

# Biostratigrafija fliških naslaga Pazinskog bazena temeljem vapnenačkog nanoplanktona

---

Lukić, Renata

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:237000>

Rights / Prava: [In copyright](#)/Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-28**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Renata Lukić

**BIOSTRATIGRAFIJA FLIŠKIH NASLAGA  
PAZINSKOG BAZENA TEMELJEM  
VAPNENAČKOG NANOPLANKTONA**

Diplomski rad

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOLOŠKI ODSJEK

Renata Lukić

**BIOSTRATIGRAFIJA FLIŠKIH NASLAGA  
PAZINSKOG BAZENA TEMELJEM  
VAPNENAČKOG NANOPLANKTONA**

Diplomski rad  
predložen Geološkom odsjeku  
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta  
Sveučilišta u Zagrebu  
radi stjecanja akademskog stupnja  
magistar/magistra geologije

Mentori:

prof. dr. sc. Vlasta Čosović  
dr. sc. Ines Galović

Zagreb, 2022.

## IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Ja, Renata Lukić, studentica Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, s prebivalištem na adresi Tina Ujevića 2, 47000 Karlovac, OIB 91265882945, JMBAG 0119037334, ovim putem izjavljujem pod materijalnom i kaznenom odgovornošću da je moj diplomski rad pod naslovom: **Biostratigrafija fliških naslaga Pazinskog bazena temeljem vapnenačkog nanoplanktona**, isključivo moje autorsko djelo, koje je u potpunosti samostalno napisano uz naznaku izvora drugih autora i dokumenata korištenih u radu.

U Zagrebu,

Potpis

## *Zahvale*

mojim mentoricama, dr. sc. Ines Galović i profesorici Vlasti Čosović na svim prilikama i ukazanom povjerenju. Hvala Vam na karijernim i životnim savjetima. Na podršci, sugestijama i razumijevanju tijekom izrade ovog rada koje ste mi pružile tijekom, ali i izvan svog radnog vremena.

profesoru Martinu Zuschinu, dr. sc. Konstantini Agiadi i dr. sc. Stjepanu Čoriću na gostoprimstvu i nezaboravnom iskustvu u Beču bez kojeg fotografiranje uzoraka ne bi bilo moguće

Paula– hvala jer si sa mnom dijelila dane u Beču i pomogla pri izradi uzoraka

hvala i Antoniju na pomoći s tablicama

mojoj Geofamiliji hvala na svakom danu zajedničkog studiranja, posebno Katji za sve priče iz karantene i Beča

Sanja, Mia, Sven i Katarina - hvala vam jer ste neizostavan dio mog života i ogromna potpora

i najvažnije od svega - mojoj obitelji, mami Ljiljani, tati Mati, sestri Mateji i psu Anakinu jer ste vjerovali u mene i kad ja nisam vjerovala sama u sebe

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Diplomski rad

### BIOSTRATIGRAFIJA FLIŠKIH NASLAGA PAZINSKOG BAZENA TEMELJEM VAPNENAČKOG NANOPLAKTONA

Renata Lukić

**Rad je izrađen u:** Zavodu za geologiju Hrvatskog geološkog instituta (Milana Sachsa 2, 10 000 Zagreb) u sklopu diplomskog studija Geologija

#### Sažetak:

Uzorci lapora s lokaliteta Jakomići (Pazinski bazen) analizirani su s ciljem odredbe starosti naslaga te paleoekološke interpretacije okoliša u kojem su one nastale. Napravljeni su mikroskopski preparati laboratorijskom metodom primjerenom za madstone bogate organskom tvari. Određene su vrste vapnenačkog nanoplanktona te je provedena kvantitativna analiza zastupljenosti pojedinih taksona. Na temelju prvih i zadnja pojava vrsta *Furcatolithus obtusus* te *Sphenolithus spiniger* određene su podzone MNP16Bc te MNP17A, što odgovara bartonu (gornji dio srednjeg eocena). Kokolitoforidnim zajednicama dominiraju vrste *Reticulofenestra bisecta* (s 21% udjela u zajednici) koja ukazuje na CIE (*Carbon Isotope Excursion*) fazu (faza povećane eutrofikacije u okolišu srednje eocenskog toplinskog optimuma (*Middle Eocene Climate Optimum*, MECO) i *Reticulofenestra producta* (25%) koja je karakteristična za post-MECO fazu. Prisutnost kokolita malog morfotipa vrste *Coccolithus pelagicus* (7 µm) koji su indikatori hladnijih marinskih predjela, a samim time i eutrofikacije u okolišu te toplovodne jedinice *Sphenolithus* spp. prilagođene oligotrofičnim okolišima upućuju na postojanje nutrikline i termokline u proučavanom području.

**Ključne riječi:** vapnenački nanoplankton, barton, MECO, Pazinski bazen, Istra

**Rad sadrži:** 48+XI stranica, 19 slika, 8 tablica, 49 literaturnih navoda, 1 tabla i 2 priloga

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Rad je pohranjen u:** Središnja geološka knjižnica, Geološki odsjek, PMF

**Mentori:** prof. dr. sc. Vlasta Čosović, PMF Zagreb

dr.sc. Ines Galović, viši znanstveni suradnik, HGI Zagreb

**Ocjenjivači:** prof. dr. sc. Vlasta Čosović

prof. dr. sc. Nenad Tomašić

izv. prof. dr. sc. Đurđica Pezelj

**Datum završnog ispita:** 19.9.2022.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geology

### Graduate Thesis

## BIOSTRATIGRAPHY OF THE FLYSCH DEPOSITS IN THE PAZIN BASIN BASED ON CALCAREOUS NANNOFOSSILS

Renata Lukić

**Thesis completed in:** Department of Geology, Croatian Geological Survey (Milana Sachsa 2, 10 000 Zagreb) where the work on the thesis was carried out in the context of the graduate study of Geology

### Abstract:

In order to determine the age of the deposits and paleoecological conditions of the environment, marl samples from Jakomići locality in Pazin basin were analyzed. The samples were laboratory processed by method for organic rich mudstones and prepared for microscopic analysis. Further taxonomic determination of calcareous nannoplankton was done together with quantitative research methods. Based on the first and last occurrences of the species *Furcatolithus obtusus* and *Sphenolithus spiniger*, subzones MNP16Bc and MNP17A of Bartonian were determined. Coccolithophorid assemblages are dominated by the species *Reticulofenestra bisecta* (21%) and *Reticulofenestra producta* (25%) respectively. *Reticulofenestra bisecta* indicates the CIE phase (*Carbon Isotope Excursion*, enhanced eutrophic phase) of the Middle Eocene Climate Optimum (MECO), while *Reticulofenestra producta* is characteristic of the post-MECO phase. The presence of the small morphotype *Coccolithus pelagicus* (7 µm), which is a cold water indicator and a warm water indicator of *Sphenolithus* spp. adapted to oligotrophic environments points to the existence of nutricline and thermocline in the water column.

**Keywords:** calcareous nannoplankton, Bartonian, MECO, Pazin basin, Istria

**Thesis contains:** 48+XI pages, 19 figures, 8 tables, 49 references, 1 plate and 2 appendices

**Original in:** Croatian

**Thesis deposited in:** Central Library of Geology, Department of Geology, Faculty of Science

**Supervisors:** Full professor Vlasta Čosović, PMF Zagreb

Ines Galović, PhD, senior research associate, HGI Zagreb

**Reviewers:** Full Professor Vlasta Čosović

Full Professor Nenad Tomašić

Associate Professor Đurđica Pezelj

**Date of the final exam:** 19.9.2022.

## Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Pregled dosadašnjih istraživanja .....	4
2.1.	Pregled dosadašnjih istraživanja vapnenačkog nanoplanktona.....	4
2.2.	Pregled dosadašnjih istraživanja vapnenačkog nanoplanktona Istre.....	5
3.	Geološka građa Istre .....	7
3.	Geološka građa Istre .....	8
4.	Geografski smještaj i opis profila .....	10
5.	Metode i materijali.....	13
5.1.	Laboratorijska priprema uzoraka.....	13
5.2.	Analitičke metode.....	16
5.2.1.	Statističke metode .....	16
5.3.	Klasifikacija i kriteriji određivanja rodova i vrsta.....	18
5.3.1.	Opis ruba i središnjeg dijela.....	19
5.3.2.	Veličina, varijacije i očuvanost kokolita .....	21
5.3.3.	Terminologija specifičnih grupa heterokokolita i nanolita važnih za eocen.....	23
6.	Rezultati.....	27
6.1.	Taksonomija, sistematika i opisi značajnijih vrsta kokolitoforida (YOUNG i sur., 1997; Nannotax) .....	27
6.2.	Analitika zajednice vapnenačkog nanoplanktona.....	35
6.2.1.	Geološki stup Jakomići 1 .....	35
6.2.2.	Geološki stup Jakomići II.....	36
6.3.	Biostratigrafija .....	37
6.3.1.	Geološki stup Jakomići 1 .....	38
6.3.2.	Geološki stup Jakomići II.....	39
7.	Rasprava.....	40



7.1.	Biostratigrafija .....	40
7.2.	Paleoekologija .....	41
8.	Zaključak.....	43
9.	Literatura.....	45
10.	Table .....	VI
11.	Prilozi.....	X

## 1. Uvod

Terminom vapnenački nanoplankton (vapnenački nanofosil) obuhvaćeni su svi fosilni i recentni marinski organizmi generalno manji od 30  $\mu\text{m}$ . Riječ nanoplankton osmislio je njemački znanstvenik H. Lohmann 1902. godine te ona definira sav plankton koji može proći kroz najfinija sita čija je veličina mrežice manja od 63  $\mu\text{m}$  (BOWN i YOUNG, 1998; KANUNGO i sur., 2017).

Najbrojniji ovoj izrazito heterogenoj grupi organizama su kokolitoforidi – jednostanični morski plankton sa zlatno-smeđim fotosintetskim pigmentima. Kokolitoforidi pripadaju koljenu Haptophyta i razredu Prymnesiophyceae. Kao i većina haptofita, kokolitoforidi posjeduju dva biča i jedinstven organel naziva haptonema. Nadalje, od ostalih pripadnika koljena Haptophyta razlikuje ih posjedovanje vanjskog skeleta, kokosfere. Kokosfera se sastoji od kalcitnih pločica – kokolita. Uz kokolite se javlja i velik broj nanofosila raznolikih formi – nanolita. Taksonomski položaj nanolita je nejasan zbog nepostojanja živućih srodnika, no smatra se da su i oni srodnici algi jer dijele mnoge karakteristike s kokolitoforidima. Kokolitoforidne jedinke koje nastanjuju okoliše nižih geografskih širina pokazuju bolji fosilizacijski potencijal te ih karakterizira i visoka biološka raznolikost (BOWN i YOUNG, 1998).

Vapnenački nanoplankton pokazuje veliku raznolikost i prilagodljivost tijekom geološkog vremena. Evolucija nanoplanktona bogata je obratima: njihova prva pojava zabilježena je tijekom kasnog trijasa u karničkim naslaga južnih Alpa u Italiji (BOWN i sur., 2004). Iako je brojnost jedinki velika, najranije zajednice nanoplanktona obilježene su niskom raznolikošću vrsta (do njih 5) i ograničene su na niže geografske širine. Izumiranje na granici trijas/jura preživjela je samo jedna vrsta kokolitoforida. Tijekom donje jure dolazi do jednog od najbitnijih događaja vezanih uz širenje i diverzifikaciju vrsta – u nešto više od 10 milijuna godina razvilo se 9 od ukupno 16 mezozojskih porodica nanoplanktona te ukupno 32 nove vrste. Na granici jure i krede izumrlo je 17 vrsta kokolitoforida, a razvilo se ukupno novih 15 vrsta kao i tri nova roda nanolita. U kampanu je zabilježen vrhunac raznolikosti vrsta, čak 149 vrsta nanoplanktona što se i podudara s velikim rasprostiranjem tzv. krednog *chalka*. Granica krede i paleogena obilježena je izumiranjem čak 93% vrsta nanoplanktona i smatra se najvećim izumiranjem u njihovoj evoluciji. Razvoj kenozojskih taksona dogodio se naglo te je bio morfološki raznolik – mnoge vrste su se pojavile. Tijekom paleocena pojavile su se 62 nove vrste, a kulminacija razvoja i

raznolikosti dogodila se u eocenu kada je živjelo 120 vrsta vapnenačkog nanoplanktona. U neogenu započinje opći trend smanjenja raznolikosti vrsta.

Kokolitoforidi čine bazu marinskog hranidbenog lanca te su od presudne važnosti za biogeokemijske cikluse u moru (FORNACIARI i sur., 2010). Glavna su komponenta dubokomorskih karbonatnih sedimenata s više od milijun jedinki u gramu sedimenta zbog čega iznimno utječu na skladištenje ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) i kruženje ugljika u prirodi. Upravo zbog velike brojnosti, velike rasprostranjenosti, kratkih stratigrafskih raspona, brze evolucije te male veličine koja štiti od mehaničkih oštećenja, vapnenački nanoplankton nedvojbeno pruža najcjelovitiji stratigrafski i taksonomski zapis bioraznolikosti – uz planktonske foraminifere i ciste dinoflagelata.

Osim primjene u biostratigrafiji, koristi se i za paleoekološke rekonstrukcije uvjeta koji su vladali tijekom mezozoika i kenozoika. Najznačajniji radovi zadnjih desetljeća vezani su uz primjenu vapnenačkog nanoplanktona za rekonstrukciju prošlih, ali i spoznaje o sadašnjim klimatskim promjenama i ciklusima pa su tako i brojna istraživanja usmjerena na najpoznatija klimatska zatopljenja tijekom eocena kada kokolitoforidi doživljavaju jedan od vrhunaca brojnosti vrsta (120 vrsta) (BOWN i sur., 2004). Budući da je klima kenozoika karakterizirana prijelazima iz razdoblja staklenika u razdoblja s uvjetima ledenjaka, glavni podaci o nanoplanktonu dobiveni su upravo proučavanjem ovih paleoklimatskih uvjeta. Od posebnog interesa su paleocensko-eocenski klimatski maksimum (*Paleocene-Eocene Thermal Maximum*, PETM) te rani i srednji eocenski klimatski optimum (*Early Eocene Climate Optimum*, EECO i *Middle Eocene Climate Optimum*, MECO). Srednje eocenski klimatski optimum (MECO) i dalje predstavlja enigmatičan događaj globalnog zatopljenja koji se dogodio prije otprilike 40 milijuna godina i koji je trajao otprilike 500-600 tisuća godina (GIORGIONI i sur., 2019). MECO je privremeno prekinuo hladnije uvjete koji su započeli krajem ranog eocenskog klimatskog optimuma (EECO). MECO se dijeli na pet faza: pred-MECO, početni MECO, MECO CIE (*Carbon Isotope Excursion*), MECO vrhunac zatopljenja i post-MECO. Navedene faze određuju se prema zastupljenosti identificiranih vrsta sukladno njihovim ekološkim valencijama.

U ovom diplomskom radu analizirane su zajednice vapnenačkog nanoplanktona lokaliteta Jakomići Pazinskog bazena u Istri. Glavni ciljevi rada su sljedeći:

1. određivanje rodova i vrsta vapnenačkog planktona prisutnih u zajednici
2. određivanje pripadajuće eocenske zone, tj. starosti naslaga na temelju eocenskog vapnenačkog planktona napravljene su prema MARTINI (1971), a u ovom radu će biti preciznije određene prema regionalnoj podjeli za Mediteran (FORNACIARI i sur., 2010) te dovedene u globalni kontekst prema AGNINI i sur. (2014)
3. paleoekološka interpretacija uvjeta koji su vladali tijekom taloženja naslaga na temelju najzastupljenijih kokolitoforida dotičnog razdoblja

Ovaj diplomski rad izrađen je u okviru HRZZ projekta Dinaridski predgorski bazen između dva eocenska termalna optimuma: mogući scenarij za sjevernojadranski bazen, BREEMECO (IP-2019-04-5775). Slikanje vapnenačkog nanoplanktona obavljeno je na Institutu za paleontologiju Sveučilišta u Beču.

## 2. Pregled dosadašnjih istraživanja

### 2.1. Pregled dosadašnjih istraživanja vapnenačkog nanoplanktona

BRAMLETTE i RIEDEL (1954) prvi su prepoznali potencijal vapnenačkog nanoplanktona za biostratigrafska datiranja. Podaci skupljeni na brojnim ekspedicijama *Deep Sea Drilling Project* (DSDP) s kraja 1960-ih omogućili su objavljivanje pionirskog rada kojim su definirane biozone temeljem vapnenačkog nanoplanktona. U ranoj fazi istraživanja kokolitoforida, za potrebe istraživanja nafte i plina, glavni cilj obuhvaćao je grube odredbe starosti (JORDAN, 2002; RAFFI i sur., 2016).

