njemu preživljavaju na hladnoću otporne vrste, trajna termoklina nestaje i uspostavljaju se sezonalne promjene stratifikacije, što omogućuje komunikaciju među slojevima.

6.5 - Biometrija planktonskih foraminifera

6.5.1 - Trendovi u smjerovima namatanja kao indikator nestabilnosti

Pregled dominantnih smjerova namatanja najzastupljenijih rodova (Tablica 5.2) otkriva obrazac koji trohospiralne foraminifere dijeli na dvije skupine. One se velikim dijelom uklapaju u dvije hipotetske grupe modernih planktonskih foraminifera koje su definirali Brummer i Kroon (1988), a koje su kasnije potvrđene i analizom genoma (Darling i sur., 2006).

Grupu 1 čine sve spinozne i mikroperforatne foraminifere koje pokazuju podjednak omjer lijevih i desnih jedinki u populacijama. Sva tri spinozna roda koja su ovdje istražena (*Globigerinatheka*, *Globoturbotalita* i *Subbotina*) pokazuju točno takvu distribuciju.

Grupa 2 su ne-spinozne foraminifere s preferencijom smjera namatanja. Foraminifere takve morfologije obuhvaćene ovim istraživanjem odgovaraju ovoj grupi. Ono što je začuđujuće je da to uključuje ne samo rodove koji imaju moderne srodnike (*Dentoglobigerina*, *Paragloborotalia* i *Tenuitella*) već i rod *Turbotalia* koji s modernom zajednicom nema nikakvu poveznicu jer zadnji predstavnici roda (a ujedno i porodice Globanomalinidae) izumiru u oligocenu. To sugerira da je preferiranje jednog smjera namatanja karakteristika koja se više puta konvergentno razvila.

Opažanja na razini roda daju manje pouzdan rezultat od onih na razini vrsta, unatoč vidljivim obrascima. Iz tog razloga detaljnija analiza smjera namatanja napravljena je za brojnošću dominantne vrste (Tablica 5.3).

Za nekoliko rodova preferirani smjer namatanja nije sasvim utvrđen zbog vrlo malog apsolutnog broja jedinki (<10) unutar uzoraka. To je slučaj s rodom *Tenuitella*. Za rod

Acarinina podaci su pouzdani jedino za srednji eocen, a za rod *Dentoglobigerina* postaju pouzdani u naslagama gornjeg eocena.

Bolli (1971) primijetio je da većina vrsta planktonskih foraminifera ima podjednak omjer lijevih i desnih jedinki na početku svog stratigrafskog raspona, a potom slijede jedan od četiri obrazaca (Slika 4.9). Norris i Nishi (2001) potvrdili su da to vrijedi i za paleocenske i eocenske vrste, a rezultati ovog doktorskog istraživanja također su u skladu s time (Tablica 4.3) pa gotovo sve trohospiralne vrste (Prilog 2) možemo podijeliti u 4 kategorije koje je definirao Bolli (1971):

1. Populacije imaju podjednak omjer lijevih i desnih jedinki kroz čitav stratigrafski raspon (*G. index*, *G. bassriverensis*, *G. martini*, *G. ouachitaensis*, *S. eocaena*)
2. Populacije s vremenom počinju umjereno težiti jednom smjeru namatanja (*D. galavisi*, *D. pseudovenezuelana*)
3. Uspostavlja se izražena dominacija jednog smjera namatanja (*T. cerroazulensis*, *T. cocoaensis*, *T. cunialensis*)
4. Izražena dominacija, ali smjer namatanja oscilira kroz stratigrafski raspon (*P. nana*).

Dvije vrste ne odgovaraju niti jednom od četiri gore navedena obrasca. *A. medizzai* mijenja dominantan smjer često, ali dominacija nije izražena pa njezin obrazac sadrži elemente i obrasca 2 i obrasca 4. Omjer lijevih i desnih jedinki vrste *T. praegemma* naizgled je nasumičan.

Nagle promjene (odstupanja) od gore navedenih obrazaca vezani su s nestabilnim okolišima (Malmgren, 1989; Norris i Nishi, 2001). Iz tablice (Tablica 4.2) to se može uočiti kod roda *Turborotalia*. Radi se o naglom pomaku iz dominacije lijevih jedinki krajem eocena bliže podjednakom omjeru lijevih i desnih jedinki početkom oligocena. Periode izraženog ekološkog stresa u pravilu preživljavaju vrste s proporcionalnim omjerom (Norris i Nishi, 2001). To je slučaj s rodom *Turborotalia* gdje granicu preživljavaju samo vrste *T. ampliapertura* i *T. increbescens* koje imaju manje izraženu dominaciju lijevih jedinki u odnosu na vrste *T. cerroazulensis* i *T. cocoaensis* koje izumiru (Tablica 4.3). Ovo opažanje potvrđuju nestabilnost okoliša na prijelazu iz eocena u oligocen.

6.5.2 - Biometrija kućica vrste *P. micra*

Veličina kućica

Veličina kućica, promatrana kroz njihov najveći promjer i površinu, smanjuje se tijekom kasnog eocena. (Slike 5.8; 5.9; Prilog 4). Za vrstu *P. micra* veći broj autora smatra da je živjela u miješanom sloju (Olsson i sur., 2006c; Pearson i sur., 2001; Poore i Matthews, 1984), a što potvrđuju rezultati korelacijske analize (Prilog 3). Kao takva, bila je dobro prilagođena na više temperature miješanog sloja. Njegovim zahlađenjem u kasnom eocenu *P. micra* se našla u nepovoljnim uvjetima temperature. Veličina kućica planktonskih foraminifera miješanog sloja pozitivno korelira s porastom temperature (Hecht, 1976). Prema tome, ne začuđuje da je zahlađenje miješanog sloja dovelo do smanjenja veličina kućica tijekom priabona, a što je uvod u njihovo puno dramatičnije smanjenje na granici eocen/oligocen (Hernitz Kučenjak, 2012; Wade i Olsson, 2009). Iz prikupljenih mjerenja (Prilog 4) vidljiv je fenomen patuljastog rasta pred izumiranje („Liliput efekt“ kako ga opisuju Wade i Olsson, 2009), a rezultati dobiveni ovim istraživanjem sugeriraju da svoj početak ima i ranije, barem od priabona.

Stupanj kompresije kućica

Kod stupnja kompresije ili plosnatosti kućica također su prisutne promjene, iako manje dramatične. S iznimkom jednog uzorka (Podstine PP 2, Prilog 4) stupanj kompresije blago se smanjuje idući od uzoraka biozone E15 prema onima zone E16. Kućice, prema tome, postaju zaobljenije, za što je moguć uzrok održavanje optimalne životne dubine.

P. micra je nastanjivala relativno uzak vertikalni prostor miješanog sloja, koji je napuštala eventualno u fazi razmnožavanja. Kako je miješani sloj postepeno bio sve hladniji tijekom priabona, gustoća vode u njemu morala je također rasti. Plosnatiji oblik kućice stvara veći otpor tonjenju (Caromel i sur., 2014) i prema tome optimalniji je u toplijim uvjetima mora kad kompenzira za manju gustoću u njemu. U uvjetima zahlađenja u miješanom sloju, kad i gustoća vode u njemu raste, kućica će biti manje komprimirana kako bi vrsta održala optimalnu dubinu unutar miješanog sloja (Slika 5.9).

Modifikacije ušća i aberantne jedinice

Manji dio kućica (do 6 %) imao je podijeljeno, bipartitno ušće. Rijetkost ovakvih jedinki u skladu je s dosad poznatim podacima za ovu vrstu (Olsson i sur., 2006c; Pearson i sur., 2018a) i vjerojatno se radilo o normalnoj pojavi za ovu vrstu.

Relativni udio aberantnih kućica bio je značajan (>10 %; Prilog 4) tijekom priabona (Podstine od uzorka PP 3 na ~27m, Slika 5.8) što ukazuje na ekološki stres i potvrđuje interpretaciju smanjenja veličine kućica kao odgovora na pad temperature u miješanom sloju.

6.5.3 - Biometrija kućica vrste *T. cerroazulensis*

Promjer i površina kućica

Promjer i površina kućice u bočnom položaju pokazali su visok stupanj međusobne korelacije i podjednaku statističku pouzdanost (Prilog 5) pa će u daljnjem tekstu biti objedinjeni pod terminom „veličina kućice“.

Tijekom kasnog bartona kućice *T. cerroazulensis* mijenjanju se morfologijom i dimenzijama, počevši od značajnog smanjenja promjera i površine od otprilike 10 %. Smanjenje kućica uglavnom se veže za nepovoljne uvjete u okolišu (Hecht, 1976). U gornjem bartonu takvo smanjenje je kontradiktorno drugom pokazatelju uspjeha vrste, relativnom udjelu u zajednici koji govori da *T. cerroazulensis* postaje sve češća u naslagama gornjeg bartona te posebice u onima donjeg priabona. Kad su vrste manje njihove populacije su u pravilu brojnije (Damuth, 1991) i to bi mogao biti uzrok ovoj pojavi.

Nagli povratak na početne veličine početkom priabona vjerojatno nije bio stvaran jer je taj „skok“ u vrijednostima preuveličan nedostatkom mjerenja u pokrivenom dijelu stupa, a koji je morao obuhvaćati barem 2,2 milijuna godina biozone E14. Moguće je da se radi o tek kraćoj nestabilnosti u okolišu u kasnom bartonu koja je utjecala na vrstu *T. cerroazulensis*. Broj i kontinuitet uzoraka ne daju dovoljnu rezoluciju ovog parametra (Slika 5.6) da bi se bilo koja od ovih tvrdnji mogla dovoljno potkrijepiti.

Tijekom priabona kućice u prosjeku zadržavaju velike dimenzije, što je znak optimalne temperature za ovu vrstu (Prilog 5). U uzorku TR 6, tijekom biozone E16 (Slika 5.7), zabilježena je kratkotrajna morfološka nestabilnost s oporavkom već u idućem uzorku. U nastavku biozone pa sve do svojeg izumiranja na kraju eocena (Slika 5.3), *T. cerroazulensis*

ne mijenja veličinu kućica, no prilagođava njezin oblik, što je vidljivo iz promjena u koeficijentu zaobljenosti.

Koeficijent zaobljenosti

Promjene u veličini kućice dobro se poklapaju s promjenama oblika (zaobljenosti). Dobiveni podaci ukazuju na negativnu korelaciju ova dva parametra. Manje jedinke *T. cerroazulensis* ujedno su i plosnatije, dok kod većih prevladava obrnuto. Caromel i sur. (2014) su računalnim modeliranjem zaključili da brzina tonjenja raste linearno s povećanjem tri vrijednosti: veličinom kućice, njezinom gustoćom i njezinom zaobljenosti. Na veće kućice slabiji je utjecaj viskoznosti vode, gušće, „masivnije“ kućice imaju veću pozitivnu razliku gustoće u odnosu na vodu, dok zaobljeniji oblik pruža manji otpor vodi pri tonjenju. Prema Caromel i suradnicima (2014) porast brzine tonjenja uzrokovan rastom kućice može se kompenzirati povećanjem njezine plosnatosti. Ovdje dobiveni rezultati mjerenja kućica *T. cerroazulensis* (Prilog 5) mogli bi biti znak dvostruke prilagodbe: manje kućice koje su ujedno i plosnatije kroz sinergiju dviju morfoloških prilagodbi imaju poboljšanu sposobnost plutanja. Veće kućice za koje vrijedi obrnuto mogle su živjeti dublje, pri uvjetima hladnije vode, veće gustoće i saliniteta, dok su manje jedinke možda migrirale u pliće prostore koji su postali bogatiji nutrijentima, na što ukazuje porast udjela oportunističkih vrsta u priabonu. Boersma i Premoli Silva (1986) te Pearson i sur. (2006b) smatraju da je *T. cerroazulensis* živjela pri vršnom, relativno toplom i nutrijentima bogatom okolišu gornje termokline te da se nije uspjela prilagoditi na zahlađenje mora krajem eocena. Ova vrsta je u Dinarskom predgorskom bazenu možda vertikalnom migracijom u pliće, toplije slojeve, nastojala ostati unutar svojeg optimalnog temperaturnog raspona ili je pratila pojave obilja fitoplanktona u plićim dijelovima vodenog stupca, izazvane intenzivnijim trošenjem susjednog kopna tijekom priabona (Horvat i sur., 2025) i donosom nastalih nutrijenata u bazen.

Sličnu pojavu morfološke plastičnosti kod vrste *T. cerroazulensis* otkrili su Pearson i Ezard (2014) analizom uzoraka prikupljenih iz sedimentnih jezgara središnjeg Pacifika. Primjenom klaster analize na gornjoeocenske populacije autori su prepoznali grupiranje u dvije različite morfologije. Prva ima veće i zaobljenije kućice, dok su kod druge kućice manje i plosnatije pa nekim svojstvima podsjećaju na *T. cocoaensis*. Konvergencija dijela populacije prema plosnatijem obliku nalik *T. cocoaensis* vidljiva je i kod jedinki iz Dinarskog predgorskog bazena (Slika 5.13). Pearson i Ezard (2014) interpretirali su ovu pojavu kao moguće

evolucijsko razdvajanje na dvije zasebne skupine prije otprilike 37–36 milijuna godina. Taj vremenski raspon približno odgovara priabonskom dijela stupa Slano-Čepikuće (raspon ~36–34 milijuna godina) u kojem je uočena konvergencija u morfologiji ovih vrsta.

Izračuni koeficijenta zaobljenosti za jedinke *T. cerroazulensis* iz uzorka Podobuče PDC 2 (Prilog 5) pokazali su anomalni rezultat koji bitno odstupa od raspona vrijednosti utvrđenog na ostalim lokalitetima. U njemu prosjek koeficijenta zaobljenosti ukazuje da su kućice neobično komprimirane, izjednačavajući se s prosjekom za *T. cocoaensis* u uzorku. Kako se radi o malom izdanku (Slika 4.1) na kojem su skupljena tek tri uzorka, od kojih samo dva sadrže kućice *T. cerroazulensis* (Slika 5.3) ne može se utvrditi karakter ili uzrok ove promjene. U još dva uzorka starosti gornjeg priabona (Podobuče PDC 1 i Trstenica TR 8) postoji korelacija između komprimirane kućice i dominantno lijevog smjera namatanja, što bi također moglo ukazivati na morfološko odvajanje dijela populacije i moguću specijaciju kao odgovor na promjene trofičnih uvjeta u vodenom stupcu.

Za vrstu termokline kao što je *T. cerroazulensis* zahlađenje tijekom srednjeg i kasnog eocena predstavljalo je manji izazov nego što je to slučaj s vrstama miješanog sloja kao što je primjerice *P. micra*. To dokazuju veličine kućica - dok se *P. micra* smanjuje, *T. cerroazulensis* ostaje sličnih dimenzija kućice te ih čak i blago povećava, što je znak optimalnih uvjeta temperature za vrstu. Ipak, tijekom kasnoeocenskih biozona E15 i E16 dolazi do značajne morfološke diversifikacije promjenama u obliku kućice, što bi mogao biti znak oportunističkog pokušaja zauzimanja ekološke niše srodnih vrsta *T. cocoaensis* i *T. cunialensis*.

Smjer namatanja

Jedinke vrste *T. cerroazulensis* iz istraženih naslaga preferiraju lijevi smjer rasta kroz čitav raspon od gornjeg bartona do kraja eocena (Slike 5.6, 5.7, Tablica 4.1). Može se uočiti jedino promjena intenziteta dominacije lijevih jedinki koja je umjerena, ali u porastu tijekom biozone E13, dok je u uzorcima biozone E15 ona vrlo izražena. Ovi rezultati (Slike 5.6, 5.7) poklapaju se s istraživanjima stratigrafski ekvivalentnih lokaliteta u svijetu (Pearson i Ezard, 2014; Pearson i sur., 2006b). Ukoliko je uzrok rasta preferencije prema jednom smjeru namatanja promjena u okolišu, tada je to morala biti neka od promjena na globalnoj razini. Najveća promjena dogodila se tijekom prijelaza iz bartona u priabon no njezin točan identitet ne može se utvrditi zbog stratigrafske praznine u tom dijelu stupa Slano-Čepikuće (Slika 5.1). Moguće je da je promjena bila nagla kao što pokazuje razlika u udjelu lijevih jedinki iz

uzoraka iznad i ispod, ali je isto tako moguće i da je bila postepena kroz prijelaz iz srednjeg u gornji eocen u stratigrafskom rasponu od ~2 milijuna godina trajanja biozone (Slika 4.10) za koji nedostaju mjerenja.

Jedno objašnjenje je da se radi o pojavi kriptičnih vrsta, koje su genetski odvojene ali morfološki identične, a dokumentirane su kod gotovo svih recentnih vrsta planktonskih foraminifera (André i sur., 2018; Gonera i sur., 2003; Morard i sur., 2024; Renaud i Schmidt, 2003). Primjer povezanosti određenog genotipa s specifičnim smjerom namatanja može se pronaći kod recentnih vrsta *Neogloboquadrina incompta* i *N. pachyderma*. One su dugo smatrane jednom vrstom s dva smjera namatanja. Otkriće da se jedinke, osim po smjeru namatanja, razlikuju i po geografskim distribucijama i ekološkim preferencijama (Bandy, 1960; Ericson i sur., 1955), otvorilo je put primjeni ovog svojstva kao indikatora (paleo)klimatskih uvjeta. Tek su tehnike sekvenciranja genoma potvrdile da je zapravo riječ o odvojenim vrstama (Darling i sur., 2006). S obzirom na učestalost kriptovrsta kod recentnih planktonskih foraminifera (Morard i sur., 2024) može se pretpostaviti da ova pojava nije bila nepoznata i kod njihovih paleogenskih predaka. Ona bi mogla objasniti neke od nesuglasica u interpretacijama ekoloških preferencija pojedinih fosilnih vrsta, no kriptovrste je nemoguće dokazati u fosilnom materijalu. Kod recentnih vrsta također je uočeno da jedna genetska vrsta može imati oba smjera namatanja, čak i kod vrsta s izraženom dominacijom jednog smjera (Davis i sur., 2020), što dodatno komplicira stvari.

Drugi potencijalni uzrok predložili su Duan i sur. (2021). Mjereći volumen i izračunavajući gustoću pojedinih klijetaka *Globorotalia* oni su otkrili razliku između dva smjera namatanja. Jedinke s desnim smjerom namatanja pokazuju veću varijabilnost u gustoći kućice i u odstupanju volumena pojedinih klijetaka od onih koje kućicu grade ulijevo. Duan i sur. (2021) argumentirali su da bi veća fleksibilnost tijekom ontogenije olakšala vertikalno migriranje i donosila prednost za takve jedinke kada se nađu u nepovoljnim uvjetima. Povezali su to s miocenskom vrstom *Globorotalia limbata* (Pfuhl i Schackleton, 2004), kod koje periode temperaturnih nestabilnosti prati porast dominacije desnih jedinki, koje autori smatraju potencijalno fleksibilnijima.

Lohmann i Schweitzer (1990) predložili su drugačiju interpretaciju. Korelirajući smjer namatanja s promjenama temperature kod recentnih dubokovodnih vrsta *Globorotalia* objasnili su promjene smjera namatanja razlikama u reproduktivnoj strategiji. Prema autorima te su strategije usko vezane s dubinom termokline. Jedinke s lijevim smjerom namatanja

ranije započinju tonjenje i tako dosežu veću dubinu prije gametogeneze. U slučaju oplićavanja termokline njihove juvenilne jedinke su preduboko da bi iskoristile sezonsko vertikalno miješanje vode kako bi se vratile u optimalan dio vodenog stupca. To dovodi do preferencijalnog preživljavanja jedinki s desnim smjerom namatanja.

Još je jedna interpretacija temeljena na reproduktivnim obrascima foraminifera. Za planktonske foraminifere dugo se smatralo da se razmnožavaju isključivo spolno, jer je, unatoč mnogobrojnim istraživanjima u kontroliranim laboratorijskim uvjetima, jedina opažena reproduktivna aktivnost bila oslobađanje gameta (Hemleben i sur., 1989).

Otkriće nespornog razmnožavanja kod ne-spinozne vrste *N. pachyderma* (Kimoto 2015; Kimoto i Tsuchiya, 2006) i mikroperforatnih vrsta *G. uvula* (Takagi i sur., 2020) i *G. glutinata* (Meilland i sur., 2024) omogućilo je postavljanje nove hipoteze temeljene na spolnom dimorfizmu prema kojoj pojedini smjer namatanja odgovara pojedinoj generaciji. Weinkauff i sur. (2022) predložili su model životnog ciklusa sličan onom kod bentičkih srodnika, a nedavna laboratorijska opažanja (Meilland i sur., 2023; 2024) ga potkrepljuju. Ovaj model temelji se na balansu između održavanja genetske raznolikosti populacije koje omogućuje spolno razmnožavanje s održavanjem brojnosti populacije pomoću nespornog razmnožavanja. Prema modelu Weinkauff i sur. (2022), većina jedinki u populaciji razmnožava se spolno, ali uz nizak uspjeh spajanja gameta i preživljavanja zigota zbog male gustoće gameta u trodimenzionalnom, prostoru vodenog stupca. Sinkronizirano ispuštanje gameta na određenoj dubini povećalo bi šanse za njihov susret, no prema autorima vjerojatnost spajanja gameta, a potom i da će nastale jedinke doživjeti reproduktivnu zrelost nisu dovoljne da se održi populacija. Iz tog razloga manji broj jedinki razmnožava se nesporno, zaobilazeći oplodnju i stvarajući direktne potomke s već formirane dvije klijetke, koji time imaju i bolje šanse da dosegnu reproduktivnu zrelost.

U novijem istraživanju koje je zabilježilo 29 događaja nespornog razmnožavanja vrste *N. pachyderma* (Meilland i sur., 2024), čak 19 ih je uključivalo jedinke s desnim smjerom namatanja. S obzirom na to da takve jedinke u prirodi čine tek ~3 % ukupne populacije, ovaj je udio izrazito disproporcionalan i ukazuje na vezu smjera namatanja s načinom razmnožavanja. Darling i sur. (2023) sugerirali su da se možda radi o ponavljanju diploidne generacije (shizont), kao kod bentičkih foraminifera, a postojanje jedinki koje po mnogim svojstvima odgovaraju toj generaciji nedavno je dokumentirano u kontroliranim uvjetima (Weitkamp i sur., 2025).

Istraživanje smjera namatanja eocenske ne-spinozne foraminifere *Turborotalia cerroazulensis* u sklopu ove disertacije uključilo je i korelaciju smjera namatanja s ostalim parametrima kućice (Prilog 7). Izostanak korelacije s drugim morfološkim obilježjima sugerira da je kod *T. cerroazulensis* smjer namatanja neovisan o veličini (promjeru, površini) i obliku (zaobljenosti) kućice. To ukazuje na zaključak da na odabir smjera namatanja utječu faktori različiti od onih koji određuju morfometriju jedinke i da jedinke različitih smjerova namatanja vjerojatno ne predstavljaju ekofenotipove. Promatrano kroz duži vremenski period, udio lijevo namotanih jedinki postepeno raste, iako se mogu uočiti sporadični skokovi i odstupanja koji nisu povezani s drugim morfološkim parametrima. Zanimljivo je da se vrlo niski relativni udjeli desnih jedinki (<10 %) u mnogim uzorcima gornjeg eocena približavaju udjelu od ~3 %, opaženom kod dominantno lijeve recentne vrste *N. pachyderma* (Darling i sur., 2006; 2023; Meilland i sur., 2021; 2024). *T. cerroazulensis*, nažalost, ne stvara gametogenetski kalcit (Pearson i sur., 2006b), koji bi inače poslužio kao morfološki indikator za identifikaciju jedinki koje su životni ciklus završile gametogenezom i potencijalno povezao s smjerom namatanja.

Dobiveni rezultati odgovaraju zaključcima niza istraživanja recentnih foraminifera (Brummer i Kroon, 1988; Darling i sur., 2006, Norris i Nishi, 2001; Weinkauff i sur., 2022) koja nisu utvrdila utjecaj okoliša na odabir smjera namatanja i čiji autori pretpostavljaju da je smjer namatanja genetski ili generacijski uvjetovan.

Moguće je da različiti smjerovi namatanja doista predstavljaju izmjenu generacija kod *T. cerroazulensis*. Ako model Weinkauffa i sur. (2022) izmjene generacija za ne-spinozne planktonske foraminifere vjerno oslikava stvarno stanje u morima, kad ga postavimo u kontekst geološke prošlosti, otkloni od dominantnog smjera namatanja mogli bi upućivati na veći broj jedinki koje su se mogle razmnožavati višestrukim dijeljenjem, zbog potrebe za bržom (re)populacijom tijekom perioda suboptimalnih uvjeta za vrstu. Nagle promjene smjera namatanja već su ranije bile povezivane s događajima destabilizacije okoliša (Desmares i sur., 2016; Saito, 1976; Singh i Srinivasan, 1993). Promatrano tako, porast udjela lijevih jedinki *T. cerroazulensis* i njegovo približavanje omjerima opaženim kod recentnih vrsta, možda odražava približavanje optimalnim uvjetima za vrstu tijekom kojih je zastupljenija bila gametogeneza. Povremena odstupanja u trendu tada bi predstavljala događaje u kojima su uvjeti bili nepovoljniji za vrstu i tijekom kojih je višestruko dijeljenje bilo preferirana reproduktivna strategija. Prema tome smjer namatanja mogao bi biti vezan uz okoliš

indirektno. Vrijednosti omjera kod vrsta *T. pomeroli*, *T. cocoaensis* i *T. cunialensis*, koje su vrlo bliske onima *T. cerroazulensis*, idu u prilog interpretaciji da se radi o genetski uvjetovanom svojstvu.

Rezultati ovih istraživanja, unatoč sličnostima koje pokazuju s istraživanjima recentnih planktonskih foraminifera, treba interpretirati uz zadržku. U obzir treba uzeti tri činjenice:

1. Da *T. cerroazulensis* nema izravnog srodnika u recentnim zajednicama. Obrazac odabira smjera namatanja ove vrste odgovara recentnim ne-spinoznim planktonskim foraminiferama kako su ga definirali Brummer i Kroon (1988), no ne postoji direktna evolucijska veza s bilo kojom od njih. Moguće je da se vrsta biološki dovoljno razlikovala od recentnih vrsta da njezini obrasci namatanja imaju posebne uzroke i mehanizme kakvi ne postoje kod recentnih vrsta.
2. Da je nemoguće isključiti pojave kriptovrsta unutar *T. cerroazulensis*. S obzirom na širok stratigrafski raspon naslaga iz kojih su mjerene jedinke i učestalost kriptovrsta u recentnim zajednicama, vjerojatno da su se populacije u nekom trenutku sastojale od više genetskih vrsta.
3. Da reproduktivni mehanizmi planktonskih foraminifera još uvijek nisu razjašnjeni, unatoč značajnim recentnim naporima (Darling i sur., 2023; Davis i sur., 2020; Kimoto, 2015; Meilland i sur., 2021; 2022; 2024; Takagi i sur., 2020; Weinkauff i sur., 2022; Weitkamp i sur., 2025) da se to ostvari.

Slijedom toga interpretiranje rezultata ovog istraživanja morfologije *T. cerroazulensis* u svjetlu izmjene generacija mora se zadržati na razini pretpostavki. Od nekoliko mogućih interpretacija, dobiveni podaci najbolje odgovaraju reproduktivnoj ulozi smjera namatanja i otvaraju prostor za daljnja istraživanja kojima bi se ovaj argument mogao testirati. Za *T. cerroazulensis* to uključuje mjerenje veličina prolokulusa jedinki pojedinih smjerova namatanja, i njihovu usporedbu s podacima dobivenim istraživanjima modernih ne-spinoznih foraminifera (Darling i sur., 2023; Weitkamp i sur., 2025). Kako je ova korekcija tek nedavno uočena, buduća istraživanja povezanosti morfologije kućice s ciklusom razmnožavanja modernih vrsta vjerojatno će dovesti do novih otkrića primjenjivih i na fosilne vrste.

Kummerform kućice

Uzrok *kummerform* kućica nije razjašnjen. Ova pojava češća je kod određenih vrsta planktonskih foraminifera, a u analiziranim uzorcima zabilježena je i kod jedinki vrste *P. micra* i kod onih vrste *T. cerroazulensis*.

Poznato je da se ova pojava smanjene klijetke uvijek odvija kod odraslih jedinki, u terminalnoj fazi života (Berger, 1969). Morfološki je nalik buli, koja je također opcionalna struktura koja uvijek nastaje u terminalnoj fazi života (Schiebel i Hemleben, 2017). Varijacije u veličini i obliku *kummerform* klijetaka vjerojatno su opće svojstvo terminalnih klijetaka jer sličan raspon varijacija pokazuju povećane najmlađe klijetke kod, primjerice, recentne vrste *T. sacculifer* (Brummer i sur., 1986; 1987).

S obzirom da se javlja samo u terminalnoj fazi života foraminifere, najvjerojatnije je da ima ulogu u razmnožavanju ili procesima vezanim uz gametogenezu poput tonjenja. Ono što nije jasno je, ako takva klijetka donosi prednost prilikom razmnožavanja, zašto se javlja samo kod nekih jedinki unutar populacije iste vrste.

Moguće je da su *kummerform* klijetke rezultat morfološke deformacije uzrokovane nepovoljnim ekološkim uvjetima. Arenillas i sur. (2018) otkrili su visok udio *kummerform* kućica, s čestim aberantnim obilježjima, u populacijama planktonskih foraminifera najdonjeg paleocena, što ukazuje na značajan ekološki stres. Uz to, eksperimentalnim promatranjem ontogenije vrste *T. sacculifer* pri kontroliranim promjenama temperature, Hemleben i sur. (1989) povezali su *kummerform* klijetke s produljenim životnim ciklusom pri uvjetima temperature niže od optimalne za tu vrstu.

