

# Mikropaleontološke i granulometrijske karakteristike sedimentata slane močvare na ušću rijeke Mirne

---

Križnjak, Kristina

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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:217:351255>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-18**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Kristina Križnjak

**MIKROPALEONTOLOŠKE I  
GRANULOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE  
SEDIMENATA SLANE MOČVARE NA UŠĆU  
RIJEKE MIRNE**

Diplomski rad

Zagreb, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOLOŠKI ODSJEK

Kristina Križnjak

**MIKROPALEONTOLOŠKE I  
GRANULOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE  
SEDIMENATA SLANE MOČVARE NA UŠĆU  
RIJEKE MIRNE**

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

Mentori:  
Prof. dr. sc. Vlasta Čosović  
dr. sc. Igor Felja

Zagreb, 2020 godina.

## *Zahvale*

prof. dr. sc. Vlasti Čosović na mentorstvu, savjetima i pomoći tijekom izrade ovog rada, te na podršci, ljubaznosti i razumijevanju kroz čitav studij, cijelo vrijeme ste bili profesionalni i stručni, a opet posebno dragi i susretljivi, veliki ste mi uzor u životu i motivirali ste me za daljnji napredak u znanosti

dr. sc. Igoru Felji na mentorstvu, usmjeravanju, zabavnom terenskom istraživanju, pomoći u pripremi uzoraka i pri izradi ovog rada, te na podršci i suradnji kroz cijeli studij

Roditeljima (posebno mojoj mami, koja mi je najveća potpora kroz čitav život), bratu i dečku koji su uvijek bili uz mene i imali puno strpljenja i podrške tijekom svih godina studiranja, pogotovo tijekom pisanja ovog rada

Marini i Natali na suradnji, podršci i pomoći tijekom izrade ovog rada, te na predivnom druženju i dugogodišnjem prijateljstvu tijekom svih godina studija

Prijateljima i kolegama s kojima sam provela prekrasne trenutke koji su uljepšali i olakšali studiranje

Beri i ostaloj ekipi na druženju, odličnim kavama i motivaciji svih ovih godina

Hvala Vam!!

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Diplomski rad

## MIKROPALEONTOLOŠKE I GRANULOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE SEDIMENATA SLANE MOČVARE NA UŠĆU RIJEKE MIRNE

**Kristina Križnjak**

**Rad je izrađen:** Rad je izrađen na Geološko-paleontološkom zavodu Geološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb, Republika Hrvatska

### **Sažetak:**

Istraživani su sedimenti u slanoj močvari na ušću rijeke Mirne u Istri. Terenska istraživanja sastojala su se od plitkog jezgrovanja sedimenta na profilu od kopna prema moru. Na odabranim intervalima sedimentnih jezgara provedena je granulometrijska i mikropaleontološka analiza. U tu svrhu svaki odabrani uzorak je podijeljen za analizu mokrim sijananjem i sedigrafom, te za mikropaleontološko standardiziranje uzoraka za određivanje rodova i vrsta foraminifera i druge prateće biote. Rezultati granulometrijske analize potvrdili su sitnozrnati karakter i vrlo lošu sortiranost sedimenta u svih sedam jezgri, mikropaleontološkom obradom pronađeno je 8 foraminiferskih vrsta i 14 rodova. Za slanu močvaru sitnozrnati muljeviti sedimenti i mala raznolikost zajednice tipične su karakteristike s obzirom na nestabilnost takvog okoliša. Najbrojnija vrsta je *Ammonia tepida*, a veliku zastupljenost ima *Trochammina inflata*, vrste koje su rasprostranjene obalnim močvarama širom svijeta. Vrijednosti indeksa bioraznolikosti slijede manje promjene u osobinama okoliša kako prostorno tako i kroz vrijeme.