Tek s početkom *Ocean Drilling Program* (ODP) 80-ih godina prošlog stoljeća fokus je stavljen na visokorezolucijsko uzorkovanje dubokomorskih naslaga u svrhu poboljšanja datiranja temeljem vapnenačkog nanoplanktona (JORDAN, 2002)

Veliku inovaciju u proučavanju kokolitoforida predstavlja primjena pretražnog elektronskog mikroskop (SEM, *Scanning Electron Microscope*) čije je korištenje potaknulo veliku reviziju starih pojmova, uspostavu novih te generalnu standardizaciju terminologije vezane za vapnenački nanoplankton.

Iscrpan pregled klasifikacije i taksonomije vapnenačkog nanoplanktona daju (FARINACCI, 1969) i AUBRY (1984, 1988, 1989, 1990, 1992, 1998, 1999; preuzeto iz BOWN i sur., 2004).

Temeljno djelo istraživanja vapnenačkog nanoplanktona je katalog koji je napravila FARINACCI (1969-1989) koji daje uvid u originalne opise taksona nanofosila. Katalog u razdoblju od 2007. do 2017. nadopunjuje i revidira Howe (FARINACCI i HOWE, 1969-2022).

AUBRY (u razdoblju od 1984 do 1999.; preuzeto iz BOWN i sur., 2004) je objavila sedam opsežnih priručnika u kojima su sadržani opisi kenozojskih vrsta vapnenačkog nanoplanktona. U nekoliko priručnika (iz 1992. i 1998.) poseban naglasak se stavlja na paleogenske kategorije nanoplanktona.

Sveobuhvatnu sintezu klasifikacije vapnenačkog nanoplanktona nalazimo u radovima PERCH-NIELSEN (1985a, 1985b).

Devedesetih godina prošlog stoljeća, YOUNG i BOWN (1997) objavljuju rad o taksonomiji kenozojskog nanoplanktona.

Prekretnicom u istraživanju nanoplanktona smatra se Drugi kongres o planktonu (*Second Planktonic Conference*) koji se održao u Rimu 1970. godine. Nakon kongresa, 1971. godine Martini objavljuje u domeni primjene vapnenačkog nanoplanktona temeljni rad u biostratigrafiji - standardnu zonaciju prema vapnenačkom nanoplanktonu. Njegove zonacije se koriste i danas, iako su u međuvremenu i drugi istraživači temeljem iskustava analiza uzoraka iz različitih dijelova svijeta nadopunili u smislu promjene granica zona, imena indeksnih vrsta ili samih zona. Danas imamo BUKRY (1973), FORNACIARI i sur. (2010) i AGNINI i sur. (2014) koje doprinose poboljšanju rezolucije biozona.

## 2.2. Pregled dosadašnjih istraživanja vapnenačkog nanoplanktona Istre

Gotovo istovremeno s pobuđenim interesom za nanoplankton, započinju istraživanja i na našim prostorima. U području Istarskog paleogenskog bazena, STRADNER (1962) određuje srednjoeocensku starost naslaga lokaliteta Vranja i Velanov brijeg u središnjoj Istri, nedaleko mjesta Pićan.

Među domaćim znanstvenicima, BENIĆ (1975, 1991) prvi analizira nanoplanktonsku zajednicu iz laporovitih naslaga uzorkovanih u okolici Pićnja i određuje zone NP16 i NP17 prema MARTINI (1971), odnosno pripisuje srednje- do gornje eocensku starost naslaga (lutet, barton i priabon).

ŠPARICA i sur. (2005) proučavajući fliške naslaga u blizini Pićana, koristeći vapnenački nanoplankton, dinoflagelate i velike bentičke foraminifere, po prvi puta, određuju i gornjooligocensku starost naslaga.

Klastične naslage iz okolice Pićana su predmetom istraživanja BABIĆ i sur., (2007). Analiza vapnenačkog nanoplanktona i planktonskih foraminifera potvrdila je srednjoeocensku starost, pripadnost biozonama koje su već bile definirane za te naslage, a koje odgovaraju gornjem lutetu i donjem bartonu.

Rezultati datiranja naslaga Istraskog fliša temeljem opsežnih istraživanja fliškog kompleksa Vanjskih Dinarida MIKES i suradnika (2008) izazvala su *potres* jer su na temelju vapnenačkog nanoplanktona odredili miocensku starost..

Već 2008, ĆORIĆ i suradnici u predavanju naslovljenom *Conflicting dating of the Coastal Dinaric flysch and implications: Eocene or Miocene? The case of north Dalmatia and Istria* temeljem određenih vrsta potvrđuju srednjoeocensku starost fliških naslaga

Pazinskog bazena. Istraživanja na uzorcima s otoka Paga (PERSICO i sur., 2020) su, ne samo potvrdila, eocensku starost fliških naslaga već su poslužila kao osnova za tektono-stratigrafsku i paleoekološku interpretaciju naslaga.

Kroz prikazane radove vidljivo je da starost Istarskog fliša predstavlja predmet rasprave među znanstvenicima. Ipak, većina objavljenih radova navodi srednje do kasno eocensku starost naslaga (BENIĆ, 1991; BABIĆ i sur., 2007; ĆORIĆ i sur., 2008) neki navode gornjooligocensku starost (ŠPARICA i sur., 2005), a neki čak i miocensku (MIKES i sur., 2008).

Starost Istarskog fliša većinom je određivana na temelju planktonskih foraminifera (primjerice: PICCOLI i PROTO DECIMA, 1969; DROBNE i sur., 1979; ŽIVKOVIĆ i BABIĆ, 2003; ĆOSOVIĆ i sur., 2004). S obzirom da je starost fliša i dalje diskutabilna na području Istre svakako nova saznanja i primjena novih tehnologija ostavlja dovoljno prostora i motivacije za nova istraživanja. U ovom radu djelomično su primijenjena nova saznanja vezana uz taksonomiju kokolitoforida i analize, što je pridonijelo boljem biostratigrafskom zoniranju profila na području Pićana, temeljenom po prvi puta na regionalnom nivou.

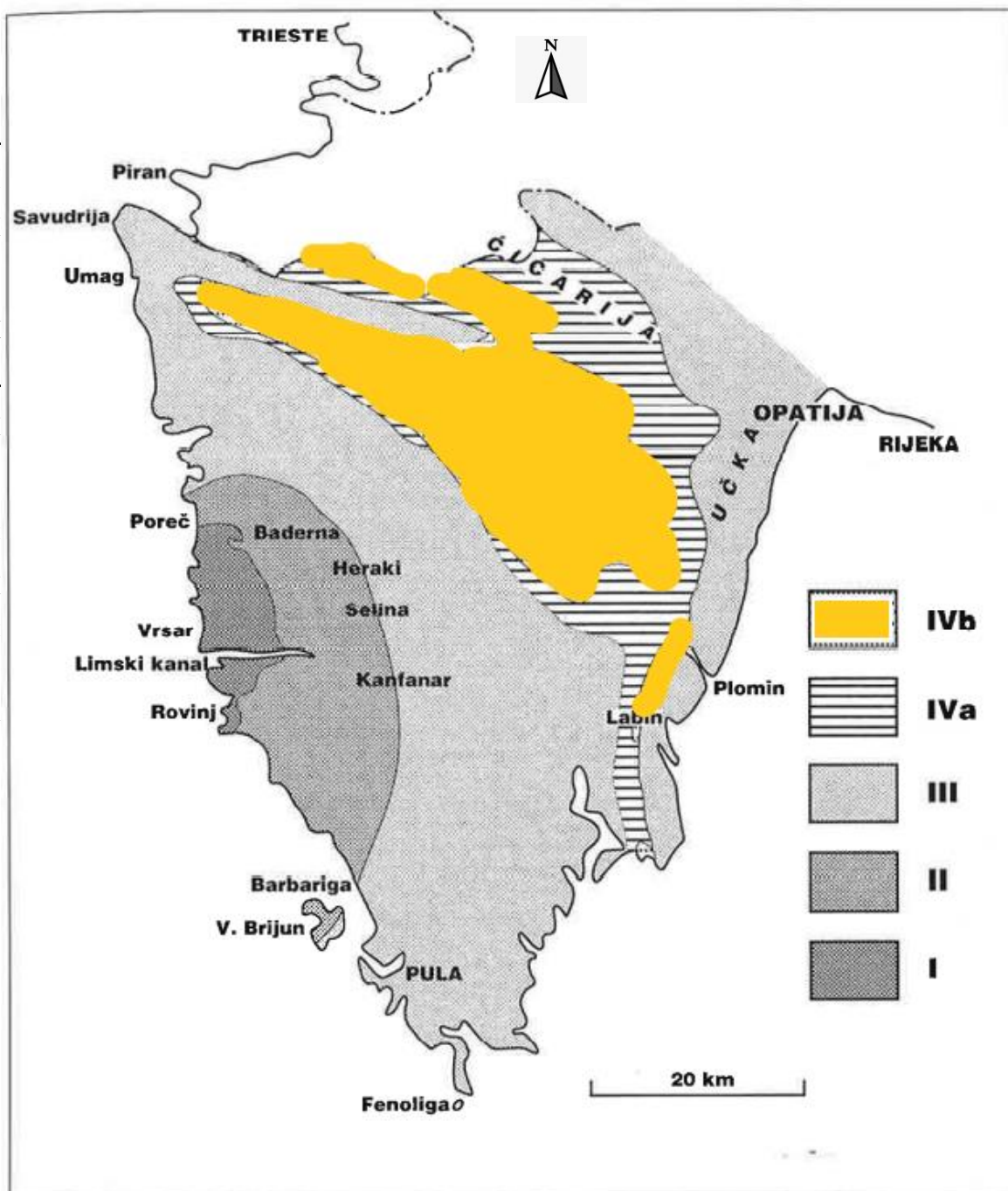
### 3. Geološka građa Istre

Istarski poluotok može se podijeliti na tri cjeline: Bijela, Siva i Crvena Istra. Ovi nazivi jasno ukazuju da je svaka cjelina Istre dobila ime prema prevladavajućoj boji naslaga. Bijela Istra odnosi se na okršeno područje izgrađeno od kredno-paleogenskih vapnenaca koje se proteže na prostoru Plomina, Učke i Ćićarije. Siva Istra obuhvaća područje središnji dio Iste, tj. fliški bazen. Siva je zbog sive boje lapore koji u izmjeni s pješčenjacima čine fliš. Crvena Istra nalazi se na jugozapadu i zapadu poluotoka, a crvena je zbog zemlje crvenice koja se još zove i *terra rossa* te prekriva jurske, kredne i paleogenske karbonate (VELIĆ i sur., 1995).

Najveću rasprostranjenost na Istarskom poluotoku imaju mezozojske (kredne) naslage koje su istaložene na Jadranskoj Karbonatnoj platformi, manji dio grade paleogenske naslage taložene u Predgorskom bazenu Dinarida. Uz ova dva tipa naslaga, moguće je pronaći i kvartarne naslage. Obzirom na postanak, ove naslage dijele se na četiri sedimentacijske cjeline ili megasekvence (slika 1) koje su odijeljene velikim prekidima u taloženjima različitog trajanja. Megasekvencama pripadaju sljedeći stratigrafski rasponi (VELIĆ i sur., 1995):

1. bat-donji kimeridž
2. gornji titon-gornji apt
3. gornji alb-donji kampan
4. paleocen-eocen





Slika 1. Pojednostavljena litosekvencijska karta Istre s prikazanim prostiranjem naslaga prepoznatih megasekvencama i žutom bojom istaknutim prijelaznim naslagama i flišem. Legenda: I) bat-donji kimeridž; II) gornji titon-gornji apt; III) gornji alb-donji kampan; IV) paleocen-eocen: a) foraminiferski vapnenci i b) prijelazne naslage i fliš (žuta boja) (preuzeto i modificirano prema VELIĆ i sur., 1995)

Prve tri sekvence taložene su u okolišima Jadranske karbonatne platformi, a naslage megasekvence paleocen-eocen dijelom su vezane za bazensku sedimentaciju, koja je i predmetom ovih istraživanja.

Najmlađa megasekvencu predstavljena je relativno debelim slijedom karbonatnih i klastičnih naslaga te većina ovih naslaga izdanjuje na području Pazinskog bazena. Kao posljedice tektonskih procesa vezanih za stvaranje predgorskog bazena, prekidi taloženja u razdoblju od čak donje krede do eocena bila je različitog trajanja – ovisno o dijelu Pazinskog bazena. Paleogenske naslage transgresivno su taložene na krednu podlogu u okolišima karbonatne rampe. Posljedično, slijed paleogenski naslaga promjenjiv je i lateralno i vertikalno. S obzirom na biogenu komponentu koja dominira sastavom naslaga te na sedimentacijske uvjete taloženih naslaga razlikuju se: Liburnijske naslage, foraminiferski vapnenci, prijelazne naslage i fliš (VELIĆ i sur., 1995).

Globigerinski lapori su sastavni dio fliških naslaga. Taloženje ovih naslaga ukazuje na produbljivanje taložnog okoliša te početak duboke, bazenske sedimentacije (ŠIKIĆ i sur., 1973; VELIĆ i sur., 2003).

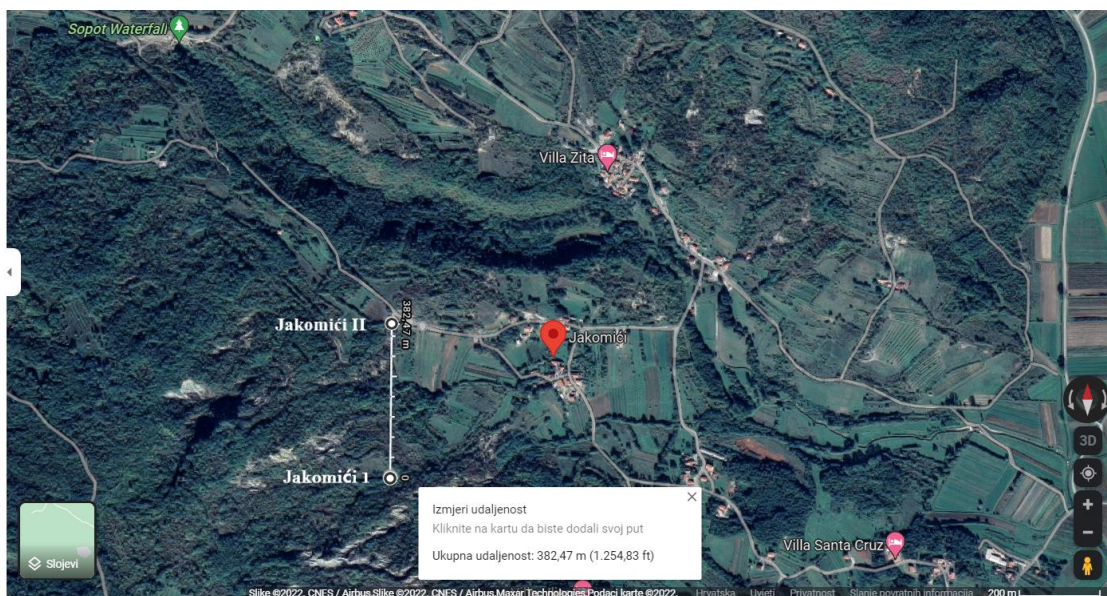
Slijed fliških naslaga karakteriziran je izmjenama hemipelagičkih lapora i sedimenata nastalih taloženjem iz gravitacijskih tokova. Većina tih sedimenata su turbiditi, točnije pješčenjaci s mjestimično vidljivim horizontalnim i kosim laminacijama miješanog karbonatnog-siliciklastičnog sastava debljine 5-40 cm. Ove naslage su nastale klizanjem nekonsolidiranog materijala iz plićih u dublje dijelove bazena te pripadaju gornjoj fliškoj zoni (BERGANT i sur., 2003).

Slojevi karakteristični za donji dio fliškog slijeda su krupnoklastični karbonatni slojevi sastavljeni od karbonatnih breča, konglomerata, pješčenjaka, silita i lapora. Ovi slojevi znatno su većih debljina (0,5-5m), mjestimično brzo isklinjavaju (BERGANT i sur., 2003).