Korelacijska analiza ovog svojstva s drugim morfološkim obilježjima kućice otkrila je na slabe i ponekad kontradiktorne veze. Primjerice, u uzorcima stupa Trstenica postoje i pozitivne i negativne korelacije s površinom kućice, ovisno o uzorku. Pojava izrazito visokog udjela ovakvih kućica ne korelira s promjenama indeksa bioraznolikosti, važnim prepoznatim stratigrafskim granicama, niti s događajima poput transformacije zajednica unutar biozone E15. Isto tako, ako relativnu zastupljenost smatramo pokazatelj ekološke uspješnosti neke vrste, *kummerform* jedinke nisu bile najbrojnije ni u periodima najveće brojnosti vrste (donja biozona E15), niti u fazama njezine najmanje zastupljenosti (biozona E16). Prema tome, rast dodatne klijetke kod *T. cerroazulensis* nije bio uzrokovan, primjerice, obiljem hrane kao kod recentne vrste *O. universa*, niti je bio rezultat rasta u nepovoljnim uvjetima kao što su to smatrali Berger (1969), Hecht i Savin (1972) i Hemleben i sur. (1989).

Nekonzistentne i međusobno kontradiktorne pojave pozitivne ili negativne korelacije s svojstvima kao što su veličina kućice i njezina zaobljenost su znak da se možda radi o kompleksnijem balansu više elemenata, u svrsi postizanja ili održavanja nekog drugog za foraminiferu korisnog svojstva poput ukupnog unutarnjeg volumena kućice ili njezine gustoće. Buduća istraživanja koja bi uključila i mjerenja ovih svojstava stoga bi mogla razjasniti ulogu *kummerform* klijetaka kod vrste *T. cerroazulensis*.

Površina stijenke

Analizirane kućice *T. cerroazulensis* imaju visoku raznolikost u veličini pora i njihovoj distribuciji po površini kućice. Individualno, u promjenama veličine pora nisu uočljivi jasni obrasci povezani s pojedinim lokalitetima ili biozonama, no u njihovoj gustoći može se uočiti razlika između jedinki biozone E15 i E16. Jedinke iz biozone E15 imaju gušće koncentrirane pore od onih biozone E16 (Slika 5.14).

Kao i kod bentičkih srodnika, pore imaju respiratornu ulogu, no i druge otopljene tvari mogu kroz njih ući u kućicu (Bé, 1982). Kod bentičkih foraminifera povećan porozitet veže se uz suboksične uvjete (Murray, 2006), no to pravilo ne može se primijeniti na planktonske vrste jer one nastanjuju okoliše dobre zasićenosti kisikom (Schiebel i Hemleben, 2017). Porozitet istovremeno predstavlja kompromis jer umanjuje strukturalni integritet kućice.

Različiti autori predložili su različite uloge pora od kojih su neke potencijalni proksiji za okoliš. Predložene uloge uključuju promjenu gustoće kućice kao mehanizma regulacije dubine i kontrole plutanja (Zarkogianis i sur., 2019), povećanja potrebe za plinovima zbog porasta metaboličkih zahtjeva uslijed rasta jedinke (Burke i sur., 2018), otvaranje puta migraciji lipida (Bé i sur., 1980) ili prilagodbe na temperaturu mora (Bé, 1968). Ova zadnja veza je interesantna jer je moguće korelirati stupanj poroziteta neke vrste s klimatskim pojasom u kojem je ona živjela (Bé, 1968; ; Burke i sur., 2018; Frerichs i Ely, 1978), što je potencijalno vrlo koristan indikator paleookoliša. Vrste tropskih i suptropskih područja imaju stijenkuporoziteta >10 %, umjerenih područja 5–10 %, a subpolarnih i polarnih područja < 5 % (Slika 4.6).

Objašnjenja vezana uz respiratornu ulogu simbionata možemo isključiti za *T. cerroazulensis* jer rezultati izotopa $\delta^{13}\text{C}$ (indikatora fotosintetske aktivnosti) za ovu vrstu (Boersma i sur, 1987; Pearson i sur., 2001; Poore i Matthews, 1984) ukazuju da ih vrsta nije imala.

Mogući uzroci koji bolje odgovaraju poznatoj ekologiji *T. cerroazulensis* vezani su za ulogu pora u izmjeni tvari, prvenstveno pri respiraciji. Prvi potencijalni uzrok je posredni utjecaj zahlađenja tijekom priabona. Topivost kisika u vodi raste kako se smanjuje njezina temperatura. Zahlađenjem mora u priabonu planktonskim foraminiferama na raspolaganju je bila veća količina kisika po volumnoj jedinici vode pa su one mogle smanjiti veličinu i broj pora, a pritom unijeti istu količinu kisika u kućicu. Drugi mogući uzrok mogla bi biti ranije navedena promjena oblika. Jedinke biozone E16 u prosjeku su plosnatije od onih biozone E15, a takav oblik povećava odnos površine i volumena kućice. Povećanje specifične površine kućice poboljšava respirativni unos foraminifere te ona također može biti manje porozna.

Uz promjene u gustoći pora, ono što se dodatno može zamijetiti na SEM fotografijama je promjena teksture stijenke kućica u intervalu od bartona do gornjeg priabona. Sve kućice bartonske biozone E13 i priabonske biozone E15 imaju djelomično razvijene kancelatne međuporne grebene. (Slika 5.14; Tabla 4). Tekstura je uglavnom blago izražena i slična je kao kod pretka vrste, *T. pomeroli*. Nije uočena kod mlađih jedinki biozone E16 (Slika 5.14; Tabla 5). One mogu razviti pustule tijekom ontogenije, ali ne i sekundarne kancelatne grebene pa se teksturom stijenke izjednačavaju mlađim vrstama *T. cocoaensis* i *T. cunialensis*.

Moguće je da postoji djelomična ili potpuna dominacija kućica bez kancelatnih grebena u naslagama najgornjeg eocena, no to je potrebno dodatno istražiti na većem uzorku od 25 kućica koliko ih je ovdje ilustrirano pomoću skenirajućeg elektronskog mikroskopa. Ako je to doista slučaj, to je, nakon promjene oblika, druga prilagodba *T. cerroazulensis* konvergentna mlađim vrstama roda pa je moguće da je, smanjenjem raspoloživih dubinskih i/ili temperaturnih niša u priabonu, vrsta ušla u kompeticiju s *T. cocoaensis* i *T. cunialensis*.

7. – Zaključci

Analize zajednica planktonskih foraminifera iz paleogenskih klastita otoka Hvara i poluotoka Pelješca dale su nove biostratigrafske i paleoekološke podatke o evoluciji južnog dijela Dinarskog predgorskog bazena. Dobiveni podaci omogućuju preciznije definiranje vremenskog i okolišnog okvira taloženja istraživanih naslaga, na temelju kojih proizlaze sljedeći zaključci:

1. - Biostratigrafija: Analizom zajednica planktonskih foraminifera utvrđen je kontinuitet taloženja fliša od gornjeg srednjeg eocena (barton) pa barem do u najdonji oligocen (rupel). Izrađena su četiri geološka stupa: Hvar – Podstine, Hvar – Zračće , Slano–Čepikuće i Pelješac – Trstenica te su opisane naslage manjih izdanaka na lokalitetima Pelješac – Podobuče i Pelješac – Viganj). Unutar istraživanih profila i naslaga dokumentirane su četiri biozone, što omogućuje preciznu korelaciju s kronostratigrafskom skalom:

Biozona E13, zona najviše pojave vrste *Morozovelloides crassatus*. Temeljem prisustva vrste *T. cocoaensis* starije naslage stupa Slano–Čepikuće dodatno su precizirane na gornji dio ove biozone.

Biozona E15, zona najviše pojave vrste *Globigerinatheka index*. Utvrđeno je da se u Dinarskog predgorskom bazenu zona može razdvojiti na dvije intervalne pod-zone odvojene horizontom izumiranja vrste *T. pomeroli*, uz smanjenja brojnosti *Globigerinatheka*.

Biozona E16, zona najviše pojave vrste *Hantkenina alabamensis*. Prijelaz iz biozone E15 približno je utvrđen u stupu Trstenica prvom pojavom vrste *T. cunialensis*.

Biozona O1, zona najviše pojave vrste *Pseudohastigerina nagewichiensis*.

Na poluotoku Pelješcu, na lokalitetu Viganj, po prvi put je biostratigrafski dokazan fliš oligocenske starosti. Nadalje, precizirani su stratigrafski rasponi nekoliko vrsta planktonskih foraminifera, pri čemu se posebno ističe najstarija zabilježena pojava vrste *Dentoglobigerina larmei*. Temeljem ovih nalaza predloženo je nekoliko potencijalno korisnih lokalnih stratigrafskih markera koji mogu značajno unaprijediti buduće korelacije unutar bazena.

2. - Paleobatimetrija: Temeljem sastava foraminiferske zajednice izračunate su paleodubine na kojima su taloženi istraživani horizonti fliša. Tijekom kasnog bartona taloženje je bilo na dubinama gornjeg batijala, dok u se priabonu i rupelu ono odvijalo dublje, na područjima

srednjeg batijala. Produbljivanje bazenskog prostora daje posredan dokaz aktivnoj tektonici u predgorskom taložnom sustavu tijekom eocena.

Pojave pojačanog otapanja kalcita, posredno uočene kroz izostanak vrsta kućica sklonih otapanju i porast fragmentacijskog indeksa foraminifera, dokaz su povremenom formiranju supralizokline na relativno niskim dubinama tijekom priabona. Njezin potencijalni uzrok je oksidacija organskih tvari u moru u periodima bujanja fitoplanktona i/ili pojačanog donosa organskih tvari s kopna.

3. - Paleokološke grupe i staništa: Korelacijom promjena relativnih zastupljenosti planktonskih foraminifera prepoznate su dvije grupe koje odgovaraju temperaturnim i/ili dubinskim preferencijama pojedinih rodova što je omogućilo definiranje staništa za vrste s kontradiktornim literaturnim podacima. Grupu miješanog sloja čine rodovi: *Acarinina*, *Globigerinatheka*, *Globoturborotalita*, *Morozovelloides* i *Pseudohastigerina*. Grupa dubljevodnih foraminifera okuplja rodove koji su preferirali hladnije dijelove vodenog stupca u i ispod termokline, a to su rodovi *Dentoglobigerina*, *Paragloborotalia*, *Subbotina* i *Turborotalia*.

4. - Paleoklimtaska rekonstrukcija i evolucija zajednica: Promjene zajednica planktonskih foraminifera odražavaju globalne klimatske promjene tijekom paleogena. Pomoću temperaturnih preferencija planktonskih foraminifera utvrđeno je da su temperature mora od srednjeg do kasnog eocena bile unutar okvira subtropskog pojasa. Iako je iz postepenih promjena u zajednici vidljiv trend zahlađenja, sastav zajednica ukazuje na djelomičan prijelaz prema uvjetima umjerenog klimatskog pojasa tek u ranom oligocenu.

Naslage gornjeg bartona taložene su neposredno nakon Srednjeocenskog klimatskog optimuma (tzv. *Post-MECO*) period. Zajednicom dominiraju vrste miješanog sloja iz rodova *Acarinina*, *Globoturborotalita*, *Globigerinatheka* i *Pseudohastigerina*, što ukazuje na vrlo toplu subtropsku klimu krajem srednjeg eocena. Vodeni stupac je bio snažno stratificiran, a unutar termokline su živjele su vrste iz rodova koji su preferirale hladnije uvjete (*Dentoglobigerina*, *Subbotina* i *Turborotalia*). Zbog relativno male dubine bazena nije postojala zajednica prostora dubljeg od termokline. Unatoč bogatstvu vrsta miješanog sloja, mala raznolikost visoko specijaliziranih „velikih murikatnih“ vrsta može se interpretirati kao rani znak zahlađenja u miješanom sloju.

Tijekom priabona zajednica planktonskih foraminifera postepeno mijenja svoj izgled, odražavajući tako globalno prepoznatu izmjenu faune kasnog eocena i na prijelazu iz eocena u oligocen. Iz zajednice miješanog sloja postepeno nestaju specijalizirani rod *Morozovelloides*, dio *Acarinina*, a potom i *Globigerinatheka*. Njih zamjenjuju već prisutne vrste porastom udjela u zajednici i nove vrste nastale diversifikacijom (unutar rodova *Globoturborotalita*, *Pseudohastigerina* i *Tenuitella*) ili migracijom u prostor uspostavom povoljnih uvjeta (*T. ampliapertura*). Sve učestalije i brojnije pojave oportunističkih vrsta miješanog sloja indikator su jačanja utjecaja sezonskih izmjena temperature. Uslijed njih destabilizacija stratifikacije u hladnijim periodima omogućuje donos nutrijenata u miješani sloj putem *upwelling*-a. Zajednica termokline dobro je razvijena, karakterizira je porast relativnog udjela roda *Turborotalia*, a diversifikacija, posebice u rodu *Dentoglobigerina*, upućuje na otvaranje novih niša unutar sloja. Uspostavljanje potpune i trajne zajednice sub-termoklinskih vrsta povezano je uz produblivanje bazenskog prostora.

Ulaskom u oligocen zajednica poprima nekoliko obilježja prijelaza iz suptropske u umjerenu klimu, uz znakove ekološke nestabilnosti na prijelazu epoha. Miješani sloj obilježen je malom raznolikošću morfologija i brojnošću oportunističkih vrsta što je znak malog broja stabilnih niša u miješanom sloju. Najbrojnije vrste u njemu uglavnom pripadaju porodici Globigerinidae i sve su bile otpornije na hladnije uvjete od eocenskih taksona. U termoklini dolazi do promjene nestankom više vrsta *Turborotalia* pa dominaciju i tamo preuzimaju foraminifere iz porodice Globigerinidae.

5. Morfologija kućica i smjer namatanja: Proučavanje morfologije kućica planktonskih foraminifera otkrilo je nekoliko zanimljivosti o njihovoj arhitekturi. Distribucija smjera namatanja trohospiralnih kućica otkrila je spektar: na jednom kraju su zaobljeni, visoko trohospiralni „globinigeriformni“ rodovi s podjednakom distribucijom lijevih i desnih jedinki, dok na drugom su asimetrični, nisko trohospiralni „globorotaliformni“ rodovi s izraženom dominacijom jednog smjera namatanja. Ovakva distribucija preslikava stanje u recentnoj zajednici. To sugerira da postojanje dominantnog smjera namatanja nije samo taksonomsko obilježje, već bi moglo biti usko vezano sa specifičnim, nisko trohospiralnim oblikom kućice i pripadajućom ekološkom nišom.

6. Morfološki odgovori na zahlađenje: Praćenje promjena morfologija vrsta *Pseudohastigerina micra* i *Turborotalia cerroazulensis* kroz biozone otkrilo je promjene kod obje vrste, i omogućilo praćenje promjena u miješanom sloju i u termoklini.

Vrsta miješanog sloja, *P. micra*, tijekom priabona je postupno smanjivala veličinu kućice kao odgovor na zahlađenje površinskih voda. Oscilacije u plosnatosti kućice interpretirane su kao pokušaj održavanja optimalnog položaja u sloju uslijed porasta gustoće mora, ili kao traženje alternativne ekološke niše u razdoblju destabilizacije staništa i opadanja brojnosti populacije. Postupno smanjivanje jedinki tijekom priabona uvođen je u nagli pad veličine zabilježen na granici eocen/oligocen.

T. cerroazulensis morfološki se mijenjala na tri načina: gubitkom kancelatnih grebena na površini stijenke, postepenim smanjenjem zaobljenosti i smanjenjem veličine pora. Prve dvije promjene pokazuju konvergenciju prema srodnim gornjoeocenskim vrstama *T. cocoaensis* i *T. cunialensis*, vjerojatno uzrokovane smanjenjem raspoloživih ekoloških niša unutar termokline. Ove su se transformacije odvijale tijekom biozona E15 i E16, paralelno s uspostavljanjem hladnije zajednice. Promjena oblika mogla je biti uzrokovana migracijom u pliće, toplije slojeve vodenog stupca, ili sezonskim praćenjem fitoplanktona, čija je dostupnost rasla uslijed češćih pojava *upwelling*-a u priabonu. Smanjenje gustoće pora je posljedica pada temperature mora jer je porast topivosti kisika u vodi njezinim zahlađenjem smanjio je potrebu za brojnim porama u svrhu unosa kisika u kućicu.

7. Metodološki iskoraci: Strojno učenje i indeksi oštećenosti

Primjenom algoritama strojnog učenja razvijen je jednostavan model za automatsko prepoznavanje i razvrstavanje kućica planktonskih foraminifera u odnosu na njihove fragmente. Iako je model pokazao dobru sposobnost raspoznavanja sadržaja, potrebna je daljnja optimizacija kako bi rezultati bili u potpunosti usporedivi s metodom ručnog brojanja.

Primjena novog FV fragmentacijskog indeksa potvrdila je njegovu primjenjivost i na fosilni materijal, pri čemu su dobiveni rezultati usporedivi s klasičnim Fragmentacijskim indeksom. Dodatno, razvijen je novi indeks temeljen na stanju stijenke kućica i fragmenata, čiju će robusnost i preciznost biti potrebno potvrditi daljnjim testiranjima.

8. - Literatura

- Adebayo, M.B., Bolton, C.T., Marchant, R., Bassinot, F., Conrod, S. i De Garidel-Thoron, T. 2023. Environmental Controls of Size Distribution of Modern Planktonic Foraminifera in the Tropical Indian Ocean. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 24, e2022GC010586.
- Adebayo, M.B., Bolton, C.T., Bassinot, F. i de Garidel-Thoron, T., 2025. A Comparison of New and Established Foraminiferal Dissolution Proxies in Tropical Indian Ocean Deep-Sea Sediments. *Paleoceanography and Paleoclimatology* 40, e2024PA005053.
- AGIP (1982): Foraminiferi padani: (terziario e quaternario): atlante iconografico e distribuzione stratigrafica. AGIP, 52 str.
- Akers, W.H., 1955. Some planktonic foraminifera of the American Gulf Coast and suggested correlations with the Caribbean Tertiary. *Journal of Paleontology*, 29 (4), 647–664.
- André, A., Quillévéré, F., Schiebel, R., Morard, R., Howa, H., Meilland, J. i Douady, C.J., 2018. Disconnection between genetic and morphological diversity in the planktonic foraminifer *Neoglobobulimina pachyderma* from the Indian sector of the Southern Ocean. *Marine Micropaleontology*, 144, 14–24.
- Arenillas, I., Arz, J.A. i Gilabert, V., 2018. Blooms of aberrant planktic foraminifera across the K/Pg boundary in the Western Tethys: Causes and evolutionary implications. *Paleobiology*, 44, 460–489.
- Arenillas, I., Gilabert, V. i Arz, J.A., 2022. An updated suprageneric classification of planktic foraminifera after growing evidence of multiple benthic-planktic transitions. *Spanish Journal of Palaeontology*, 37(1), 1–34.
- Aze, T., Ezard, T.H.G., Purvis, A., Coxall, H.K., Stewart, D.R.M., Wade, B.S. i Pearson P.N., 2011. A phylogeny of Cenozoic macroperforate planktonic foraminifera from fossil data. *Biological Reviews*, 86, 900–927.
- Babić, L. i Zupanić, J., 2008. Evolution of a river-fed foreland basin fill: The north dalmatian flysch revisited (Eocene, Outer Dinarides). *Natura Croatica*, 17, 357–374.
- Bahun, S., 1974. Tektonogeneza Velebita i postanak Jelar Naslaga. *Geološki Vjesnik*, 27, 35–51.
- Bandy, O.L., 1960. The geologic significance of coiling ratios in the foraminifer *Globigerina pachyderma* (Ehrenberg). *Journal of Paleontology*, 34, 671–681.

- Bandy, O.L., 1960a. General correlation of foraminiferal structure with environment. U: Sorgenfrei, T. (Ur.) Report of International Geological Congress, Norden. Copenhagen, str. 7–18.
- Bé, A.W.H., 1968. Shell Porosity of Recent Planktonic Foraminifera as a Climatic Index. *Science*, 161, 881–884.
- Bé, A.W.H, Harrison, S.M. i Lott, L., 1973. *Orbulina universa* d'Orbigny in the Indian Ocean. *Micropaleontology*, 19 (2), 151–192.
- Bé, A.W.H. i Hutson, W.H., 1977. Ecology of planktonic foraminifera and biogeographic patterns of life and fossil assemblages in the Indian Ocean. *Micropaleontology*, 23 (4), 369–414.
- Bé, A.W.H., Hemleben, C., Anderson, O.R., Spindler, M., Hacunda, J. i Tuntivate-Choy, S., 1977. Laboratory and Field Observations of Living Planktonic Foraminifera. *Micropaleontology* 23, 155–179.
- Bé, A.W.H., 1980. Gametogenic calcification in a spinose planktonic foraminifer *Globigerinoides sacculifer* (Brady). *Marine Micropaleontology*, 5, 283–310.
- Bé, A.W.H, Hemleben, C., Anderson, R.O. i Spindler, M., 1980. Pore structures in planktonic foraminifera. *Journal of Foraminiferal Research*, 10(2), 117–128.
- Bé, A.W.H. i Spero, H.J., 1981. Shell Regeneration and Biological Recovery of Planktonic Foraminifera after Physical Injury Induced in Laboratory Culture. *Micropaleontology* 27, 305–316.
- Bé, A.W.H., 1982. Biology of Planktonic Foraminifera. Series in Geology, Notes for Short Course 6, 51–89.
- Babić, L., Hernitz-Kučenjok, M., Čorić, S. i Zupanič, J., 2007. The Middle Eocene age of the supposed Late Oligocene sediments in the flysch of the Pazin Basin (Istria, Outer Dinarides). *Natura Croatica : Periodicum Musei Historiae Naturalis Croatici* 16, 83–103.
- Benić, J., 1983. Vapnenački nanoplankton i njegova primjena u biostratigrafiji krednih i paleogenskih naslaga Hrvatske. Doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 165 str.

- Berger, W.H., 1969. *Kummerform* foraminifera as clues to oceanic environments. AAPG bulletin, 53, 706–706.
- Berger, W.H., 1970a. Planktonic Foraminifera: Differential Production and Expatriation Off Baja California. *Limnology and Oceanography*, 15, 183–204.
- Berger, W.H., 1970b. Planktonic Foraminifera: Selective solution and the lysocline. *Marine Geology*, 8, 111–138.
- Berggren, W.A., 1969. Rates of Evolution in Some Cenozoic Planktonic Foraminifera. American Museum of Natural History, New York, 16 str.
- Berggren, W.A., 1981. Review of The Cainozoic Globigerinida: A Study of the Morphology, Taxonomy, Evolutionary Relationships and the Stratigraphical Distribution of Some Globigerinida (Mainly Globigerinacea). *Micropaleontology*, 27, 99–108.
- Berggren, W.A. i Miller, K.G., 1988. Paleogene Tropical Planktonic Foraminiferal Biostratigraphy and Magnetobiochronology. *Micropaleontology*, 34, 362–380.
- Berggren, W.A. i Miller, K.G., 1989. Cenozoic Bathyal and Abyssal Calcareous Benthic Foraminiferal Zonation. *Micropaleontology*, 35, 308–320.
- Berggren, W.A., Kent, D. V., Swisher, C.C., III i Aubry, M.-P., 1995. A Revised Cenozoic Geochronology and Chronostratigraphy. U: Berggren, W.A., Kent, D.V., Aubry, M.-P., Hardenbol, J. (Ur.), Geochronology, Time Scales and Global Stratigraphic Correlation. SEPM Society for Sedimentary Geology, 129–213.
- Berggren, W.A. i Pearson, P.N., 2005. A revised tropical to subtropical Paleogene planktonic foraminifera zonation. *Journal of Foraminiferal Research*, 35 (4). 279–298.
- Berggren, W.A. i Pearson, P.N., 2006. Tropical To Subtropical Planktonic Foraminiferal Zonation of the Eocene and Oligocene. U: Pearson, P.N., Olsson, R.K., Huber, B.T., Hemleben, C., Berggren, W.A. (Ur.), Atlas of Eocene Planktonic Foraminifera. Cushman Foundation for Foraminiferal Research, 29–41.
- Berggren, W.A., Wade, B.S. i Pearson, P.N., 2018. Oligocene Chronostratigraphy and Planktonic Foraminiferal Biostratigraphy: Historical Review and Current State-of-the-art. U: Wade, B.S., Olsson, R.K., Pearson, P.N., Huber, B.T., Berggren, W.A. (Ur.), Atlas of Oligocene Planktonic Foraminifera. Cushman Foundation for Foraminiferal Research, 29–54.

- Bermúdez, P.J., 1961. Contribucion al estudio de las Globigerinidea de la region Caribe-Antillana (Paleoceno-Reciente). Cong. Geol. Venezolano, 3d. 1119 str.
- Bijl, P.K., Bendle, J.A.P., Bohaty, S.M., Pross, J., Schouten, S., Tauxe, L., Stickley, C.E., McKay, R.M., Röhl, U., Olney, M., Sluijs, A., Escutia, C., Brinkhuis, H., Expedition 318 Scientists, Klaus, A., Fehr, A., Williams, T., Carr, S.A., Dunbar, R.B., González, J.J., Hayden, T.G., Iwai, M., Jimenez-Espejo, F.J., Katsuki, K., Kong, G.S., Nakai, M., Passchier, S., Pekar, S.F., Riesselman, C., Sakai, T., Shrivastava, P.K., Sugisaki, S., Tuo, S., van de Flierdt, T., Welsh, K. i Yamane, M., 2013. Eocene cooling linked to early flow across the Tasmanian Gateway. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110, 9645–9650.
- Bijma, J., Faber, W.W. i Hemleben, C., 1990. Temperature and salinity limits for growth and survival of some planktonic foraminifers in laboratory cultures. *Journal of foraminiferal research*, 20, 95–116.
- Bijma, J., Hemleben, C., Oberhänsli, H. i Spindler, M., 1992. The effects of increased water fertility on tropical spinose planktonic foraminifers in laboratory cultures. *Journal of Foraminiferal Research*, 22, 242–256.
- Blow, W.H., 1969. Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. U: Brönniman, P., Renz, H.H. (Ur.), *Proceedings of the First International Conference on Planktonic Microfossils*, Geneva, 199–422.
- Blow, W.H., 1979. *The Cainozoic Globigerinida*. E. J. Brill, Leiden., 1413 str.
- Boersma, A. i Premoli Silva, I., 1986. Terminal Eocene Events: Planktonic Foraminifera and Isotopic Evidence. U: Pomerol, C., Premoli Silva, I. (Ur.): *Developments in Palaeontology and Stratigraphy*. Elsevier, Milan, 213–232.
- Boersma, A. i Premoli Silva, I., 1989. Atlantic Paleogene biserial heterohelcid foraminifera and oxygen minima. *Paleoceanography*, 4, 271–286.
- Boersma, A. i Premoli Silva, I., 1991. Distribution of Paleogene planktonic foraminifera - analogies with the Recent? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, The Oceans of the Paleogene*, 83, 29–47.
- Bohaty, S.M. i Zachos, J.C., 2003. Significant Southern Ocean warming event in the late middle Eocene. *Geology*, 31, 1017–1020.

- Bolli, H.M., 1957. Planktonic Foraminifera from the Eocene Navet and San Fernando Formations of Trinidad. United States National Museum Bulletin, 215, 155–171.
- Bolli, H.M., 1966. Zonation of Cretaceous to Pliocene Marine Sediments Based on Planktonic Foraminifera. Boletín Informativo Asociación Venezolana de Geología, Minería y Petróleo, 9, 3–32.
- Bolli, H.M., Boudreaux, J.E., Emiliani, C., Hay, W.W., Hurley, R.J. i Jones, J.I., 1968. Biostratigraphy and Paleotemperatures of a Section Cored on the Nicaragua Rise, Caribbean Sea. GSA Bulletin, 79, 459–470.
- Bolli, H.M., 1971. The direction of coiling in planktonic foraminifera. U: Funnel, B.M., Riedel, W.R. (Ur.), The Micropaleontology of Oceans. Cambridge university press, Cambridge, 639–648.
- Boltovskoy, E. i Wright, R., 1976. Recent Foraminifera. Springer Netherlands, Dordrecht, 515 str.
- Borović, I., Marinčić, S., Majcen, Ž., Rafaelli, P. i Mamužić, P., 1975. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000 list Vis (Jabuka, Svetac, Biševo). Savezni geološki zavod, Beograd.
- BouDagher-Fadel, M.K., Banner, F.T. i Whittaker, J.E., 1997. The Early Evolutionary History of Planktonic Foraminifera. Dordrecht: Springer, 269 str.
- BouDagher-Fadel, M.K., 2015. Biostratigraphic and Geological Significance of Planktonic Foraminifera, Updated Second Edition. UCL Press, London, 298 str.
- BouDagher-Fadel, M.K., 2018. Evolution and Geological Significance of Larger Benthic Foraminifera, drugo izdanje. UCL Press., 704 str.
- Brčić, V., Dunkl, I., Mindszenty, A., Brlek, M., Trinajstić, N., Bajo, P., Bauluz, B., Mišur, I., Karius, V., Šuica, S., Kukoč, D., Yuste, A., Laita, E., Von Eynatten, H. i Zeh, A., 2023. A time-space window between Eocene karst bauxite genesis and the first molasse deposition in the Dinaric Foreland Basin in the North Dalmatia, Croatia. *Front. Earth Sci.* 11., 1–23.
- Broecker, W.S. i Peng, T.-H., 1987. The role of CaCO₃ compensation in the glacial to interglacial atmospheric CO₂ change. *Global Biogeochemical Cycles*, 1, 15–29.
- Brummer, G.-J.A., Hemleben, C. i Spindler, M., 1986. Planktonic foraminiferal ontogeny and new perspectives for micropalaeontology. *Nature*, 319, 50–52.

Brummer, G.-J.A., Hemleben, C. i Spindler, M., 1987. Ontogeny of extant spinose planktonic foraminifera (Globigerinidae): A concept exemplified by *Globigerinoides sacculifer* (Brady) and *G. Ruber* (d'Orbigny). *Marine Micropaleontology*, 12, 357–381.

Brummer, G.J.A. i Kroon, D., 1988. Planktonic foraminifers as tracers of ocean-climate history: Ontogeny, relationships and preservation of modern species and stable isotopes, phenotypes and assemblage distribution in different water masses. Free University Press, Amsterdam, 346 str.

Brummer, G.J.A. i Ladant, M., 2022. Taxonomic review of living planktonic foraminifera. *Journal of Micropalaeontology*, 41, 29–74.

Burke, J.E., Renema, W., Henahan, M.J., Elder, L.E., Davis, C.V., Maas, A.E., Foster, G.L., Schiebel, R. i Hull, P.M., 2018. Factors influencing test porosity in planktonic foraminifera. *Biogeosciences*, 15, 6607–6619.