**Ključne riječi:** Mirna, slana močvara, *Ammonia tepida*, *Trochammina inflata*, mulj, indeksi bioraznolikosti

**Rad sadrži:** 45+XVII stranica, 22 slike, 10 tablica, 58 literaturnih navoda, 4 table i 3 priloga

**Jezik izvornika:** hrvatski

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

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

dr. sc. Igor Felja

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

dr.sc. Igor Felja

prof. dr. sc. Nenad Tomašić

**Datum završnog ispita:** 13. studenog, 2020.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geology

Master's Thesis

### MICROPALEONTOLOGICAL AND GRANULOMETRIC CHARACTERISTICS OF SALT MARSH SEDIMENTS FROM THE MIRNA RIVER MOUTH

Kristina Križnjak

**Thesis completed in:** Division of Geology and Paleontology, Department of Geology, Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb, Croatia

**Abstract:**

Seven shallow cores were collected in a salt marsh at the mouth of Mirna River in Istria along the land-to-sea transect. Granulometric and micropaleontological analysis were performed at selected intervals of each sediment core. The cores were sliced into 2 cm thick intervals, and selected samples were subjected to wet sieving and sedigraph analysis, whereas for micropaleontological studies, determination of foraminiferal genera and species and other accompanying biota were done on standardized aliquots. The results of the granulometric analysis confirmed the fine-grained character and the very poor sediment sorting in all 7 cores. Altogether, 8 foraminiferal species and 14 genera have been identified. The salt marsh is characterized by muddy sediments and low biodiversity (due to unstable conditions). The most common species is *Ammonia tepida*, followed by *Trochammina inflata*, both species are universally present in marshes all over the world. Values of biodiversity indices show some changes in characteristics of environment, both spatial and temporal.

**Keywords:** Mirna River, salt marsh, *Ammonia tepida*, *Trochammina inflata*, mud, indices of biodiversity

**Thesis contains:** 45+XVII pages, 22 figures, 10 tables, 58 references, 4 plates and 3 appendices

**Original in:** Croatian

**Thesis deposited in:** Central Geological Library, Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac 102a

**Supervisors:** PhD, Vlasta Čosović, Full Professor,  
PhD, Igor Felja

**Reviewers:** PhD, Vlasta Čosović, Full Professor  
PhD, Igor Felja  
PhD, Nenad Tomašić, Full Professor

**Date of the final exam:** November 13th, 2020.

**Sadržaj**

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. GEOGRAFSKE I GEOLOŠKE OSOBINE ISTRAŽIVANOG TERENA.....</b>	<b>3</b>
<b>3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA.....</b>	<b>6</b>
3.1. Terenske metode .....	6
3.2. Laboratorijske metode .....	8
3.2.1. Granulometrijska metoda .....	10
3.2.2. Mikroskopska metoda .....	13
3.3. Kabinetske metode .....	14
3.3.1. Granulometrijske osobine .....	14
3.3.2. Mikropaleontološke osobine .....	14
<b>4. REZULTATI.....</b>	<b>18</b>
4.1. Granulometrijska analiza .....	18
4.2. Mikropaleontološka analiza.....	21
<b>5. RASPRAVA.....</b>	<b>32</b>
<b>6. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>36</b>
<b>7. LITERATURA .....</b>	<b>37</b>
<b>8. Popis slika u tekstu.....</b>	<b>43</b>
<b>9. Popis tablica u tekstu .....</b>	<b>45</b>
<b>10. TABLE .....</b>	<b>VI</b>
<b>11. PRILOZI.....</b>	<b>XIV</b>

## 1. UVOD

Ušće rijeke Mirne klasificirano je kao „catch-up“ estuarij prema Cooper *et al.*, 2011, sa završnom fazom progradacije delte unutar ušća (Felja, 2017). To je vrlo promjenjiv i nestabilan okoliš sa specifičnom zajednicom organizama i procesima taloženja. Nestabilnost u takvom okolišu predstavljaju morske mijene i kontakt slatke i slane vode koji utječu kako na distribuciju, brojnost i raznolikost organizama koji nastanjuju pojedine dijelove ušća tako i na taložne procese. Slana močvara (Slika 1) je predmet istraživanja u okviru ovog diplomskog rada, ali i rada na znanstveno-istraživačkom projektu vezanom za (paleo)ekološka istraživanja u sjevernom Jadranu (projekt HRRZ IP-2019-04-5775).