Cjelokupno područje Istre je okopnjelo nakon taloženja fliša te su sve naslage četiri megasekvence bile izložene okršavanju i eroziji. Djelomično su prekrivene tлом crvenicom, eolskim materijalom i kvartarnim močvarnim sedimentima (VLAHOVIĆ i sur., 2005).

#### 4. Geografski smještaj i opis profila

Tijekom terenskih istraživanja vezanih uz provođenje BREEMECO projekta snimljena su dva geološka stupa na lokalitetima Jakomići I ( $45,209153^{\circ}\text{N}$  i  $14,0508517^{\circ}\text{E}$ ) i Jakomići II ( $45,212595^{\circ}\text{N}$  i  $14,050880^{\circ}\text{E}$ ) (slika 2). Udaljenost između snimljenih stupova iznosi 382,47 m (slika 2).

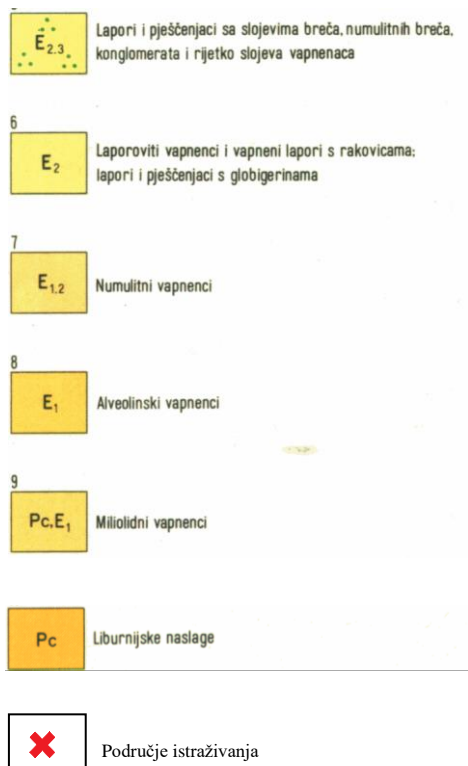
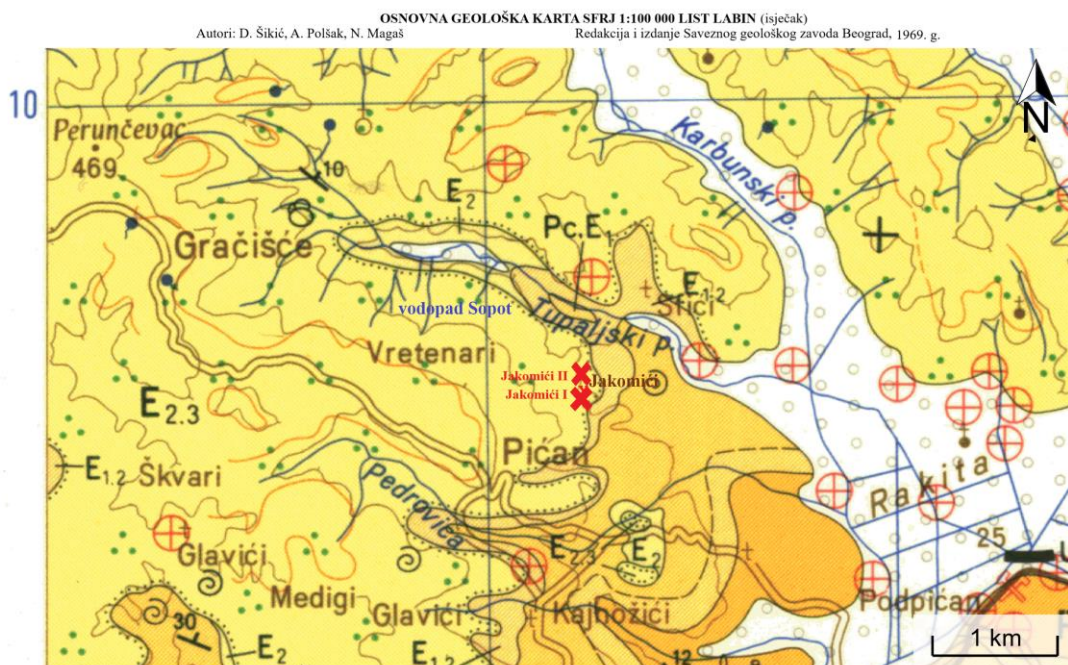


Slika 2. Geografski smještaj i udaljenost snimljenih profila

(preuzeto s <https://www.google.com/maps>)

Područje istraživanja (slika 3) nalazi se na flišolikim naslagama koje uključuju lapore, pješčenjake s proslojcima konglomerata i breča te nešto vapnenaca. Ova fliška serija razvijena je na cijelom području Pazinskog, Labinskog i Plominskog bazena te na području Rijeke, Učke i Čićarije. Također, u ovim naslagama je pronađeno iznimno bogata zajednica vapnenačkog nanoplanktona te planktonskih foraminifera koje pripadaju gornjem dijelu srednjeg eocena te gornjem eocenu (ŠIKIĆ i POLŠAK, 1973).

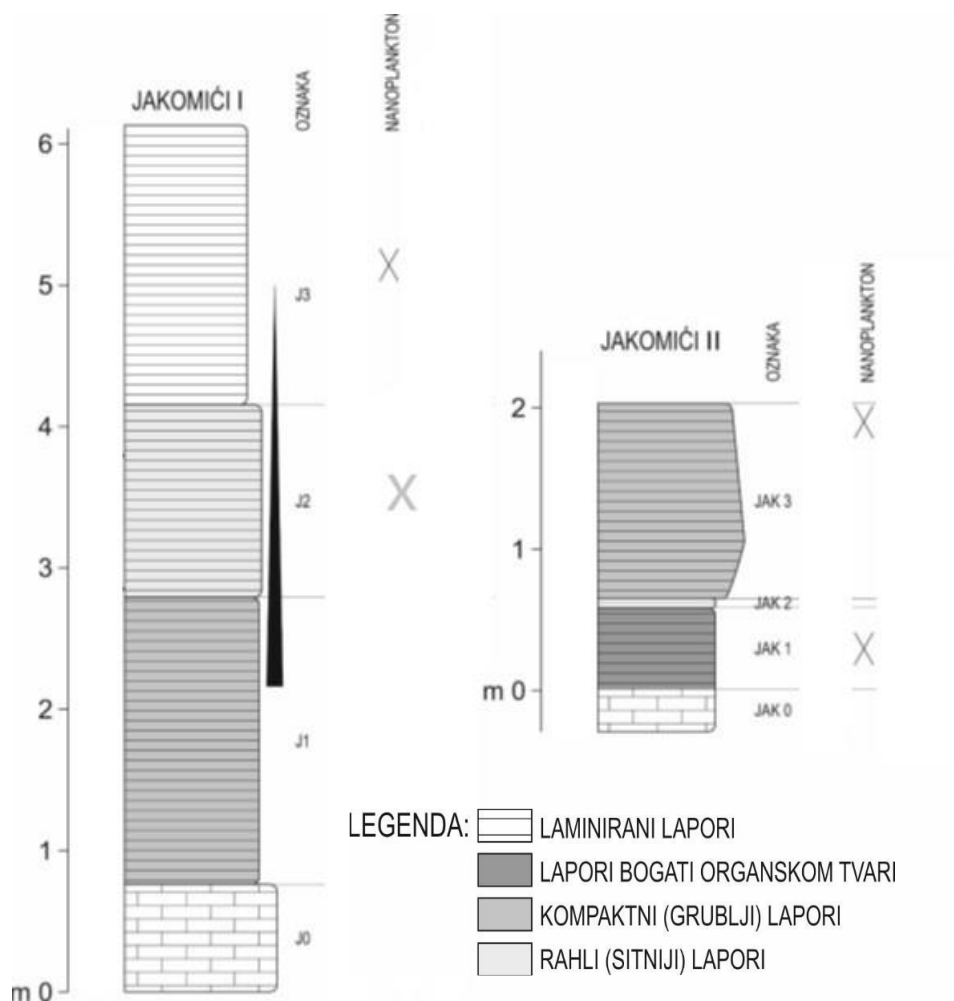




Slika 3. Isječak iz OGK SFRJ 1:100 000 – List Labin s označenim područjima istraživanja (preuzeto i modificirano prema ŠIKIĆ i sur., 1969)

Na geološkom stupovima Jakomići I i Jakomići II prikupljena su 4 uzorka, po dva sa svakog stupa. Ukupna debljina naslaga iznosi 6 m (stup Jakomići I) i 2 m (stup Jakomići II) (slika 4). U bazi stupova nalaze se Foraminiferski vapnenci (uzorak J0 i JAK0) na koje naliježu klastične naslage, kompaktni grubljezrnati lapori (uzorak J1) u stupu Jakomići I te lapori bogati organskom tvari (uzorak JAK1) u stupu Jakomići II. U stupu Jakomići I slijede finiji lapori (uzorak J2) te lapori koji se pojavljuju u tankim (do 1 cm debelim) laminama (uzorak J3) dok u stupu Jakomići II slijedi izrazito tanak sloj lapora izražene laminacije (uzorak JAK2) koji prelazi u debeli sloj kompaktnih grubljezrnatih lapora (uzorak JAK3).

Za potrebe izrade ovog diplomskog rada obrađeni su uzorci J2 i J3 s geološkog stupa Jakomići I te uzorci JAK1 i JAK3 s geološkog stupa Jakomići II.



Slika 4. Shematski prikaz geoloških stupova Jakomići I i Jakomići II

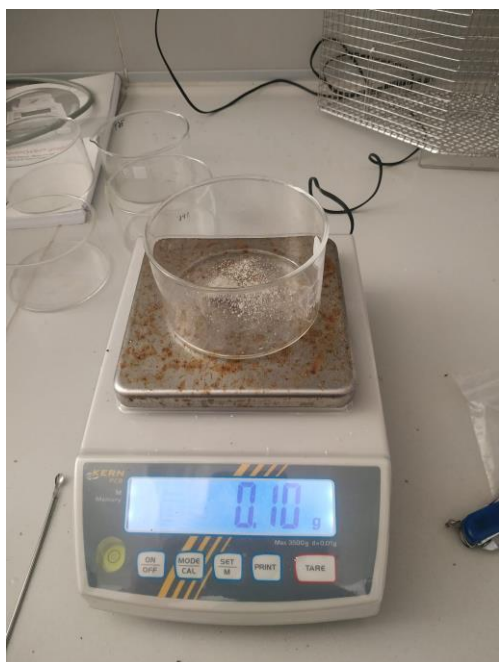
## 5. Metode i materijali

### 5.1. Laboratorijska priprema uzoraka

Uzorci su pripremljeni prema metodi koju su za madstone (muljnjake) bogate organskom tvari razvili SHAMROCK i sur. (2015).

#### Korak 1:

Korak 1 se radi u digestoru. Otprilike 0.1 g prethodnog usitnjenog uzorka (slika 5) se stavi u tubu (volumena 15 ml) za centrifugu. U tubu se ulije 5-6 ml destilirane vode. Zatim se dodaje 3 ml natrijevog hipoklorita (NaClO) poznatijeg kao izbjeljivač (slika 6). Nužno je osigurati dobru reakciju između sedimenta i natrijevog hipoklorita i zato se uzorci stavljaju na Vortex mikser (slika 7) na srednju brzinu u trajanju od 3 do 5 sekundi nakon čega se uzorci kuhaju u vodenoj kupelji 15 minuta (slika 8). Slijedi centrifugiranje na 1000 okretaja po minuti u trajanju od 7 minuta (slika 9). Uzorak se ostavi da odstoji i potom dekantira. Proces prvog koraka se ponavlja dva puta.



Slika 5. Precizno vaganje uzorka (0.1 g)



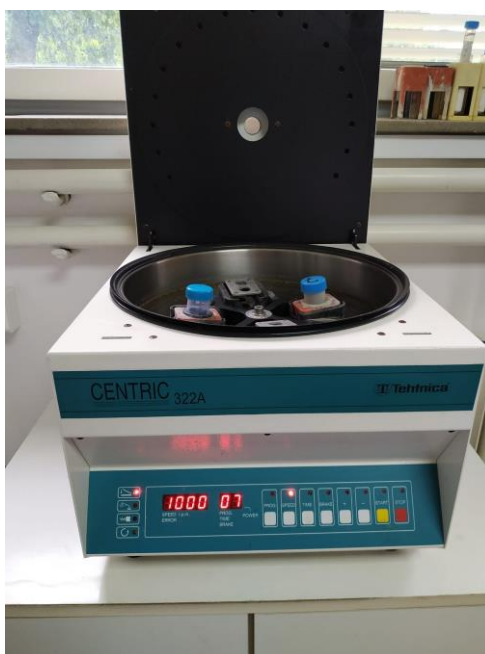
Slika 6. Uzorci otopljeni u destiliranoj vodi te NaClO



Slika 7. Vortex mikser



Slika 8. Uzorak u vodenoj kupelji



Slika 9. Uzorci na centrifugiranju

### Korak 2:

U uzorke se dodaje otprilike 5 ml otopine natrijevog bikarbonata ( $\text{NaHCO}_3$ ) ili otopine sode bikarbone koja čiji pH iznosi 9.5. Zatim se stavljaju na Vortex mikser i u centrifugu (vidi korak 1). Korak 2 se također ponavlja, no zadnje centrifugiranje se odvija pod 2500 okretaja po minuti tijekom 10 minuta.

**Korak 3:**

U uzorke se dodaje 5 ml deionizirane vode. Uzorci se stavljaju na Vortex mikser pri srednjoj brzini 5-10 sekundi zatim se centrifugiraju na 2000 okretaja po minuti tijekom 4 minute. Ovaj postupak se ponavlja 3 puta. Nakon zadnje iteracije, uzorci se stavljaju na Vortex preko noći ili minimalno 4 sata.

**Korak 4:**

Četvrti, tj. zadnji korak se odnosi na završnu pripremu preparata za polarizacijski mikroskop - LM (Korak 4a) i skenirajući elektronski mikroskop – SEM (Korak 4b).

Korak 4a: Mala količina uzorka se stavlja na predmetno stakalce koji se potom suši na grijaćoj ploči dok sva tekućina ne ispari. Predmetno stakalce se premazuje nafraksom te se zaključno stavlja pokrovno stakalce. Na ovaj način se dobivaju tzv. *smear slides* s puno bolji optičkim indeksom (do 1,81) za taksonomske odredbe od dosadašnje upotrebe Canada balzama, koji se u zadnjih nekoliko godina primjenjuje u Hrvatskom geološkom institutu.

Korak 4b: Mala količina uzorka se stavlja na nosač te se suši preko noći. Na nosač je prethodno stavljena ultra tanka dvostruko ljepljiva traka. Budući da je električna provodljivost glavna pretpostavka elektronske mikroskopije, uzorci se moraju nepariti slojem zlata.



## 5.2. Analitičke metode

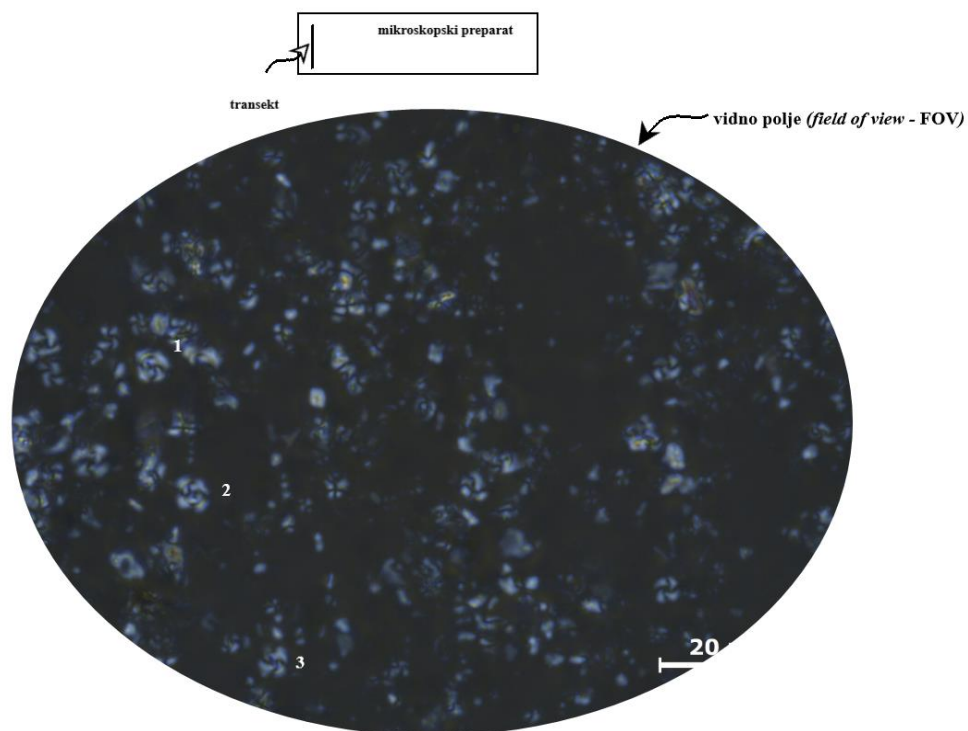
Analiza uzoraka odrađena je na polarizacijskom mikroskopu LEICA Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, dok se fotografiranje uzoraka odvijalo na Sveučilištu u Beču. Korišten je polarizacijski mikroskop LEICA DM 2700 P uz softver LAS (verzija 4.4.0) te skenirajući elektronski mikroskop JCM-6000 Plus s istoimenim softverom. Uzorci su fotografirani u uvjetima visokog vakuuma te pri naponu od 10 kV. Za presvlačenje uzoraka slojem zlata korišten je DII-29030SCTR Smart Coater. Uzorci su presvučeni dva puta po dvije minute te je dobivena debljina sloja zlata od otprilike 5 nm.