Caromel, A.G.M., Schmidt, D.N., Fletcher, I. i Rayfield, E.J., 2016. Morphological Change During The Ontogeny Of The Planktic Foraminifera. *Journal of Micropalaeontology* 35, 2–19.

Catuneanu, O., 2002. Sequence stratigraphy of clastic systems: concepts, merits, and pitfalls. *Journal of African Earth Sciences*, 35, 1–43.

Coccioni, R., Monaco, P., Monechi, S., Nocchi, M. i Parisi, G., 1988. Biostratigraphy of the Eocene-Oligocene boundary at Massignano (Ancona, Italy). *International Subcommission on Paleogene Stratigraphy, Special Publication*, 50–80.

Cole, W.S., 1927. A Foraminiferal fauna from the Guayabal formation in Mexico. *Bulletins of American paleontology* 14, 1–46.

Cole, W.S., 1928. A foraminiferal fauna from the Chapapote formation in Mexico, *Bulletins of American paleontology*, 14 (53). Harris Co., Ithaca, New York, 74 str.

Collins, L.S., 1990. The correspondence between water temperature and coiling direction in *Bulimina*. *Paleoceanography*, 5, 289–294.

Collins, T.J., 2007. ImageJ for Microscopy. *BioTechniques* 43, S25–S30.

- Cordey, W.G., Berggren, W.A. i Olsson, R.K., 1970. Phylogenetic trends in the planktonic foraminiferal genus *Pseudohastigerina* Banner and Blow, 1959. *Micropaleontology*, 16 (2), 235–242.
- Corliss, B.H., 1981. Deep-sea benthonic foraminiferal faunal turnover near the Eocene/Oligocene boundary. *Marine Micropaleontology*, 6, 367–384.
- Corliss, B.H. i Honjo, S., 1981. Dissolution of Deep-Sea Benthonic Foraminifera. *Micropaleontology* 27, 356–378.
- Crowley, T.J., Zachos, J.C., Huber, B.T., MacLeod, K.G. i Wing, S.L., 2000. Comparison of zonal temperature profiles for past warm time periods. *Warm climates in earth history* 50–76.
- Costa, E., Garcés, M., Sáez, A., Cabrera, L. i López-Blanco, M., 2011. The age of the “Grande Coupure” mammal turnover: New constraints from the Eocene–Oligocene record of the Eastern Ebro Basin (NE Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 301, 97–107.
- Coxall, H.K., Pearson, P.N., Shackleton, N.J. i Hall, M.A., 2000. Hantkeninid depth adaptation: an evolving life strategy in a changing ocean. *Geology*, 28, 87–90.
- Coxall, H.K., Huber, B.T. i Pearson, P.N., 2003. Origin And Morphology Of The Eocene Planktonic Foraminifer *Hantkenina*. *Journal of Foraminiferal Research*, 33, 237–261.
- Coxall, H.K. i Pearson, P.N., 2006. Taxonomy, biostratigraphy, and phylogeny of the Hantkeninidae (*Clavigerinella*, *Hantkenina*, and *Cribrorhantkenina*), u: Pearson, Paul N., Olsson, R.K., Huber, B.T., Hemleben, C., Berggren, W.A. (Ur.), *Atlas of Eocene Planktonic Foraminifera*. Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Fredericksburg, 216–256.
- Coxall, H.K. i Pearson, P.N., 2007. The Eocene–Oligocene Transition. U: Williams, M., Haywood, A.M., Gregory, F.J., Schmidt, D.N. (Ur.), *Deep-Time Perspectives on Climate Change: Marrying the Signal from Computer Models and Biological Proxies*. Geological Society of London, London, 351–387
- Cramwinckel, M.J., Huber, M., Kocken, I.J., Agnini, C., Bijl, P.K., Bohaty, S.M., Frieling, J., Goldner, A., Hilgen, F.J., Kip, E.L., Peterse, F., van der Ploeg, R., Röhl, U., Schouten, S. i Sluijs, A., 2018. Synchronous tropical and polar temperature evolution in the Eocene. *Nature* 559, 382–386

- Cushman, J.A., 1935. Upper Eocene foraminifera of the southeastern United States. US Government Printing Office, 181, Washington, 88 str.
- Cushman, J.A. i Bermudez, P.J., 1937. Further new species of foraminifera from the Eocene of Cuba. Contributions from the Cushman Laboratory for Foraminiferal Research, 13, 1–29.
- Cushman, J.A. i Bermudez, P.J., 1949. Some Cuban species of *Globorotalia*. Contributions from the Cushman Laboratory for Foraminiferal Research, 25, 26–45.
- Ćorić, S., Babić, L., Hernitz Kučenjak, M. i Zupanić, J., 2008. Conflicting dating of the coastal Dinaric flysch, and implications: Eocene or Miocene? The case of north Dalmatia and Istria. EGU General Assembly 2008, Beč; Geophysical Research Abstracts, Vol. 10.
- Ćosović, V., Drobne, K. i Moro, A., 2004. Paleoenvironmental model for Eocene foraminiferal limestones of the Adriatic carbonate platform (Istrian Peninsula). Facies, 50, 61–75.
- Ćosović, V., Premec Fuček, V., Gušić, I., Jelaska, V. i Moro, A., 2006. The age of the Tilovica breccias in Central Dalmatia, Croatia. Micropaleontology 52, 281–286.
- Ćosović, V., Mrinjek, E., Nemeč, W., Španiček, J. i Terzić, K., 2018. Development of transient carbonate ramps in an evolving foreland basin. Basin Research, 30, 746–765.
- Damuth, J., 1991. Of size and abundance. Nature, 351, 268–269.
- Darling, K.F., Kučera, M., Wade, C.M., Von Langen, P. i Pak, D., 2003. Seasonal distribution of genetic types of planktonic foraminifer morphospecies in the Santa Barbara Channel and its paleoceanographic implications. Paleocyanography, 18, 2001PA000723.
- Darling, K.F., Kučera, M., Kroon, D. i Wade, C.M., 2006. A resolution for the coiling direction paradox in *Neogloboquadrina pachyderma*. Paleocyanography, 21, 2005PA001189.
- Darling, K.F., Thomas, E., Kasemann, S.A., Sears, H.A., Smart, C.W. i Wade, C.M., 2009. Surviving mass extinction by bridging the benthic/planktic divide. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106, 12629–12633.
- Darling, K.F., Husum, K. i Fenton, I. S., 2023. The biphasic life cycle of the non-spinose planktonic foraminifera is characterised by an aberrant coiling signature. Marine Micropaleontology 185, 102295.

Davis, C., Livsey, C.M., Palmer, H.M., Hull, P.M., Thomas, E., Hill, T.M., Fehrenbacher, J.S. i Benitez-Nelson, C., 2020. Asexual Reproduction in the Planktic Foraminifer *Neoglobobulimina pachyderma* and Morphological and Trace Element Variability in the Resulting Offspring, in: Geological Society of America Abstracts. p. 356572.

DeCelles, P.G. i Giles, K.A., 1996. Foreland basin systems. *Basin Research*, 8, 105–123.

Desmares, D., Crognier, N., Bardin, J., Testé, M., Beaudoin, B. i Grosheny, D., 2016. A new proxy for Cretaceous paleoceanographic and paleoclimatic reconstructions: Coiling direction changes in the planktonic foraminifera *Muricohedbergella delrioensis*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 445, 8–17.

Deuser, W.G., 1987. Seasonal variations in isotopic composition and deep-water fluxes of the tests of perennially abundant planktonic foraminifera of the Sargasso Sea; results from sediment-trap collections and their paleoceanographic significance. *Journal of Foraminiferal Research*, 17, 14–27.

Dieni, I. i Proto Decima, F., 1964. *Cribohantkenina* ed altri Hantkeninidae nell'Eocene superiore di Castelnuovo (Colli Euganei). *Rivista Italiana di Paleontologia*, Milano, 556 str.

Dowsett, H., Robinson, M., Foley, K., Herbert, T., Hunter, S., Andersson, C. i Spivey, W., 2023. The Relative Stability of Planktic Foraminifer Thermal Preferences over the Past 3 Million Years. *Geosciences*, 13, 71: 10.3390.

Drobne, K., Bartol, M., Fucek, V., Schenk, B. i Pugliese, V., 2012. Microfauna and nannoplankton below the Paleocene/Eocene transition in hemipelagic sediments at the southern slope of Mt. Nanos (NW part of the Paleogene Adriatic carbonate platform, Slovenia). *Austrian Journal of Earth Sciences*, 105, 208–223.

Drobne, K. i Hottinger, L. (ur.), 1998. Paleogene Shallow Benthos of the Tethys, 2. *Dela Opera SAZU* 4. razred, 34(2), Ljubljana, 353 str.

Drobne, K., Ogorelec, B., Plenicar, M., Barattolo, F., Turnsek, D. i Zucchi Stolfa, M.L., 1989. The Dolenja vas section, a transition from Cretaceous to Paleocene in the NW Dinarides, Yugoslavia. *Memorie Della Societa' Geologica Italiana*, 40, 73–84.

Duan, B., Li, T. i Pearson, P.N., 2021. Three dimensional analysis of ontogenetic variation in fossil globorotaliiform planktic foraminiferal tests and its implications for ecology, life processes and functional morphology. *Marine Micropaleontology*, 165, 101989.

- Edgar, K.M., Bohaty, S.M., Gibbs, S.J., Sexton, P.F., Norris, R.D. i Wilson, P.A., 2013. Symbiont 'bleaching' in planktic foraminifera during the Middle Eocene Climatic Optimum. *Geology* 41, 15–18.
- Emiliani, C., 1954. Results of isotopic analysis of planktonic foraminifera from sediment core 189 of the Swedish Deep-Sea Expedition (Table I). Dodatak radu: Emiliani, C (1954): Pleistocene temperature variations in the Mediterranean. *Quaternaria*, 2, 87-97.
- Ericson, D.B., Wollin, G. i Wollin, J., 1955. Coiling direction of *Globorotalia truncatulinoides* in deep-sea cores. *Deep Sea Research* (1953) 2, 152–158.
- Ericson, D.B., 1959. Coiling Direction of *Globigerina pachyderma* as a Climatic Index. *Science*, 130, 219–220.
- Evans, R.H., 1996. An Analysis of Criterion Variable Reliability in Conjoint Analysis. *Percept. Mot. Skills* 82, 988–990.
- Fayolle, F. i Wade, B.S., 2021. The evolution of Eocene planktonic foraminifera *Dentoglobigerina*. *Journal of Systematic Palaeontology* 19, 333–376.
- Fehrenbacher, J.S., Russell, A.D., Davis, C.V., Spero, H.J., Chu, E. i Hönisch, B., 2018. Ba/Ca ratios in the non-spinose planktic foraminifer *Neogloboquadrina dutertrei*: Evidence for an organic aggregate microhabitat. *Geochimica et Cosmochimica Acta, Chemistry of oceans past and present: A Special Issue in tribute to Harry Elderfield*, 236, 361–372.
- Filippi, G., Barrett, R., Schmidt, D.N., D'Onofrio, R., Westerhold, T., Brombin, V. i Luciani, V., 2024. Impacts of the Early Eocene Climatic Optimum (EECO, ~53-49 Ma) on Planktic Foraminiferal Resilience. *Paleoceanography and Paleoclimatology*, 39, e2023PA004820.
- Fraass, A.J. i Leckie, R.M., 2021. Oligocene Planktic Foraminiferal Taxonomy and Evolution: An Illustrated Revision of Ocean Drilling Program Site 803. *Journal of Foraminiferal Research*, 51, 139–164.
- Frerichs, W.E., Ely, R., 1978. Test porosity as a paleoenvironmental tool in the Late Cretaceous of the Western Interior. *Rocky Mountain Geology*, 16, 89–94.
- Funakawa, S., Nishi, H., Moore, T.C. i Nigrini, C.A., 2006. Radiolarian faunal turnover and paleoceanographic change around Eocene/Oligocene boundary in the central equatorial

Pacific, ODP Leg 199, Holes 1218A, 1219A, and 1220A. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 230, 183–203.

Galeotti, S. i Coccioni, R., 2002. Changes in coiling direction of *Cibicidoides pseudoacutus* (Nakkady) across the Cretaceous–Tertiary boundary of Tunisia: palaeoecological and biostratigraphic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 178, 197–210.

Galović, I., Pezelj, Đ., Lukić, R., Mužek, K., Petrinjak, K., Horvat, M. i Čosović, V., 2025. Record of Mid-Eocene Warming Events in the Istrian Paleogene Basin, Neotethys (Outer Dinarides, Croatia). *Geosciences* 15, 366.

Gibson, T.G., 1989. Planktonic benthonic foraminiferal ratios: modern patterns and Tertiary applicability. *Marine micropaleontology*, 15, 29–52.

Glaessner, M.F., 1934. Stratigraphy of the Lower Palaeogene of the northern and eastern Caucasus in the light of microfossil studies. *Trudy neftyanogo geologo-razvedochnogo instituta*, 4, 110–129.

Glaessner, M.F., 1937. Planktonforaminiferen aus der Kreide und dem Eozän und ihre stratigraphische Bedeutung. *Studies in Micropaleontology. Publications of the Laboratory of Paleontology, Moscow University*, 1, 27–46.

Gobo, K., Mrinjek, E., Čosović, V., Ramov, R. i Vlatković, K., 2024. Shallow-marine calciclastic mass-transport deposits in an evolving thrust-top basin: A case study from the North Dalmatian foreland basin, Croatia. *Sedimentology* 71, 509–545.

Gonera, M., Peryt, T.M. i Durakiewicz, T., 2003 Coiling direction in *Globigerina bulloides* of Middle Miocene age. *Journal of Micropaleontology*, 22, 141–146.

Gradstein, F., Gale, A., Kopaeich, L., Waskowska, A., Grigelis, A. i Glinskikh, L., 2017a. The planktonic foraminifera of the Jurassic. Part I: material and taxonomy. *Swiss J. Palaeontol.*, 136, 187–257.

Gradstein, F., Gale, A., Kopaeich, L., Waskowska, A., Grigelis, A., Glinskikh, L. i Görög, Á., 2017b. The planktonic foraminifera of the Jurassic. Part II: Stratigraphy, palaeoecology and palaeobiogeography. *Swiss J. Palaeontol.*, 136, 259–271.

- Gradstein, F., Waskowska, A. i Glinskikh, L., 2021. The First 40 Million Years of Planktonic Foraminifera. *Geosciences*, 11, 85:11020085.
- Greco, M., Jonkers, L., Kretschmer, K., Bijma, J. i Kučera, M., 2019. Depth habitat of the planktonic foraminifera *Neoglobobulimina pachyderma* in the northern high latitudes explained by sea-ice and chlorophyll concentrations. *Biogeosciences* 16, 3425–3437.
- Grigoratou, M., Monteiro, F.M., Ridgwell, A. i Schmidt, D.N., 2021. Investigating the benefits and costs of spines and diet on planktonic foraminifera distribution with a trait-based ecosystem model. *Marine Micropaleontology*, 166, 102004.
- Haaland, T.R., Wright, J. i Ratikainen, I.I., 2020. Generalists versus specialists in fluctuating environments: a bet-hedging perspective. *Oikos*, 129, 879–890.
- Hallock, P. i Raymond, C.E., 2022. Contributions of Trimorphic Life Cycles to Dispersal and Evolutionary Trends in Large Benthic Foraminifers. *J. Earth Sci.* 33, 1425–1433.
- Hagn, H., 1956. Geologische und Paläontologische Untersuchungen im Tertiär des Monte Brione und seiner Umgebung (Gardasee, Ober-Italien). *Palaeontographica Abteilung A*, 67–210.
- Hallock, P., Rosenkrands i Larsen, A., 1979. Coiling direction in *Amphistegina*. *Marine Micropaleontology* 4, 33–44.
- Hamilton, E.L., 1953. Upper Cretaceous, Tertiary, and Recent planktonic foraminifera from mid-Pacific flat-topped seamounts. *Journal of Paleontology*, 204–237.
- Hammer, Ø. i Harper, D.A., 2001. Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia electronica*, 4, 1.
- Hauer, von, F., 1875. Geologische Übersichtskarte der Österreichisch-ungarischen Monarchie. Beck'sche Universitätsbuchhandlung (A. Hölder), Beč.
- Hecht, A.D. i Savin, S.M., 1970. Oxygen-18 Studies of Recent Planktonic Foraminifera: Comparisons of Phenotypes and of Test Parts. *Science*, 170, 69–71.
- Hecht, A.D. i Savin, S.M., 1972. Phenotypic variation and oxygen isotope ratios in Recent planktonic foraminifera. *Journal of Foraminiferal Research* 2, 55–67
- Hecht, A.D., 1976. An ecologic model for test size variation in Recent planktonic foraminifera; applications to the fossil record. *Journal of Foraminiferal Research* 6, 295–311.

- Hemleben, C. i Bijma, J., 1994. Foraminiferal Population Dynamics and Stable Carbon Isotopes, U: Zahn, R., Pedersen, T.F., Kaminski, M.A., Labeyrie, L. (Ur.), Carbon Cycling in the Glacial Ocean: Constraints on the Ocean's Role in Global Change. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 145–166.
- Hemleben, C., Spindler, M. i Anderson, O.R., 1989. Modern Planktonic Foraminifera, 1st edition. Springer, New York, 363 str.
- Herak, M., Marinčić S. i Polšak, A., 1976. Geologija otoka Hvara. Acta Geologica, 7, 5–14.
- Hernitz Kučenjak, M., Premec Fuček, V., Slavković, R. i Mesić, I.A., 2006. Planktonic Foraminiferal Biostratigraphy of the Late Eocene and Oligocene in the Palmyride Area, Syria. Geologia Croatica, 59, 19–39.
- Hernitz Kučenjak, M., 2012. Planktonske foraminifere iz oligocenskih naslaga centralnog Neotethysa. Doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 174 str.
- Hilbrecht, H. i Thierstein, H.R., 1996. Benthic behavior of planktic foraminifera. Geology, 24, 200–202.
- Hofker, J., 1962. Studien an planktonischen Foraminiferen. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie. Abhandlungen, 114, 81–134.
- Hohenegger, J., 2018. Foraminiferal growth and test development. Earth-Science Reviews, 185, 140–162.
- Holbourn, A., Henderson, A.S. i MacLeod, N., 2013. Atlas of Benthic Foraminifera, 1st ed. Wiley, Oxford, 642 str.
- Hommers, H., 1997. *Wurstkammer* specimens of the planktic foraminifer *Neoglobobulimina pachydema* (sinistral): A new morphotype from the Arctic Ocean and the Weddell Sea. U: Hass, H.C. i Kaminski, M.A. (Ur): Contributions to the Micropaleontology and Paleooceanography of the Northern North Atlantic. Grzybowski Foundation Special Publication, 5, Krakow, 253–262.
- D'Hondt, S. i Keller, G., 1991. Some patterns of planktic foraminiferal assemblage turnover at the Cretaceous-Tertiary boundary. Marine Micropaleontology, 17, 77–118.

- Hooker, J.J., Collinson, M.E. i Sille, N.P., 2004. Eocene–Oligocene mammalian faunal turnover in the Hampshire Basin, UK: calibration to the global time scale and the major cooling event. *JGS*, 161, 161–172.
- Horvat, M., Tomašić, N., Aljinović, D., Bucković, D., Ćorić, S., Ćosović, V., Felja, I., Galović, I., Ištuk, Ž., Kampać, Š., Kurtanjek, D. i Pezelj, Đ., 2025. Eocene Weathering Oscillations Imprinted in Marl Mineral and Geochemical Record, Dinaric Foreland Basin, Croatia. *J. Earth Sci.*, 36, 1236–1250.
- Houben, A.J.P., van Mourik, C.A., Montanari, A., Coccioni, R. i Brinkhuis, H., 2012. The Eocene–Oligocene transition: Changes in sea level, temperature or both? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, Cenozoic Evolution of Antarctic Climates, Oceans and Ice Sheets*, 335–336.
- Huber, B.T., Macleod, K.G. i Wing, S.L., 2000. *Warm Climates in Earth History*. Cambridge University Press, Cambridge, 426 str.
- Huber, B.T., Olsson, R.K. i Pearson, P.N., 2006. Taxonomy, biostratigraphy, and phylogeny of Eocene microperforate planktonic foraminifera (*Jenkinsina*, *Cassigerinelloita*, *Chiloguembelina*, *Streptochilus*, *Zeauvigerina*, *Tenuitella*, and *Cassigerinella*) and problematica (*Dipsidripella*). U: Pearson, Paul N., Olsson, R.K., Huber, B.T., Hemleben, C., Berggren, W.A. (Ur.), *Atlas of Eocene Planktonic Foraminifera*. Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Fredericksburg, 461–509.
- Hutchinson, D.K., Coxall, H.K., Lunt, D.J., Steinthorsdottir, M., de Boer, A.M., Baatsen, M., von der Heydt, A., Huber, M., Kennedy-Asser, A.T., Kunzmann, L., Ladant, J.-B., Lear, C.H., Moraweck, K., Pearson, P.N., Piga, E., Pound, M.J., Salzmann, U., Scher, H.D., Sijp, W.P., Śliwińska, K.K., Wilson, P.A. i Zhang, Z., 2021. The Eocene–Oligocene transition: a review of marine and terrestrial proxy data, models and model–data comparisons. *Climate of the Past* 17, 269–315.
- Igarashi, A., Numanami, H., Tsuchiya, Y. i Fukuchi, M., 1996. Occurrence and distribution of the planktonic foraminifer *Neogloboquadrina pachyderma* within annual and perennial sea ice of the eastern part of LuÈtzow-Holm Bay, Antarctica, U: *Proceedings of the NIPR Symposium on Polar Biology*. National institute of piolar research, 93–110.

- Ištuk, Ž., Kampić, Š., Felja, I., Pavlović, M., Tudor, T., Jazvac, I., Pezelj, Đ., Horvat, M. i Ćosović, V., 2023. Retrieving planktonic foraminifera from lithified rocks, examples from the Eocene limestones and marls (External Dinarides, Croatia). *MethodsX*, 10, 102233.
- Jenkins, D.G., 1974. Paleogene planktonic foraminifera of New Zealand and the Austral region. *The Journal of Foraminiferal Research*, 4, 155–170.
- Jentzen, A., Nürnberg, D., Hathorne, E.C. i Schönfeld, J., 2018. Mg, Ca and $\delta^{18}\text{O}$ in living planktic foraminifers from the Caribbean, Gulf of Mexico and Florida Straits. *Biogeosciences*, 15, 7077–7095.
- Jonkers, L. i Kučera, M., 2015. Global analysis of seasonality in the shell flux of extant planktonic Foraminifera. *Biogeosciences*, 12, 2207–2226.
- Jovane, L., Coccioni, R., Marsili, A. i Acton, G., 2009. The late Eocene greenhouse-icehouse transition: Observations from the Massignano global stratotype section and point (GSSP). *Geological Society of America Special Papers*, 1682452, 148–168.
- Kamikuri, S. i Wade, B.S., 2012. Radiolarian magnetobiochronology and faunal turnover across the middle/late Eocene boundary at Ocean Drilling Program Site 1052 in the western North Atlantic Ocean. *Marine Micropaleontology*, 88, 41–53.
- Katz, M.E., Miller, K.G., Wright, J.D., Wade, B.S., Browning, J.V., Cramer, B.S. i Rosenthal, Y., 2008. Stepwise transition from the Eocene greenhouse to the Oligocene icehouse. *Nature Geosci.*, 1, 329–334.
- Kearns, L.E., Bohaty, S.M., Edgar, K.M., Nogué, S. i Ezard, T.H.G., 2021. Searching for Function: Reconstructing Adaptive Niche Changes Using Geochemical and Morphological Data in Planktonic Foraminifera. *Front. Ecol. Evol.*, 9: 2021.679722.
- Keller, G., 1983. Paleoclimatic analyses of middle Eocene through Oligocene planktic foraminiferal faunas. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 43, 73–94.
- Keller, G., MacLeod, N. i Barrera, E., 1992. Eocene-Oligocene Faunal Turnover in Planktic Foraminifera, and Antarctic Glaciation. U: Prothero, D.R., Berggren, W.A. (Ur.), *Eocene-Oligocene Climatic and Biotic Evolution*. Princeton University Press, New Jersey, pp. 218–244.

Kennett, J.P., Houtz, R.E., Andrews, P.B., Edwards, A.R., Gostin, V.A., Hajos, M., Hampton, M.A., Jenkins, D.G., Margolis, S.V., Ovenshine, A.T. i Perch-Nielsen, K., 1974.

Development of the Circum-Antarctic Current. *Science*, 186, 144–147.

Kennett, J.P., 1977. Cenozoic evolution of Antarctic glaciation, the circum-Antarctic Ocean, and their impact on global paleoceanography. *Journal of Geophysical Research (1896-1977)*, 82, 3843–3860.

Kennett, J.P. i Stott, L.D., 1991. Abrupt deep-sea warming, palaeoceanographic changes and benthic extinctions at the end of the Palaeocene. *Nature*, 353, 225–229.

Kimoto, K., 2015. Planktic Foraminifera. U: Ohtsuka, S., Suzaki, T., Horiguchi, T., Suzuki, N., Not, F. (Ur.), *Marine Protists*. Springer Japan, Tokio, 129–178.

Kimoto, K. i Tsuchiya, M., 2006. The “unusual” reproduction of planktic foraminifera: an asexual reproductive phase of *Neogloboquadrina pachyderma* (Ehrenberg). *Anuário do Instituto de Geociências*, 29, 461–461.

King, D.J., Wade, B.S. i Miller, C.G., 2023. Biostratigraphic utility of coiling direction in Miocene planktonic foraminiferal genus *Paragloborotalia*. *Newsletters on Stratigraphy*, 56, 331–355.

König, von, K., 1840. *Geognostischer Atlas Blatt Europa*. KK geologische. Reichsanstalt, Beč.

Korbar, T., 2009. Orogenic evolution of the External Dinarides in the NE Adriatic region: a model constrained by tectonostratigraphy of Upper Cretaceous to Paleogene carbonates. *Earth-Science Reviews*, 96, 296–312.

Korbar, T., Montanari, A., Fuček, V.P., Fuček, L., Coccioni, R., McDonald, I., Claeys, P., Schulz, T. i Koeberl, C., 2015. Potential Cretaceous-Paleogene boundary tsunami deposit in the intra-Tethyan Adriatic carbonate platform section of Hvar (Croatia). *GSA Bulletin* 127, 1666–1680.

Korbar, T., McDonald, I., Premec Fuček, V., Fuček, L. i Posilović, H., 2017. Post-impact event bed (tsunamite) at the Cretaceous–Palaeogene boundary deposited on a distal carbonate platform interior. *Terra Nova*, 29, 135–143.

- Korolija, B., Borović, I., Grimani, I. i Marinčić, S., 1975. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000 list Korčula. Savezni geološki zavod, Beograd.
- Krašeninnikov, V.A., Muldini-Mamužić, S. i Džodžo-Tomić, R., 1968. Značaj Planktonskih Foraminifera za Podjelu Paleogena Jugoslavije i Poredba s Drugim Istraženim Područjima. *Geološki Vjesnik*, 21, 117–147.
- Krašeninnikov, V.A., 1964. Znachenie foraminiferer okrytykh tropicheskikh basseinov datskogo i paleogenovogo vremeni dlya razrabotki mezhdunarodnoi stratigraficheskoi shkaly. *Voprosy Mikropaleontologii*, 8, 190–213.
- Krašeninnikov, V.A., 1969. Geograficheskoe i stratigraficheskoe raspredelenie planktonnykh foraminifer v otlozhenyakh Paleogena tropicheskoi oblasti. *Akademiya Nauka SSSR*, Moskva, 184 str.
- Krause, A.J., Sluijs, A., van der Ploeg, R., Lenton, T.M. i von Strandmann, P.A.E., 2023. Enhanced clay formation key in sustaining the Middle Eocene Climatic Optimum. *Nat. Geosci.*, 16, 730–738.
- Kretschmer, K., Jonkers, L., Kučera, M. i Schulz, M., 2018. Modeling seasonal and vertical habitats of planktonic foraminifera on a global scale. *Biogeosciences*, 15, 4405–4429.
- Kučera, M., 2007. Planktonic Foraminifera as Tracers of Past Oceanic Environments. U: Hillaire–Marcel, C., De Vernal, A. (Ur.), *Developments in Marine Geology, Proxies in Late Cenozoic Paleoceanography*. Elsevier, Amsterdam, 213–262.
- Kučera, M., Silye, L., Weiner, A.K.M., Darling, K., Lübben, B., Holzmann, M., Pawlowski, J., Schönfeld, J. i Morard, R., 2017. Caught in the act: anatomy of an ongoing benthic–planktonic transition in a marine protist. *J. Plankton. Res.*, 39, 436–449.
- Kuroyanagi, A., da Rocha, R.E., Bijma, J., Spero, H.J., Russell, A.D., Eggins, S.M. i Kawahata, H., 2013. Effect of dissolved oxygen concentration on planktonic foraminifera through laboratory culture experiments and implications for oceanic anoxic events. *Marine Micropaleontology*, 101, 28–32.
- Ladant, J.-B., Donnadieu, Y., Lefebvre, V. i Dumas, C., 2014. The respective role of atmospheric carbon dioxide and orbital parameters on ice sheet evolution at the Eocene–Oligocene transition. *Paleoceanography*, 29, 810–823.