Terenska opažanja otkrivaju, a prijašnja istraživanja dokazuju, kako je dno sastavljeno od sitnozrnatog sedimenta (mulj) koji je mjestimično prekriven vegetacijom. Živi svijet koji se pronalazi u slanim močvarama je raznovrstan, a od velike važnosti su foraminifere, jednostanični organizmi iz razreda korjenonožaca, koje mogu biti brojne i raznovrsne. Za ovo istraživanje od važnosti su bentičke foraminifere koje žive na morskom dnu, kao epifauna (na sedimentu ili na fragmentima skeleta ili litoklastima ili na vlatima trave/talusima alga) ili u sedimentu (infauna). Njihova istraživanja (taksonomija, paleoekologija) temelje se na prepoznavanju tipa stijenki koja može biti perforatna (staklasta ili laminirana), imperforatna (porculanasta) ili aglutinirana, a većinom je kalcitnog mineralnog sastava.

Usporedimo li spoznaje o taloženju i distribuciji jednostaničnih organizama (osobito foraminifera) istočna obala Jadrana slabo je istražena u odnosu na zapadnu obalu. Tek poneki rad donosi listu publikacija i geografsko pojavljivanje foraminifera (Ćosović *et al.*, 2011), te više radova koji opisuju pojedina područja (Alfirević, 1998, Cimerman *et al.*, 1988, Vaniček *et al.* 2000, Ćosović *et al.*, 2016, Vidović *et al.*, 2009, Popadić *et al.* 2013). Istočna obala Jadrana opisana je kao visoka i stjenovita obala na kojoj nedostaju plaže (Barić *et al.* 2008; Kelletat, 2005; Kelletat & Scheffers, 2005, Pikelj & Juračić, 2013). Prema Thornton *et al.* (2000), obalna geomorfologija je rezultat količine donosa sedimenta, obalnih procesa, klime, relativne razine mora i ljudskih aktivnosti. Istočna obala Jadrana je uglavnom krško područje međutim mjestimično se nalaze i flišolike eocenske naslage. Upravo ušće rijeke Mirne, odnosno istraživano područje odlikuju takve naslage, točnije izmjena lapora, mulja, pješčenjaka i karbonata koji su lako erodirani i promjenjivi utjecajem mora i same rijeke Mirne.



Cilj diplomskog rada bio je opisati sastav i karakteristike sedimenta i pripadajuću foraminifersku zajednicu u području slane močvare U tu svrhu provedeno je uzorkovanje plitkih jezgara na 7 mjesta, uzorci su laboratoriju obrađeni u svrhu prepoznavanja granulometrijskih osobina, sastava, brojnosti i raznolikosti zajednice te stupnju očuvanja.