Za klasifikaciju rodova i vrsta kokolitoforida korištena je literatura prema PERCH-NIELSEN (1985b), BOWN i DUNKLEY JONES (2012), SHEPHERD i sur. (2014), HOWE (2021) te web stranica Nannotax3.

### 5.2.1. Statističke metode

Statističke odnosno kvantitativne metode istraživanja koriste se u svrhu interpretacije paleoekoloških uvjeta koji su vladali okolišima u kojima je živjela istraživana kokolitoforidna zajednica.

1. Bogatstvo ili broj vrsta je najjednostavniji način procjene bioraznolikosti u uzorku
2. Učestalost vrsta se računa na način da se izbroji brojnost pojedinih vrsti po transektu, u standardu od minimalno 400 jedinki izbrojanih po vidnim poljima (FOV – *field of view*) transekta te se pretvori u postotke (slika 10).



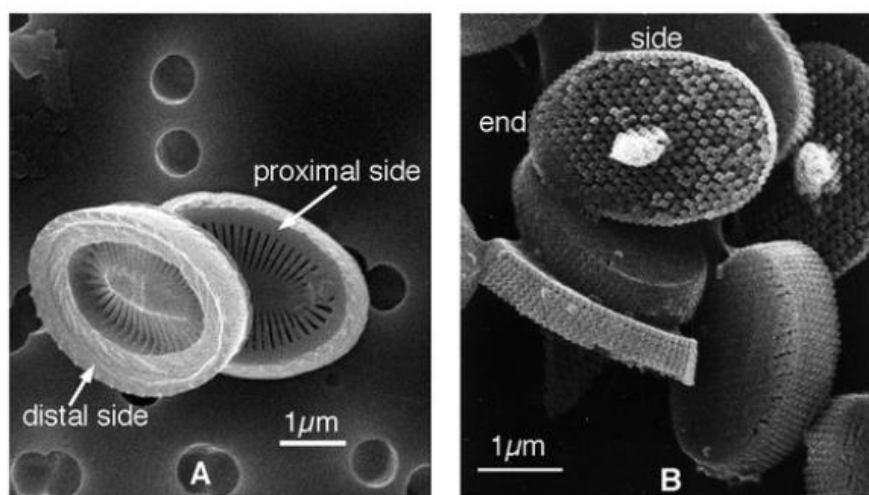
Slika 10. Shematski prikaz metode za izračun učestalosti vrsta kokolitoforida u uzorku. Brojevi 1-3 predstavljaju jedinice iste vrste.

Klasifikacija učestalosti se određuje prema sljedećim parametrima za epikontinentalna mora (GALOVIĆ, 2017):

1. Cvjetanje vrsta  $>65\%$
2. Dominantne vrste  $>50\%$
3. Vrlo učestale vrste  $>35-50\%$
4. Učestale vrste  $>15-35\%$
5. Manje učestale vrste  $10-15\%$
6. Rijetko zastupljene vrste  $5-<10\%$
7. Raspršene vrste  $<5\%$

### 5.3. Klasifikacija i kriteriji određivanja rodova i vrsta

Budući da na hrvatskom jeziku ne postoji standardizirana nomenklatura kokolitoforida, u ovom radu korišteni su izrazi prilagođeni prema YOUNG i sur. (1997) i VILIČIĆ (2002). Taksonomija kokolitoforida uvelike je bazirana na morfološkim karakteristikama vanjskog skeleta – kokosfere. Kokosfera je kao glavno determinacijsko svojstvo sastavljena od kalcitnih pločica - kokolita. Kokolitoforidi proizvode dvije vrste pločica: heterokokolite i holokokolite. Heterokokoliti se sastoje od radialno položenih kristalnih jedinica različitih oblika i veličina (slika 11A). Holokokoliti su sačinjeni od mnogo jednakih, sitnih kristala (slika 11B).



Slika 11. (A) heterokokolit, (B) holokokolit (preuzeto i prilagođeno prema CROS, 2001)

Heterokokoliti se, bez obzira na strukturu, dijele na:

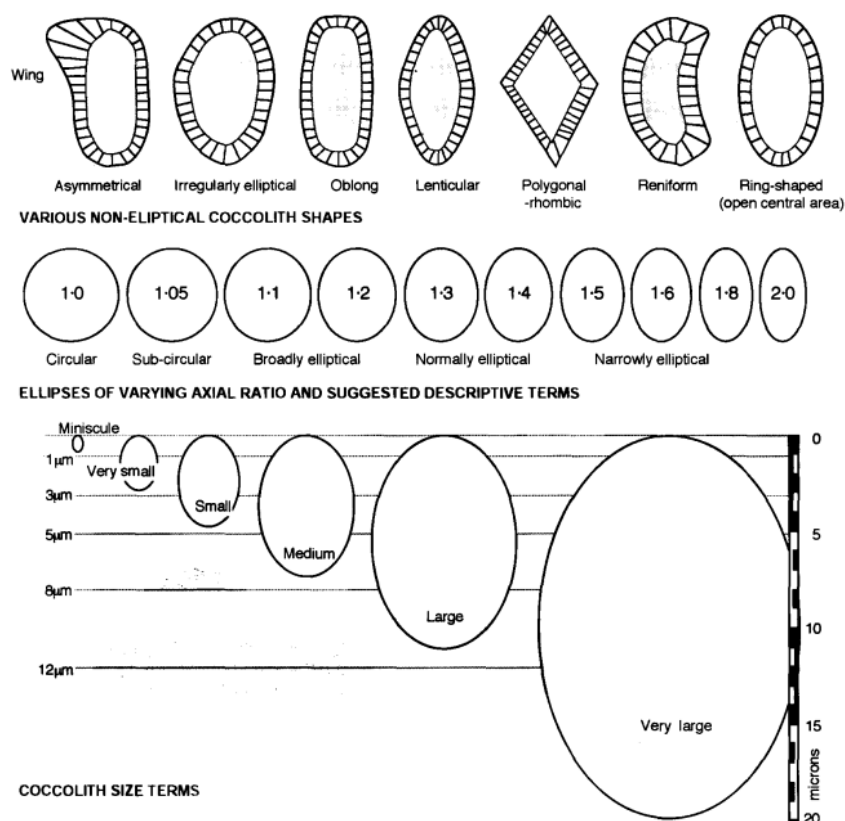
1. planolite (lat. *planus* - plosnat) – bez izdignutog ruba
2. murolite (lat. *murus* - zid) – rub izdignut, ali bez razvijenog štita
3. plakolit – rub ima dva ili više dobro razvijena štita

Ova se tri tipa kokolita pojavljuju najčešće u literaturi, no njihovo značenje samo po sebi nema nikakvih taksonomskih implikacija.

### 5.3.1. Opis ruba i središnjeg dijela

Oblik ruba (slika 12) bitna je karakteristika za taksonomsku odredbu rodova i vrsta. Prema osnovom omjeru odnosno omjeru dužine i širine rub može biti okrugao, relativno okrugao, široko eliptičan, eliptičan i izrazito eliptičan. Heterokokoliti također mogu biti i:

1. asimetrični zbog pojave krila (lokalna ekstenzija ruba) ili slične strukture
2. nepravilno eliptični
3. lećasti
4. duguljasti
5. poligonalni (s ravnim stranicama, npr. trokutasti)
6. bubrežasti (konkavno-konveksni)
7. prstenasti



Slika 12. Oblici i veličine kokolita (preuzeto iz YOUNG i sur., 1997)

Rubovi određenih heterokokolita mogu se sastojati od raznih dijelova. Stoga su isti bitan kriterij pri klasifikaciji te su prikazani tablično radi bolje preglednosti (tablica 1).

Tablica 1. Strukture ruba kokolita (YOUNG i sur., 1997)

<b>Ime strukture</b>	<b>Opis strukture</b>
<b>Štit</b>	široka (sub)horizontalna struktura (plakoliti)
<b>Cijev</b>	(sub)vertikalna struktura između dva štita (plakoliti)
<b>Zid</b>	(sub)vertikalna struktura nepovezana sa štitovima (muroliti)
<b>Obod</b>	(sub)vertikalno izbočenje na rubu
<b>Kruna</b>	

Uz oblik ruba, za identifikaciju vrsta bitan je i izgled središnjeg dijela. Središnji bio može biti otvoren pa se onda naziva središnji otvor. U tom otvoru mogu se pronaći neke od dolje opisanih struktura. Također, središnji dio može biti i zatvoren – tada se promatraju koje strukture koje su ga zatvorile

Strukture koje obuhvaćaju središnji otvor su (tablica 2):

Tablica 2. Strukture središnjeg otvora kokolita (YOUNG i sur., 1997)

<b>Ime strukture</b>	<b>Opis strukture</b>
<b>Prečka</b>	generalni naziv za svaku izduženu središnju strukturu; može biti uzdužna, poprečna ili krak
<b>Ruka</b>	dio prečke, mosta ili križa koji se proteže od središta do ruba središnjeg dijela
<b>Pokrivač</b>	prekriva manje elemente na distalnoj strani središta
<b>Most</b>	izdignuta šipka koja se proteže središtem
<b>Križ</b>	par poprečnih šipki sa središtem u centru;

	aksijalni (oblik znaka +), dijagonalni (oblik znaka x), nagnuti križ
<b>Noga</b>	šipka se proširuje u blizini ruba
<b>Bočna šipka</b>	ide od ruba pa do poprečne šipke

Strukture koje zatvaraju središnji dio su (tablica 3.):

Tablica 3. Strukture koje zatvaraju središnji dio (YOUNG i sur., 1997)

<b>Ime strukture</b>	<b>Opis strukture</b>
<b>Rešetka</b>	sustav prečki koje zatvaraju središnji otvor
<b>Mreža</b>	
<b>Ploča</b>	kontinuirana ili gotovo kontinuirana struktura koja zatvara središnji otvor
<b>Perforirana ploča</b>	ploča s perforacijama koja zatvara središnji otvor

### 5.3.2. Veličina, varijacije i očuvanost kokolita

Sljedeća bitna značajka jest veličina kokolita (slika 12). Veličinom se obično smatra maksimalna dimenzija kokolita u tlocrtu, primjerice duljina. S obzirom na veličinu dijele se na:

- i. izrazito mali  $<1 \mu\text{m}$
- ii. manji  $1-3 \mu\text{m}$
- iii. mali  $3-5 \mu\text{m}$
- iv. srednje veliki  $5-8 \mu\text{m}$
- v. veliki  $8-12 \mu\text{m}$
- vi. vrlo veliki  $>12 \mu\text{m}$

1. Primarne varijacije
  - a. normalna forma – tipičan oblik kokolita
  - b. abnormalna forma – odstupanje od tipičnog oblika prema jednom od navedenih načina:
    1. ontogenetska varijacija – varijacije razvojnog stadija kokolita
    2. teratološke malformacije – abnormalne forme zbog nepravilnog rasta
    3. stupanj kalcifikacije – količina biogenog kalcita; dijele se na:
      - a. slabo kalcificirane
      - b. normalno kalcificirane
      - c. prekalcificiran
2. Sekundarne alteracije – dijageneza i utjecaj vodenog stupca

Dvije su najčešće pojave:

1. otapanje
2. *overgrowth* (sekundarna kalcifikacija) koje se prema stupnjevima dijele na (tablica 4):

Tablica 4. Stupnjevi sekundarnih promjena – otapanja i sekundarne kalcifikacije, *overgrowth* (YOUNG i sur., 1997)

<b>Otapanje</b>		<b><i>Overgrowth</i></b>	
<b>E1</b> <b>slabo otapanje</b>	nazubljeni obrisi, djelomično otapanje nježnih stuktura	<b>O1</b> <b>lagani <i>overgrowth</i></b>	vidljiv <i>overgrowth</i> , ali bez prekrivanja karakteristika važnih za određbu vrste
<b>E2</b> <b>umjereno otapanje</b>	nazubljeni obrisi, djelomično otapanje nježnih stuktura	<b>O2</b> <b>umjereni <i>overgrowth</i></b>	mnogi elementi prekriveni

<b>E3</b>	fragmentacija, preostaju	<b>O3</b>	elementi potpuno
<b>snažno otapanje</b>	samo rezistentne vrste	<b>snažan overgrowth</b>	prekriveni, identifikacija vrlo ograničena

---

**Odlično sačuvane jedinke koje djeluju netaknuto označavaju se znakom X**

---

Vrlo često jedna pojava podrazumijeva drugu te se javljaju zajedno u uzorku. Ova podjela bitna je za rad na polarizacijskom mikroskopu dok je elektronska mikroskopija zahtijeva odličan stupanj sačuvanosti, dakle X, E1 ili O1.

### **5.3.3. Terminologija specifičnih grupa heterokokolita i nanolita važnih za eocen (YOUNG i sur., 1997)**

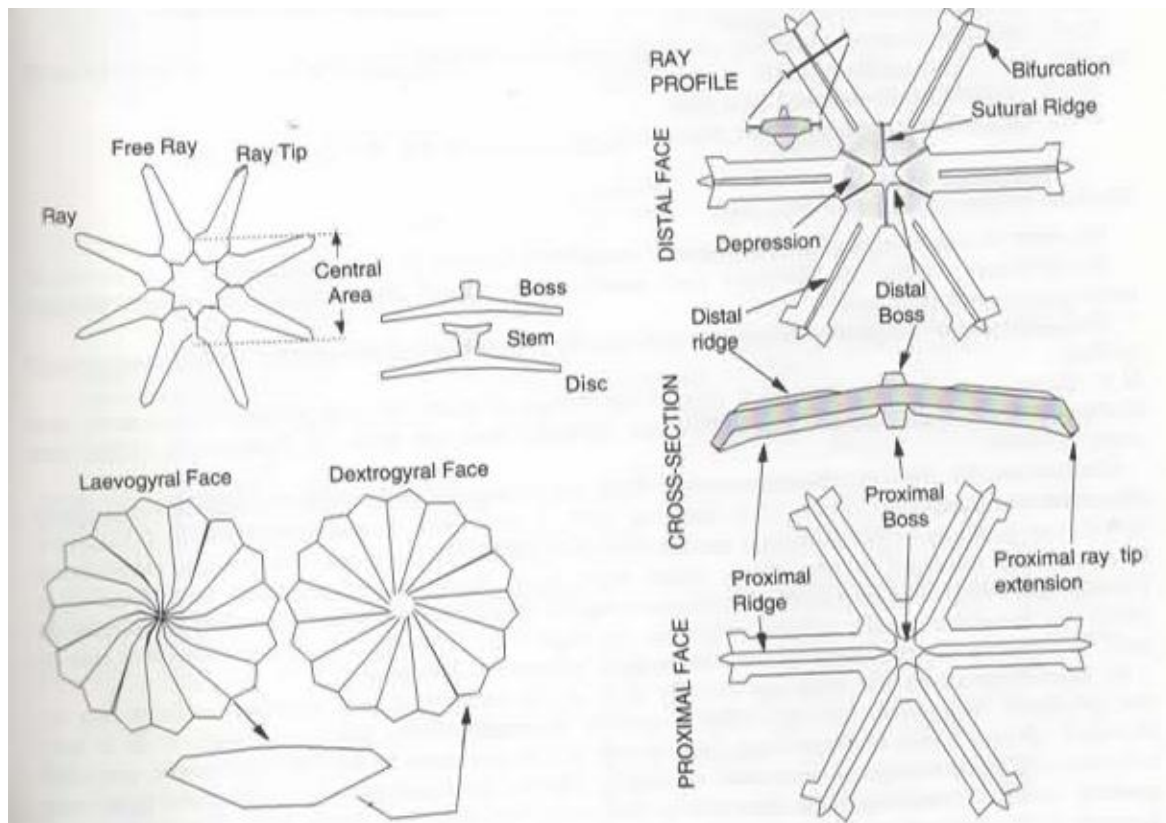
#### 1. Discoasteraceae (paleocen-pliocen)

Prema neslužbenom nazivu – *diskoasteri* su nanoliti koji pripadaju porodici Discoasteraceae. Nadalje, postoji neslužbena podjela na neogenske, zvijezdolike eu-diskoastere te paleogenske helio-diskoastere u obliku rozete.