- Lalli, C. i Parsons, T.R., 1997. *Biological Oceanography: An Introduction*. Elsevier, Oxford, 323 str.
- Lam, A.R. i Leckie, R.M., 2020. Late Neogene and Quaternary diversity and taxonomy of subtropical to temperate planktic foraminifera across the Kuroshio Current Extension, northwest Pacific Ocean. *Micropaleontology*, 66, 177–268.
- Le, J. i Shackleton, N.J., 1992. Carbonate Dissolution Fluctuations in the Western Equatorial Pacific During the Late Quaternary. *Paleoceanography*, 7, 21–42.
- Lessa, D., Morard, R., Jonkers, L., Venancio, I.M., Reuter, R., Baumeister, A., Albuquerque, A.L. i Kučera, M., 2020. Distribution of planktonic foraminifera in the subtropical South Atlantic: depth hierarchy of controlling factors. *Biogeosciences*, 17, 4313–4342.
- Lirer, F., 2000. A new technique for retrieving calcareous microfossils from lithified lime deposits. *Micropaleontology*, 46(4), 365–369.
- Liu, Z., Pagani, M., Zinniker, D., DeConto, R., Huber, M., Brinkhuis, H., Shah, S.R., Leckie, R.M. i Pearson, A., 2009. Global Cooling During the Eocene-Oligocene Climate Transition. *Science*, 323, 1187–1190.
- Loeblich Jr, A.R. i Tappan, H., 1988. *Foraminiferal genera and their classification*. Springer, Dordrecht, 2031 str.
- Lohmann, G.P. i Schweitzer, P.N., 1990. *Globorotalia truncatulinoides*' Growth and chemistry as probes of the past thermocline: 1. Shell size. *Paleoceanography*, 5, 55–75.
- Lowery, C.M., Bralower, T.J., Farley, K. i Leckie, R.M., 2026. New species evolved within a few thousand years of the Chicxulub Impact. *Geology*, 54, G53313.1
- Luciani, V., Giusberti, L., Agnini, C., Backman, J., Fornaciari, E. i Rio, D., 2007. The Paleocene–Eocene Thermal Maximum as recorded by Tethyan planktonic foraminifera in the Forada section (northern Italy). *Marine Micropaleontology*, 64, 189–214.
- Luciani, V., Giusberti, L., Agnini, C., Fornaciari, E., Rio, D., Spofforth, D.J. i Pälike, H., 2010. Ecological and evolutionary response of Tethyan planktonic foraminifera to the middle Eocene climatic optimum (MECO) from the Alano section (NE Italy). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 292, 82–95.

- Luciani, V., D'Onofrio, R., Dickens, G.R. i Wade, B.S., 2017. Did Photosymbiont Bleaching Lead to the Demise of Planktic Foraminifer *Morozovella* at the Early Eocene Climatic Optimum? *Paleoceanography*, 32, 1115–1136.
- Luciani, V., D'Onofrio, R., Filippi, G. i Moretti, S., 2020. Which was the habitat of early Eocene planktic foraminifer *Chiloguembelina*? Stable isotope paleobiology from the Atlantic Ocean and implication for paleoceanographic reconstructions. *Global and Planetary Change*, 191, 103216.
- Luciani, V., D'Onofrio, R., Dickens, G.R. i Wade, B.S., 2021. Dextral to sinistral coiling switch in planktic foraminifer *Morozovella* during the Early Eocene Climatic Optimum. *Global and Planetary Change*, 206, 103634.
- Lyle, M., Mix, A. i Pisias, N., 2002. Patterns of CaCO₃ deposition in the eastern tropical Pacific Ocean for the last 150 kyr: Evidence for a southeast Pacific depositional spike during marine isotope stage (MIS) 2. *Paleoceanography*, 17, 3-1-3–13.
- MacArthur, R.H. i Wilson, E.O., 2001. *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press, Princeton, 220 str.
- Malmgren, B.A., 1989. Coiling patterns in terminal Cretaceous planktonic foraminifera. *Journal of Foraminiferal Research*, 19, 311–323.
- Marchant, R., Tetard, M., Pratiwi, A., Adebayo, M. i de Garidel-Thoron, T., 2020. Automated analysis of foraminifera fossil records by image classification using a convolutional neural network. *Journal of Micropalaeontology*, 39, 183–202.
- Marinčić, S., 1981. Eocenski fliš jadranskog pojasa. *Geološki Vjesnik*, 34, 27–38.
- Marinčić, S. i Majcen, Ž., 1975. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000 list Jelsa. Savezni geološki zavod, Beograd.
- Marjanac, T., Babac, D., Benić, J., Čosović, V., Drobne, K., Marjanac, L., Pavlovec, R. i Velimirović, Z., 1998. Eocene carbonate sediments and sea-level changes on the NE part of Adriatic carbonate platform (Island of Hvar and Pelješac peninsula, Croatia). U: Hottinger, L., Drobne, K. (Ur.), *Paleogene Shallow Benthos of the Tethys*. Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Ljubljana, 243–254.

- Martin, R.E., 2003. Taphonomy and temporal resolution of foraminiferal assemblages. U: Sen Gupta, B.K. (Ur), *Modern Foraminifera*. Springer, Dordrecht, 281–298.
- Matsui, H., Nishi, H., Takashima, R., Kuroyanagi, A., Ikehara, M., Takayanagi, H. i Iryu, Y., 2016. Changes in the depth habitat of the Oligocene planktic foraminifera (*Dentoglobigerina venezuelana*) induced by thermocline deepening in the eastern equatorial Pacific. *Paleoceanography*, 31, 715–731.
- McGowran, B., 1987. Late Eocene perturbations: Foraminiferal biofacies and evolutionary overturn, southern Australia. *Paleoceanography*, 2, 715–727.
- Meilland, J., Siccha, M., Kaffenberger, M., Bijma, J. i Kučera, M., 2021. Population dynamics and reproduction strategies of planktonic foraminifera in the open ocean. *Biogeosciences Discussions* 2021, 1–28.
- Meilland, J., 2022. Population dynamics and reproduction strategies of planktonic foraminifera. *Biogeosciences*, 18(20), 5789–5809.
- Meilland, J., Ezat, M.M., Westgård, A., Manno, C., Morard, R., Siccha, M. i Kučera, M., 2023. Rare but persistent asexual reproduction explains the success of planktonic foraminifera in polar oceans. *Journal of Plankton Research*, 45, 15–32.
- Meilland, J., Siccha, M., Morard, R. i Kučera, M., 2024. Continuous reproduction of planktonic foraminifera in laboratory culture. *J. Eukaryotic Microbiology*, 71, e13022.
- Mekik, F.A., Loubere, P.W. i Archer, D.E., 2002. Organic carbon flux and organic carbon to calcite flux ratio recorded in deep-sea carbonates: Demonstration and a new proxy. *Global Biogeochemical Cycles*, 16 (3), 1–25.
- Mikes, T., Báldi-Beke, M., Kázmér, M., Dunkl, I. i von Eynatten, H., 2008. Calcareous nannofossil age constraints on Miocene flysch sedimentation in the Outer Dinarides (Slovenia, Croatia, Bosnia-Herzegovina and Montenegro), U: Siegesmund, S., Fügenschuh, B. i Froitzheim, N. (Ur.), *Tectonic Aspects of the Alpine-Dinaride-Carpathian System*. Geological Society of London, 335–363.
- Miller, K.G., Fairbanks, R.G. i Mountain, G.S., 1987. Tertiary oxygen isotope synthesis, sea level history, and continental margin erosion. *Paleoceanography*, 2, 1–19.

- Miller, K.G., Kominz, M.A., Browning, J.V., Wright, J.D., Mountain, G.S., Katz, M.E., Sugarman, P.J., Cramer, B.S., Christie-Blick, N., Pekar, S.F., 2005. The Phanerozoic Record of Global Sea-Level Change. *Science*, 310, 1293–1298.
- Milliman, J.D., Troy, P.J., Balch, W.M., Adams, A.K., Li, Y.-H. i Mackenzie, F.T., 1999. Biologically mediated dissolution of calcium carbonate above the chemical lysocline? *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 46, 1653–1669.
- Molina, E., Gonzalvo, C. i Keller, G., 1993. The Eocene-Oligocene planktic foraminiferal transition: extinctions, impacts and hiatuses. *Geological Magazine*, 130, 483–499.
- Molina, E., Arenillas, I. i Arz, J.A., 1998. Mass extinction in planktic Foraminifera at the Cretaceous/Tertiary boundary in subtropical and temperate latitudes. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 169, 351–363.
- Moore Jr., T.C., Wade, B.S., Westerhold, T., Erhardt, A.M., Coxall, H.K., Baldauf, J. i Wagner, M., 2014. Equatorial Pacific productivity changes near the Eocene-Oligocene boundary. *Paleoceanography*, 29, 825–844.
- Morard, R., Hassenrück, C., Greco, M., Fernandez-Guerra, A., Rigaud, S., Douady, C.J. i Kučera, M., 2022. Renewal of planktonic foraminifera diversity after the Cretaceous Paleogene mass extinction by benthic colonizers. *Nature Communications*, 13, 7135.
- Morard, R., Darling, K.F., Weiner, A.K.M., Hassenrück, C., Vanni, C., Cordier, T., Henry, N., Greco, M., Vollmar, N.M., Miliwojevic, T., Rahman, S.N., Siccha, M., Meilland, J., Jonkers, L., Quillévéré, F., Escarguel, G., Douady, C.J., de Garidel-Thoron, T., de Vargas, C. i Kučera, M., 2024. The global genetic diversity of planktonic foraminifera reveals the structure of cryptic speciation in plankton. *Biological Reviews*, 99, 1218–1241.
- Mrinjek, E., Nemeč, W., Pecinger, V., Mikša, G., Vlahović, I., Čosović, V., Velić, I., Bergant, S. i Matičec, D., 2012. The eocene-oligocene promina beds of the Dinaric foreland basin in northern Dalmatia. *J. Alp. Geol*, 55, 409–451.
- Murray, J.W., 1991. *Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera*. Logman Scientific & Technical Research Publishing, London, 397 str.
- Murray, J.W., 2006. *Ecology and applications of benthic foraminifera*. Cambridge university press, Cambridge, 426 str.

- Nguyen, T.M.P., Petrizzo, M.R., Stassen, P. i Speijer, R.P., 2011. Dissolution susceptibility of Paleocene–Eocene planktic foraminifera: Implications for palaeoceanographic reconstructions. *Marine Micropaleontology*, 81, 1–21.
- Nguyen, T.M.P. i Speijer, R.P., 2014. A new procedure to assess dissolution based on experiments on Pliocene–Quaternary foraminifera (ODP Leg 160, Eratosthenes Seamount, Eastern Mediterranean). *Marine Micropaleontology*, 106, 22–39.
- Nigam, R. i Rao, A.S., 1989. The intriguing relationship between coiling direction and reproductive mode in benthic foraminifera. *Journal of the Palaeontological Society of India* 34(1), 79–82.
- Nigam, R. i Khare, N., 1992. The reciprocity between coiling direction and dimorphic reproduction in benthic foraminifera. *Journal of Micropalaeontology*, 11, 221–228.
- Nocchi, M., Parisi, G., Monaco, P., Monechi, S., Madile, M., Napoleone, G., Ripepe, M., Orlando, M., Premoli Silva, I. i Bice, D.M., 1986. The Eocene-Oligocene Boundary in the Umbrian Pelagic Sequences, Italy. U: Pomerol, C., Premoli-Silva, I. (Ur.), *Developments in Palaeontology and Stratigraphy, Termbal Eocene Events*. Elsevier, 25–40.
- Nocchi, M., Parisi, G., Monaco, P., Monechi, S. i Madile, M., 1988. Eocene and early oligocene micropaleontology and paleoenvironments in SE Umbria, Italy. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 67, 181–244.
- Norris, R.D., 1991. Parallel evolution in the keel structure of planktonic foraminifera. *Journal of Foraminiferal Research*, 21, 319–331.
- Norris, R.D., 1996. Symbiosis as an evolutionary innovation in the radiation of Paleocene planktic foraminifera. *Paleobiology*, 22, 461–480.
- Norris, R.D. i Nishi, H., 2001. Evolutionary Trends in Coiling of Tropical Paleogene Planktic Foraminifera. *Paleobiology*, 27, 327–347.
- Olsson, R.K., 1973. What Is a *Kummerform* Planktonic Foraminifer? *Journal of Paleontology*, 47, 327–329.
- Olsson, R.K., Hemleben, C., Berggren, W.A. i Huber, B.T., 1999. *Atlas of Paleocene planktonic foraminifera*. Smithsonian Institution Press Washington, DC.

- Olsson, R.K., Hemleben, C. i Pearson, P.N., 2006b. Taxonomy, Biostratigraphy, And Phylogeny of Eocene *Dentoglobigerina*. U: Pearson, P.N., Olsson, R.K., Huber, B.T., Hemleben, C., Berggren, W.A. (Ur.), Atlas of Eocene Planktonic Foraminifera. Cushman Foundation for Foraminiferal Research, 401–412.
- Olsson, R.K., Pearson, P.N. i Huber, B.T., 2006c. Taxonomy, Biostratigraphy, and Phylogeny of Eocene *Catapsydrax*, *Globorotaloides*, *Guembelitrioides*, *Paragloborotalia*, *Parasubbotina*, and *Pseudoglobigerinella* n. gen. U: Pearson, P.N., Olsson, R.K., Huber, B.T., Hemleben, C., Berggren, W.A. (Ur.), Atlas of Eocene Planktonic Foraminifera. Cushman Foundation for Foraminiferal Research, 67–110.
- D’Onofrio, R. i Luciani, V., 2020. Do different extraction techniques impact planktic foraminiferal assemblages? An early Eocene case study. *Marine Micropaleontology*, 155, 101795.
- D’Onofrio, R., Luciani, V., Dickens, G.R., Wade, B.S. i Kirtland Turner, S., 2020. Demise of the planktic foraminifer genus *Morozovella* during the Early Eocene climatic optimum: new records from ODP Site 1258 (Demerara rise, Western Equatorial Atlantic) and site 1263 (Walvis Ridge, South Atlantic). *Geosciences*, 10, 88.
- Oštrić, N., Jelaska, V., Fuček, L., Prtoljan, B., Korolija, B., Šparica, M., Korbar, T. i Husinec, A., 2014. Osnovna geološka karta Republike Hrvatske M 1:50 000 - list Vis 4. Hrvatski geološki institut, Zagreb.
- Oštrić, N., Jelaska, V., Fuček, L., Prtoljan, B., Korolija, B., Gušić, I., Marinčić, S., Korbar, T. i Šparica, M., 2015. Osnovna geološka karta Republike Hrvatske M 1:50 000 - list: Omiš 3. Hrvatski geološki institut, Zagreb.
- Pagani, M., Huber, M. i Sageman, B., 2014. Greenhouse Climates. U: Holland, H.D., Turekian, K.K. (Ur.), *Treatise on Geochemistry*. Elsevier, 281–304.
- Pearson, P.N., Ditchfield, P.W., Singano, J., Harcourt-Brown, K.G., Nicholas, C.J., Olsson, R.K., Shackleton, N.J. i Hall, M.A., 2001. Warm tropical sea surface temperatures in the Late Cretaceous and Eocene epochs. *Nature* 413, 481–487.
- Pearson, P.N., Olsson, R.K., Huber, B.T., Hemleben, C. i Berggren, W.A., 2006a. Atlas of Eocene planktonic foraminifera. Cushman Foundation for Foraminiferal Research Special publication, 41, 508 str.

- Pearson, P.N., Premec-Fucek, V. i Silva, I.P., 2006b. Taxonomy, biostratigraphy, and phylogeny of Eocene *Turborotalia*. U: Pearson, Paul N., Olsson, R.K., Huber, B.T., Hemleben, C., Berggren, W.A. (Ur.), Atlas of Eocene Planktonic Foraminifera. Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Fredericksburg, 433–461.
- Pearson, P.N. i Wade, B.S., 2009. Taxonomy and stable isotope paleoecology of well-preserved planktonic foraminifera from the uppermost Oligocene of Trinidad. *The Journal of Foraminiferal Research* 39, 191–217.
- Pearson, P.N. i Ezard, T.H., 2014. Evolution and speciation in the Eocene planktonic foraminifer *Turborotalia*. *Paleobiology* 40, 130–143.
- Pearson, P.N., Olsson, R.K., Spezzaferri, S. i Leckie, R.M., 2018a. Taxonomy, biostratigraphy, and phylogeny of Oligocene Globanomaliniidae (*Pseudohastigerina* and *Turborotalia*). U: Wade, B.S., Olsson, R.K., Pearson, P.N., Huber, B.T., Berggren, W.A. (Ur.). Atlas of Oligocene planktonic foraminifera. Cushman Foundation for Foraminiferal Research Special Publication, 46, 403–414.
- Pearson, P.N., Wade i B.S. i Huber, B.T., 2018b. Taxonomy, biostratigraphy, and phylogeny of Oligocene Globigerinitidae (*Dipsidripella*, *Globigerinita*, and *Tenuitella*). U: Wade, B.S., Olsson, R.K., Pearson, P.N., Huber, B.T., Berggren, W.A. (Ur.). Atlas of Oligocene planktonic foraminifera. Cushman Foundation for Foraminiferal Research Special Publication, 46, 429–458.
- Pearson, P.N. i Penny, L., 2021. Coiling directions in the planktonic foraminifer *Pulleniatina*: A complex eco-evolutionary dynamic spanning millions of years. *PLOS ONE* 16, e0249113.
- Pearson, P.N., John, E., Wade, B.S., D’haenens, S. i Lear, C.H., 2022. Spine-like structures in Paleogene muricate planktonic foraminifera. *Journal of Micropalaeontology*, 41, 107–127.
- Peeters, F., Ivanova, E., Conan, S., Brummer, G.-J., Ganssen, G., Troelstra, S. i van Hinte, J., 1999. A size analysis of planktic foraminifera from the Arabian Sea. *Marine Micropaleontology*, 36, 31–63.
- Pejnović, I., Luciani, V. i Čosović, V., 2025. Connecting morphological changes in planktonic foraminifera to late Eocene cooling: a case study on *Pseudohastigerina micra* (Cole 1927) from the Dinaric foreland basin, Adriatic Sea. *Micropaleontology*, 71, 235–252.

- Petrizzo, M.R., Leoni, G., Speijer, R.P., De Bernardi, B. i Felletti, F., 2008. Dissolution susceptibility of some Paleogene planktonic foraminifera from ODP site 1209 (Shatsky Rise, Pacific Ocean). *Journal of Foraminiferal Research*, 38, 357–371.
- Petró, S.M., Pivel, M.A.G. i Coimbra, J.C., 2021. Evidence of supra-lysoclinal dissolution of pelagic calcium carbonate in the late Quaternary in the western South Atlantic. *Marine Micropaleontology* 166, 102013.
- Pfuhl, H.A. i Shackleton, N.J., 2004. Changes in coiling direction, habitat depth and abundance in two menardellid species. *Marine Micropaleontology*, 50, 3–20.
- Phleger, F.B., 1960. *Ecology and Distribution of Recent Foraminifera*. The John Hopkins Press, Baltimore, 297 str.
- Poore, R.Z. i Bybell, L.M., 1988. Eocene to Miocene biostratigraphy of New Jersey core ACGS #4; implications for regional stratigraphy. US Government Printing Office, 22 str.
- Poore, R.Z. i Matthews, R.K., 1984. Oxygen isotope ranking of late Eocene and Oligocene planktonic foraminifera: implications for Oligocene sea-surface temperatures and global ice-volume. *Marine Micropaleontology*, 9, 111–134.
- Postuma, J.A., 1971. *Manual of Planktonic Foraminifera*. Royal Dutch/Shell, Hague, 420 str.
- Pracht, H., Metcalfe, B. i Peeters, F.J., 2019. Oxygen isotope composition of the final chamber of planktic foraminifera provides evidence of vertical migration and depth-integrated growth. *Biogeosciences*, 16, 643–661.
- Premec-Fuček, V., Babić, L., Bajraktarević, Z. i Gušić, I., 1998. Planktonic foraminiferal biostratigraphy and paleoecology of the Middle to Upper Eocene succession in the North Adriatic Sea. U: Hottinger, L., Drobne, K. (Ur.), *Paleogene Shallow Benthos of the Tethys*. Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Ljubljana, 255–271.
- Premec Fuček, V., 2009. *Biostratigrafija, filogenija i paleoekologija paleogenskih planktonskih foraminifera podmorja Jadrana*. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 207 str.
- Premec Fuček, V., Hernitz Kučenjak, M., 2014. *Planktonic Foraminiferal Biostratigraphy Across the Eocene–Oligocene Boundary in the North Adriatic Sea*. U: Rocha, R., Pais, J.,

- Kullberg, J.C., Finney, S. (Ur.), STRATI 2013. Springer International Publishing, Dordrecht, 99–102.
- Premec Fućek, V., Hernitz Kučenjak, M. i Pecimotika, G., 2021. Planktonic foraminiferal biostratigraphy and lithology of the Upper Cretaceous (upper Campanian-Maastrichtian) and Palaeogene succession of the Palmyrides (Syria). *Geologia Croatica*, 74, 21–40.
- Premoli Silva, I., Wade, B.S. i Pearson, P.N., 2006. Taxonomy, biostratigraphy, and phylogeny of *Globigerinatheka* and *Orbulinoides*. U: Pearson, Paul N., Olsson, R.K., Huber, B.T., Hemleben, C., Berggren, W.A. (Ur.), Atlas of Eocene Planktonic Foraminifera. Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Fredericksburg, 169–213.
- Prothero, D.R., 2009. Paleogene climates. U: Gornitz, V. (Ur.), Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments. Springer, Dordrecht, 728–733.
- Prothero, D.R. i Berggren, W.A., 2014. Eocene-Oligocene climatic and biotic evolution. Princeton University Press, Princeton, 582 str.
- Puškarić, S., 1987. Calcareous nannoplankton from clastic sediments of the island of Hvar. *Rad Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti*, 431, 7–16.
- R Core Team, 2021. R A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Scientific Research Publishing.
- Raić, V., Papeš, J. i Ahac, A., 1980. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000 list Ston. Savezni geološki zavod, Beograd.
- Rebotim, A., Voelker, A.H.L., Jonkers, L., Waniek, J.J., Meggers, H., Schiebel, R., Fraile, I., Schulz, M. i Kučera, M., 2017. Factors controlling the depth habitat of planktonic foraminifera in the subtropical eastern North Atlantic. *Biogeosciences*, 14, 827–859.
- Renaud, S. i Schmidt, D.N., 2003. Habitat tracking as a response of the planktic foraminifer *Globorotalia truncatulinoides* to environmental fluctuations during the last 140 kyr. *Marine Micropaleontology*, 49, 97–122
- Reynolds, C.E., Fehrenbacher, J.S., Thirumalai, K., Tappa, E.J. i Richey, J.N., 2025. Insights From Growing *Globorotalia Truncatulinoides* And *Globorotalia Menardii* In The Laboratory. *Journal of Foraminiferal Research*, 55, 131–143.

- Rhumbler, L., 1911. Die Foraminiferen (Thalamophoren) der Plankton-Expedition: zugleich entwurf eines natürlichen systems der foraminiferen auf grund selektionistischer und mechanisch-physiologischer faktoren. Lepsius & Tischer, Kiel, 39 listova.
- RStudio Team, 2020. RStudio Integrated Development for R. Scientific Research Publishing.
- Saito, T., 1976. Geologic significance of coiling direction in the planktonic foraminifera *Pulleniatina*. *Geology*, 4, 305–309.
- Salopek, M., 1927. Eocenska sinklinala na otoku Hvaru. *Geografski vestnik* 3, 95–103.
- Salopek, M., 1931. Eocenska sinklinala od grada Hvara do Dubovice. *Radovi Jugoslavenske Akademije Znanosti i Umjetnosti*, 241, 69–80.
- Sarmiento, J.L. i Gruber, N., 2006. *Ocean biogeochemical dynamics*. Princeton university press, Princeton, 503 str.
- Saraswati, P.K., 2021. *Foraminiferal Micropaleontology for Understanding Earth's History*. Elsevier, Amsterdam, 340 str.
- Saxena, S., Chakraborty, A., Galović, I., Roy, L. i Ghosh, A.K., 2022. New insights into the earliest occurrence, possible evolutionary lineage, palaeogeography and palaeoclimatic implications of *Nicklithus amplificus*: Evidence from the Adriatic Sea, Indian Ocean and Paratethys. *Marine Micropaleontology*, 172, 102111.
- Schiebel, R., Barker, S., Lendt, R., Thomas, H. i Bollmann, J., 2007. Planktic foraminiferal dissolution in the twilight zone. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, The Role of Marine Organic Carbon and Calcite Fluxes in Driving Global Climate Change, Past and Future*, 54, 676–686.
- Schiebel, R. i Hemleben, C., 2017. *Planktic Foraminifers in the Modern Ocean*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 358 str.
- Schindelin, J., Arganda-Carreras, I., Frise, E., Kaynig, V., Longair, M., Pietzsch, T., Preibisch, S., Rueden, C., Saalfeld, S. i Schmid, B., 2012. Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. *Nature methods*, 9, 676–682.
- Schmid, S.M., Bernoulli, D., Fügenschuh, B., Matenco, L., Schefer, S., Schuster, R., Tischler, M. i Ustaszewski, K., 2008. The Alpine-Carpathian-Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units. *Swiss J. Geosci.*, 101, 139–183.

- Schmid, S.M., Fügenschuh, B., Kounov, A., Mañenco, L., Nievergelt, P., Oberhänsli, R., Pleuger, J., Schefer, S., Schuster, R., Tomljenović, B., Ustaszewski, K. i van Hinsbergen, D.J.J., 2020. Tectonic units of the Alpine collision zone between Eastern Alps and western Turkey. *Gondwana Research*, 78, 308–374.
- Schmidt, D.N., Renaud, S., Bollmann, J., Schiebel, R. i Thierstein, H.R., 2004. Size distribution of Holocene planktic foraminifer assemblages: biogeography, ecology and adaptation. *Marine Micropaleontology*, 50, 319–338.
- Schweitzer, C.E., Shirk, A.M., Čosović, V., Okan, Y., Feldmann, R.M. i Hoşgör, I., 2007. New Species Of *Harpactocarcinus* From The Tethyan Eocene And Their Paleocological Setting. *Journal of Paleontology*, 81, 1091–1100.
- Scotese, R., 2014. Atlas of Paleogene Paleogeographic Maps (Mollweide Projection), Maps 8-15, Volume 1. The Cenozoic. PALEOMAP Project, Arlington, SAD.
- Sen Gupta, B.K., 2003. *Modern Foraminifera*. Springer, Dordrecht, 371 str.
- Sexton, P.F., Wilson, P.A. i Pearson, P.N., 2006. Microstructural and geochemical perspectives on planktic foraminiferal preservation: “Glassy” versus “Frosty.” *Geochem Geophys Geosyst*, 7, 2006GC001291.
- Shahin, A., El Khawagah, S. i Shahin, B., 2023. Middle Eocene–early Miocene planktonic foraminiferal biostratigraphy, chronostratigraphy, sea-level reconstruction and sequence biostratigraphy at N. El Faras-1X well, Qattara Depression, Western Desert, Egypt. *Geological Journal*, 58, 1587–1606.
- Shannon, C.E., 1948. A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*, 27, 379–423.
- Shutskaya, E.K., 1965. Filogeneticheskie vzaimootnoscheniya vidov gruppy *Globorotalia compressa* Plummer v datskom vekhe i paleotzenovoi epokhe. *Voprosy Mikropaleontologii*, 9, 180–188.
- Siccha, M. i Kučera, M., 2017. ForCenS, a curated database of planktonic foraminifera census counts in marine surface sediment samples. *Sci Dana*, 4, 170109.
- Simpson, E.H., 1949. Measurement of diversity. *Nature*, 163, 688–688.

- Sinclair, H.D., 1997. Tectonostratigraphic model for underfilled peripheral foreland basins: An Alpine perspective. *GSA Bulletin*, 109, 324–346.
- Sinclair, H.D. i Naylor, M., 2012. Foreland basin subsidence driven by topographic growth versus plate subduction. *Geological Society of America Bulletin*, 124, 368–379.
- Singh, A.D. i Srinivasan, M.S., 1993. Quaternary climatic changes indicated by planktonic foraminifera of Northern Indian Ocean. *Current science*, 908–915.
- Smart, C.W. i Thomas, E., 2006. The enigma of early Miocene biserial planktic foraminifera. *Geology*, 34, 1041–1044.
- Smart, C.W. i Thomas, E., 2018. Taxonomy, biostratigraphy, and phylogeny of Oligocene *Streptochilus*. U: Wade, B.S., Olsson, R.K., Pearson, P.N., Huber, B.T., Berggren, W.A. (Ur.). *Atlas of Oligocene planktonic foraminifera*. Cushman Foundation for Foraminiferal Research Special Publication, 46, 495–510.
- Soták, J., 2010. Paleoenvironmental changes across the Eocene-Oligocene boundary: insights from the Central-Carpathian Paleogene Basin. *Geologica Carpathica*, 61, 393–418.
- Söhle, U., 1900. Geognostisch- palaeontologische Beschreibung der Insel Lesina. *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt*, 50, 33–46.
- Spero, H.J. i DeNiro, M.J., 1987. The Influence of Symbiotic Photosynthesis on the $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ Values of Planktonic Foraminiferal Shell Calcite. *Symbiosis*, 4, 213–228.
- Spero, H.J., 1988. Ultrastructural examination of chamber morphogenesis and biomineralization in the planktonic foraminifer *Orbulina universa*. *Mar. Biol.*, 99, 9–20.
- Spezzaferri, S. i Premoli Silva, I., 1991. Oligocene planktonic foraminiferal biostratigraphy and paleoclimatic interpretation from Hole 538A, DSDP Leg 77, Gulf of Mexico. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 83, 217–263.
- Spezzaferri, S., Olsson, R.K., Hemleben, C., Wade, B.S. i Coxall, H.K., 2018. Taxonomy, biostratigraphy, and phylogeny of Oligocene and lower Miocene *Globoturborotalita*. U: Wade, B.S., Olsson, R.K., Pearson, P.N., Huber, B.T., Berggren, W.A. (Ur.). *Atlas of Oligocene planktonic foraminifera*. Cushman Foundation for Foraminiferal Research Special Publication, 46, Fredericksburg, 231–268.