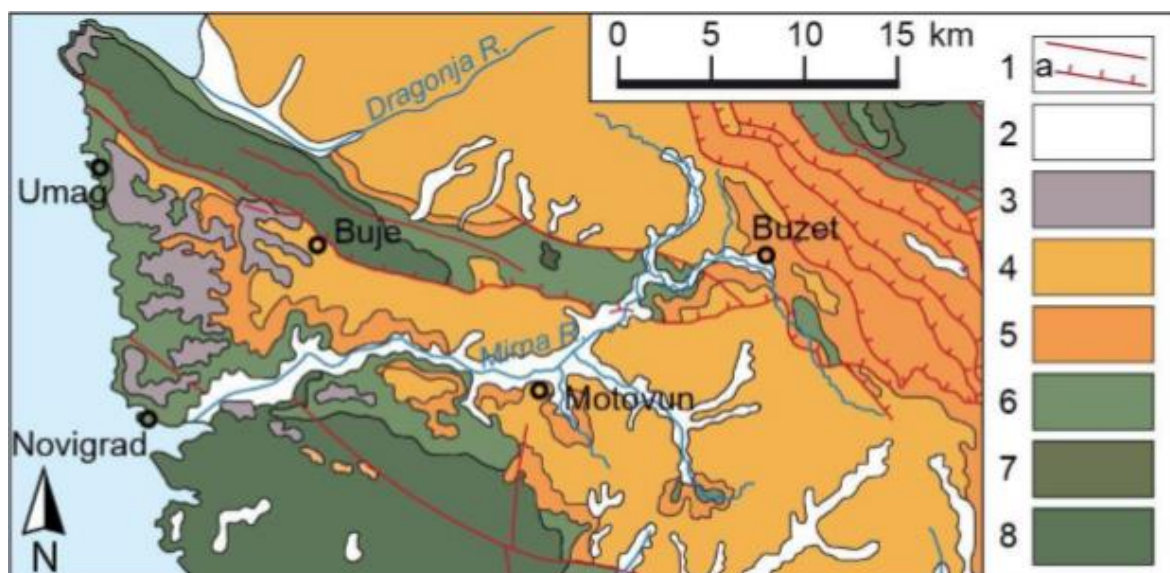


Slika 1. Satelitska snimka istraživanog područja (Google Earth, <https://earth.google.com/web/@45.32078397,13.60570008,-1.56267201a,3153.97545766d,30y,0h,0t,0r>)

## 2. GEOGRAFSKE I GEOLOŠKE OSOBINE ISTRAŽIVANOG TERENA

Rijeka Mirna (tal. Quietò), predstavlja najduži površinski vodotok u Istri; duga je 53 km. Izvire razgranato u jugozapadnom dijelu Ćićarije na visini od 250 m u flišnim, pretežno nepropusnim naslagama. Izvorište se nalazi nešto južnije od Huma i zaseoka Erkovčići. Od područja gdje izvire do Buzeta rijeka Mirna ima kanjonski tok, koji se nakon Buzeta spušta u dolini na 49 m nadmorske visine. Zatim od Buzeta do ušća u Jadransko more kraj Novigrada, tok rijeke vrlo je miran zbog blagog pada, te je rijeka vjerojatno po tome dobila ime. Nizvodno od Buzeta dolina rijeke se proširuje u naplavnu ravnicu te je mjestimično široka oko 1 km, a ponegdje i šira (Istrapedia).

Geološke karakteristike i građa Istre najviše se opisuju u kartama i tumačima listova Osnovne geološke karte. Ti podaci davno su objavljeni i prikazuju rezultate istraživanja do sredine 1970. godina. Stratigrafski odnosi, tektonika, mineralne sirovine i povijest stvaranja terena područja Istre opisane su u šest tumača OGK: Pula (Polšak, 1970), Cres (Magaš, 1973), Rovinj (Polšak & Šikić, 1973), Labin (Šikić & Polšak, 1973), Trst (Pleničar *et al.*, 1973) i Ilirska Bistrica (Šikić & Pleničar, 1975). Na osnovu dosadašnjih istraživanja područje Istre ubrajamo u Vanjske Dinaride, u područje kojem su vapnenci najrasprostranjeniji, a koji su se taložili na Jadransko-Dinaridskoj karbonatnoj platformi od donje jure do eocena (Velić *et al.*, 2002). Litološki, područje Istre izgrađuju plitkomorske karbonatne stijene raspona od srednja/gornja jura do eocena, eocenski klastiti – fliš s debelo-uslojenim vapnenačkim brečama. Te naslage mogu se podijeliti u četiri sedimentacijske cjeline sa stratigrafskim rasponima: 1) bat – donji kimeridž, 2) gornji titon – gornji apt, 3) gornji alb – donji kampan, 4) paleocen – eocen, koje su međusobno odijeljene emerezijama različitog trajanja (Velić *et al.*, 1995). Na geološku građu Istarskog poluotoka snažan utjecaj imali su krški procesi koji su uzrokovali stvaranje složene i dobro razvijene podzemne cirkulacije vode, stoga rijeka Mirna uz površinski orografski bazen ima i hidrogeološki sliv procijenjen na otprilike 580 km<sup>2</sup> (Božičević, 2005; Felja *et al.*, 2015). Deltna ravnica rijeke Mirne najveća je u istočnom dijelu sjevernog Jadranskog područja, te je još od kraja 19. stoljeća privlačila pažnju povjesničara, arheologa i geografa zbog svojih ekoloških, povijesnih i prostornih karakteristika (Carre *et al.*, 2007; D'Incà, 2007), međutim geomorfološki i geološki slabo je istražena. Rijeka Mirna protječe kroz karbonatne naslage (Slika 2), većinom su to kredni i eocenski vapnenci, te klastične eocenske naslage (Polšak & Šikić, 1963; Pleničar *et al.*, 1965).