Dijelovi diskoastera su:

1. disk – glavni dio diskoastera
2. krakovi – elementi diska
3. slobodni krakovi – dio zrake koja se pruža izvan centralnog dijela
4. vrh kraka – vanjski dio zrake
5. krak koji se račva u dva dijela
6. jednostavan krak (bez račvanja)
7. kontaktna površina – površina između susjednih elemenata
8. sutura



Slika 13. Dijelovi *Discoaster* sp. (YOUNG i sur.,1997)

## 2. Helicosphaeraceae (eocen-recentno) (slika 13)

Asimetrija helikosfera omogućuje precizniji opis orijentacije od drugih vrsta kokolita:

prednji kraj sadrži ishodište, obično širokog, ruba s izražajnim krilom. Ukoliko postoji, krilo se nalazi na lijevoj strani.

Važni za identifikaciju helikosfera su:

1. prečka koje može biti:
  - a. spojena s rubom
  - b. odvojena od ruba
  - c. normalno (desno) orijentirana

- d. inverzno (lijevo orijentirana)
2. pokrivač – masa elemenata koja tvori distalni pokrivač
3. obod – rub heliksfere (koristi se i izraz štit)
4. krilo i šiljak – proširenja oboda raznih oblika
5. ishodišna točka – prvi/najkraći element na proksimalnoj strani oboda
6. završetak – zadnji element distalnog dijela oboda

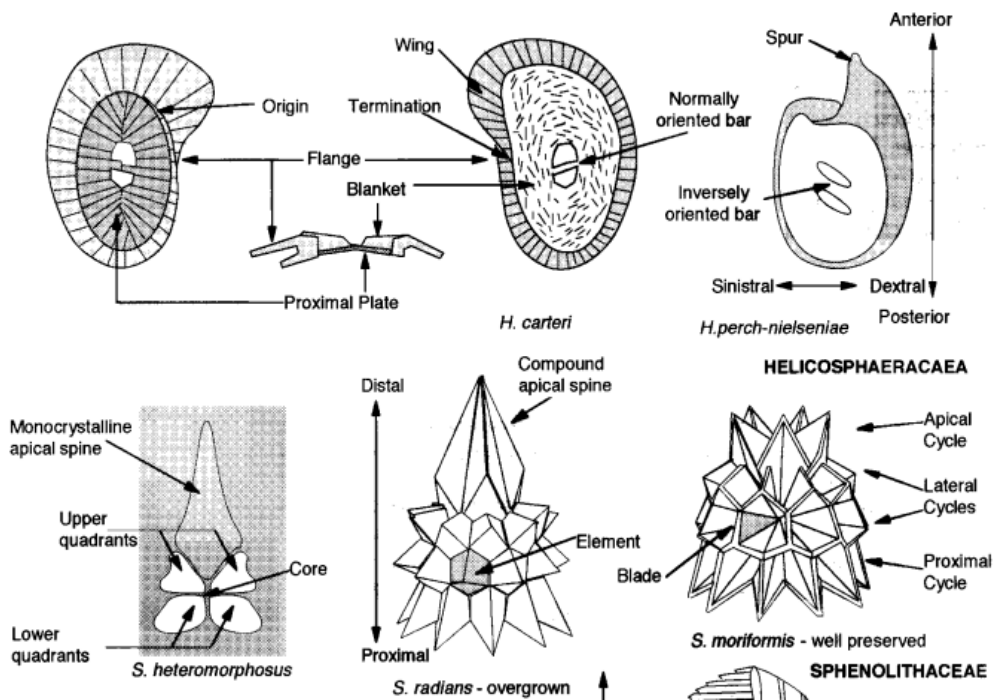
## 2. Sphenolithaceae (paleocen-pliocen) (slika 14)

Smatra se da je konkavni kraj sfenolita bazalni. Vršni ciklus gornji je dio sfenolita te se sastoji od strmo nagnutih elemenata koji mogu biti

- a. monokristalinski
- b. duokristalinski
- c. složeni

Elementi sfenolita su:

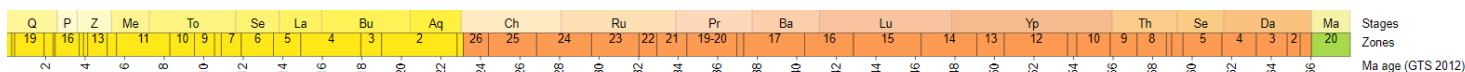
1. vršna bodlja – izduženi nastavak vršnog ciklusa
2. baza – cijeli sfenolit osim vršne bodlje
3. oštrica – jedan od tri podelementa: vidljiva samo u iznimno dobro očuvanim uzorcima
4. element – osnovna građevna jedinica sfenolita; jedan element je jedna kristalna jedinica
5. bočni ciklusi – ciklusi između gornjeg i proksimalnog ciklusa; nisu uvijek prisutni



Slika 14. *Helicosphaera* sp. i *Sphenolithus* sp. (preuzeto i modificirano prema YOUNG i sur., 1997)

## 6. Rezultati

S ciljem lakšeg snalaženja u pregledu taksonomije i opisa vrsta kokolitoforida određenih u sklopu ovog istraživanja dan je prikaz NP zona (*Palaeogene nannofossil zone* MARTINI (1971)) uz NN zone (*Neogene nannofossil zone* MARTINI (1971)) te kronostratigrafsku podjelu paleogena i neogena (slika 15).



Slika 15. Prikaz NP zona (*Palaeogene nannofossil zone* MARTINI (1971)), NN zona (*Neogene nannofossil zone* MARTINI (1971)) te kronostratigrafska podjela paleogena i neogena (preuzeto i prilagođeno s [https://www.mikrotax.org/system/index.php?taxon=Chiasmolithus%20grandis&module=ntax\\_cenozoic](https://www.mikrotax.org/system/index.php?taxon=Chiasmolithus%20grandis&module=ntax_cenozoic))

### 6.1. Taksonomija, sistematika i opisi značajnijih vrsta kokolitoforida (YOUNG i sur., 1997; Nannotax)

**Cartsvo CHROMISTA Cavalier-Smith, 1981**

**Odjel HAPTOPHYTA Hibberd ex Cavalier-Smith, 1986**

**Razred COCCOLITHOPHYCEAE Silva, 2007**

**Red COCCOLITHALES Schwarz 1932**

**Porodica COCCOLITHACEAE Poche, 1913 emend. Young i Bown, 1997**

**Rod *Coccolithus* Schwarz 1894**

***Coccolithus pelagicus* (Wallich 1877) Schiller, 1930**

(tabla 1, slika 10 i 11)

Opis: Eliptičan plakolit s otvorenim središnjim dijelom koji može sadržavati pregradu

Dimenzije: manji do veći (4-13  $\mu\text{m}$ )

Napomene: identificirane jedinice u ovom radu spadaju u manje jedinice (do 7  $\mu\text{m}$ ) *C. pelagicus* (PARENTE i sur, 2004)

Stratigrafski raspon: NP2-recentno

***Coccolithus miopelagicus* Bukry, 1971**

Opis: Vrlo veliki ovalni *Coccolithus* bez pregrade u središnjem dijelu i suženog otvora

Dimenzije: vrlo veliki s malim središnjim otvorom (14-20  $\mu\text{m}$ , obično 15-17 $\mu\text{m}$ )

Stratigrafski raspon: NP25-NN8

***Coccolithus eopelagicus* (Bramlette i Riedel, 1954) Hay, Mohler i Wade 1966**

Opis: kao *C. pelagicus*, ali vrlo velik

Dimenzije: >14 $\mu\text{m}$

Stratigrafski raspon: NP14-NP23 (Martini, 1971)

***Coccolithus formosus* (Kamptner, 1963) Wise, 1973**

Opis: okrugao *Coccolithus* s uskim središnjem dijelom

Dimenzije: 6->12  $\mu\text{m}$

Stratigrafski raspon: NP12-NP21

**Razred COCCOLITHOPHYCEAE Silva, 2007****Red COCCOLITHALES Schwarz 1932****Porodica COCCOLITHACEAE Poche, 1913 emend. Young i Bown, 1997****Rod *Chiasmolithus* Hay i sur., 1966*****Chiasmolithus grandis* Bramlette i Riedel, 1954**

(tabla 1, slika 12 i 13)

Opis: Vrlo veliki *Chiasmolithus* sa širokim centralnim dijelom te širokim, zakrivljenim prečkama koje čine oblik slova H. Uobičajeno pokazuje i četiri manja ispupčenja koji ulaze u središnji dio usporedno s glavnim osima.

Dimenzije: vrlo veliki (16->24  $\mu\text{m}$ )

Stratigrafski raspon: NP11-NP17

***Chiasmolithus solitus* (Bramlette and Sullivan, 1961) Locker, 1968**

(tabla 1, slika 14)

Opis: *Chiasmolithus* sa širokim centralnim dijelom i širokim dijagonalnim šipkama koje tvore oblik slova N

Dimenzije: 9->13µm

Stratigrafski raspon: NP9-NP16

**Razred COCCOLITHOPHYCEAE Silva, 2007****Red COCCOLITHALES Schwarz 1932****Porodica COCCOLITHACEAE Poche, 1913 emend. Young i Bown, 1997*****Campylosphaera* Kamptner, 1963*****Campylosphaera dela* (Bramlette i Sullivan, 1961) Hay i Mohler, 1967**

Opis: Plakoliti uskih rubova s aksijalnim križem u središnjem dijelu.

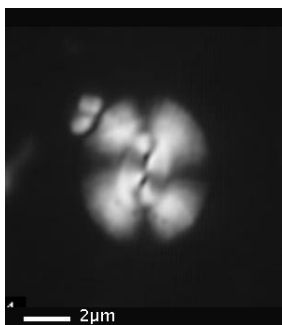
Dimenzije: 5->10µm

Stratigrafski raspon: NP6-NP17

**Red ISOCHRYSIDALES Pascher, 1910****Porodica NOELAERHABDACEAE Jerkovic, 1970****Rod *Reticulofenestra* Hay, Mohler i Wade, 1966*****Reticulofenestra bisecta* (Hay, Mohler i Wade, 1966) Roth, 1970**

(tabla 1, slika 2 i 5)

Opis: Eliptični kokoliti s *Reticulofenestra*-tipom strukture čiji je središnji dio zatvoren (slika 16)



Slika 16. *R. bisecta* – zatvoreni središnji dio (preuzeto s <https://www.mikrotax.org/Nannotax3/index.php?id=1154#gallery16>)

Dimenzija: srednji do veliki (~5-10  $\mu\text{m}$ )

Stratigrafski raspon: NP17-NN1

### ***Reticulofenestra stavensis* (Levin i Joerger, 1967) Varol, 1989**

(tabla 1, slika 6)

Opis: Veći eliptični kokoliti s *Reticulofenestra*-tipom strukture čiji je središnji dio zatvoren

Dimenzija: veliki do vrlo veliki (>10  $\mu\text{m}$ )

Stratigrafski raspon: NP17-NN1

### ***Reticulofenestra producta* (Kamptner 1963) Varol 1989**

(tabla 1, slika 1 i 4)

Opis: Manji eliptični kokoliti s *Reticulofenestra*-tipom strukture s gotovo zatvorenim središnjim dijelom osim proreza duž osi.

Dimenzija: mali (<5  $\mu\text{m}$ )

Napomena: prema originalnom opisu jedinke *R. producta* eliptičnog su oblika te omjer dužine i širine iznosi otprilike 1,34 te su zbog gore navedenih karakteristika prvi puta određene u eocenu u ovom radu

Dosadašnji stratigrafski raspon: neogen

***Reticulofenestra reticulata* (Gartner i Smith, 1967) Roth i Thierstein, 1972**

(tabla 1, slika 9)

Opis: tipično okrugli kokoliti *Reticulofenestra*-tipa s relativno uskim, okruglim središnjim dijelom i s vrlo izraženom, robusnom rešetkom.

Dimenzije: srednje do velike (~8-12 $\mu$ m)

Stratigrafski raspon: NP16-NP19/20

***Reticulofenestra erbae* (Fornaciari i sur., 2010) Bown i Newsam 2017**

Opis: Slična kao *R. reticulata*, ali sa širokim središnjim otvorom

Dimenzije: 7->11 $\mu$ m

Stratigrafski raspon: NP17-NP19/20

***Reticulofenestra umbilicus* (Levin, 1965) Martini i Ritzkowski, 1968**

(tabla 1, slika 16)

Opis: paleogenski eliptični kokoliti *Reticulofenestra*-tipa s otvorenim središnjim dijelom u kojem se nalazi nježna mreža, a koja najčešće nije vidljiva na LM-u.

Dimenzije: vrlo veliki (>14  $\mu$ m)

Stratigrafski raspon: NP16-NP22

***Reticulofenestra minuta* Roth, 1970**

(tabla 1, slika 3)

Opis: Izrazito mali eliptični kokoliti *Reticulofenestra*-tipa s tipično otvorenim središnjim dijelom. Međutim, mnogi primjerci na SEM-u pokazuju zatvoreni središnji dio, a koji se teško prepoznaje na LM-u. Stoga podaci sa SEM-a sugeriraju na značajnu raznolikost ove forme.

Dimenzije: vrlo mali (<3  $\mu$ m)

Stratigrafski raspon: NP13-NN16



***Cyclicargolithus floridanus* (Roth i Hay, u Hay i sur., 1967) Bukry, 1971**

(tabla 1, slika 8)

Opis: Subcirkularan do široko eliptičan kokolit *Reticulofenestra*-strukture s uskim središnjim dijelom. Proksimalni štit značajno manji od distalnog štita. Često dominira zajednicom.

Usporedba: Svrstavanje uzoraka većih od 11  $\mu\text{m}$  u *C. abisectus* nije obavezno, ali je biostratigrafski korisno jer se veće forme javljaju od oligocena do početka miocena.

Stratigrafski raspon: NP15-NN6

**Red DISCOASTERALES Hay, 1977****Porodica SPHENOLITHACEAE Deflandre 1952****Rod *Sphenolithus* Deflandre u Grassé, 1952*****Sphenolithus furcatolithoides* Locker, 1967**

(tabla 1, slika 17 i 18)

Opis: Mali sfenolit s duokristalinskom bodljom koja potamni pod  $45^\circ$ . Bodlje divergiraju netom iznad baze te su gotovo paralelne s bazom u donjem dijelu.

Dimenzije: 3-15  $\mu\text{m}$

Napomene: *S. furcatolithoides* je u proučavanim kokolitoforidnim zajednicama oba stupa prisutan kao raspršena vrsta s učestalostima do 3,91% u uzorku

Stratigrafski raspon: NP15-NP16

***Sphenolithus spiniger* Bukry, 1971**

(tabla 1, slika 15)

Opis: Mali do srednje veličine s kratkom bodljom, trokutastog oblika. Donji kvadranti su najveći, složena bodlja je tamna na  $0^\circ$ .

Dimenzije: 4->8  $\mu\text{m}$

Napomene: *S. spiniger* je u pronađen je u uzorcima J2 i JAK1 te je u proučavanju kokolitoforidnim zajednicama prisutan kao raspršena vrsta s učestalostima do 3,4% u uzorku

Stratigrafski raspon: NP14-NP17

### **Red DISCOASTERALES Hay, 1977**

#### **Porodica Porodica SPHENOLITHACEAE Deflandre 1952**

##### **Rod *Furcatolithus* Martini 1965, emend Howe 2021**

###### ***Furcatolithus celsus* (Haq 1971) Howe 2021**

Opis: Sličan kao *Sphenolithus predistentus* Bramlette i Wilcoxon, 1967, ali s vrlo visokom bodljom.