- Spindler, M., Hemleben, C., Salomons, J.B. i Smit, L.P., 1984. Feeding behavior of some planktonic foraminifers in laboratory cultures. *Journal of Foraminiferal Research*, 14, 237–249.
- Stache, K.H.H.G., 1880. Die Liburnische Stufe: (Eine geologisch-paläontologische Studie über die zwischen der Rudisten führenden Kreideformation und den unteren Nummulitenkalken der österreichisch-ungarischen Küstenländer entwickelte Schichtenfolge). *Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt 1880*, 195–209.
- Stainforth, R.M., 1951. Growth of Recognition of the Zonal Value of Planktonic Microfossils. *The Micropaleontologist*, 5, 30–32.
- Subbotina, N.N., 1936. Stratigrafiya nizhnego paleogena i verkhnogo mela Severnaya Kavkaza po fauna foraminifer. *Trudy neftyanogo geologo-razvedochnogo instituta*, 96, 3–32.
- Subbotina, N.N., 1953. Foraminiferes fossiles d’U.R.S.S., Globigerinidae, Globorotaliidae, Hantkeninidae. *Bureau de Recherches Geologiques et Minières, Orléans*, 144 str.
- Suárez-Ibarra, J.Y., Frozza, C.F., Petró, S.M., Pivel, M.A.G., 2021. Fragment Or Broken? Improving The Planktonic Foraminifera Fragmentation Assessment. *Palaios*, 36, 165–172.
- Sun, J., Ni, X., Bi, S., Wu, W., Ye, J., Meng, J. i Windley, B.F., 2014. Synchronous turnover of flora, fauna and climate at the Eocene–Oligocene Boundary in Asia. *Scientific reports*, 4, 7463.
- Swain, A., Woodhouse, A., Fagan, W.F., Fraass, A.J. i Lowery, C.M., 2024. Biogeographic response of marine plankton to Cenozoic environmental changes. *Nature*, 629, 616–623.
- Takagi, H., Kimoto, K., Fujiki, T., Saito, H., Schmidt, C., Kučera, M. i Moriya, K., 2019. Characterizing photosymbiosis in modern planktonic foraminifera. *Biogeosciences*, 16, 3377–3396.
- Takagi, H., Kurasawa, A. i Kimoto, K., 2020. Observation of asexual reproduction with symbiont transmission in planktonic foraminifera. *Journal of plankton research*, 42, 403–410.
- Takagi, H., Nakamura, Y., Schmidt, C., Kucera, M., Saito, H. i Moriya, K., 2025. Two waves of photosymbiosis acquisition in extant planktonic foraminifera explained by ecological incumbency. *ISME J*, 19, wrae244.

- Tari, V. i Mrinjek, E., 1994. The role of Palaeogene clastics in the tectonic interpretation of northern Dalmatia (southern Croatia). *Geologia Croatica*, 47, 127–138.
- Thiam, M., Chaabane, S. i Garidel-Thoron, T.D., u postupku recenzije. Automated recognition of Meso-Cenozoic foraminifera from Senegalese sedimentary deposits using convolutional neural network.
- Thiede, J., 1971. Variations in coiling ratios of Holocene planktonic foraminifera. *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts*, 18, 823–831.
- Thomas, F.C. i Murney, M.G., 1985. Techniques for extraction of foraminifers and ostracodes from sediment samples. Department of Fisheries and Oceans., 24 str.
- Toumarkine, M. i Bolli, H.M., 1970. Evolution de *Globorotalia cerroazulensis* (Cole) dans l'Eocène moyen et supérieur de Possagno (Italie). *Rev. Micropaléont.*, 13, 131–145.
- Toumarkine, M., Luterbacher, H.P., Bolli, H.M., Saunders, J.B. i Perch-Nielsen, K., 1985. Paleocene and Eocene planktonic foraminifera. U: Bolli, H.M., Saunders, J.B., Perch-Nielsen, K. (Ur.), *Plankton Stratigraphy Vol. I*. Cambridge university press, Cambridge, 87–154.
- Toumoulin, A., Donnadieu, Y., Ladant, J.-B., Batenburg, S.J., Poblete, F. i Dupont-Nivet, G., 2020. Quantifying the Effect of the Drake Passage Opening on the Eocene Ocean. *Paleoceanography and Paleoclimatology*, 35, e2020PA003889.
- Ujiié, Y. i Asami, T., 2014. Temperature is not responsible for left-right reversal in pelagic unicellular zooplanktons. *Journal of Zoology*, 293, 16–24.
- Vlahović, I., Tišljarić, J., Velić, I. i Matičec, D., 2005. Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: Palaeogeography, main events and depositional dynamics. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 220, 333–360.
- Wade, B.S., 2004. Planktonic foraminiferal biostratigraphy and mechanisms in the extinction of *Morozovella* in the late middle Eocene. *Marine Micropaleontology*, 51, 23–38.
- Wade, B.S., Berggren, W.A. i Olsson, R.K., 2007. The biostratigraphy and paleobiology of Oligocene planktonic foraminifera from the equatorial Pacific Ocean (ODP Site 1218). *Marine Micropaleontology*, 62, 167–179.

- Wade, B.S. i Pearson, P.N., 2008. Planktonic foraminiferal turnover, diversity fluctuations and geochemical signals across the Eocene/Oligocene boundary in Tanzania. *Marine Micropaleontology*, 68, 244–255.
- Wade, B.S., Al-Sabouni, N., Hemleben, C. i Kroon, D., 2008. Symbiont bleaching in fossil planktonic foraminifera. *Evol Ecol*, 22, 253–265.
- Wade, B.S. i Olsson, R.K., 2009. Investigation of pre-extinction dwarfing in Cenozoic planktonic foraminifera. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, Extinction, dwarfing and the Lilliput effect*, 284, 39–46.
- Wade, B.S., Pearson, P.N., Berggren, W.A. i Pälike, H., 2011. Review and revision of Cenozoic tropical planktonic foraminiferal biostratigraphy and calibration to the geomagnetic polarity and astronomical time scale. *Earth-Science Reviews*, 104, 111–142.
- Wade, B.S., Olsson, R.K., Pearson, P.N., Huber, B.T. i Berggren, W.A., 2018a. Atlas of Oligocene planktonic foraminifera. Cushman Foundation for Foraminiferal Research Special Publication, 46, Fredericksburgh, 524 str.
- Wade, B.S., Olsson, R.K., Pearson, P.N., Edgar, K.M. i Premoli Silva, I., 2018b. Taxonomy, biostratigraphy, and phylogeny of Oligocene *Subbotina*. U: Wade, B.S., Olsson, R.K., Pearson, P.N., Huber, B.T., Berggren, W.A. (Ur.). Atlas of Oligocene planktonic foraminifera. Cushman Foundation for Foraminiferal Research Special Publication, 46, 307–330.
- Wade, B.S., Pearson, P.N., Olsson, R.K., Fraass, A.J., Leckie, R.M. i Hemleben, C., 2018c. Taxonomy, biostratigraphy, and phylogeny of Oligocene and lower Miocene *Dentoglobigerina* and *Globoquadrina*. U: Wade, B.S., Olsson, R.K., Pearson, P.N., Huber, B.T., Berggren, W.A. (Ur.). Atlas of Oligocene planktonic foraminifera. Cushman Foundation for Foraminiferal Research Special Publication, 46, 331–384.
- Wade, B.S. i Hernitz Kučenjok, M., 2018. Taxonomy, biostratigraphy, and phylogeny of Oligocene *Acarinina*. U: Wade, B.S., Olsson, R.K., Pearson, P.N., Huber, B.T., Berggren, W.A. (Ur.). Atlas of Oligocene planktonic foraminifera. Cushman Foundation for Foraminiferal Research Special Publication, 46, Fredericksburg, 393–402.

- Wade, B.S., Aljhdali, M.H., Mufreh, Y.A., Memesh, A.M., AlSoubhi, S.A. i Zalmout, I.S., 2021. Upper Eocene planktonic foraminifera from northern Saudi Arabia: implications for stratigraphic ranges. *Journal of Micropalaeontology*, 40, 145–161.
- Weinkauff, M.F.G., Siccha, M. i Weiner, A.K.M., 2022. Reproduction dynamics of planktonic microbial eukaryotes in the open ocean. *J. R. Soc.*, 19, 20210860.
- Weitkamp, T.M., Bird, C., Darling, K.F., Hsiang, A.Y., Ramsay, J., Vermassen, F. i Coxall, H.K., 2025. Aberrant coiling signatures reveal the specialised reproductive strategy of the planktonic foraminifera *Neogloboquadrina pachyderma* under Central Arctic perennial sea ice. *Marine Micropaleontology*, 201, 102503.
- Wells, R.C., 1915. The solubility of calcite in water in contact with the atmosphere, and its variation with temperature. *Journal of the Washington Academy of Sciences*, 5, 617–622.
- Westgård, A., Ezat, M.M., Chalk, T.B., Chierici, M., Foster, G.L. i Meilland, J., 2023. Large-scale culturing of *Neogloboquadrina pachyderma*, its growth in, and tolerance of, variable environmental conditions. *J Plankton Res* 45, 732–745.
- Wilson, T.R.S. i Thomson, J., 1998. Calcite dissolution accompanying early diagenesis in turbiditic deep ocean sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 62, 2087–2096.
- Woodhouse, A., Wade, B.S., Dunkley Jones, T., Hoorn, C. i Edgar, K.M., 2025. Low-latitude biostratigraphy and diversity of planktonic foraminifera from the middle Eocene to early Oligocene. *Journal of Micropalaeontology*, 44, 601–632.
- Zarkogiannis, S.D., Antonarakou, A., Tripathi, A., Kontakiotis, G., Mortyn, P.G., Drinia, H. i Greaves, M., 2019. Influence of surface ocean density on planktonic foraminifera calcification. *Sci Rep*, 9: 533.
- van der Zwaan, G.J., Jorissen, F.J. i de Stigter, H.C., 1990. The depth dependency of planktonic/benthic foraminiferal ratios: Constraints and applications. *Marine Geology*, 95, 1–16.
- Živković, S., Babić, L., 2003. Paleoceanographic implications of smaller benthic and planktonic foraminifera from the Eocene Pazin Basin (Coastal Dinarides, Croatia). *Facies*, 49, 49–60.

Web-izvori:

<https://www.mikrotax.org> .Datum pristupa citiranim podacima: 17. 2. 2026.

<https://www.random.org> Datum pristupa citiranim podacima: 30. 1. 2023.

9. - Prilozi

Prilog 1. - *Table*

Tabla 1: Morfološka raznolikost makroperforatnih planktonskih foraminifera obuhvaćenih ovim istraživanjem. Mjerila: A, C, E, F, G, I, J, L, M, O, P, R, S - 100 μm ; B, D, H, K, N, Q, T - 20 μm .

A, B: *Catapsydrax unicavus* Loeblich & Tappan, Viganj (VI 3), donji oligocen, biozona O1 **A** - umbilikalna strana; **B** - detalj stijenke; *sacculifer* tip. Strelice naznačuju šupljine spina;

C, D: *Paragloborotalia nana* (Bolli), Slano-Čepikuće (SL 4), srednji eocen, biozona E13; **C** - umbilikalna strana; **D** - detalj stijenke; *Neogloboquadrina* tip;

E, F: *Subbotina tecta* Pearson & Wade, Viganj (VI 4), donji oligocen, biozona O1; **E** - , umbilikalna strana; **F** - bočna strana; *ruber* tip stijenke;

G, H: *Subbotina corpulenta* (Subbotina), Viganj (VI 3), donji oligocen, biozona O1; **G** - umbilikalna strana; **H** - detalj stijenke; *ruber/sacculifer* tip;

I-L: *Globigerinatheka index* (Finlay), Slano-Čepikuće (SL 5), srednji eocen, biozona E13; **I, J** - umbilikalna strana; **K** - detalj stijenke; površina prekrivena debelim slojem gametogenetskog kalcita; **L** - bočna strana; vidljiva sekundarna ušća na sjecištima sutura;

M, N: *Globoturborotalita paracancellata* Olsson & Hemleben, Zračće (ZAR 6), gornji eocen, biozona E16; **M** - umbilikalna strana; **N** - detalj stijenke; *ruber/sacculifer* tip;

O-R: *Ciperoella anguliofficialis* (Blow), Viganj (VI 1, VI 4), donji oligocen, biozona O1; **O, P** - umbilikalna strana; **R** - detalj stijenke; *Ciperoella* tip;

S: *Dentoglobigerina venezuelana* (Hedberg), umbilikalna strana. Zračće (ZAR 6), gornji eocen, biozona E16;

T, U: *Dentoglobigerina galavisi* (Bermudez), Viganj (VI 4), donji oligocen, biozona O1; **T** - umbilikalna strana; **U** - detalj stijenke, *Globoquadrina* tip. Otapanje stijenke otkriva njezinu lamelarnu građu. Strelice naznačuju moguće šupljine spina.

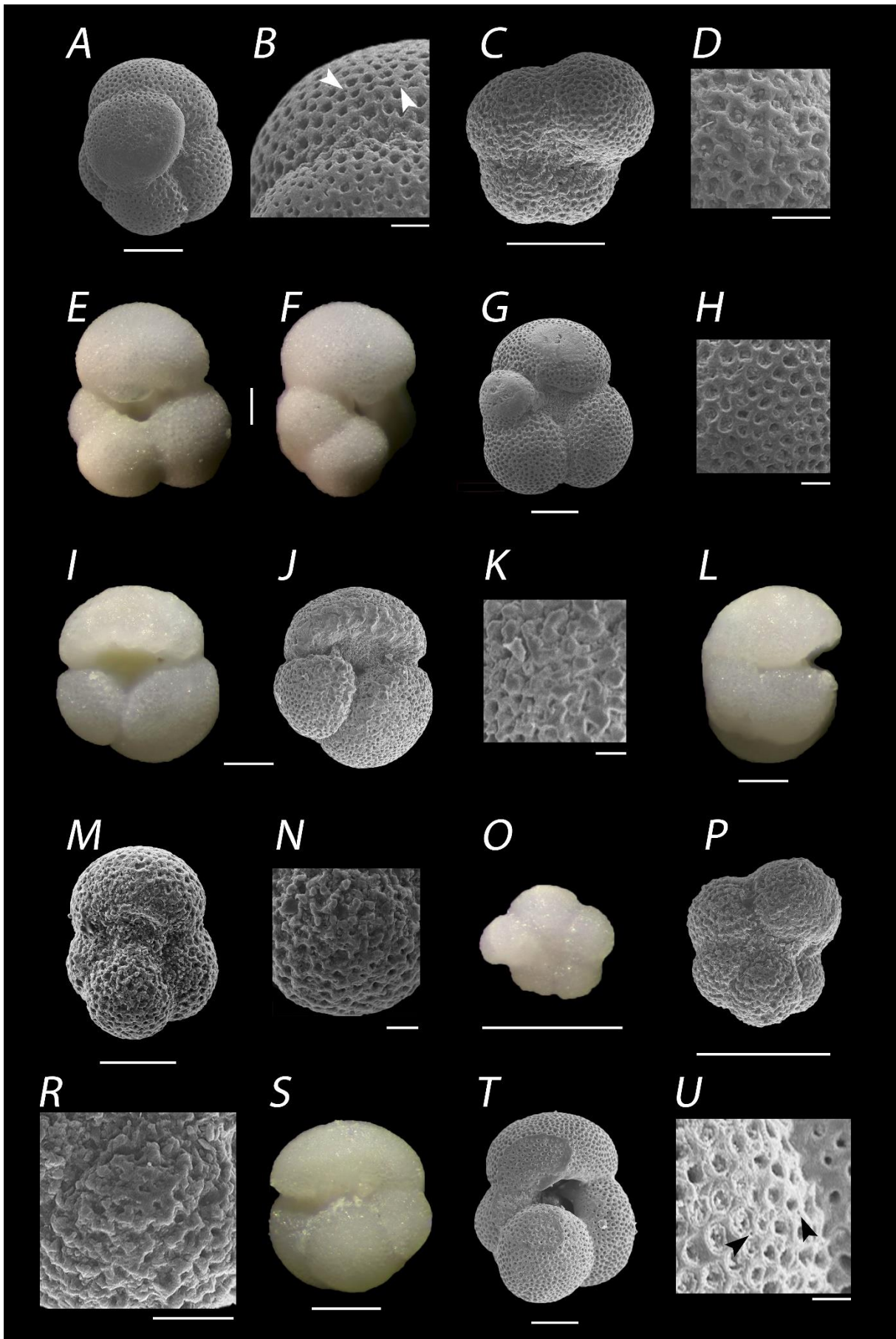


Tabla 2: Planktonske foraminifere s makroperforatnim, medioperforatnim i mikroperforatnim stijenkama. Mjerila: A, E - 200 μm ; C, F, H, I, J - 100 μm ; L, M, O, P, R, S - 50 μm ; D, G, K - 20 μm ; N, Q, T - 10 μm .

A, B: *Cribrohantkenina inflata* (Howe), Podstine (PP 0), gornji eocen, biozona E15; **A** – spiralna strana; **B** - detalj bočne strane, vidljivo za rod karakteristično višestruko (kribratno) ušće;

C, D: *Hantkenina alabamensis* Cushman. Trstenica (TR 6), gornji eocen, biozona E16; **C** – spiralna strana; **D** - detalj stijenke; *Clavigerinella* tip;

E: *Turborotalia cocoaensis* (Cushman), umbilikalna strana. Slano–Čepikuće (ĆEP 1), gornji eocen, biozona E15;

F: *Turborotalia increbescens* (Bandy), umbilikalna strana. Viganj (VI 3), donji oligocen, biozona O1;

G: *Turborotalia cerroazulensis* (Cole), detalj stijenke na umbilikalnoj strani, *Turborotalia* tip. Vidljivo ljuštenje (defolijacija) stijenke. Slano–Čepikuće (ĆEP 2), gornji eocen, biozona E15;

H: *Pseudohastigerina micra* (Cole), spiralna strana. Zračće (ZAR 6), gornji eocen, biozona E16;

I: *Acarinina mcgowrani* Wade & Pearson, umbilikalna strana. Slano–Čepikuće (SL 5), srednji eocen, biozona E13;

J, K: *Acarinina medizzai* (Toumarkine & Bolli), umbilikalna strana. Slano–Čepikuće (SL 5), srednji eocen, biozona E13; **J** - umbilikalna strana; **K** - detalj murikatne stijenke;

L–N: *Tenuitella gemma* (Jenkins); **L** - spiralna strana. Zračće (ZAR 2), gornji eocen, biozona E15; **M** - umbilikalna strana. Viganj (VI 3), donji oligocen, biozona O1; **N** - detalj stijenke; *glutinata* tip;

O: *Chiloguembelina adriatica* Premec Fuček, Hernitz Kučenjak & Huber, šira bočna strana. Viganj (VI 1), donji oligocen, biozona O1;

P, R: *Chiloguembelina ototara* (Finlay). Viganj (VI 3), donji oligocen, biozona O1; **P** – šira bočna strana; **R** - detalj stijenke; *ototara* tip;

S: *Cassigerinella eocaenica* Cordey. Zračće (ZAR 2), gornji eocen, biozona E15;

T, U: *Cassigerinella chipolensis* (Cushman & Ponton). Viganj (VI 3), donji oligocen, biozona O1; **U** - detalj stijenke; *ototara* tip, *chipolensis* pod-tip.

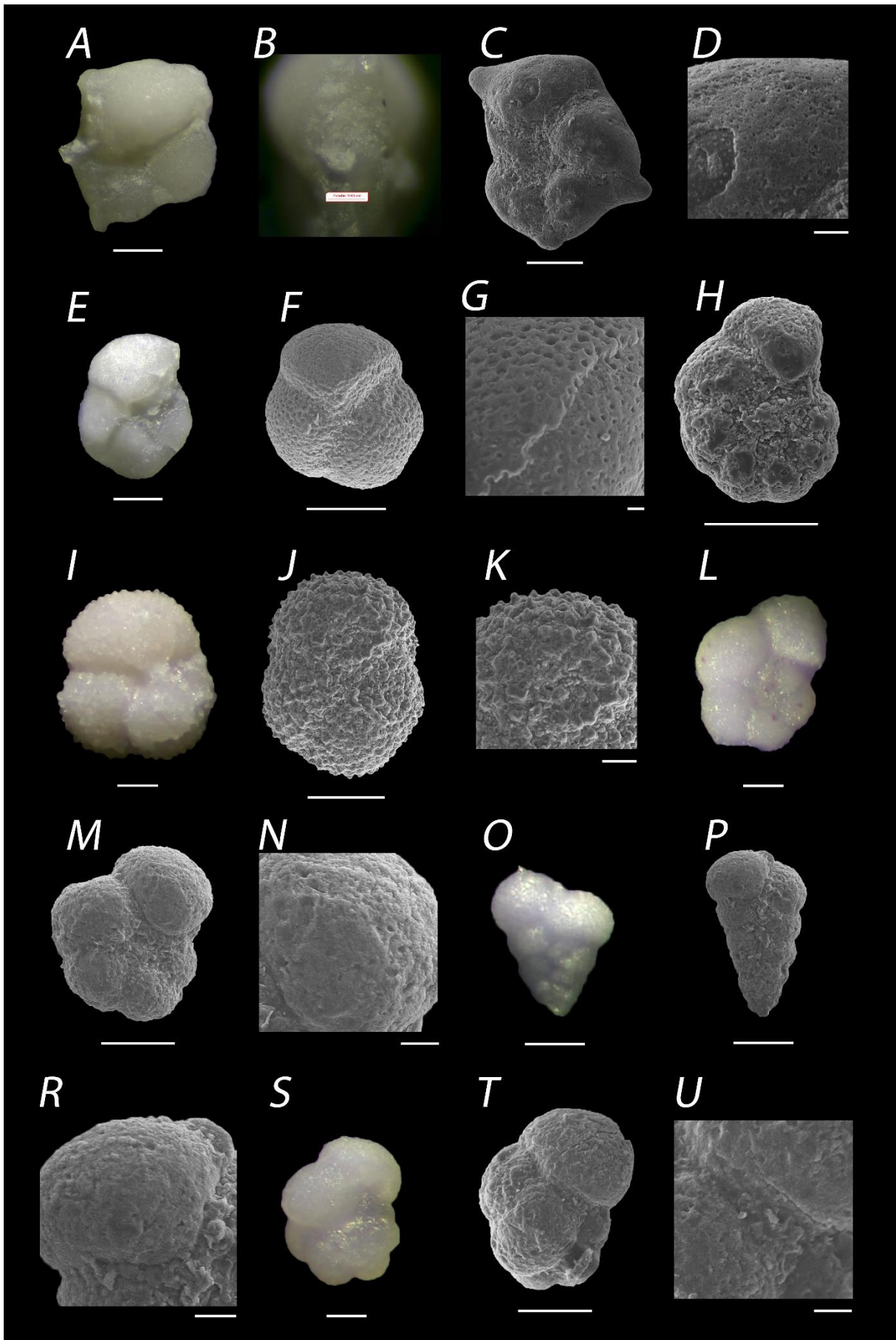


Tabla 3: Morfološka raznolikost vrste *Pseudohastigerina micra* (Cole) u istraženim naslagama.

A, B: Podstine PP 0, gornji eocen, biozona E15; **A** - spiralna strana; **B** - bočna strana;

C, D: Viganj VI 1, donji oligocen, biozona O1, **A** - spiralna strana; **D** - bočna strana;

E: Podstine PP 2, gornji eocen, biozona E15, spiralna strana;

F: Podstine PP 3, gornji eocen, biozona E15, spiralna strana;

G, H: Zračće ZAR 4, biozona E15, gornji eocen, bočne strane;

I, J, K: Zračće ZAR 5, gornji eocen, biozona E16; **I, J** – spiralne strane; **K** – bočna strana;

L: Zračće ZAR 6, gornji eocen, biozona E16.

Sva mjerila: 50 µm.

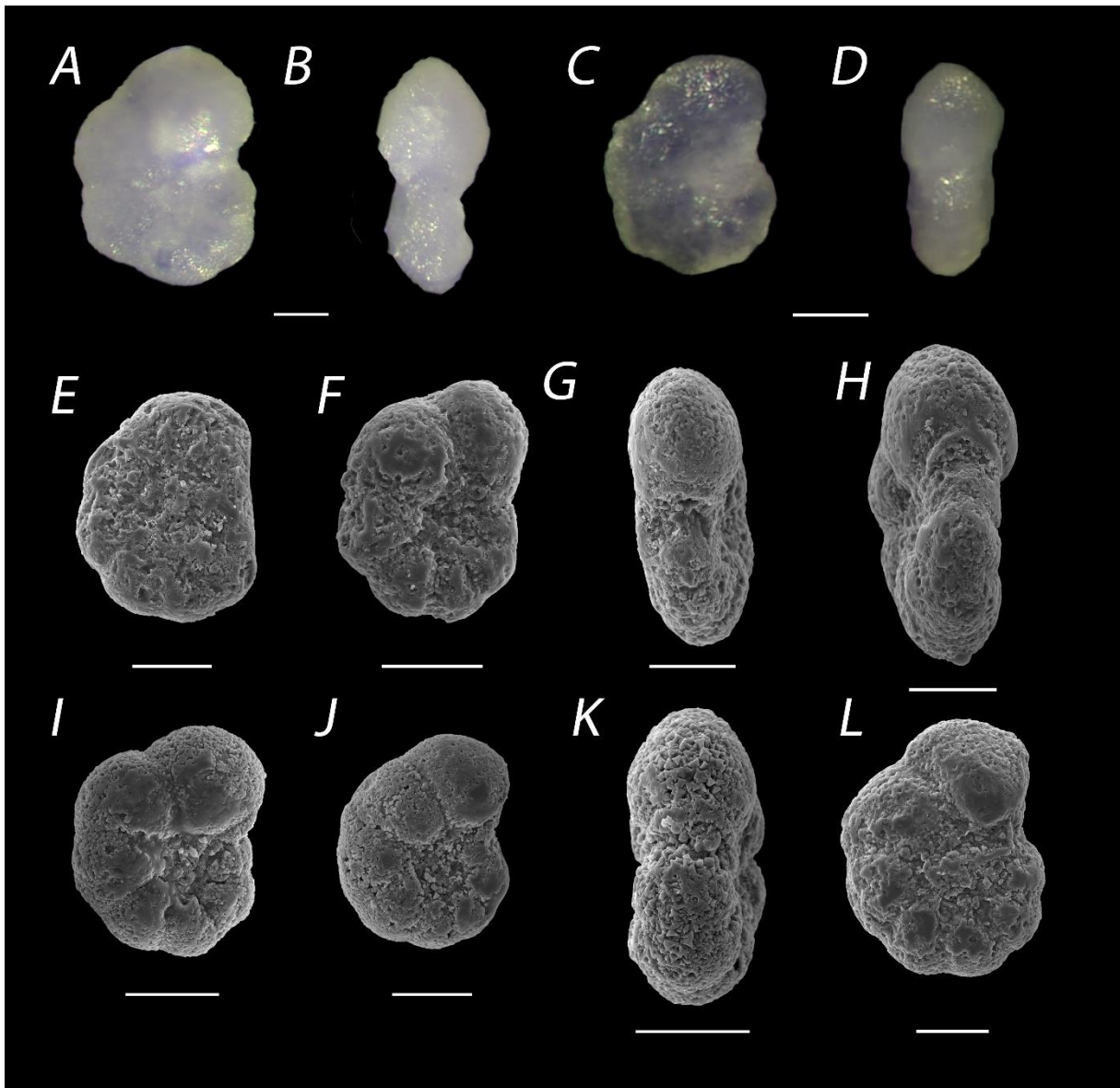


Tabla 4: Morfološka raznolikost vrste *Turborotalia cerroazulensis* (Cole) tijekom biozona E13 (srednji eocen) i E15 (gornji eocen), stup Slano–Čepikuće. Mjerila = 100 μ m.

A, B: - Slano–Čepikuće SL 5, biozona E13; **A** - Umbilikalna strana; **B** - Spiralna strana;

C–E: Slano–Čepikuće ČEP 4, biozona E15; **C** - Umbilikalna strana; **D** - Bočna strana; **E** - Spiralna strana;

F–J: Slano–Čepikuće SL 5, biozona E13, umbilikalne strane;

M–R: Slano–Čepikuće ČEP 2, biozona E15, umbilikalne strane.

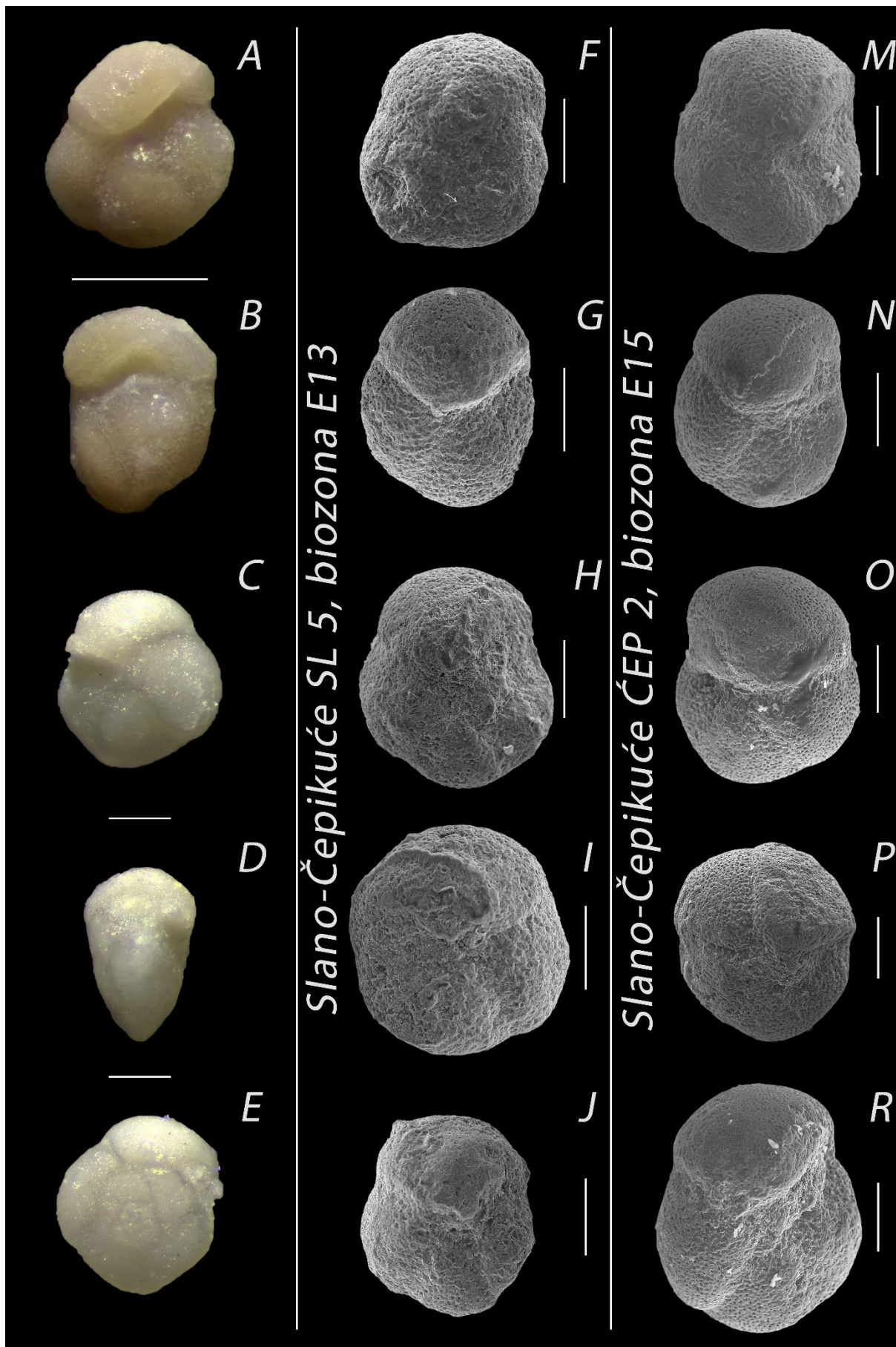


Tabla 5: Morfološka raznolikost vrste *Turborotalia cerroazulensis* (Cole) tijekom biozone E16 (gornji eocen), stup Trstenica i lokaliteti Viganj i Podobuče. Sve jedinke prikazane su s umbilikalne strane.

Mjerila = 100 μ m.

A–E: Trstenica TR 4, biozona E16;

F–J: Viganj VG 0D, biozona E16;

M–R: Podobuče PDČ 2, blizu vrha biozone E16.

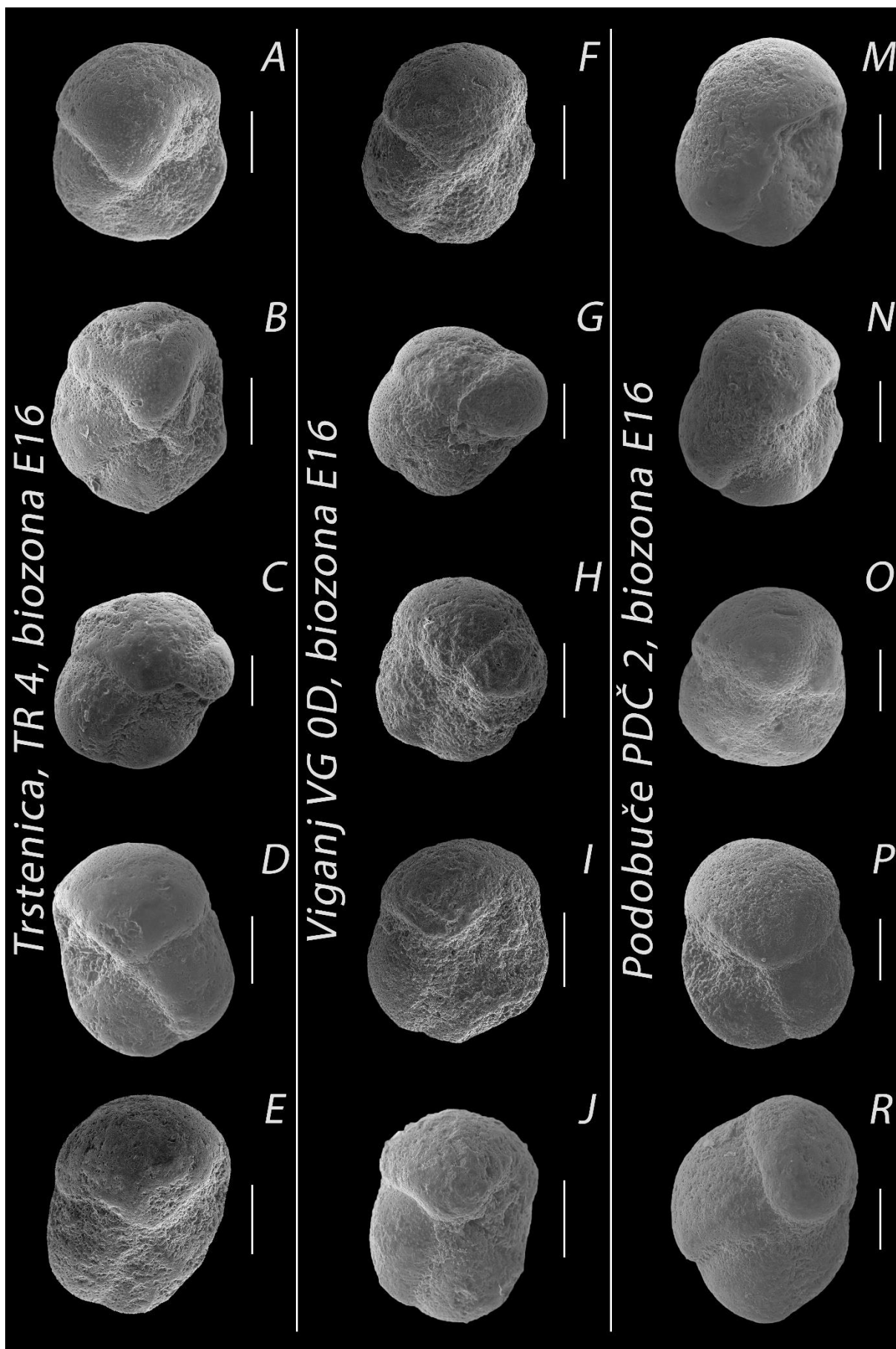


Tabla 6: Vrste iz porodica Truncorotaloididae i Globigerinidae.

A–D: *Morozovelloides crassatus* (Cushman). Slano–Čepikuće SL 5, srednji eocen, biozona E13; **A, D** – umbilikalna strana; **B** – bočna strana; **C** – spiralna strana.

E–H: *Acarinina mcgowrani* Wade & Pearson. Slano–Čepikuće SL 4, srednji eocen, biozona E13; **E** – umbilikalna strana; **F** – bočna strana; **G** – spiralna strana; **H:** SL 5, jedinka s oštećenom najmlađom kljetkom, biozona E13;

I–K: *Globoturborotalita eolabiacrassata* Spezzaferri & Coxall, Zračće ZAR 4, gornji eocen, biozona E15; **I** – umbilikalna strana; **J** – spiralna strana; **K:** Viganj, VI 3, donji oligocen, biozona O1, umbilikalna strana;

L–M: *Globoturborotalita paracancellata* Olsson & Hemleben, Zračće ZAR 8, gornji eocen, biozona E16; **L** – umbilikalna strana; **M** – spiralna strana;

N–P: *Dentoglobigerina pseudovenezuelana* (Blow & Banner), Viganj VI 3, donji oligocen, biozona O1; **N** – umbilikalna strana; **O** – bočna strana; **P** – spiralna strana;

R–U: *Dentoglobigerina larmei* (Akers), Viganj VI 1, donji oligocen, biozona O1; **R** – umbilikalna strana; **S** – bočna strana; **T** – spiralna strana; **U** - Viganj VI 3, biozona O1, umbilikalna strana;

Mjerila: A–H: 100 µm; I–M: 50 µm; N–U: 200 µm.

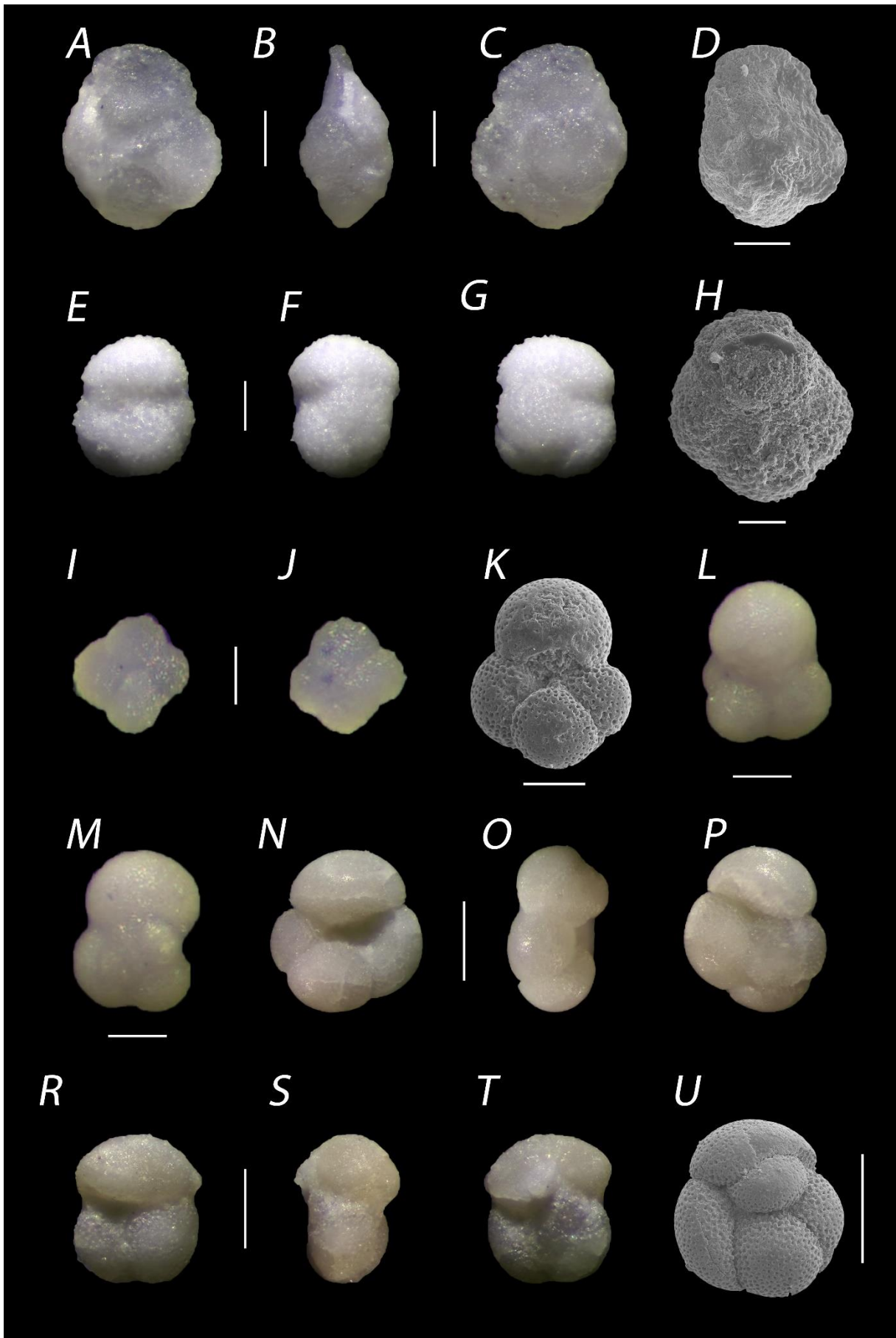


Tabla 7: Vrste iz porodica Globigerinidae i Globanomalidae.

A–C: *Dentoglobigerina eotripartita* Pearson, Wade & Olsson; Viganj VI 3, donji oligocen, biozona O1; **A** – umbilikalna strana; **B** – bočna strana; **C** – spiralna strana;

D–F: *Subbotina projecta* Pearson & Wade. Viganj VI 3, donji oligocen, biozona O1; **D** – umbilikalna strana; **E** – bočna strana; **F** – spiralna strana;

G–J: *Turborotalia pomeroli* (Toumarkine & Bolli). Slano–Čepikuće ĆEP 4, gornji eocen, biozona E15; **G** – umbilikalna strana; **H** – bočna strana; **I** – spiralna strana; **J** - Zračće, ZAR 2, biozona E15, umbilikalna strana;

K–M: *Turborotalia cocoaensis* (Cushman). Podstine PP 0, gornji eocen, biozona E15; **K** – umbilikalna strana; **L** – bočna strana; **M** – spiralna strana;

N–P: *Turborotalia cunialensis* (Toumarkine & Bolli). Trstenica TR 6, gornji eocen, biozona E16; **N** – umbilikalna strana; **O** – bočna strana; **P** – spiralna strana;

R–T: *Pseudohastigerina naguewichienensis* Myatliuk. Trstenica TR 1, gornji eocen, biozona E16; **R** – spiralna strana; **S** – bočna strana; **T:** Viganj VI 3, donji oligocen, biozona O1, spiralna strana;

Mjerila: A–P: 100 µm; R–T: 50 µm.

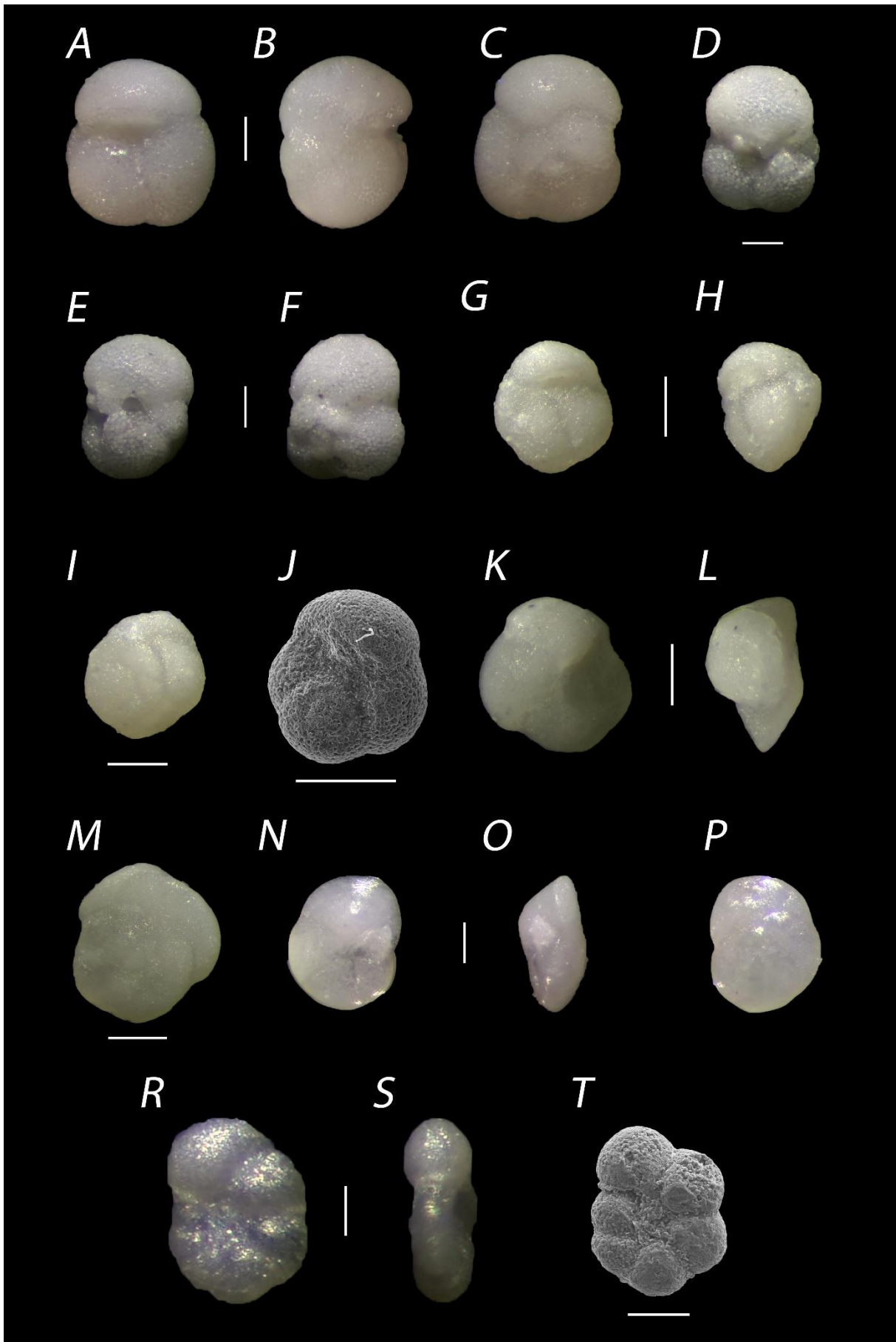


Tabla 8: Kućice odabranih vrste bentičkih foraminifera.

A, B: *Oridorsalis umbonatus* (Reuss). Zračće ZAR 2; gornji eocen, biozona E15; **A** – spiralna strana; **B** – bočna strana;

C, D: *Globocassidulina subglobosa* (Brady). Zračće ZAR 2; gornji eocen, biozona E15; **C** – spiralna strana; **D** – umbilikalna strana;

E, F: *Falsoplanulina ammophila* (Gümbel). Zračće ZAR 6, gornji eocen, biozona E16; **E** – spiralna strana; **F** – umbilikalna strana;

G: *Bolivina* sp, šira bočna strana. Zračće ZAR 4, gornji eocen biozona E15;

H: *Stilostomella consobrina* (d'Orbigny), bočna strana. Viganj VI 3, donji oligocen, biozona O1;

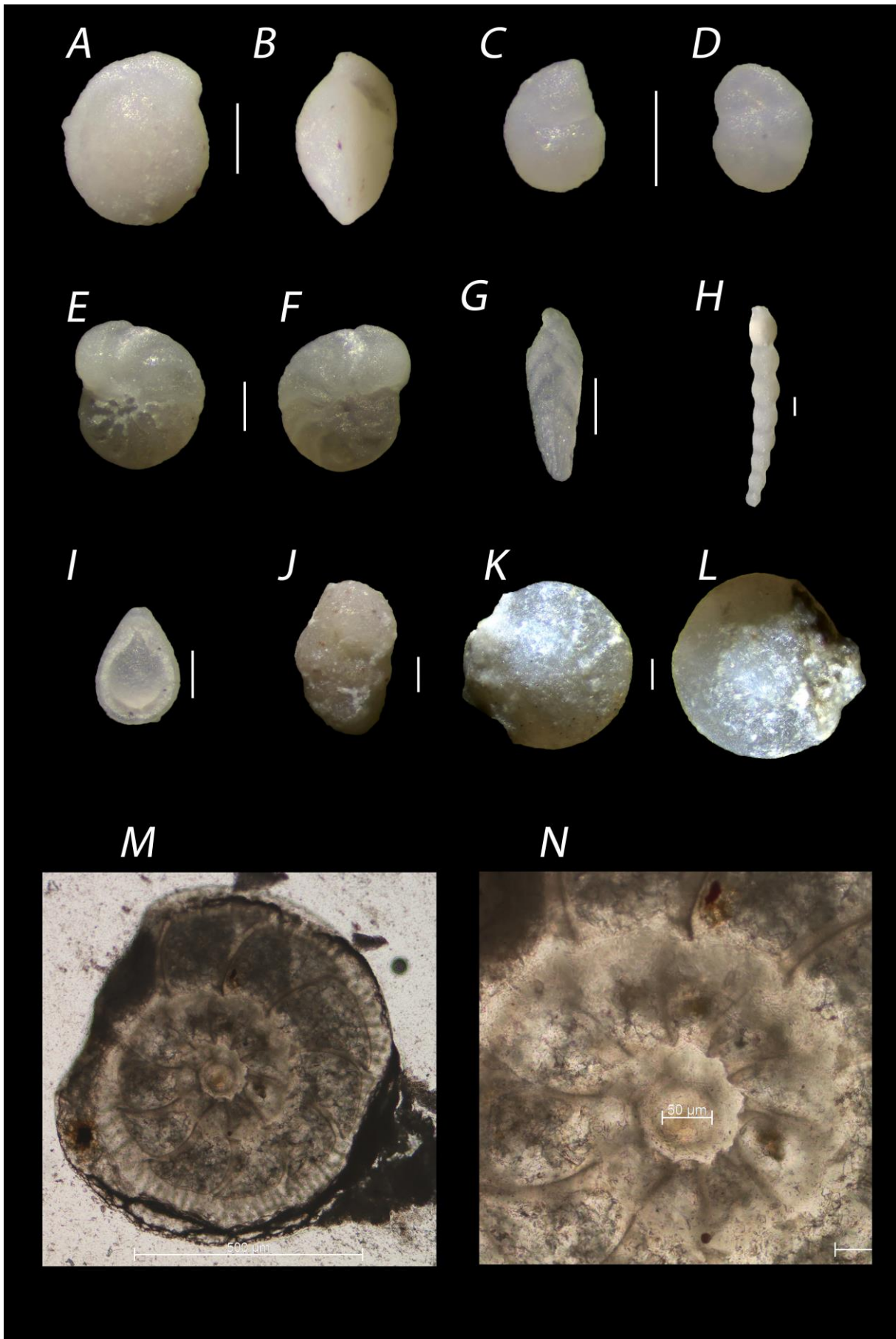
I: *Fissurina aradasii* Seguenza, šira bočna strana. Zračće ZAR 2, gornji eocen, biozona E15;

J: *Plectina dalmatina* (Schubert), šira bočna strana. Slano–Čepikuće, SL 5, srednji eocen, biozona E13;

K–N: *Rotalia* sp.; Slano–Čepikuće SL 5, srednji eocen, biozona E13; **K** – umbilikalna strana; **L** – spiralna strana; **M, N:** mikrofotografija presjeka kroz kućicu u prolaznom svjetlu;

Mikrofotografije M i N snimila M. Čančar Lukić na Mineraloško-petrografskom zavodu Geološkog odsjeka, pomoću mikroskopa Zeiss Axiolab s montiranim fotoaparatom Canon 500D.

Mjerila: A–L: 200 µm; M, N: naznačeno na slici.



Prilog 2

Prilog 2.1: Popis vrsta planktonskih foraminifera obuhvaćenih ovim istraživanjem (stupac 1) uz njihove prve i zadnje pojave u naslagama (stupac 2), stratigrafske podatke prema literaturi (stupac 3), i literaturne podatke o građi kućice (stupac 4) i životnom prostoru (stupac 5). Kratice: MS – miješani sloj, TK – termoklina, STK – subtermoklina (duboko more), OP – oportunist, BENT – dio života provodi kao bentos, SIM – algalni simbionti prisutni, ASIM – nema algalnih simbionata. Žutom bojom označeni su rezultati koji odstupaju od poznatih stratigrafskih raspona za vrste. Svjetlijim tekstom navedeni su recentni i fosilni taksoni koji nisu prisutni u naslagama, ali se spominju u tekstu disertacije. Oznake literaturnih referenci: a – Pearson i sur., 2006a; b – Wade i sur., 2018a; c – Aze i sur., 2011; d – www.microtax.org

Takson	Biozone najniže i najviše pojave (ova disertacija)		Stratigrafski raspon prema literaturi ^{a,b}		Stijenka; način rasta ^{a,b}	Životni prostor prema literaturi ^{a,b,c,d}
<i>Acarinina collactea</i> (Finlay 1939)	E13	O1	E7a	O7	murikatna; trohospiralni	MS, SIM
<i>Acarinina echinata</i> (Bolli 1957)	E13	O1	E10	O4	murikatna; trohospiralni	MS, SIM
<i>Acarinina mcgowrani</i> Wade & Pearson 2006	E13	E13	E7a	E13	murikatna; trohospiralni	MS, SIM
<i>Acarinina medizzai</i> (Toumarkine & Bolli 1975)	E13	O1	E10	O4	murikatna; trohospiralni	MS, SIM
<i>Acarinina primitiva</i> (Finlay 1947)	/	/	E6	E13	murikatna; trohospiralni	MS, SIM
<i>Acarinina rohri</i> (Bronnimann & Bermudez 1953)	/	/	E10	E13	murikatna; trohospiralni	MS, SIM
<i>Acarinina</i> sp.	E13	O1	P3	O7	/	/
<i>Cassigerinella chipolensis</i> (Cushman & Ponton 1932)	O1	O1	E16	M13	<i>chipolensis</i> ; streptospiralni	?, OP
<i>Cassigerinella eocaenica</i> Cordey 1968	E15	E16	E13	O4	<i>chipolensis</i> ; streptospiralni	?
<i>Cassigerinella</i> sp.	E15	O1	E13	M13	/	/

<i>Catapsydrax dissimilis</i> (Cushman & Bermúdez 1937)	E13	O1	E13	M3	<i>ruber/sacculifer</i> ; trohospiralni	STK
<i>Catapsydrax unicavus</i> Bolli, Loeblich & Tappan 1957	E13	O1	E2	M12	<i>sacculifer</i> ; trohospiralni	STK
<i>Catapsydrax</i> sp.	E13	O1	E2	M12	/	/
<i>Chiloguembelina</i> cf. <i>C. adriatica</i> Premec Fuček, Hernitz Kučenjak & Huber	E16	E16	/	/	mikroperforatna; biserijalni	?
<i>Chiloguembelina adriatica</i> Premec Fuček, Hernitz Kučenjak & Huber 2018	O1	O1	E16	O5	<i>ototara</i> ; biserijalni	?
<i>Chiloguembelina cubensis</i> (Palmer 1934)	E15	O1	E10	O4	<i>ototara</i> ; biserijalni	OP
<i>Chiloguembelina ototara</i> (Finlay 1940)	E13	O1	E9	O2	<i>ototara</i> ; biserijalni	OP
<i>Chiloguembelina</i> sp.	E13	O1	P1c	O5	/	/
<i>Ciperoella anguliofficialis</i> (Blow 1969)	O1	O1	E15	M5	<i>Ciperoella</i> ; trohospiralni	MS
<i>Ciperoella</i> sp.	O1	O1	E15	M5	/	/
<i>Clavigerinella</i> Bolli, Loeblich & Tappan, 1957	/	/	E7a	E16	/	/
<i>Cribrohantkenina inflata</i> (Howe 1928)	E15	E15	E14	E16	<i>Clavigerinella</i> ; planispiralni	MS, ASIM
<i>Cribrohantkenina</i> sp.	E15	E15	E14	E16	/	/
<i>Dentoglobigerina eotripartita</i> Wade & Olsson 2018	E13	O1	E14	O2	kancelatna, pustulozna i vjerojatno spinozna; trohospiralni	TK
<i>Dentoglobigerina galavisi</i> (Bermúdez 1961)	E13	O1	E10	M1a	kancelatna, vjerojatno spinozna; trohospiralni	TK

<i>Dentoglobigerina larmeui</i> (Akers 1955)	O1	O1	O2	M1A	kancelatna, vjerojatno spinozna; trohospiralni	TK
<i>Dentoglobigerina pseudovenezuelana</i> (Blow & Banner 1962)	E13	O1	E14	O2	kancelatna, vjerojatno spinozna, pustulozna; trohospiralni	TK
<i>Dentoglobigerina taci</i> Pearson & Wade 2015	E16	O1	E16	O1	kancelatna, vjerojatno spinozna; trohospiralni	MS
<i>Dentoglobigerina</i> cf. <i>D. tapuriensis</i> (Blow & Banner)	E13	E13	/	/	kancelatna, gametogenetski kalcit; trohospiralni	?
<i>Dentoglobigerina tapuriensis</i> (Blow & Banner 1962)	E15	O1	E16	O7	kancelatna, vjerojatno spinozna; trohospiralni	STK
<i>Dentoglobigerina tripartita</i> (Koch 1926)	E15	O1	O1	M7	kancelatna, pustulozna i vjerojatno spinozna; trohospiralni	STK (eocen), TK (oligocen)
<i>Dentoglobigerina venezuelana</i> (Hedberg 1937)	E15	O1	E14*	P11	kancelatna, pustulozna i vjerojatno spinozna	STK
<i>Dentoglobigerina</i> sp.	E13	O1	E10	M1b	/	/
<i>Dipsidripella danvillensis</i> (Howe & Wallace 1932)	E13	O1	E9	O2	<i>glutinata</i> ; trohospiralni	?BENT; STK
<i>Dipsidripella liqianyii</i> Huber & Pearson 2006	E15	E15	E11	O1	<i>mikroperforatna</i> ; trohospiralni	?
<i>Dipsidripella</i> sp.	E13	O1	E9	O2	/	/
<i>Globanomalina australiformis</i> (Jenkins 1966)	/	/	P5	E9	makroperforatna, ne-spinozna, glatka ; trohospiralni	TK

<i>Globanomalina</i> Haque 1956	/	/	P0	E9	/	/
<i>Globigerina</i> <i>bulloides</i> d'Orbigny 1826	/	/	O5	Rec.	<i>bulloides</i> ; trohospiralni	MS, ASIM
<i>Globigerina</i> <i>officinalis</i> Subbotina 1953	E15	E16	E10	M2	<i>bulloides</i> ; trohospiralni	MS, SIM
<i>Globigerina</i> sp.	E15	E16	E10	Rec.	/	/
<i>Globigerinatheka</i> <i>index</i> (Finlay, 1939)	E13	E15	E9	E15	kancelatna, gametogenetski kalcit; trohospiralni	MS, SIM
<i>Globigerinatheka</i> <i>korotkovi</i> (Keller 1946)	E13	E13	E9	E15	kancelatna, gametogenetski kalcit; trohospiralni	MS, SIM
<i>Globigerinatheka</i> <i>luterbacheri</i> Bolli 1972	E15	E15	E12	E15	kancelatna, gametogenetski kalcit; trohospiralni- streptospiralni	MS, SIM
<i>Globigerinatheka</i> <i>semiinvoluta</i> (Keijzer 1945)	E13	E13	E13	E14	kancelatna, trohospiralni-sferični	MS, SIM
<i>Globigerinatheka</i> sp.	E13	E15	E8	E15	/	/
<i>Globigerinita</i> <i>glutinata</i> (Egger 1893)	/	/	O2	Rec.	<i>glutinata</i> ; trohospiralni	MS
<i>Globigerinita</i> <i>uvula</i> (Ehrenberg 1862)	/	/	O5	Rec.	<i>glutinata</i> ; trohospiralni	?
<i>Globigerinita</i> sp.	/	/	O2	Rec.	/	/
<i>Globigerinoides</i> <i>ruber</i> (d'Orbigny 1839)	/	/	M11	Rec.	<i>ruber</i> ; trohospiralni	MS, SIM
<i>Globigerinoides</i> Cushman 1927	/	/	M1a	Rec.	/	/
<i>Globoquadrina</i> <i>conglomerata</i> Schwager (1866)	/	/	P12	Rec.	<i>Globoquadrina</i> ; trohospiralni	TK
<i>Globoquadrina</i> Finlay 1947	/	/	M1?	Rec.	/	/
<i>Globorotalia</i> <i>hirsuta</i> (d'Orbigny 1839)	/	/	Pt1	Rec.	Makroperofratna, glatka, ne-spinozna	STK