Dimenzije: 10-18  $\mu\text{m}$

Napomena: Vrsta je sada po prvi puta nađena i niže u području Jadrana

Stratigrafski raspon: NP19/20-NP22

###### ***Furcatolithus obtusus* (Bukry, 1971) Howe 2021**

Opis: Mali do srednje veliki s visokom bodljom i niskom bazom sačinjenom od trokutastih kvadranta. Bodlja je tamna pod  $0^\circ$ , a najsvjetlija pod  $45^\circ$ . Većina ih djeluje monokristalinsko dok su neke duokristalinske što vjerojatno ima veze s orijentacijom.

Dimenzije: 5- >12  $\mu\text{m}$

Stratigrafski raspon: NP17

**Neformalna grupa HOLOCOCOLITHS**

***Rod Zygrhablithus Deflandre, 1959***

***Zygrhablithus bijugatus (Deflandre u Deflandre i Fert, 1954) Deflandre, 1959***

Opis: Holokokolit u obliku štapa s malim bazalnim diskom

Dimenzije: 5->16 µm

Stratigrafski raspon: NP9-NN1

## 6.2. Analitika zajednice vapnenačkog nanoplanktona

Proučavane kokolitoforidne zajednice obilježene su iznimnim bogatstvom vrsta. U uzorcima je određeno ukupno 55 vrsta s najvećim brojem u uzorku J2 (55 vrsta). Zajednicama dominiraju vrste *R. producta*. (predstavlja 25% zajednice) i *R. bisecta* (gradi 21% zajednice).

Popis određenih vrsta je prikazan u Prilogu 1. Jednostavnosti radi, pretaložene vrste prikazane su u zasebnoj tablici.

### 6.2.1. Geološki stup Jakomići 1

Analizom uzorka J2 određeno 55 vrsta. U uzorku J3 identificirano je 50 vrsta. Kako bi se odredila zastupljenost pojedinih vrsta, u uzorku J2 izbrojeno je 555 jedinki u transektu dok je uzorku J3 izbrojano 409 jedinki. Najučestalije vrste u uzorcima J2 i J3 prikazane su u tablicama 5 i 6.

Tablica 5. Najučestalije vrste u uzorku J2

VRSTA	UČESTALOST
<i>Reticulofenestra bisecta</i>	Učestala vrsta (21%)
<i>Reticulofenestra producta</i>	Učestala vrsta (17%)
<i>Cyclicargulithus floridanus</i>	Manje učestala (10%)
<i>Coccolithus pelagicus</i>	Rijetko zastupljena (8%)

Tablica 6. Najučestalije vrste u uzorku J3

VRSTA	UČESTALOST
<i>Reticulofenestra bisecta</i>	Učestala (18%)
<i>Reticulofenestra producta</i>	Manje učestala (15%)
<i>Coccolithus pelagicus</i>	Rijetko zastupljena (8%)
<i>Reticulofenestra minuta</i>	Rijetko zastupljena (7%)
<i>Zygrhablithus bijugatus</i>	Rijetko zastupljena (7%)
<i>Cyclicargolithus floridanus</i>	Rijetko zastupljena (6%)

Jedinke u uzorku J2 su dobro očuvane. Kod nekih primjeraka *Reticulofenestra* sp. moguće je čak uočiti i mrežu u središnjem dijelu. U uzorku J3 pronađene su i ascidijanske spikule kao i mnogo fragmentiranih primjeraka kokolitoforida što ukazuje da je zajednica slabo očuvana. U oba uzorka prisutno je otapanje kokolita i naknadna kalcifikacija (*overgrowth*).

### 6.2.2. Geološki stup Jakomići II

U uzorku JAK1 određene su 43 vrste, dok su u uzorku JAK3 određene 52 vrste. U uzorku JAK1 izbrojano je 408 primjeraka, a u uzorku JAK3 498 u jednom transektu. Najučestalije vrste u uzorcima JAK1 i JAK3 prikazane su u tablicama 7 i 8.

Tablica 7. Najučestalije vrste u uzorku JAK1

VRSTA	UČESTALOST
<i>Reticulofenestra producta</i>	Učestala (25%)
<i>Reticulofenestra bisecta</i>	Učestala (18%)
<i>Cyclicargolithus floridanus</i>	Manje učestala (10%)
<i>Coccolithus pelagicus</i>	Rijetko zastupljena (5%)

Tablica 8. Najučestalije vrste u uzorku JAK3

VRSTA	UČESTALOST
<i>Reticulofenestra producta</i>	Manje učestala (15%)
<i>Reticulofenestra bisecta</i>	Manje učestala (12%)
<i>Coccolithus pelagicus</i>	Manje učestala (11%)
<i>Cyclicargolithus floridanus</i>	Rijetko zastupljena (9%)
<i>Zygrhablithus bijugatus</i>	Rijetko zastupljena (8%)
<i>Reticulofenestra minuta</i>	Rijetko zastupljena (6%)
<i>Coccolithus formosus</i>	Rijetko zastupljena (5%)

Uzorak JAK1 predstavljen je malim i zbijenim jedinkama dok su veće forme fragmentirane. U uzorcima JAK1 i JAK3 otapanje i sekundarna kalcifikacija (*overgrowth*) su izraženiji nego u uzorcima J2 i J3 te su i ovim uzorcima pronađene ascidijanske spikule.

### 6.3. Biostratigrafija

Dana je preciznija regionalna podjela Mediterana po FORNACIARI i sur., 2010 na temelju indeks i zonskih fosila, koji su kronostratigrafski dokumentirani na području Mediterana (slika 17).

Martini, 1971		Agnini et al., 2014		Fornaciari et al., 2010 i ovaj rad	
Zone	Definition	Zone	Definition	Zone/ Subzone	Definition
	<i>E. formosa</i>	CNE01	<i>E. formosa</i> CRZ		
34	NP21	CNE21	<i>H. compacta</i> PRZ	MNP21B	<i>E. formosa</i> <i>E. obruta</i> acme
35		CNE20	<i>D. saipanensis</i> TZ	MNP21A	
36	NP20	CNE19	<i>C. isabellae</i> / <i>C. reticulatum</i> CRZ	MNP20	<i>D. saipanensis</i> <i>C. reticulatum</i>
37	NP19	CNE18	<i>I. recurvus</i> PRZ	MNP19	<i>I. recurvus</i> LCO
38	NP18	CNE17	<i>C. erbae</i> TRZ	MNP18B	<i>C. isabellae</i> LO
39	NP17	CNE16	<i>C. grandis</i> PRZ	MNP18A	<i>C. erbae</i> AE <i>C. erbae</i> AB
40		CNE15	<i>D. bisectus</i> / <i>S. obtusus</i> CRZ	MNP17B	<i>S. obtusus</i>
41	NP16			MNP17A	<i>S. obtusus</i>
42				MNP16Bc	<i>S. spiniger</i> HCO
	<i>C. solitus</i>			MNP16Bb	<i>D. bisectus</i> LCO
	<i>R. gladius</i>			MNP16Ba	<i>S. furcatholitoideis</i>
				MNP16A	

Slika 17. Korelacijska tablica standardne zonacije (MARTINI. 1971), globalne zonacije (AGNINI i sur., 2014), regionalne zonacije (FORNACIARI i sur., 2010) i ovog rada

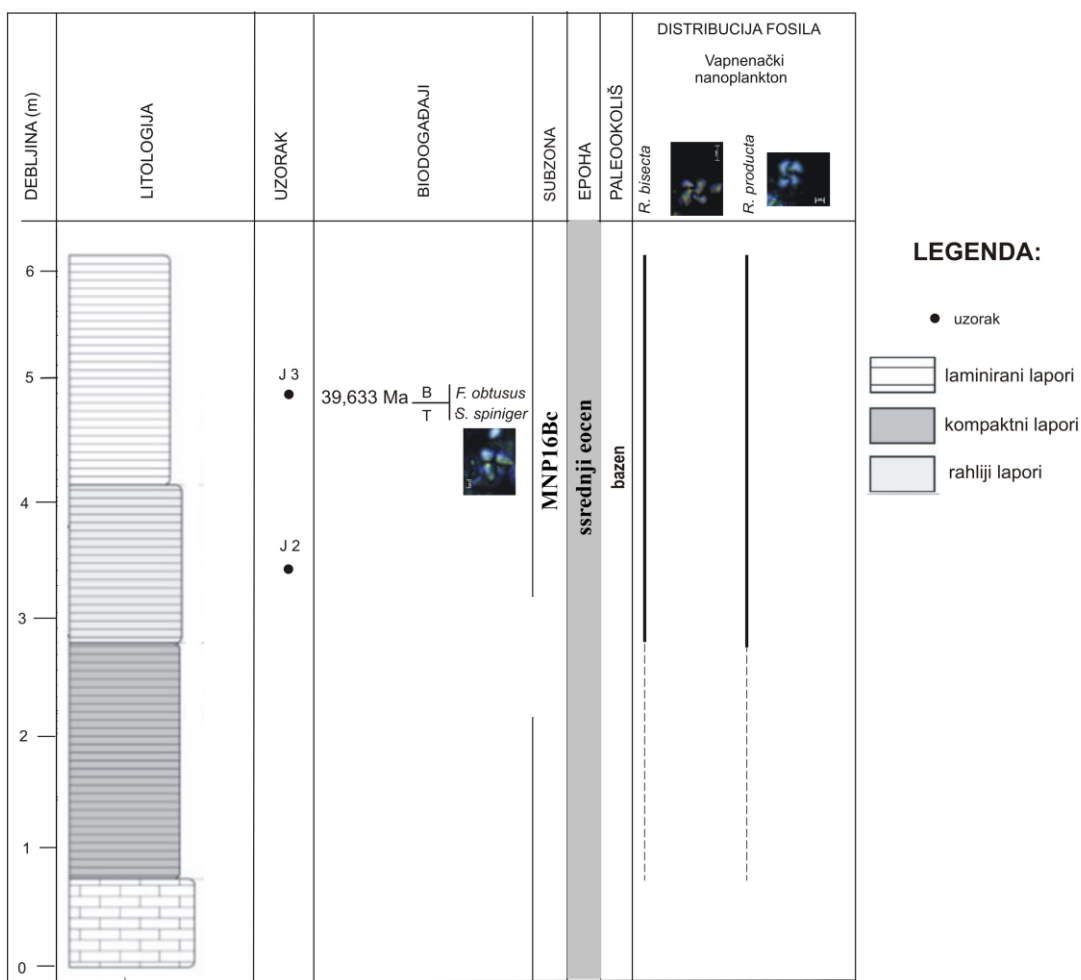
Zona MNP16B (FORNACIARI i sur., 2010) predstavljena je intervalnom zonom vrsta *S. furcatholitoideis* i *Sphenolithus obtusus*. Podzona MNP16Ba definirana je zadnjom pojavom *S. furcatholitoideis* i prvom učestalom pojavom *R. bisecta*. Podzona MNP16Bb definirana je prvom učestalom pojavom *R. bisecta* i zadnjom učestalom pojavom *S.*

*spiniger*. Podzona MNP16Bc definirana je zadnjim učestalim pojavljivanjem *S. spiniger* i prvim pojavljivanjem *F. obtusus*.

Zona MNP17A definirana je prvom i zadnjom pojavom *F. obtusus*.

### 6.3.1. Geološki stup Jakomići 1

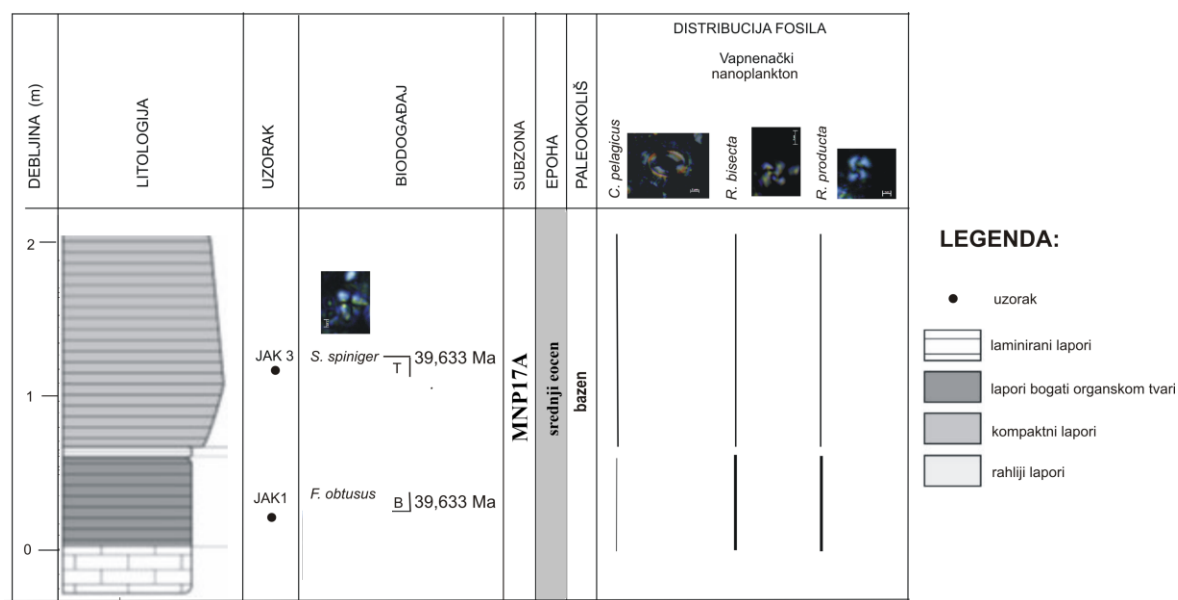
U gornjem dijelu stupa Jakomići 1, točnije u uzorku J3, prvo pojavljivanje (*base* - B) *F. obtusus* (39,633 mil. god.) se poklapa sa zadnjim pojavljivanjem (*top* - T) *S. spiniger* (39,633 mil. god.) (slika 17). Stoga je određena zona podzona MNP16Bc (slika 18) kojoj pripada starost donjeg bartona.



Slika 18. Prikaz biogađaja u stupu Jakomići I na temelju kojih je određena podzona MNP16Bc

### 6.3.2. Geološki stup Jakomići II

Prva pojava *F. obtusus* (39,633 mil. god.) u donjem dijelu stupa Jakomići II (uzorak JAK1) definira bazu podzone MNP17A što potvrđuje i zadnja pojava *S. spiniger* (39,633 mil. god.) u gornjem dijelu stupa Jakomići II (uzorak JAK3) (slika 19). Pripadajuća starost je gornji barton.



Slika 19. Prikaz biodogađaja u stupa Jakomići II na temelju kojih je određena baza podzone MNP17A



## 7. Rasprava

### 7.1. Biostratigrafija

U korelacijskoj tablici (slika 16) prikazane su standardne zonacije prema MARTINI (1971), revidirane globalne zonacije prema AGNINI i sur. (2014), regionalne zonacije za Mediteran prema FORNACIARI i sur. (2010) te rezultati dobiveni u ovom radu (slika 18 i 19).

Zona NP17 (Martini 1971) definirana je zadnjom pojavom vrste *Chiasmolithus solitus* (Bramlette i Sullivan, 1961) Locker, 1968 i prvom pojavom vrste *Chiasmolithus oamaruensis* (Deflandre, u Deflandre i Fert, 1954) HAY i sur., 1966.

Zona CNE15 (AGNINI i sur., 2014) definirana je kao konkurentna zona vrsta *Reticulofenestra bisecta* i *Sphenolithus obtusus*.

Prvom pojavom *F. obtusus* (39,633 mil. god.) te zadnjom pojavom *S. spiniger* (39,633 mil. god.) u gornjem dijelu stupa Jakomići I određena je podzona MNP16Bc Mediteranske zonacije prema FORNACIARI i sur. (2010) koja se poklapa s NP17 zonom standardne zonacije prema MARTINI (1971) i CNE15 zonom globalne zonacije prema AGNINI i sur. (2014).

Nadalje, prvom pojavom *F. obtusus* (39,633 mil. god.) u donjem dijelu stupa Jakomići II te zadnjom pojavom *S. spiniger* (39,633 mil. god.) u gornjem dijelu stupa Jakomići II određena je baza podzone MNP17A Mediteranske zonacije prema FORNACIARI i sur. (2010) koja se poklapa s NP17 zonom standardne zonacije prema Martini (1971) i CNE15 zonom globalne zonacije prema AGNINI i sur. (2010). Stoga je zaključeno da se granica MNP16Bc/MNP17A podzona nalazi u donjem dijelu stupa Jakomići II. Također, zadnja pojavljivanja *S. spiniger* opažena su gotovo istovremeno u sjevernom Atlantiku (39,804 mil. god.) (PÄLIKE i sur., 2001).