<i>Globorotalia limbata</i> d'Orbigny in Fornasini 1902	/	/	M11	P15	Makroperofratna, glatka, ne-spinozna; trohospiralni	TK
<i>Globorotalia truncatulinoides</i> (d'Orbigny 1839)	/	/	P16	Rec.	Makroperofratna, glatka, ne-spinozna; trohospiralni	STK
<i>Globorotalia</i> Cushman 1927	/	/	M2	Rec.	/	/
<i>Globorotaloides eovariabilis</i> Huber & Pearson 2006	E16	E16	E7	M1	sacculifer; trohospiralni	STK
<i>Globorotaloides quadrocameratus</i> Olsson, Pearson & Huber 2006	E13	E16	E2	M1	sacculifer; trohospiralni	STK
<i>Globorotaloides</i> sp.	E13	E16	E2	Rec.	/	/
<i>Globoturborotalita bassriverensis</i> Olsson & Hemleben 2006	E13	O1	E1	O1	sacculifer; trohospiralni	MS, ASIM
<i>Globoturborotalita cancellata</i> (Pessagno 1963)	E13	O1	E16	O5	sacculifer; trohospiralni	?
<i>Globoturborotalita eolabiacrassata</i> Spezzaferi & Coxall 2018	E13	O1	E7	M5	ruber/sacculifer; trohospiralni	?
<i>Globoturborotalita gnaucki</i> (Blow & Banner 1962)	E15	O1	E15	O4	ruber/sacculifer; trohospiralni	MS, ASIM
<i>Globoturborotalita martini</i> (Blow & Banner 1962)	E13	O1	E9	O5	ruber/sacculifer; trohospiralni	MS, SIM
<i>Globoturborotalita ouachitaensis</i> (Howe & Wallace 1932)	E13	O1	E10	M1b	ruber/sacculifer; trohospiralni	MS, SIM
<i>Globoturborotalita paracancellata</i> Olsson & Hemleben 2018	E13	O1	E16	O6	ruber/sacculifer	?
<i>Globoturborotalita rubescens</i> (Hofker 1956)	/	/	N20	Rec.	spinozna kancelatna; trohospiralni	MS, ASIM
<i>Globoturborotalita</i> sp.	E13	O1	E1	Rec.	/	/

<i>Hantkenina alabamensis</i> Cushman 1924	E15	E16	E13	E16	<i>Clavigerinella</i> ; planispiralni	MS, ASIM
<i>Hantkenina nanggulanensis</i> Hartono 1969	E15	E15	E13	E16	<i>Clavigerinella</i> ; planispiralni	MS, ASIM
<i>Hantkenina</i> sp.	E13	E16	E8	E16	/	/
<i>Morozovella</i> McGowran 1968	/	/	P2	E9	/	/
<i>Morozovelloides crassatus</i> (Cushman 1925)	E13	E13	E7b	E13	murikatna; trohospiralni	MS, SIM
<i>Morozovelloides</i> sp.	E13	E13	E7b	E13	/	/
<i>Neogloboquadrina incompta</i> (Cifelli 1961)	/	/	M13	Rec.	<i>Neogloboquadrina</i> ; trohospiralni	MS; ASIM
<i>Neogloboquadrina pachyderma</i> (Ehrenberg 1862)	/	/	M13	Rec.	<i>Neogloboquadrina</i> ; trohospiralni	MS; ASIM
<i>Neogloboquadrina</i> Bandy, Frerichs & Vincent 1967	/	/	M13a	Rec.	/	/
<i>Orbulina universa</i> d'Orbigny 1839	/	/	M6	Rec.	spinozna kancelatna; trohospiralni-sferični	MS, SIM
<i>Orbulina</i> d'Orbigny 1839	/	/	M6	Rec.	/	/
<i>Orbulinoides</i> Cordey 1968	/	/	E12	E12	/	/
<i>Paragloborotalia griffinoides</i> Olsson & Pearson 2006	E13	E16	E1	E16	<i>sacculifer</i> ; trohospiralni	STK
<i>Paragloborotalia nana</i> (Bolli 1957)	E13	O1	E13	M2	<i>Neogloboquadrina</i> , gametogenetski kalcit čest; trohospiralni	TK-STK
<i>Paragloborotalia</i> sp.	E13	O1	E1	M13	/	/
<i>Parasubbotina eoelava</i> Coxall, Huber & Pearson 2003	/	/	E7	E9	<i>Clavigerinella</i> ; trohospiralni	OP
<i>Parasubbotina hagni</i> (Gohrbandt 1967)	E13	E15	E7	E16	<i>ruber/sacculifer</i> ; trohospiralni	TK

<i>Parasubbotina varianta</i> (Subbotina 1953)	E15	E16	P1c	O1	<i>ruber/sacculifer</i> ; trohospiralni	TK
<i>Parasubbotina</i> sp.	E15	E16	P α	O1	/	/
<i>Planorotalites capdevilensis</i> (Cushman & Bermúdez 1949)	E13	E15	E7a	E14	murikatna; trohospiralni	MS; ASIM
<i>Planorotalites</i> sp.	E13	E15	P5	E14	/	/
<i>Pseudohastigerina micra</i> (Cole 1927)	E13	O1	E7a	O1	makroperforatna, glatka; planispiralni	?MS, ASIM
<i>Pseudohastigerina naguewichiensis</i> (Myatliuk 1950)	E15	O1	E15	O1	makroperforatna, glatka; planispiralni	MS, ASIM
<i>Pseudohastigerina</i> sp.	E13	O1	E2	O1	/	/
<i>Sphaeroidinella</i> Cushman 1927	/	/	P11	Rec.	/	/
„ <i>Streptochilus globigerum</i> “ (Schwager 1866)	/	/	M13	Rec.	X; biserijalni	?BENT, OP
„ <i>Streptochilus globulosum</i> “ (Cushman 1933)	/	/	N20	Rec.	X; biserijalni	?BENT, OP
<i>Streptochilus martini</i> (Pijpers 1933)	E13	O1	E10	O2	mikroperforatna; biserijalni	TK, OP
<i>Streptochilus</i> sp.	E13	O1	E10	P16	/	/
<i>Subbotina angiporoides</i> (Hornibrook 1965)	E13	E16	E11	O3	<i>sacculifer/ruber</i> ; trohospiralni	TK
<i>Subbotina corpulenta</i> (Subbotina 1953)	E13	O1	E7	O4	kancelatna; trohospiralni	TK
<i>Subbotina eocaena</i> (Guembel 1868)	E13	O1	E6	O6	<i>ruber/sacculifer</i> ; trohospiralni	TK-STK
<i>Subbotina gortanii</i> (Borsetti 1959)	E13	O1	E13	O7	<i>ruber/sacculifer</i> ; trohospiralni	STK-TK
<i>Subbotina jacksonensis</i> (Bandy 1949)	E13	O1	E9	E16	<i>ruber/sacculifer</i> ; trohospiralni	TK
<i>Subbotina linaperta</i> (Finlay 1939)	E13	E16	E5	E16	<i>sacculifer</i> ; trohospiralni	TK

<i>Subbotina minima</i> (Jenkins 1966)	E13	O1	E11	O3	<i>ruber/sacculifer</i> ; trohospiralni	TK
<i>Subbotina projecta</i> Pearson & Wade 2018	O1	O1	E16	O1	<i>ruber/sacculifer</i> ; trohospiralni	TK
<i>Subbotina tecta</i> Pearson & Wade 2015	O1	O1	E15	O1	<i>ruber/sacculifer</i> ; trohospiralni	?
<i>Subbotina utilisindex</i> (Jenkins & Orr 1973)	E15	E16	E15	O3	<i>ruber/sacculifer</i> ; trohospiralni	STK
<i>Subbotina yeguanensis</i> (Weinzierl & Applin 1929)	E13	O1	E7	E16	<i>sacculifer</i> ; trohospiralni	STK
<i>Subbotina</i> sp.	E13	O1	P1a	O7	/	/
<i>Tenuitella gemma</i> (Jenkins 1966)	E15	O1	E15	O7	<i>glutinata</i> ; trohospiralni	?
<i>Tenuitella praegemma</i> (Li 1987)	E15	O1	E15	O1	mikroperforatna; trohospiralni	STK; OP
<i>Tenuitella</i> sp.	E15	O1	E15	M13	/	/
<i>Trilobatus sacculifer</i> (Brady 1877)	/	/	M4	Rec.	<i>sacculifer</i> ; trohospiralni	MS; SIM
<i>Trilobatus</i> sp.	/	/	O6	Rec.	/	/
<i>Turborotalia altispiroides</i> Bermúdez 1961	E13	E15	E11	E14	makroperforatna, glatka-kancelatna i pustulozna; trohospiralni	MS-TK, ASIM
<i>Turborotalia ampliapertura</i> (Bolli 1957)	E15	O1	E12	O2	makroperforatna, glatka-kancelatna i pustulozna; trohospiralni	MS, ASIM
<i>Turborotalia cerroazulensis</i> (Cole 1928)	E13	E16	E11 (E10)	E16	makroperforatna, glatka; trohospiralni	MS-TK, ASIM
<i>Turborotalia cocoaensis</i> (Cushman 1928)	E13	E16	E13	E16	makroperforatna, glatka; trohospiralni	TK

<i>Turborotalia cunialensis</i> (Toumarkine & Bolli 1970)	E16	E16	E16	E16	makroperforatna, glatka; trohospiralni	MS-TK, ASIM
<i>Turborotalia increbescens</i> (Bandy 1949)	E13	O1	E13	O1	makroperforatna, glatka-kancelatna i pustulozna; trohospiralni	MS, ASIM
<i>Turborotalia pomeroli</i> (Toumarkine & Bolli 1970)	E13	E15	E10	E15	<i>Turborotalia</i> ; trohospiralni	MS-TK, ASIM
<i>Turborotalia</i> sp.	E13	O1	E7b	O2	/	/
<i>Turborotalita quinqueloba</i> (Natland 1938)	E13	E16	E14?	Rec.	Makroperforatna, spinozna; trohospiralni	MS-TK, ASIM
<i>Turborotalita</i> sp.	E13	E16	E9	Rec.	/	/

Prilog 2.2: Popis vrsta bentičkih foraminifera i ostalih skupina organizama obuhvaćenih ovim istraživanjem (stupac 1) uz njihove prve i zadnje pojave u naslagama (stupac 2), literaturne podatke o građi kućice (stupac 3), i životnom prostoru (stupac 4) Svjetlijim tekstom navedeni su recentni i fosilni taksoni koji nisu prisutni u naslagama, ali se spominju u tekstu disertacije. Oznake literaturnih referenci: d – www.microtax.org; e – Murray, 1991; f – Murray, 2006; g – Holbourn i sur., 2013.

Takson	Biozone najniže i najviše pojave (ova disertacija)		Tip stijenke; način rasta ^{d, g}	Ekologija ^{d, e, f, g}
<i>Alabamina</i> sp,	E16	E16	kalcitna perforatna; trohospiralni	Uglavnom batijal
<i>Anomalinoides</i> Brotzen 1942	E13	O1	kalcitna perforatna; trohospiralni	Batijal-abisal
<i>Bolivina variabilis</i> (Williamson 1858)	/	/	kalcitna perforatna; biserijalni	?povremeni plankton
<i>Bolivina</i> sp.	E13	O1	kalcitna perforatna; biserijalni	batijal-abisal, plitka infauna-epifauna
<i>Bulimina palmerae</i> Parker & Bermúdez 1937	E16	E16	kalcitna perforatna; triserijalni	infauna
<i>Bulimina</i> sp.	E16	E16	kalcitna perforatna; triserijalni	uglavnom batijal-abisal, plitka-duboka infauna, neke vrste podnose disoksiju
<i>Cassidulina</i> sp.	E15	E16	kalc. perforatna; biserijalni savijeni	batijal, epifauna-infauna
<i>Caudammia ovulum</i> (Grzybowski 1896)	E13	E15	aglutinirana, monotalamični	batijal-abisal
<i>Caudammia</i> sp.	E13	E15	aglutinirana, monotalamični	batijal-abisal
<i>Ceratobulimina</i> sp.	E15	E15	aragonitna, trohospiralni	?
<i>Chilostomella</i> sp.	E13	E13	kalcitna perforatna; planispiralni involutni	batijal, duboka infauna, tolerira disoksiju
<i>Cibicides</i> sp.	E15	O1	kalcitna perforatna; trohospiralni	šelf-batijal, pričvršćena epifauna
<i>Cibicidoides alazanensis</i> (Nuttall 1932)	E13	O1	kalcitna perforatna; trohospiralni	pričvršćena epifauna ili infauna
<i>Cibicidoides mexicanus</i> (Nuttall 1932)	E15	E16	kalcitna perforatna; trohospiralni	batijal, pričvršćena epifauna ili infauna
<i>Cibicidoides</i> sp.	E13	O1	kalcitna perforatna; trohospiralni	pričvršćena epifauna ili infauna
<i>Coryphostoma</i> sp.	E13	O1	kalcitna perforatna; biserijalni	šelf-batijal
<i>Dentalina</i> sp.	E15	E15	kalcitna perforatna; uniserijalni	batijal-abisal

<i>Elphidiella</i> sp.	E13	O1	kalcitna perforatna; planispiralni involutni	?infauna
<i>Eponides</i> sp.	E13	E13	kalcitna perforatna; trohospiralni	slobodna ili pričvrščena epifauna
<i>Falsoplanulina ammophila</i> (Gümbel 1870)	E13	O1	kalcitna perforatna; trohospiralni	šelf-abisal
<i>Falsoplanulina</i> sp.	E13	O1	kalcitna perforatna; trohospiralni	?
<i>Fissurina aradasii</i> Seguenza 1862	E15	O1	kalcitna perforatna; monotalamični	?
<i>Fissurina</i> sp.	E15	O1	kalcitna perforatna; monotalamični	?
<i>Fursenkoina</i> sp.	E13	O1	kalcitna perforatna; biserijalni	infauna
<i>Globocassidulina subglobosa</i> (Brady, 1881)	E13	O1	kalcitna perforatna; biserijalni savijeni	uglavnom batijal- abisal, infauna
<i>Globocassidulina</i> sp.	E15	O1	kalcitna perforatna; biserijalni savijeni	infauna
<i>Gyroidinoides giardanus</i> (Reuss 1851)	E13	O1	kalcitna perforatna; trohospiralni	?
<i>Gyroidinoides</i> sp.	E13	E16	kalcitna perforatna; trohospiralni	?
<i>Haplophragmoides</i> sp.	E15	E16	aglutinirana; planispiralni evolutni ili involutni	epifauna-plitka infauna
<i>Heterolepa</i> sp.	E15	E16	kalcitna perforatna; trohospiralni	epifauna, ?pričvrščena
<i>Hoeglundina elegans</i> (d'Orbigny 1826)	E13	E16	aragonitna; trohospiralni	šelf-batijal, epifauna ili plitka infauna
<i>Hoeglundina</i> sp.	E13	E16	aragonitna, trohospiralni	epifauna ili plitka infauna
<i>Hyalinonetrion</i> sp.	E15	E15	kalcitna perforatna; monotalamični	?
<i>Karrieriella</i> sp.	E16	E16	aglutinirana; biserijalni	epifauna
<i>Lagena striata</i> sp.	E13	E16	kalcitna perforatna; monotalamični	?
<i>Lagena</i> sp.	E13	O1	kalcitna perforatna; monotalamični	?
<i>Lenticulina inornata</i> (d'Orbigny 1846)	E13	E16	kalcitna perforatna; planispiralni involutni	epifauna
<i>Lenticulina</i> sp.	E13	O1	kalcitna perforatna; planispiralni involutni	epifauna

<i>Miliolinella</i> sp.	E15	O1	kalcitna imperforatna; miliolidni	pričvrščena epifauna
<i>Neoconorbina</i> sp.	E15	E16	kalcitna perforatna; trohospiralni	pričvrščena epifauna
<i>Nodosaria</i> sp.	E15	E16	kalcitna perforatna; uniserijalni	?
<i>Nonion</i> sp.	/	/	kalcitna perforatna; planispiralni involutni	infauna
<i>Nuttallides truempyi</i> (Nuttall 1930)	E13	O1	kalcitna perforatna; trohospiralni	batijal-abisal, epifauna-plitka infauna
<i>Nuttallides</i> sp.	E15	O1	kalcitna perforatna; trohospiralni	epifauna-plitka infauna
<i>Oolina apiculata</i> (Reuss 1851)	E16	E16	kalcitna perforatna; monotalamični	?
<i>Oolina</i> sp.	E16	E16	kalcitna perforatna; monotalamični	?
<i>Oridorsalis plummerae</i> (Cushman 1948)	E13	O1	kalcitna perforatna; trohospiralni	epifauna
<i>Oridorsalis umbonatus</i> (Reuss 1851)	E13	O1	kalcitna perforatna; trohospiralni	šelf-abisal, epifauna
<i>Oridorsalis</i> sp.	E13	E16	kalcitna perforatna; trohospiralni	epifauna
<i>Orthomorphina</i> sp.	E13	E16	kalcitna perforatna; uniserijalni	?
<i>Osangularia plummerae</i> (Brotzen 1940)	E13	O1	kalcitna perforatna; trohospiralni	?
<i>Osangularia</i> sp.	E13	E16	kalcitna perforatna; trohospiralni	?
<i>Planulina renzi</i> Cushman & Stainforth 1945	E13	E13	kalcitna perforatna; trohospiralni	batijal-abisal, pričvrščena epifauna
<i>Planulina</i> sp.	E13	E13	kalcitna perforatna; trohospiralni	pričvrščena epifauna
<i>Plectina dalmatina</i> (Schubert 1911)	E13	E16	aglutinirana; biserijalni	?
<i>Plectina</i> sp.	E13	E16	aglutinirana; biserijalni	?
<i>Pleurostomella acuta</i> Hantken 1875	E15	E15	kalcitna perforatna; biserijalni>uniserijalni	batijal-abisal
<i>Pleurostomella alternans</i> Schwager 1866	E13	O1	kalcitna perforatna; biserijalni>uniserijalni	batijal-abisal
<i>Pleurostomella</i> sp.	E13	O1	kalcitna perforatna; biserijalni>uniserijalni	?

<i>Pullenia quinqueloba</i> (Reuss 1851)	E15	E16	kalcitna perforatna; planispiralni involutni	šelf-abisal, infauna
<i>Pullenia</i> sp.	E15	E16	kalcitna perforatna; planispiralni involutni	infauna
<i>Quinqueloculina</i> sp.	E13	O1	kalcitna imperforatna; miliolidni	epifauna
<i>Rectuvigerina</i> sp.	E16	E16	kalcitna perforatna; triserijalni>uniserijalni	?
<i>Reussella</i> sp.	E15	E16	kalcitna perforatna; triserijalni	?
<i>Sigmoilina</i> sp.	E15	E15	kalcitna imperforatna; miliolidni	?
<i>Siphonodosaria consobrina</i> (d'Orbigny 1846)	E15	E16	kalcitna perforatna; uniserijalni	batijal, infauna
<i>Siphonodosaria lepidula</i> (Schwager 1866)	E15	E16	kalcitna perforatna; uniserijalni	batijal-abisal, infauna
<i>Siphonodosaria pomuligera</i> (Stache 1864)	E15	O1	kalcitna perforatna; uniserijalni	batijal-abisal, infauna
<i>Siphonodosaria</i> sp.	E13	O1	kalcitna perforatna; uniserijalni	infauna
<i>Spirorutilus carinatus</i> (d'Orbigny 1846)	E16	E16	aglutinirana; biserijalni	?
<i>Spirorutilus</i> sp.	E16	E16	aglutinirana; biserijalni	?
<i>Stilostomella</i> sp.	E13	O1	kalcitna perforatna; uniserijalni	?
<i>Trifarina</i> sp.	E13	E15	kalcitna perforatna; triserijalni>uniserijalni	infauna
<i>Triloculina gibba</i> d'Orbigny 1826	E13	E15	kalcitna imperforatna; miliolidni	slobodna ili pričvrščena epifauna
<i>Triloculina</i> sp.	E13	E15	kalcitna imperforatna; miliolidni	slobodna ili pričvrščena epifauna
<i>Uvigerina asperula</i> (Cžjžek 1848)	E16	E16	kalcitna perforatna; triserijalni	šelf-abisal, infauna
<i>Uvigerina havanensis</i> Cushman & Bermúdez 1936	E13	O1	kalcitna perforatna; triserijalni	batijal-abisal, infauna
<i>Uvigerina hispida</i> Schwager 1866	E13	E15	kalcitna perforatna; triserijalni	batijal-abisal, infauna
<i>Uvigerina</i> sp.	E13	O1	kalcitna perforatna; triserijalni	uglavnom infauna
<i>Vaginulinopsis</i> sp.	E13	O1	kalcitna perforatna; planispiralni>uniserijalni	?

<i>Vulvulina</i> d'Orbigny 1826	E13	E16	aglutinirana; biserijalni>uniserijalni	?
<i>Rotalia</i> sp.	E13	E16	kalcitna perforatna; trohospiralni	epifauna
<i>Harpactocarcinus dalmatius</i> Schweitzer, Shirk, Čosović, Okan, Feldmann & Hoşgör 2007	/	/	/	/
<i>Pelagodinium beii</i> (Spero 1987)	/	/	/	/

Prilog 3 – Korelacije promjena relativnih udjela najbrojnijih rodova

Prilog 3: Matrica Pearson-ovog koeficijenta korelacije između relativnih udjela najzastupljenijih rodova planktonskih foraminifera. Kategorizacija povezanosti (od vrlo slabe do vrlo jake) interpretirana je prema Evans (1996).

Kategorije jačine korelacije (Evans, 1996)	-1.00 - -0.8	-0.79 - -0.60	-0.59 - -0.40	-0.39 - -0.20	-0.19 - 0
	Vrlo snažna negativna	Snažna negativna	Umjerena negativna	Slaba negativna	Vrlo slaba negativna
	0 - 0.19	0.2 - 0.39	0.4 - 0.59	0.6 - 0.79	0.8 - 1.00
	Vrlo slaba pozitivna	Slaba pozitivna	Umjerena pozitivna	Snažna pozitivna	Vrlo snažna pozitivna

Stup Podstine	% Acarina	% Dentoglobigerina	% Globoturborotalita	% Paragloborotalia	% Pseudohastigerina	% Streptochilus	% Subbotina	% Tenuitella	% Turborotalia
% Acarina	1	0,99	-0,72	0,47	-0,60	0,39	0,81	-0,03	-0,32
% Dentoglobigerina		1	-0,68	0,50	-0,58	0,38	0,77	-0,05	-0,37
% Globoturborotalita			1	-0,76	0,92	-0,77	-0,94	-0,61	0,32
% Paragloborotalia				1	-0,62	0,96	0,55	0,79	-0,80
% Pseudohastigerina					1	-0,58	-0,94	-0,5	0,05
% Streptochilus						1	0,52	0,88	-0,76
% Subbotina							1	0,32	-0,07
% Tenuitella								1	-0,5
% Turborotalia									1

Stup Zračé	% Acarina	% Dentoglobigerina	% Globoturborotalita	% Paragloborotalia	% Pseudohastigerina	% Streptochilus	% Subbotina	% Tenuitella	% Turborotalia
% Acarina	1	0,23	-0,42	0,08	-0,37	0,53	-0,12	0,73	0,05
% Dentoglobigerina		1	-0,16	0,12	-0,84	-0,40	0,57	-0,44	0,82
% Globoturborotalita			1	-0,87	0,62	-0,06	-0,35	-0,42	0,17
% Paragloborotalia				1	-0,55	0,08	0,4	0,17	-0,33
% Pseudohastigerina					1	0,32	-0,76	0,18	-0,49
% Streptochilus						1	-0,66	0,77	-0,61
% Subbotina							1	-0,54	0,33
% Tenuitella								1	-0,52
% Turborotalia									1

Stup Slano-čepikuće	% Acarina	% Morozovelloides	% Globigerinatheka	% Globoturborotalia	% Pseudohastigerina	% Subbotina	% Dentoglobigerina	% Turborotalia	% Chilguembelina
% Acarina	1,00	0,49	0,82	-0,57	-0,44	0,16	0,49	-0,30	-0,65
% Morozovelloides		1,00	0,76	0,18	-0,59	-0,47	-0,04	-0,33	-0,58
% Globigerinatheka			1,00	-0,41	-0,66	0,07	0,41	-0,29	-0,66
% Globoturborotalia				1,00	0,12	-0,86	-0,60	-0,06	0,07
% Pseudohastigerina					1,00	0,02	-0,09	-0,42	0,69
% Subbotina						1,00	0,40	0,29	0,05
% Dentoglobigerina							1,00	0,05	-0,02
% Turborotalia								1,00	0,03
% Chilguembelina									1,00

Stup Trstenica	% Acarinina	% Globoturborotalita	% Pseudohastigerina	% Subbotina	% Dentoglobigerina	% Tenuitella	% Turborotalia	% Chiloguembelina
% Acarinina	1,00	0,13	0,20	-0,34	0,20	0,68	-0,16	-0,11
% Globoturborotalita		1,00	-0,34	-0,16	-0,61	0,20	-0,73	0,17
% Pseudohastigerina			1,00	0,24	-0,06	0,19	-0,33	0,02
% Subbotina				1,00	-0,25	-0,51	0,17	-0,64
% Dentoglobigerina					1,00	0,47	0,55	-0,32
% Tenuitella						1,00	-0,38	-0,09
% Turborotalia							1,00	-0,38
% Chiloguembelina								1,00

Lokalitet Podobuče	% Acarinina	% Globoturborotalita	% Pseudohastigerina	% Subbotina	% Dentoglobigerina	% Tenuitella	% Turborotalia	% Chiloguembelina	% Streptochilus
% Acarinina	1,00	-0,40	1,00	-0,69	-0,13	0,89	-0,99	0,99	1,00
% Globoturborotalita		1,00	-0,40	-0,39	-0,86	0,06	0,25	-0,53	-0,45
% Pseudohastigerina			1,00	-0,69	-0,13	0,89	-0,99	0,99	1,00
% Subbotina				1,00	0,81	-0,94	0,79	-0,57	-0,65
% Dentoglobigerina					1,00	-0,57	0,29	0,02	-0,08
% Tenuitella						1,00	-0,95	0,81	0,86
% Turborotalia							1,00	-0,95	-0,98
% Chiloguembelina								1,00	1,00
% Streptochilus									1,00

Lokalitet Viganj	% Acarinina	% Globoturborotalita	% Pseudohastigerina	% Subbotina	% Dentoglobigerina	% Tenuitella	% Turborotalia	% Chiloguembelina	% Streptochilus
% Acarinina	1,00	0,09	-0,01	-0,41	-0,33	0,95	-0,58	0,16	-0,51
% Globoturborotalita		1,00	-0,31	-0,51	0,44	0,04	-0,36	-0,10	0,60
% Pseudohastigerina			1,00	-0,49	0,38	0,25	-0,18	0,17	-0,26
% Subbotina				1,00	-0,64	-0,61	0,47	0,19	0,16
% Dentoglobigerina					1,00	-0,11	0,25	-0,61	0,25
% Tenuitella						1,00	-0,55	0,05	-0,63
% Turborotalia							1,00	-0,69	0,10
% Chiloguembelina								1,00	0,13
% Streptochilus									1,00

Prilog 4 - Mjerenja kućica vrste P. micra (stupovi Podstine i Zračće)

Prilog 4: Varijabilnost morfoloških parametara vrste *P. micra*. Prikaz prosječnih vrijednosti po istraživanim uzorcima. Iznimku čine broj klijetaka u najmlađem zavoju (prikazan kao medijan) te udio kućica s bipartitnim ušćem i aberantnih oblika, koji su izraženi u relativnim postocima.

Uzorak	# jedinici	Promjer (μm)	Površina (μm^2)	Visina najmlade kljetke (μm)	Širina najmlade kljetke (μm)	V/Š najmlade kljetke	Broj kljete taka (medijan)	Stupanj kompresije kačice	% Bipartitnih ušća	% aberantnih
Podstine PP 0	50	195,64	24175,72	90,78	86,00	1,058	6,0	0,557	0,00%	4,00%
Podstine PP 1	50	162,18	16541,26	71,70	72,32	1,012	6,0	0,447	2,00%	0,00%
Podstine PP 2	50	154,36	15433,38	67,36	69,42	0,970	6,5	0,550	0,00%	10,00%
Podstine PP 3	50	156,76	15676,66	67,00	68,88	0,973	6,0	0,561	2,00%	12,00%
Podstine PP 4	50	154,14	14793,34	69,18	67,32	1,027	6,0	0,438	0,00%	0,00%
Zaraće ZAR 2	50	147,98	13726,88	66,70	68,38	0,975	6,0	0,538	2,00%	8,00%
Zaraće ZAR 4	50	143,74	12778,04	69,76	66,80	1,044	6,5	0,535	4,00%	2,00%
Zaraće ZAR 5	50	138,98	11996,46	64,24	65,72	0,977	6,5	0,527	0,00%	4,00%
Zaraće ZAR 6	50	149,46	13934,40	69,80	67,38	1,036	6,0	0,549	6,00%	4,00%
Zaraće ZAR 8	50	145,5	13160,80	69,70	72,72	0,958	6,0	0,509	4,00%	6,00%

Prilog 5 - Mjerenja kućica vrste T. cerroazulensis (Stupovi Slano-Čepikuće, Trstenica; lokaliteti Podobuče i Viganj)

Prilog 5: Varijabilnost morfoloških parametara roda *Turborotalia*. Prikazane su prosječne vrijednosti po istraživanim uzorcima, osim za kućice s lijevim smjerom namatanja, *kumeroform* kućice i aberantne kućice, koje su izražene relativnim postotnim udjelom. Za vrste *T. cocoaensis*, *T. cunialensis* i *T. pomeroli* rezultati nisu prikazani ako je njihov broj bio manji od 10.