## 7.2. Paleoekologija

U ovom su radu prepoznate dvije faze MECO-a: MECO CIE i post-MECO (D'ONOFRIO i sur., 2021)

Vrsta *R. bisecta* (do 21%) koja dominira kokolitoforidnom zajednicom naslaga geološkog stupa Jakomići I prilagođena je toplim i eutrofičnim uvjetima (PERSICO i VILLA, 2004; VILLA i sur., 2008), te u ovom slučaju ukazuje na CIE fazu srednjeg eocenskog klimatskog optimuma (D'ONOFRIO i sur., 2021). CIE faza srednje eocenskog klimatskog optimuma obilježena je negativnim vrijednostima  $\delta^{13}\text{C}$  i značajnim porastom temperatura (SPOFFORTH i sur., 2010; D'ONOFRIO i sur., 2021). Nadalje, za CIE fazu srednjeg eocenskog klimatskog optimuma karakteristična je povećana eutrofikacija u okolišu. Povećan donos, ali i kvaliteta hranjivih tvari utjecala je na smanjenje količine dostupnog kisika na morskome dnu (GIORGIONI i sur., 2019; D'ONOFRIO i sur., 2021). Smatra se da su visoke temperature i eutrofikacija pridonijeli prvoj čestoj i kontinuiranoj pojavi vrste *R. bisecta* čija su pojavljivanja bila sporadična prije srednje eocenskog klimatskog optimuma (D'ONOFRIO i sur., 2021).

Kokoliti vrste *R. producta* (do 25%) su najbrojniji u kokolitoforidnoj zajednici istraživanih naslaga geološkog stupa Jakomići II. Njihovo prisustvo ukazuje na tople i nešto pliće, mezotrofične okoliše (WADE i BOWN, 2006) karakteristične za fazu nakon završetka srednje eocenskog klimatskog optimuma (post-MECO). Za interval nakon srednje eocenskog klimatskog optimuma karakteristično je smanjenje učestalosti vrste *S. spiniger*, te njegovo izumiranje (D'ONOFRIO i sur., 2021). Predstavnici vrste *S. spiniger* prisutni su u kokolitoforidnim zajednicama oba dva stupa i grade svega 3,4% zajednica što je u skladu sa smanjenjem učestalosti navedene vrste tijekom post-MECO faze. Rod *Sphenolithus* sp. indikator je toplih, oligotrofnih mora (BRALOWER, 2002; VILLA i sur., 2008). Uz vrstu *S. spiniger*, prisutni su pripadnici vrste *S. furcatolithoides* s udjelom u naslagama do 3,91%. Također, u zajednicama su pronađeni kokoliti vrste *C. pelagicus*-mali morfotip (do 7  $\mu\text{m}$ ) koji sugerira na mogući utjecaj hladnije vode post-MECO faze te s njom povezane povremene eutrofikacije (PARENTE i sur., 2004). Pripadnici vrste *C. pelagicus* čine do 11% udjela u zajednici post-MECO faze.

U modernim oceanima, glavnu ulogu u formiranju kokolitoforidnih zajednica imaju temperatura te količina dostupnih nutrijenata. No, teško je interpretirati funkciju temperature i količine hranjivih tvari kada je riječ o fosilnim zajednicama kokolitoforida.

Ipak, gore navedeni podaci mogli bi sugerirati da je na istraživanom području postojala nutriklina. Nutriklina predstavlja oceanski sloj u kojem dostupnost nutrijenata varira ovisno o dubini vodenog stupca. Istraživanom kokolitoforidnom zajednicom dominiraju eutrofične vrste predstavljene vrstom *R. bisecta* i mezotrofične vrste (*R. producta*) koje ukupno čine 46% zajednice. Jedinke vrste *C. pelagicus*, točnije njegov mali morfotip povezan je s eutrofikacijom u okolišu kao i s donosom hladne (gušće) vode. Pripadnici vrsta *R. bisecta* i *C. pelagicus* naseljavali su dio morskog stupca ispod nutrikline i njihova brojnost svjedoči o okolišu bogatom nutrijentima i mogućeg donosa hladne vode. *R. producta* živjela je u središnjem dijelu nutrikline (mezotrofni sloj), dok su se iznad nalazili brojni pripadnici vrste *Sphenolithus* spp. kao pokazatelji oligotrofičnog okoliša. Prisutnost hladnovodnog *C. pelagicus* i toplovodnih vrsta *R. bisecta*, *R. producta* i *Sphenolithus* spp. sugerira na postojanje termokline koja se nalazila ispod nutrikline. Termoklina je oceanski sloj u kojem se naglo mijenja temperatura vode. Pripadnici hladnovodne vrste *C. pelagicus* živjeli su ispod termokline, a jedinke toplovodnih vrsta *R. bisecta*, *R. producta* i *Sphenolithus* spp. živjeli su iznad termokline.

Pojavu nutrikline moguće je povezati s regresivnim trendom uočenom u stupu Jakomići I i Jakomići II, a koji se prati lateralnim promjenama naslaga. Povećanje učestalosti plitkovodne *Reticulofenestra producta*, pojava organske tvari kao i ascidijanskih spikula u stupu Jakomići II govori o nešto plićem okolišu taloženja u odnosu na prostor u kojem nastaju naslage stupa Jakomići I. Tamo postojanje laminiranih lapora upućuje na mirnije, dublje okoliše. Budući da su stupovi Jakomići I i Jakomići II danas udaljeni 382,47 m znači da su postojale lateralne promjene u geometriji (uključujući i batimetriju) u okolišu taloženja. Upravo zbog oplićavanja u okolišu, na proučavanom području bio je povećan donos s kontinenta, a samim time i donos hranjivih tvari koji je mogao uzrokovati i formiranje nutrikline (ZACHOS i sur., 1996, SALAMY i ZACHOS, 1999; GIORGIONI i sur., 2019).

## 8. Zaključak

U okolici mjesta Jakomići snimljena su dva geološka stupa Jakomići I i Jakomići II. Ukupno četiri uzorka lapora pripremljena su laboratorijskom metodom karakterističnom za madstone bogate organskom tvari kako bi se opisale (taksonomija i raznolikost) zajednice vapnenačkog nanoplanktona. Najveće bogatstvo vrsta određeno je u uzorku J2 gdje je identificirano 55 vrsta kokolitoforida. Uzorak J2 odlikuje se dobro sačuvanim kokolitoforidnim jedinkama, dok su u uzorcima J3, JAK1 i JAK3 jedinke kokolitoforida oštećene, vidljivo je otapanje i naknadna kalcifikacija..

Podzona MNP16Bc stupa Jakomići I određena je na temelju prve pojave vrste *F. obtusus* (39,633 mil. god.) te potvrđena zadnjim pojavama *S. spiniger* (39,633 mil. god.) u uzorku J3. Korelacijom sa standardnom zonacijom, podzona MNP16Bc pripada zoni NP17 te globalnoj zoni CNE15, odnosno kronostratigrafski to odgovara donjem bartonu.

Na temelju prve pojave *F. obtusus* u uzorku JAK1 te zadnje pojave *S. spiniger* u uzorku JAK3 određena je podzona MNP17A koja odgovara NP17 zoni, te zoni CNE15 u globalnom kontekstu. Stoga je zaključeno da se granica podzona MNP16Bc/MNP17A nalazi u donjem dijelu stupa Jakomići II, za razliku od stupa Jakomići I gdje je sama granica zahvaćena u gornjem dijelu stupa.

Kokolitoforidnim zajednicama naslaga u stupu Jakomići I dominira vrsta *R. bisecta* s udjelom od 21% u zajednici sa učestalim *R. producta* koja predstavlja 25% zajednice naslaga stupa Jakomići II. *R. bisecta* indikator je toplih i eutrofičnih okoliša i upućuje na CIE fazu srednje eocenskog toplinskog optimuma dok brojnost *R. producta* ukazuje tople i nešto pliće, mezotrofične okoliše karakteristične za post-MECO period. Nadalje, mali morfotip (do 7  $\mu\text{m}$ ) *C. pelagicus* koji predstavlja udio u zajednicama do 11% post-MECO faze također je povezan s eutrofikacijom, koja je najvjerojatnije posljedica oplićavanja i kopnenog utjecaja, i mogućim donosom hladnije vode. Rod *Sphenolithus* spp. prilagođen je oligotrofiji te su pripadnici ovog roda pronađeni u naslagama oba proučavana stupa s udjelom u naslagama do 3,91%.

Gore navedene ekološke preferencije spomenutih vrsta sugeriraju na postojanje nutrikline tijekom bartona (CIE) u području istraživanja. Pripadnici eutrofičnih vrsta *C. pelagicus* i *R. bisecta* nastanjivali su dio vodenog stupca ispod nutrikline, mezotrofična *R. producta* živjela je u središnjem dijelu, a jedinke roda *Sphenolithus* spp. prilagođene oligotrofiji obitavali su u dijelu vodenog stupca iznad nutrikline. S obzirom da je *C.*

*pelagicus* hladnovodna vrsta, a *R. bisecta*, *R. producta* i *Sphenolithus* spp. toplovodne vrste, može se zaključiti da je ispod nutrikline bila razvijena i termoklina. Dio vodenog stupca ispod termokline naseljavao je hladnovodan *C. pelagicus*, a prostor iznad nutrikline su naseljavali toplovodne vrste *R. bisecta*, *R. producta* i *Sphenolithus* spp.

Prisutnost nutrikline može se povezati s oplicavanjem u okolišu koji se prati lateralno s obzirom na malu udaljenost (382,47 m) stupova Jakomići I i Jakomići II. Pojava organske tvari te izraženija prisutnost ascidijanskih spikula u stupu Jakomići II upućuje na oplicavanje u odnosu na stup Jakomići I u kojem su laminirani lapori govore o mirnijim i dubljim okolišima. Povećan donos materijala s kontinenta uslijed oplicavanja objašnjava povremene veće koncentracije hranjivih tvari u vodenom stupcu te posljedično i formiranje nutrikline.

## 9. Literatura

- AGNINI, C., FORNACIARI, E., RAFFI, I., CATANZARITI, R., PÄLIKE, H., BACKMAN, J., RIO, D. (2014): Biozonation and biochronology of Paleogene calcareous nannofossils from low and middle latitudes. *Newsletters on Stratigraphy*, 47, 131-181.
- BABIĆ, L., HERNITZ-KUČENJAK, M., ČORIĆ, S., ZUPANIČ, J. (2007): The Middle Eocene age of the supposed Late Oligocene sediments in the flysch of the Pazin Basin (Istria, Outer Dinarides). *Nat. Croat. Period. Musei Hist. Nat. Croat.* 16, 83–103.
- BENIĆ, J. (1975): Paleogeniski nanofosili Hrvatskog primorja (od Istre do Ravnih Kotara). Neobjavljeni Diplomski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 82 str.
- BENIĆ, J. (1991): The age of the Istria flysch deposits based on calcareous nannofossils. U: Introduction to the Paleogene SW Slovenia and Istria Field-Trip Guidebook IGCP Project 286 'Early Paleogene Benthos', 2nd Meeting, Postojna.
- BERGANT, S., TIŠLJAR, J., ŠPARICA, M. (2003): Field trip guidebook: evolution of depositional environments from the palaeozoic to the quaternary in the Karst Dinarides and the Pannonian Basin. 22nd IAS Meeting of Sedimentology 57 – 64.
- BOWN, P.R., DUNKLEY JONES, T. (2012): Calcareous nannofossils from the Paleogene equatorial Pacific (IODP Expedition 320 Sites U1331-1334). *J. Nannoplankton Res.*, 32, 3–51.
- BOWN, P.R., YOUNG, J.R. (1998): Introduction, U: Bown, Paul R. (Ur.): Calcareous Nannofossil Biostratigraphy. Springer Netherlands, Dordrecht, 1-16.
- BOWN, P.R., LEES, J.A., YOUNG, J.R. (2004): Calcareous nannoplankton evolution and diversity through time, U: Thierstein, H.R., Young, J.R. (Ur.): Coccolithophores. Springer, Berlin, Heidelberg, 481–508.
- BUKRY, D. (1973): Low-latitude coccolith biostratigraphic zonation. U: Edgar, N. T., Saunders, J. B. i sur., Initial Reports DSDP 15, Washington (U. S. Govt. Printing Office), 685–703.
- BRALOWER, T.J. (2002): Evidence of surface water oligotrophy during the Paleocene-Eocene thermal maximum: Nannofossil assemblage data from Ocean Drilling Program Site 690, Maud Rise, Weddell Sea (vol 17, pg 1023, 2002) - art. no. 1060. *Paleoceanography*, 17(4): 1060.
- CROS, L. (2001): Planktonic Coccolithophores of the NW Mediterranean. University of Barcelona, Barcelona, 365.
- ČORIĆ, S., BABIĆ, L., HERNITZ-KUČENJAK, M., ZUPANIČ, J. (2008): Conflicting dating of the coastal Dinaric flysch, and implications: Eocene or Miocene? The case of north Dalmatia and Istria. *Geophysical Research Abstracts*. 10.
- ČOSOVIĆ, V., DROBNE, K., MORO, A. (2004): Paleoenvironmental model for Eocene foraminiferal limestones of the Adriatic carbonate platform (Istrian Peninsula). *Facies*, 50, 61 – 75.
- D'ONOFRIO, R., ZAKY, A.S., FRONTALINI, F., LUCIANI, V., CATANZARITI, R., FRANCESCANGELI, F., GIORGIONI, M., COCCIONI, R., ÖZCAN, E., JOVANE, L. (2021): Impact of the Middle Eocene Climatic Optimum (MECO) on

- Foraminiferal and Calcareous Nannofossil Assemblages in the Neo-Tethyan Baskil Section (Eastern Turkey): Paleoenvironmental and Paleoclimatic Reconstructions. *Appl. Sci.* 11.
- DROBNE, K., PAVLOVEC, R., ŠIKIĆ, L., BENIĆ, J. (1979): Excursion F, Pićan, Istria-Cuisian, Lutetian. 16th europ. micropaleontol. colloq., 177 – 184.
- FARINACCI, A. (1969): Catalogue of calcareous nannofossils. Tecnoscienza, Roma.
- FARINACCI, A. I HOWE, R.W. (1969-2022): The Farinacci & Howe Catalog of Calcareous Nannofossils. Vols 1-26.
- FORNACIARI, E., AGNINI, C., CATANZARITI, R., RIO, D., BOLLA, E., VALVASONI, E. (2010): Mid-Latitude calcareous nannofossil biostratigraphy and biochronology across the middle to late Eocene transition. *Stratigraphy* 7, 229–264.
- GALOVIĆ, I. (2017): Sarmatian calcareous nannofossil assemblages in the SW Paratethyan marginal marine environments: Implications for palaeoceanography and the palaeoclimate. *Progress in Oceanography*, 156, 209–220.
- GIORGIONI, M., JOVANE, L., REGO, E.S., RODELLI, D., FRONTALINI, F., COCCIONI, R., CATANZARITI, R., ÖZCAN, E. (2019): Carbon cycle instability and orbital forcing during the Middle Eocene Climatic Optimum. *Scientific Reports*, 9, 9357.
- HOWE, R. (2021). Ultrastructure and taxonomy of the family Sphenolithaceae. *Journal of Nannoplankton Research*. 39(1), 29-75.
- JORDAN, R. (2002): Environmental applications of calcareous nannofossils. U: Haslett, S.K. (Ur.): Quaternary Environmental Micropaleontology. Oxford University Press, New York, 185–206.
- KANUNGO, S., YOUNG, J., SKOWRON, G. (2017): Microfossils: calcareous nannoplankton (nannofossils). U: Sorkhabi, R. (Ur.): Encyclopedia of Petroleum Geoscience. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Cham, 1-18.
- MARTINI, E. (1971): Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation. U: Farinacci, A. (Ur.): Proceedings 2nd International Conference Planktonic Microfossils Roma: Rome (Ed. Tecnosci.) 2, 739–785.
- MIKES, T., BÁLDI-BEKE, M., KÁZMÉR, M., DUNKL, I., VON EYNATTEN, H. (2008): Calcareous nannofossil age constraints on Miocene flysch sedimentation in the Outer Dinarides (Slovenia, Croatia, Bosnia-Herzegovina and Montenegro). *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* 298, 335–363.
- PARENTE, A., CACHÃO, M., BAUMANN, K.-H., ABREU, L., FERREIRA, J. (2004): Morphometry of *Coccolithus pelagicus* s.l. (Coccolithophore, Haptophyta) from offshore Portugal, during the last 200 kyr. *Micropaleontology* 50, 107–120.
- PÄLIKE, H., SHACKLETON, N.J., RÖHN, U. (2001): Astronomical forcing in late Eocene marine sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, 193, 589–602.
- PERCH-NIELSEN, K. (1985a): Mesozoic calcareous nannofossils. U: Bolli HM, Saunders JB, Perch-Nielsen K. (Ur.): *Plankton Stratigraphy*. Cambridge University Press, 329–426.
- PERCH-NIELSEN, K. (1985b): Cenozoic calcareous nannofossils. U: Bolli HM, Saunders JB, Perch-Nielsen K (Ur.): *Plankton Stratigraphy*. Cambridge University Press, 427–554.