Slano-Čepikuće						
SI 2						
	Promjer (μm)	Površina (μm^2)	Zaobljenost	% lijevih kućica	% Kummerform	% aberantnih
<i>T. cerroazulensis</i>	292,0438085	48888,32979	0,717212766	61,70%	29,79%	0,00%
Broj jedinki: 47						
<i>T. cocoaensis</i>	334,5996667	50092,00167	0,566666667	66,67%	0,00%	
Broj jedinki: 3						
<i>T. cunialensis</i>	/	/	/	/	/	
Broj jedinki: 0						
<i>T. pomeroli</i> 12	291,4764167	52044,921	0,762916667	83,33%	41,67%	
Broj jedinki: 12						

Slano-Čepikuće						
SI 3						
	Promjer (μm)	Površina (μm^2)	Zaobljenost	% lijevih kućica	% Kummerform	% aberantnih
<i>T. cerroazulensis</i>	297,38468	51311,9287	0,72364	74,00%	22,00%	0,00%
Broj jedinki: 39						
<i>T. cocoaensis</i>	311,86975	41885,6415	0,54725	100,00%	25,00%	
Broj jedinki: 4						
<i>T. cunialensis</i>	/	/	/	/	/	
Broj jedinki: 0						
<i>T. pomeroli</i>	283,2073333	52488,81273	0,8258	80,00%	26,67%	
Broj jedinki: 15						

Slano-Čepikuće						
SI 4						
	Promjer (μm)	Površina (μm^2)	Zaobljenost	% lijevih kućica	% Kummerform	% aberantnih
<i>T. cerroazulensis</i>	273,2621778	41874,89784	0,700644444	62,22%	8,89%	0,00%
Broj jedinki: 45						
<i>T. cocoaensis</i>	228,2248824	26280,17535	0,629	35,29%	5,88%	
Broj jedinki: 17						
<i>T. cunialensis</i>	/	/	/	/	/	
Broj jedinki: 0						
<i>T. pomeroli</i>	260,1408529	40283,23315	0,748764706	64,71%	17,65%	
Broj jedinki: 34						

Slano-Čepikuće						
SI 5						
	Promjer (μm)	Površina (μm^2)	Zaobljenost	% lijevih kućica	% Kummerform	% aberantnih
<i>T. cerroazulensis</i>	266,0460811	39541,48992	0,688837838	78,38%	18,92%	0,00%
Broj jedinki: 37						
<i>T. cocoaensis</i>	203,2463902	19561,41193	0,590780488	56,10%	12,20%	
Broj jedinki: 41						
<i>T. cunialensis</i>	/	/	/	/	/	
Broj jedinki: 0						
<i>T. pomeroli</i>	246,9461071	37596,25425	0,763607143	82,14%	17,86%	
Broj jedinki: 28						

Slano-Čepikuće						
Čep 1						
	Promjer (μm)	Površina (μm^2)	Zaobljenost	% lijevih kućica	% Kummerform	% aberantnih
<i>T. cerroazulensis</i>	299,3560556	49058,10063	0,683566667	88,89%	20,00%	1,11%
Broj jedinki: 90						
<i>T. cocoaensis</i>	265,0216	35493,73428	0,62635	87,50%	10,00%	
Broj jedinki: 40						
<i>T. cunialensis</i>	/	/	/	/	/	
Broj jedinki: 0						
<i>T. pomeroli</i>	286,8289667	51243,09483	0,776366667	96,67%	6,67%	
Broj jedinki: 30						

Slano-Čepikuće						
Čep 2						
	Promjer (μm)	Površina (μm^2)	Zaobljenost	% lijevih kućica	% Kummerform	% aberantnih
<i>T. cerroazulensis</i>	305,3450556	53604,33517	0,722037037	90,74%	25,93%	5,56%
Broj jedinki: 54						
<i>T. cocoaensis</i>	290,6258889	40849,01233	0,593555556	66,67%	11,11%	
Broj jedinki: 9						
<i>T. cunialensis</i>	/	/	/	/	/	
Broj jedinki: 0						
<i>T. pomeroli</i>	314,9675455	59525,45427	0,758090909	81,82%	45,45%	
Broj jedinki: 11						

Slano-Čepikuće						
Čep 3						
	Promjer (μm)	Površina (μm^2)	Zaobljenost	% lijevih kućica	% Kummerform	% aberantnih
<i>T. cerroazulensis</i>	326,9752432	59769,89151	0,704878378	89,19%	17,57%	0,00%
Broj jedinki: 75						
<i>T. cocoaensis</i>	296,1011765	42029,12765	0,597705882	58,82%	0,00%	
Broj jedinki: 17						
<i>T. cunialensis</i>	/	/	/	/	/	
Broj jedinki: 0						
<i>T. pomeroli</i>	311,786322	59868,18524	0,777288136	89,83%	18,64%	
Broj jedinki: 59						

Slano-Čepikuće						
Čep 4						
	Promjer (μm)	Površina (μm^2)	Zaobljenost	% lijevih kućica	% Kummerform	% aberantnih
<i>T. cerroazulensis</i>	325,99424	61007,79776	0,71446	94,00%	18,00%	4,00%
Broj jedinki: 50						
<i>T. cocoaensis</i>	283,7168	38718,9646	0,6086	100,00%	20,00%	
Broj jedinki: 5						
<i>T. cunialensis</i>	/	/	/	/	/	
Broj jedinki: 0						
<i>T. pomeroli</i>	313,3887	60532,46145	0,77785	100,00%	50,00%	
Broj jedinki: 20						

Trstenica						
Tr 1						
	Promjer (μm)	Površina (μm^2)	Zaobljenost	% lijevih kućica	% Kummerform	% aberantnih
<i>T. cerroazulensis</i>	296,8101818	46702,14571	0,6686	90,91%	41,82%	3,64%
Broj jedinki: 55						
<i>T. cocoaensis</i>	246,9953333	30061,527	0,608055556	88,89%	11,11%	
Broj jedinki: 18						
<i>T. cunialensis</i>	213,548	21208,271	0,5905	100,00%	0,00%	
Broj jedinki: 2						
<i>T. pomeroli</i>	/	/	/	/	/	
Broj jedinki: 0						

Trstenica						
Tr 2						
	Promjer (μm)	Površina (μm^2)	Zaobljenost	% lijevih kućica	% Kummerform	% aberantnih
<i>T. cerroazulensis</i>	277,315	41468,15738	0,672076923	84,62%	38,46%	0,00%
Broj jedinki: 13						
<i>T. cocoaensis</i>	271,7924444	38713,35867	0,645222222	77,78%	22,22%	
Broj jedinki: 9						
<i>T. cunialensis</i>	/	/	/	/	/	
Broj jedinki: 0						
<i>T. pomeroli</i>	/	/	/	/	/	
Broj jedinki: 0						

Trstenica						
Tr 3						
	Promjer (μm)	Površina (μm^2)	Zaobljenost	% lijevih kućica	% Kummerform	% aberantnih
<i>T. cerroazulensis</i>	279,6583469	43394,72006	0,689204082	87,76%	33,33%	2,04%
Broj jedinki: 49						
<i>T. cocoaensis</i>	283,9315294	40274,61753	0,621647059	82,35%	35,29%	
Broj jedinki: 17						
<i>T. cunialensis</i>	/	/	/	/	/	
Broj jedinki: 1						
<i>T. pomeroli</i>	/	/	/	/	/	
Broj jedinki: 0						

Trstenica						
Tr 4						
	Promjer (μm)	Površina (μm^2)	Zaobljenost	% lijevih kućica	% Kummerform	% aberantnih
<i>T. cerroazulensis</i>	281,1126957	42655,2429	0,668271739	93,48%	51,09%	0,00%
Broj jedinki: 93						
<i>T. cocoaensis</i>	277,7465636	39490,40295	0,636090909	89,09%	38,18%	
Broj jedinki: 56						
<i>T. cunialensis</i>	256,5794091	31503,15227	0,598590909	90,91%	31,82%	
Broj jedinki: 22						
<i>T. pomeroli</i>	/	/	/	/	/	
Broj jedinki: 0						

Trstenica						
Tr 5						
	Promjer (μm)	Površina (μm^2)	Zaobljenost	% lijevih kućica	% Kummerform	% aberantnih
<i>T. cerroazulensis</i>	314,2732759	52948,48776	0,658172414	82,76%	62,07%	3,45%
Broj jedinki: 29						
<i>T. cocoaensis</i>	/	/	/	/	/	
Broj jedinki: 9						
<i>T. cunialensis</i>	254,6883636	26067,07591	0,501181818	90,91%	18,18%	
Broj jedinki: 11						
<i>T. pomeroli</i>	/	/	/	/	/	
Broj jedinki: 0						

Trstenica						
Tr 6						
	Promjer (μm)	Površina (μm^2)	Zaobljenost	% lijevih kućica	% Kummerform	% aberantnih
<i>T. cerroazulensis</i>	253,988973	40637,55654	0,708891892	86,49%	35,14%	5,41%
Broj jedinki: 37						
<i>T. cocoaensis</i>	241,0442069	29594,72252	0,618413793	89,66%	27,59%	
Broj jedinki: 24						
<i>T. cunialensis</i>	241,2540526	23887,517	0,516263158	84,21%	5,26%	
Broj jedinki: 19						
<i>T. pomeroli</i>	/	/	/	/	/	
Broj jedinki: 0						

Trstenica						
Tr 8						
	Promjer (μm)	Površina (μm^2)	Zaobljenost	% lijevih kućica	% Kummerform	% aberantnih
<i>T. cerroazulensis</i>	301,5110385	51935,96092	0,707730769	88,46%	45,83%	3,85%
Broj jedinki: 26						
<i>T. cocoaensis</i>	/	/	/	/	/	
Broj jedinki: 3						
<i>T. cunialensis</i>	/	/	/	/	/	
Broj jedinki: 2						
<i>T. pomeroli</i>	/	/	/	/	/	
Broj jedinki: 0						

Podobuče						
PDČ 1						
	Promjer (μm)	Površina (μm^2)	Zaobljenost	% lijevih kućica	% Kummerform	% aberantnih
<i>T. cerroazulensis</i>	299,498425	51313,05778	0,7116	92,50%	53,85%	2,50%
Broj jedinki: 40						
<i>T. cocoaensis</i>	/	/	/	/	/	
Broj jedinki: 7						
<i>T. cunialensis</i>	/	/	/	/	/	
Broj jedinki: 3						
<i>T. pomeroli</i>	/	/	/	/	/	
Broj jedinki: 0						

Podobuče						
PDČ 2						
	Promjer (μm)	Površina (μm^2)	Zaobljenost	% lijevih kućica	% Kummerform	% aberantnih
<i>T. cerroazulensis</i>	295,3509583	44481,11635	0,6208125	89,58%	58,33%	8,33%
Broj jedinki: 48						
<i>T. cocoaensis</i>	294,700069	44894,87328	0,622827586	93,10%	57,14%	
Broj jedinki: 29						
<i>T. cunialensis</i>	303,1415625	47081,51644	0,6378125	68,75%	60,00%	
Broj jedinki: 16						
<i>T. pomeroli</i>	/	/	/	/	/	
Broj jedinki: 0						

Viganj						
VG 0C						
	Promjer (μm)	Površina (μm^2)	Zaobljenost	% lijevih kućica	% Kummerform	% aberantnih
<i>T. cerroazulensis</i>	323,9325625	61336,56496	0,714333333	87,50%	29,17%	2,08%
Broj jedinki: 48						
<i>T. cocoaensis</i>	/	/	/	/	/	
Broj jedinki: 4						
<i>T. cunialensis</i>	/	/	/	/	/	
Broj jedinki: 2						
<i>T. pomeroli</i>	/	/	/	/	/	
Broj jedinki: 0						

Viganj						
VG 0C						
	Promjer (μm)	Površina (μm^2)	Zaobljenost	% lijevih kućica	% <i>Kummerform</i>	% aberantnih
<i>T. cerroazulensis</i>	258,9961695	37972,34286	0,708779661	94,92%	23,73%	0,00%
Broj jedinki: 59						
<i>T. cocoaensis</i>	260,8039677	33684,04284	0,619483871	96,77%	9,68%	
Broj jedinki: 31						
<i>T. cunialensis</i>	/	/	/	/	/	
Broj jedinki: 9						
<i>T. pomeroli</i>	/	/	/	/	/	
Broj jedinki: 0						

Prilog 6 - Korelacije promjena parametara kućica *P. micra*

Prilog 6: Matrica Pearsonovih koeficijenta korelacije između morfoloških obilježja vrste *Pseudohastigerina micra* s istraživanih lokaliteta na otoku Hvaru. Podebljanim vrijednostima i bojom istaknute su statistički značajne korelacije uz razinu značajnosti ($p < 0,05$).

Zaraće ZAR 8	Maks. Promjer	Površina	Broj klijetaka u najmlađem zavoju	Stupanj kompresije
Maks. Promjer	1	0,98	0,42	0,36
Površina		1	0,4	0,36
Broj klijetaka			1	>-0,01
Stupanj kompresije				1

Zaraće ZAR 6	Maks. Promjer	Površina	Broj klijetaka u najmlađem zavoju	Stupanj kompresije
Maks. Promjer	1	0,98	0,25	0,27
Površina		1	0,35	0,19
Broj klijetaka			1	-0,02
Stupanj kompresije				1

Zaraće ZAR 5	Maks. Promjer	Površina	Broj klijetaka u najmlađem zavoju	Stupanj kompresije
Maks. Promjer	1	0,97	0,34	0,27
Površina		1	0,35	0,19
Broj klijetaka			1	0,66
Stupanj kompresije				1

Zaraće ZAR 4	Maks. Promjer	Površina	Broj klijetaka u najmlađem zavoju	Stupanj kompresije
Maks. Promjer	1	0,96	0,39	0,23
Površina		1	0,36	0,16
Broj klijetaka			1	0,52
Stupanj kompresije				1

Zaraće ZAR 2	Maks. Promjer	Površina	Broj klijetaka u najmlađem zavoju	Stupanj kompresije
Maks. Promjer	1	0,99	0,18	0,34
Površina		1	0,18	0,31
Broj klijetaka			1	0,08
Stupanj kompresije				1

Podstine PP4	Maks. Promjer	Površina	Broj klijetaka u najmlađem zavoju	Stupanj kompresije
Maks. Promjer	1	0,93	0,18	0,20
Površina		1	0,15	-0,09
Broj klijetaka			1	-0,15
Stupanj kompresije				1

Podstine PP3	Maks. Promjer	Površina	Broj klijetaka u najmlađem zavoju	Stupanj kompresije
Maks. Promjer	1	0,97	0,28	0,19
Površina		1	0,23	0,25
Broj klijetaka			1	0,53
Stupanj kompresije				1

Podstine PP2	Maks. Promjer	Površina	Broj klijetaka u najmlađem zavoju	Stupanj kompresije
Maks. Promjer	1	0,98	0,49	0,08
Površina		1	0,45	0,04
Broj klijetaka			1	0,46
Stupanj kompresije				1

Podstine PP1	Maks. Promjer	Površina	Broj klijetaka u najmlađem zavoju	Stupanj kompresije
Maks. Promjer	1	0,98	0,01	-0,08
Površina		1	0,01	<0,01
Broj klijetaka			1	-0,19
Stupanj kompresije				1

Podstine PP0	Maks. Promjer	Površina	Broj klijetaka u najmlađem zavoju	Stupanj kompresije
Maks. Promjer	1	0,93	0,02	0,24
Površina		1	0,05	0,03
Broj klijetaka			1	0,17
Stupanj kompresije				1

*Prilog 7: Korelacije promjena parametara kućica *T. cerroazulensis**

Prilog 7: Matrica Pearsonovih koeficijenata korelacije između morfoloških obilježja vrste *Turborotalia cerroazulensis* s lokaliteta na području Pelješca i zaleđa. Statistički značajne korelacije ($p < 0,05$) istaknute su bojom i podebljanim fontom.

Viganj - VG 0D	Maks. promjer	Površina	Zaobljenost	Smjer namatanja	Kummerform
Maks. promjer	1	0,954147316	-0,390558147	-0,047980312	0,05742869
Površina		1	-0,141565656	0,016241651	0,006353139
Zaobljenost			1	0,175911355	-0,193448545
Smjer namatanja				1	-0,052254537
Kummerform					1
Viganj - VG 0C	Maks. promjer	Površina	Zaobljenost	Smjer namatanja	Kummerform
Maks. promjer	1	0,951466372	-0,332103778	0,099620658	0,076523092
Površina		1	-0,102881069	0,140905099	0,049229707
Zaobljenost			1	0,136524859	-0,025647555
Smjer namatanja				1	0,103943839
Kummerform					1

Podobuče PDČ 2	Maks. promjer	Površina	Zaobljenost	Smjer namatanja	Kummerform
Maks. promjer	1	0,953636656	0,157804844	-0,193708375	0,07721534
Površina		1	0,408580258	-0,226163385	0,152009172
Zaobljenost			1	-0,212459771	0,19884419
Smjer namatanja				1	0,265139592
Kummerform					1
Podobuče PDČ 1	Maks. promjer	Površina	Zaobljenost	Smjer namatanja	Kummerform
Maks. promjer	1	0,956641777	0,030766507	0,169437187	-0,089182681
Površina		1	0,278476436	0,075327256	-0,156627084
Zaobljenost			1	-0,438975212	-0,297853804
Smjer namatanja				1	0,109289867
Kummerform					1

Trstenica TR 8	Maks. promjer	Površina	Zaobljenost	Smjer namatanja	Kummerform
Maks. promjer	1	0,971320574	-0,072925228	0,103748839	-0,297680838
Površina		1	0,148123924	0,032902998	-0,260293864
Zaobljenost			1	-0,421338418	0,096126013
Smjer namatanja				1	-0,421741168
Kummerform					1
Trstenica TR 6	Maks. promjer	Površina	Zaobljenost	Smjer namatanja	Kummerform
Maks. promjer	1	0,957925789	-0,718324248	0,158224654	0,298547691
Površina		1	-0,517801175	0,152403398	0,330026688
Zaobljenost			1	-0,170443611	-0,099799542
Smjer namatanja				1	-0,205883026
Kummerform					1
Trstenica TR 5	Maks. promjer	Površina	Zaobljenost	Smjer namatanja	Kummerform
Maks. promjer	1	0,976571684	-0,067311749	-0,091864195	-0,083668673
Površina		1	0,121493716	-0,128053947	-0,041874087
Zaobljenost			1	-0,068091477	0,155950381
Smjer namatanja				1	0,207599718
Kummerform					1
Trstenica TR 4	Maks. promjer	Površina	Zaobljenost	Smjer namatanja	Kummerform
Maks. promjer	1	0,968884654	0,028049133	0,021882737	-0,236435215
Površina		1	0,247458417	0,043016185	-0,219308491
Zaobljenost			1	0,083321932	0,08680245
Smjer namatanja				1	-0,084718725
Kummerform					1
Trstenica TR 3	Maks. promjer	Površina	Zaobljenost	Smjer namatanja	Kummerform
Maks. promjer	1	0,946718673	-0,422328862	0,050267341	-0,06098299
Površina		1	-0,143145651	0,090900451	0,002195386
Zaobljenost			1	0,129809109	0,088211084
Smjer namatanja				1	-0,270940037
Kummerform					1
Trstenica TR 2	Maks. promjer	Površina	Zaobljenost	Smjer namatanja	Kummerform
Maks. promjer	1	0,988861666	0,003057767	0,303951788	0,054738332
Površina	0,988861666	1	0,134572134	0,260732628	0,045191437
Zaobljenost	0,003057767	0,134572134	1	-0,475563198	-0,210758559
Smjer namatanja	0,303951788	0,260732628	-0,475563198	1	0,337099931
Kummerform	0,054738332	0,045191437	-0,210758559	0,337099931	1
Trstenica TR 1	Maks. promjer	Površina	Zaobljenost	Smjer namatanja	Kummerform
Maks. promjer	1	0,948391473	-0,347768199	-0,205995332	-0,173115383
Površina		1	-0,042153428	-0,13111053	-0,253311322
Zaobljenost			1	0,233021001	-0,244885992
Smjer namatanja				1	0,01165631
Kummerform			219		1

Slano-Čepikuće ČEP 4	Maks. promjer	Površina	Zaobljenost	Smjer namatanja	Kummerform
Maks. promjer	1	0,975328989	0,047495501	-0,053762024	0,042841409
Površina		1	0,244698067	-0,071988917	-0,065532137
Zaobljenost			1	-0,071362664	-0,480033199
Smjer namatanja				1	0,11836983
<i>Kummerform</i>					1
Slano-Čepikuće ČEP 3	Maks. promjer	Površina	Zaobljenost	Smjer namatanja	Kummerform
Maks. promjer	1	0,949198643	-0,0706484	0,021455934	0,124833704
Površina		1	0,236564925	-0,005074646	0,094302137
Zaobljenost			1	-0,059786706	-0,059797722
Smjer namatanja				1	0,044121278
<i>Kummerform</i>					1
Slano-Čepikuće ČEP 2	Maks. promjer	Površina	Zaobljenost	Smjer namatanja	Kummerform
Maks. promjer	1	0,963983127	-0,13897985	-0,031226245	0,099528362
Površina		1	0,11404119	-0,005789298	0,072953428
Zaobljenost			1	0,086877379	-0,077421157
Smjer namatanja				1	-0,102590357
<i>Kummerform</i>					1
Slano-Čepikuće ČEP 1	Maks. promjer	Površina	Zaobljenost	Smjer namatanja	Kummerform
Maks. promjer	1	0,966057524	-0,138286066	-0,022675935	-0,1066806
Površina		1	0,101531184	-0,03523823	-0,15535329
Zaobljenost			1	0,008807553	-0,186399362
Smjer namatanja				1	<0,001
<i>Kummerform</i>					1

Slano-Čepikuće SL 5	Maks. promjer	Površina	Zaobljenost	Smjer namatanja	Kummerform
Maks. promjer	1	0,976443407	-0,050284352	-0,285436658	-0,175250998
Površina		1	0,131260813	-0,220099395	-0,175250968
Zaobljenost			1	0,323907447	-0,009322411
Smjer namatanja				1	0,086079545
<i>Kummerform</i>					1
Slano-Čepikuće SL 4	Maks. promjer	Površina	Zaobljenost	Smjer namatanja	Kummerform
Maks. promjer	1	0,955082317	-0,142132936	-0,035307967	0,026681611
Površina		1	0,141345499	0,015138274	-0,047423989
Zaobljenost			1	0,149253584	-0,252488719
Smjer namatanja				1	0,082319445
<i>Kummerform</i>					1
Slano-Čepikuće SL 3	Maks. promjer	Površina	Zaobljenost	Smjer namatanja	Kummerform
Maks. promjer	1	0,964432501	-0,063918892	-0,105718901	-0,164773269
Površina		1	0,183375034	-0,082435734	-0,180355001
Zaobljenost			1	-0,001031619	-0,053392669
Smjer namatanja				1	0,034617259
<i>Kummerform</i>					1
Slano-Čepikuće SL 2	Maks. promjer	Površina	Zaobljenost	Smjer namatanja	Kummerform
Maks. promjer	1	0,964432501	-0,063918892	-0,105718901	-0,164773269
Površina		1	0,183375034	-0,082435734	-0,180355001
Zaobljenost			1	-0,001031619	-0,053392669
Smjer namatanja				1	0,034617259
<i>Kummerform</i>					1

10. – Životopis autora

Igor Pejnović rođen je 1993. godine u Zagrebu gdje je završio osnovnoškolsko i gimnazijsko obrazovanje.

Akadske godine 2012/13 upisuje studij Geologije na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu. Godine 2018 na istome fakultetu diplomirao je smjer Geologija i paleontologija, s temom „Interpretacija krednih facijesa otoka Brača u svjetlu paleomagnetnih istraživanja Vanjskih Dinarida“, pod mentorstvom prof. dr. sc. Vlaste Čosović.

Od 2021. zaposlen je pri Geološko-paleontološkom zavodu Geološkog odsjeka PMF-a na mjestu asistenta, na HrZZ projektu „Dinaridski predgorski bazen između dva eocenska termalna optimuma: mogući scenarij za sjevernojadranski bazen (BREEMECO)“, pod vodstvom prof. dr. sc. Vlaste Čosović. Iste godine upisuje i doktorski studij Geologije na PMF-u. Sudjeluje još u HrZZ projektu DOK-02-9533 „Projekt razvoja karijera mladih istraživača – izobrazba novih doktora znanosti“

U sklopu dokorskog istraživanja usavršavao se na sveučilištu u Ferrari, pod vodstvom izv. prof. dr. sc. Valerije Luciani, te u sklopu radionice International school on foraminifera, Urbino. Sudjelovao je također u organizacijskom odboru Simpozija studenata doktorskih studija PMF-a. Član je društva *The micropaleontological society*.

11. – Popis objavljenih radova

Izvorni znanstveni rad

1. **Pejnović, Igor**; Luciani, Valeria i Ćosović, Vlasta

Connecting morphological changes in planktonic foraminifera to late Eocene cooling: a case study on *Pseudohastigerina micra* (Cole 1927) from the Dinaric foreland basin, Adriatic Sea. *Micropaleontology*, 71 (2025), 3; 235-252

Prilog sa skupa (u zborniku)

Kratko priopćenje

1. Ćosović, Vlasta ; Vidović, Jelena ; Gallmetzer, Ivo ; Haselmair, Alexandra ; Zuschin, Martin ; Janjetić, Marina ; Pensa, Tihana ; **Pejnović, Igor** i Šalvari, Željka

The foraminiferal record of the northern Adriatic: Brijuni Islands and Piran bay (same depths, different geologic background) . FORAMS2018 Temporary Abstract Collection Edinburgh, 2018. 114-114

2. Ćosović, Vlasta ; Nemeč, Wojchec ; Mrinjek, Ervin ; Španiček Jelena ; **Pejnović, Igor** i Pensa, Tihana

The role of the Eocene larger benthic foraminifera in evolution of transient ramps in Dinaric Foreland Basin. FORAMS 2018, Temporary Abstracts Collection, Edinburgh, 2018., 115-115

Sažetak izlaganja sa skupa

1. **Pejnović, Igor**; Čančar, Marina i Ćosović, Vlasta

The post-MECO period: paleoecological implications of changes in planktonic foraminifera assemblages (southern Adriatic region, Croatia). The Micropalaeontological Society Foraminifera spring meeting 2024: Abstracts / Grunert, Patrick; Koukousioura, Olga (ur.). Köln: Institute of Geology and Mineralogy, University of Cologne, 2024., 55-55

2. **Pejnović, Igor** i Ćosović, Vlasta

Biometrijske osobine planktonske foraminifere *Pseudohastigerina micra* iz fliških naslaga otoka Hvara (Dinaridski predgorski bazen). 7. hrvatski geološki kongres s međunarodnim sudjelovanjem: knjiga sažetaka / Fio Firi, Karmen (ur.), Zagreb: Hrvatski geološki institut, 2023. str. 140-141

3. Ćosović, Vlasta ; Drobne, Katica ; Pezelj, Đurđica ; Bucković, Damir ; Felja, Igor ; Kurtanjek, Dražen ; Čančar, Marina ; **Pejnović, Igor** i Ištuk, Željko

Response of larger benthic foraminifera to Eocene Warming episodes in the Dinaric foreland basin. Abstract EGU23-4427, Beč: European Geosciences Union (EGU), 2023., EGU23-4427-EGU23-4427.

4. **Pejnović, Igor** i Ćosović, Vlasta

Biometric changes in planktonic foraminifera *Pseudohastigerina micra* from the upper Eocene sediments of the island of Hvar // 7th Faculty of Science PhD Student Symposium Book of Abstracts.

Zagreb: Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2023., 57-57

5. Čančar, Marina; Makarun, Valerije; Drobnjak, Lucija i **Pejnović, Igor**

Društvena igra: Putovanje kroz Zemljinu prošlost. 7. hrvatski geološki kongres s međunarodnim sudjelovanjem: knjiga sažetaka / Fio Firi, Karmen (ur.), Zagreb: Hrvatski geološki institut, 2023., 42-42

6. **Pejnović, Igor** i Čosović, Vlasta

Morphological variations in *Pseudohastigerina micra* from the upper Eocene flysch sediments of the island of Hvar, Croatia // International Symposium on Foraminifera FORAMS 2023 : Abstracts with Program / Papazzoni, Cesare Andrea; Petrizzo, Maria Rose (ur.). Milano: Micropress Europe; The Grzybowski Foundation, 2023. str. 203-204

7. **Pejnović, Igor** ; Čančar, Marina ; Kampić, Štefica i Čosović, Vlasta

Odabir efikasne laboratorijske metode pripreme uzoraka: primjer srednjeeocenskih lapora (uvala Podstine, otok Hvar) / Sorting laboratory techniques of sample preparation by efficiency: an example of a Middle Eocene Marl (Podstine bay, Island of Hvar) // 6. Simpozij Studenata Doktorskih studija 2022 ; Knjiga sažetaka. Zagreb, 2022., 183-184

8. Čančar, Marina ; **Pejnović, Igor** ; Kampić, Štefica i Čosović, Vlasta

Odabir veličinske frakcije za analizu eocenske planktonske foraminiferske zajednice iz naslaga Predgorskog Dinarskog bazena / Selection of a size fraction for the analysis of the Eocene planktonic foraminiferal assemblage from the Dinaric foreland basin deposits // 6. Simpozij Studenata Doktorskih studija 2022 ; Knjiga sažetaka. Zagreb, 2022., 163-164

9. Čosović, Vlasta; Pezelj, Đurđica; **Pejnović, Igor**; Čančar, Marina; Bucković, Damir; Kurtanjek, Dražen; Tomašić, Nenad; Ištuk, Željko; Aljinović, Dunja; Galović, Ines et al.

The multidisciplinary approach of studying the Middle Eocene warming episodes in Dinaric foreland basin: new data or unfulfilled promises? // Environmental, Structural and Stratigraphical Evolution of the Western Carpathians, Abstract book. Bratislava: Comenius University Bratislava, 2022., 44-45

10. Pezelj, Đurđica ; Čosović, Vlasta ; Aljinović, Dunja ; Bucković, Damir ; Čančar Marina ; Čorić, Stjepan ; Felja, Igor ; Galović, Ines ; Horvat, Marija ; Kurtanjek, Dražen **et al.**

Biotic resilience of foraminifera on environmental conditions around the Middle Eocene Climate Optimum (MECO): Dinaric Foreland Basin // CBEP 12 Conference Program and Abstracts.

2022., 37-37

11. Čosović, Vlasta ; Aljinović, Dunja ; Bucković, Damir ; Čančar, Marina ; Felja, Igor ; Galović, Ines ; Horvat, Marija ; Kurtanjek, Dražen ; **Pejnović, Igor** ; Pezelj, Đurđica et al. Preservation of *Nummulites* tests in shallow-water limestones regarding the Middle Eocene Climate Optimum (Dinaric foreland basin, Croatia) // EGU General Assembly 2022. 2022., 2039-2039

Prilog sa skupa (neobjavljen)

Neobjavljeni prilog sa skupa

1. Čančar Lukić, Marina; Tudor, Tamara; Papazzoni, Cesare Andrea; Čosović, Vlasta; Aljinović, Dunja; Bucković, Damir; Felja, Igor; Galović, Ines; Horvat, Marija; Kurtanjek, Dražen **et al.**

Preliminary Insights into Middle Eocene Nummulite Assemblages from the Dinaric Foreland Basin. The 14th WOLF, Workgroup On Larger Foraminifera meeting Solun, Grčka, 25.09.2025-28.09.20