- PERSICO, D. I VILLA, G. (2004): Eocene–Oligocene calcareous nannofossils from Maud Rise and Kerguelen Plateau/Antarctica): Paleocological and paleoceanographic implications. *Marine Micropaleontology*, 52, 153–179.
- PERSICO, D., SUCCO, A., MITTEMPERGER, S., STORTI, F., PICCININI, E., VILLA, G. (2020): Calcareous nannofossil biostratigraphy of the External Dinarides flysch (Vrčić-Staravasa Pag Island, Croatia): A key to an Eocene tectono-stratigraphic and paleoenvironmental interpretation. *Geological Journal*, 55, 4656–4669.
- PICCOLI, G., PROTO DECIMA, F. (1969): Ricerche biostratigrafiche sui depositi flyshoidi della regione Adriatica settentrionale e orientale. *Memorie degli Istituti di Geologia Mineralogia dell'Università di Padova*, 1 – 23.
- RAFFI, I., AGNINI, C., BACKMAN, J., CATANZARITI, R. (2016): A Cenozoic calcareous nannofossil biozonation from low and middle latitudes: A synthesis. *Journal of Nannoplankton Research*, 36, 121–132.
- SALAMY, K. i ZACHOS, J.C. (1999): Latest Eocene-Early Oligocene climate change and Southern Ocean fertility: Inferences from sediment accumulation and stable isotope data. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 145, 61–77.
- SHAMROCK, J.L., MUÑOZ, E.J., CARTER, J.H. (2015): An improved sample preparation technique for calcareous nannofossils in organic-rich mudstones. *Journal of Nannoplankton Research*, 35 (2), 101-110.
- SHEPHERD, C., KULHANEK, D., HOLLIS, C. (2014): Eocene nannofossil biostratigraphy of the mid-Waipara river section, Canterbury Basin, New Zealand: Preliminary results. *Rendiconti online della Società Geologica Italiana*, 197-198.
- SPOFFORTH, D. J. A., AGNINI, C., PÄLIKE, H., RIO, D., FORNACIARI, E., GIUSBERTI, L., LUCIANI, V., LANCI, L., MUTTONI, G. (2010): Organic carbon burial following the middle Eocene climatic optimum in the central western Tethys, *Paleoceanography*, 25, PA3210.
- STRADNER, H. (1962): Über das fossile Nannoplankton des Eözan-Flysch von Istrien. *Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt*, Jg. 1962, 176–186.
- ŠIKIĆ, D., POLŠAK, A., MAGAŠ, N. (1969): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Labin L 33-101. Institut za geološka istraživanja Zagreb (1958-1967), Savezni geološki zavod, Beograd.
- ŠIKIĆ, D., POLŠAK, A. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Labin L 33-101.- Institut za geološka istraživanja Zagreb (1963), Savezni geološki zavod, Beograd.
- ŠPARICA, M., KOCH, G., IBRAHIMPAŠIĆ, H., GALOVIĆ I., BERGANT, S. (2005): New data to the Paleogene stratigraphy of the clastic carbonate bed in SE Istria, Croatia. U: I. Velić, I. Vlahović, R. Biondić (Ur.): Third Croatian Geological Congress. Abstract book. Croatian Geological Survey, Zagreb
- VELIĆ, I., TIŠLJAR, J., MATIČEC, D. & VLAHOVIĆ, I. (1995): A review of the geology of Istria. First Croatian Geological Congress. 21 – 30.
- VILLA, G., FIORONI, C., PEA, L., BOHATY, S. I PERSICO, D. (2008): Middle Eocene-late Oligocene climate variability: Calcareous nannofossil response at Kerguelen Plateau, Site 748. *Marine Micropaleontology*, 69, 173-192.
- VILIČIĆ, D. (2002): Fitoplankton Jadranskoga mora. Školska knjiga, Zagreb, 247 str.



- VLAHOVIĆ, I., TIŠLJAR, J., VELIĆ, I., MATIČEC, D. (2005): Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: Palaeogeography, main events and depositional dynamics. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 220, 333 – 360.
- ŽIVKOVIĆ, S. i BABIĆ, LJ. (2003): Paleoceanographic implications of smaller benthic and planktonic foraminifera from the Eocene Pazin Basin (Coastal Dinarides, Croatia). *Facies*, 49, 49 – 60.
- WADE, B.S., BOWN, P.R. (2006): Calcareous nannofossils in extreme environments: The Messinian Salinity Crisis, Polemi Basin, Cyprus. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 233, 271–286.
- ZACHOS, J.C., QUINN, T., SALAMY, K. (1996): High-resolution (104 years) deep-sea foraminiferal stable isotope records of the Eocene-Oligocene climate transition. *Paleoceanography*, 11, 251–266.
- YOUNG, JR., BOWN, PR. (1997): Cenozoic calcareous nannoplankton classification. *Journal of Nannoplankton Research*, 19, 36–47.

Internetski izvori:

Google karte

<Nannotax - Introduction> (mikrotax.org)

[https://www.mikrotax.org/system/index.php?taxon=Chiasmolithus%20grandis&module=ntax\\_cenozoic](https://www.mikrotax.org/system/index.php?taxon=Chiasmolithus%20grandis&module=ntax_cenozoic)

<https://www.mikrotax.org/Nannotax3/index.php?id=1154#gallery16>

**10. Table****TABLA 1**

**Coccolithaceae: *Coccolithus*, *Chiasmolithus***  
**Noelaerhabdaceae: *Reticulofenestra*, *Cyclicargolithus***

**Nanoliti: Fasciculithaceae, Sphenolithaceae**

Slika 1,4 *Reticulofenestra producta* (Kamptner) Varol, LM, uzorak J2

Slika 2,5 *Reticulofenestra bisecta* (Hay, Mohler i Wade) Roth, LM, uzorak JAK3

Slika 3 *Reticulofenestra minuta* Roth, LM, uzorak J3

Slika 6 *Reticulofenestra stavensis* (Levin i Joerger Varol, LM, uzorak J3

Slika 7 *Reticulofenestra dictyoda* (Deflandre u Deflandre i Fert) Stradner u Stradner i Edwards, LM, uzorak J2

Slika 8 *Cyclicargolithus floridanus* (Roth i Hay, u Hay i sur.) Bukry, LM, uzorak JAK3

Slika 9 *Reticulofenestra reticulata* (Gartner i Smith) Roth i Thierstein, LM, uzorak J2

Slika 10-11 *Coccolithus pelagicus* (Wallich) Schiller, SEM, LM, uzorak J2

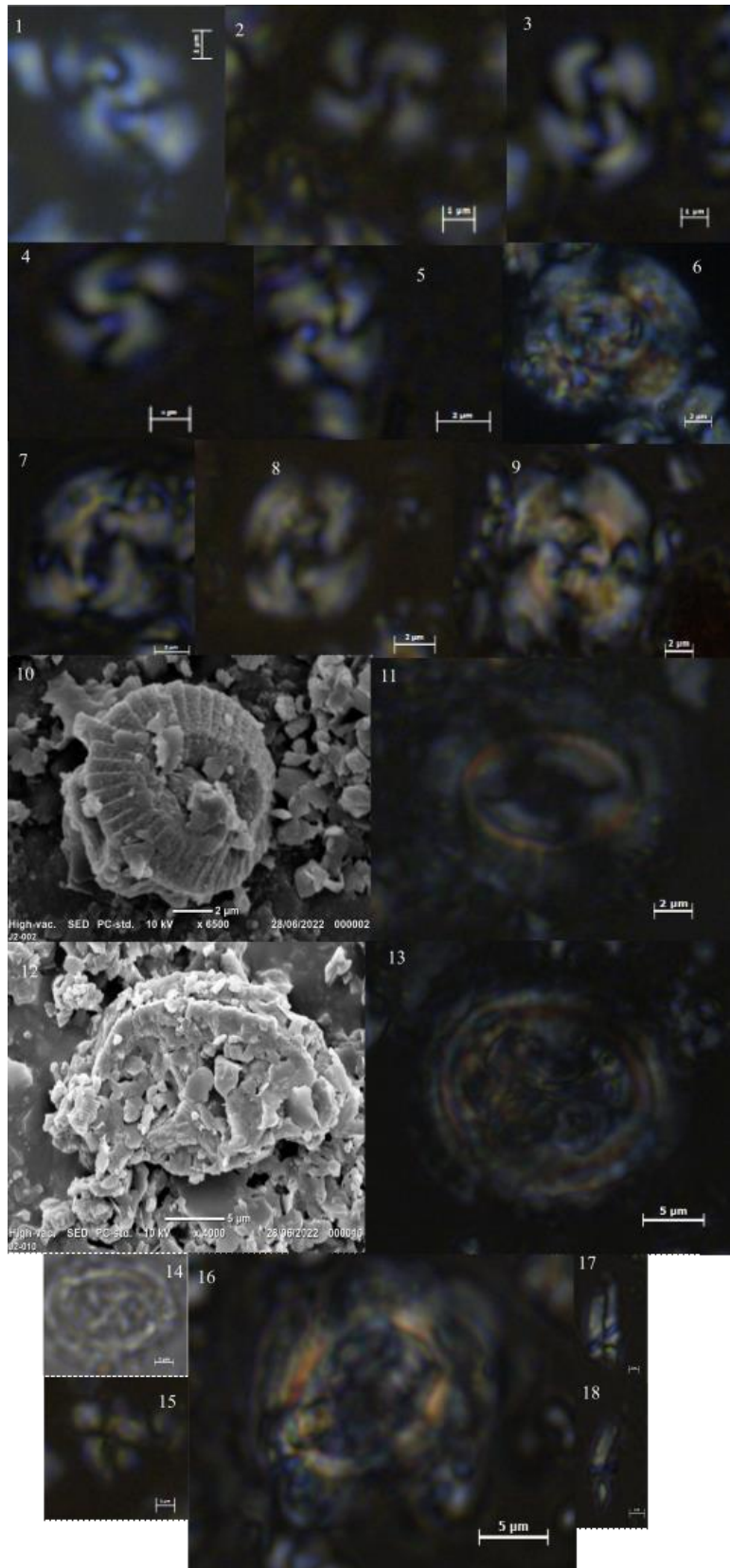
Slika 12-13 *Chiasmolithus grandis* (Bramlette & Riedel) Radomski, SEM, LM, uzorak JAK3

Slika 14 *Chiasmolithus solitus* (Bramlette and Sullivan) Locker, LM, uzorak J3

Slika 15 *Sphenolithus spiniger* Bukry, LM, uzorci JAK1 i JAK3

Slika 16 *Reticulofenestra umbilicus* (Levin) Martini i Ritzkowski, LM, uzorak J2

Slika 17-18 *Sphenolithus furcatolithoides* Locker, LM, uzorak J2



## 10. Prilozi

## PRILOG 1 Popis vrsta kokolitoforida

	uzorci	uzorci
JAK3	+	+
JAK1	+	+
J3	+	+
J2	+	+
	<i>Planolithus mihaljovicii</i>	<i>Blackites gladius</i>
+	<i>Pontosphaera exilis</i>	<i>Blackites inversus</i>
+	<i>Pontosphaera multipora</i>	<i>Blackites spiculiformis</i>
+	<i>Pontosphaera plana</i>	<i>Blackites spinosus</i>
+	<i>Pontosphaera pulchra</i>	<i>Blackites tenuis</i>
+	<i>Pontosphaera versa</i>	<i>Blackites tortilis</i>
+	<i>Pontosphaera</i> sp.	<i>Braarudosphaera bigelowii</i>
JAK3	12	<i>Braarudosphaera nerramlini</i>
JAK1	18	<i>Campylospira dela</i>
J3	18	<i>Chiasmolithus eoaltus</i>
J2	21	<i>Chiasmolithus grandis</i>
	<i>Reticulofenestra bisecta</i>	<i>Chiasmolithus modestus</i>
+	<i>Reticulofenestra daviesii</i>	<i>Chiasmolithus nitidus</i>
+	<i>Reticulofenestra dichoda</i>	<i>Chiasmolithus solitus</i>
+	<i>Reticulofenestra erbae</i>	<i>Chiasmolithus</i> spp.
+	<i>Reticulofenestra flevicizii</i>	<i>Clausicoccus fenestratus</i>
+	<i>Reticulofenestra hillaie</i>	<i>Clausicoccus vanheckiae</i>
+	<i>Reticulofenestra lockeri</i>	<i>Coccolithus braarudii</i>
+	<i>Reticulofenestra minuta</i>	<i>Coccolithus cachaot</i>
+	<i>Reticulofenestra perplexa</i>	<i>Coccolithus cf. crassus</i>
+	<i>Reticulofenestra producta</i>	<i>Coccolithus eopelagicus</i>
17	<i>Reticulofenestra reticulata</i>	<i>Coccolithus formosus</i>
+	<i>Reticulofenestra stavenisii</i>	<i>Coccolithus miopelagicus</i>
+	<i>Reticulofenestra umbilicus</i>	<i>Coccolithus tenuiforatus</i>
+	<i>Reticulofenestra wadeae</i>	<i>Cripticocolithus kilauii</i>
+	<i>Reticulofenestra westerholdii</i>	<i>Cripticocolithus filigranus</i>
+	<i>Reticulofenestra</i> sp.	<i>Cyclicocolithus floridanus</i>
+	<i>Rhabdosphaera</i> spp.	<i>Diascoaster multiradiatus</i>
+	<i>Sphenolithus conicus</i>	<i>Diascoaster nodifer</i>
+	<i>Sphenolithus furcatalithoides</i>	<i>Diascoaster spinescens</i>
+	<i>Sphenolithus milanetti</i>	<i>Diascoaster</i> spp.
+	<i>Sphenolithus moriformis</i>	<i>Furcatolithus celsus</i>
+	<i>Sphenolithus pseudoradians</i>	<i>Furcatolithus cuneatus</i>
+	<i>Sphenolithus radians</i>	<b>Furcatolithus obtusus</b>
+	<b><i>Sphenolithus spinger</i></b>	<i>Furcatolithus predistertus</i>
+	<i>Sphenolithus strigosus</i>	<i>Helicosphaera bramlettei</i>
+	<i>Sphenolithus</i> spp.	<i>Helicosphaera compacta</i>
+	<i>Syracosphaera tanzanensis</i>	<i>Helicosphaera lophota</i>
+	<i>Syracosphaera</i> sp.	<i>Helicosphaera</i> sp.
+	<i>Triquetrorhabdolithus challengeri</i>	<i>Lanternithus minutus</i>
+	<i>Towenii gemmatton</i>	<i>Micrantholithus flos</i>
+	<i>Umbilicosphaera bramlettei (larger)</i>	<i>Pemma</i> sp.
+	<i>Umbilicosphaera detecta</i>	<i>Planolithus mihaljovicii</i>
+	<i>Umbilicosphaera protoannulus</i>	
+	<i>Zygababolithus bijugatus</i>	
+	pretaloženi	
+	6 bogalstvo vrsta	
55	52	
	43	
	50	
	55	

**PRILOG 2** Popis pretaloženih vrsta kokolitoforida

uzorci	pretaložene vrste
JAK3	gK <i>Watzaneuria</i> sp. (2); gPC-dE <i>Chiasmolithus</i> sp., Pc <i>Neochiastocyclus</i> sp. (3), Yp <i>Campylosphaera eroskayi</i> , E <i>Blackites gladius</i> , <i>Coccolithus crassus</i> (3)
JAK1	gK <i>Arkhangelskiella</i> sp. (9); <i>Amphicyclus</i> sp. (4); E <i>Sphenolithus editus</i> , <i>Coccolithus crassus</i> (2)
J3	gK <i>Staurolithes dibrachiatatus</i> ; Pc <i>Neochiastocyclus</i> sp. (2); Pc-dE <i>Cruciplacolithus latipons</i> (3); dE <i>Blackites cf. truncatus</i> (2) i <i>Sphenolithus editus</i> (2)
J2	Pc <i>Cruciplacolithus</i> spp.(2); <i>Tribrachiatatus lunatus</i> E1 (2), <i>Discoaster multiradiatus</i>