Slika 2. Geološka karta sjeverno-zapadnog dijela Istre (modificirano prema Geološkoj karti Hrvatske 1: 300 000, Hrvatski geološki zavod, 2009.); 1. Rasjed, 1a. Navlaka, 2. Kvartarne naslage (uglavnom holocen), 3. *Terra rosa* naslage (holocen), 4. Naslage fliša (eocen), 5. Liburnijske naslage, foraminiferski vapnenci i prijelazne naslage (paleocen ?, eocen), 6. Rudistni vapnenac (kreda), 7. Dolomiti i breče (kreda), 8. Vapnenci i dolomiti (kreda) (Felja *et al.*, 2015)

Razvoj (geomorfološke osobine) obale povezan je s oscilacijama morske razine izazvanim izmjenom glacijalnih i interglacijalnih razdoblja tijekom pleistocena i holocena (Lambeck & Chappell, 2001; Clark *et al.*, 2009). U posljednjem glacijalnom maksimumu, razina mora je bila ~ 120 m niža od današnje, te je tada rijeka Mirna urezala svoju dolinu u okolnim karbonatnim stijinama. Završetkom zadnjeg glacijala, velike količine leda su se otopile, te dolazi do globalne transgresije, koja je poplavila obalna područja, uključujući jadranski bazen.

Ušće rijeke Mirne predstavlja slanu močvaru koja sadrži ograničenu floru i faunu. Od faune se pronalaze uglavnom foraminifere i to tolerantne na promjenjive uvjete u okolišu. Zbog opetovane izloženosti, odnosno pokrivenosti morem, močvarne foraminifere gotovo imaju zonalni raspored svugdje na svijetu i mogu se upotrijebiti kao točni pokazatelji razine mora (Scott *et al.*, 2001; Shaw *et al.*, 2016). Foraminiferske vrste stresnih okoliša poput močvara i estuarija geografski su široko rasprostranjene, s aglutiniranim oblicima koji dominiraju na višim geografskim širinama (Schafer & Cole, 1986), i kalcitnim oblicima koji dominiraju na nižim geografskim širinama (Sen Gupta & Schafer, 1973).

Podaci o rasprostranjenosti foraminifera na hrvatskom dijelu jadranskog bazena (koji obuhvaća veliki dio obale istočnog Jadranskog mora) su malobrojni i jako nesistematični (Ćosović *et al.*, 2011). Unatoč tome, dugo, od vremena Deželića (1896), se zna za prisutnost foraminifera. Devedesete godine prošlog stoljeća su važne, započinju multidisciplinarna i međunarodna istraživanja (Jorissen, 1986; Cimerman *et al.*, 1988), a dvije važne monografije (Cimerman & Langer, 1991 i Alfirević, 1998) se objavljuju.

O sastavu foraminiferske zajednice slanih močvara istočne obale Jadranskog mora saznaje se iz radova Melis & Covelli (2013), Felja *et al.* (2015), Melis *et al.* (2019), te iz ocjenskih radova, (Felja, 2017; Ban, 2019). Istraživanja su pokazala da bogatstvo vrsta varira tijekom godišnjih doba na predvidljiv način, odnosno bogatstvo je veće tijekom proljeća i ljeta, a manje zimi i jeseni, te također potvrđuju je da su bentičke foraminifere dobri bioindikatori (Melis *et al.*, 2019). U radu Felja *et al.* (2015) dokazano je kako na distribuciju i raznolikost foraminiferske zajednice utječe dotok morske vode u estuarij (više foraminifera i veća bioraznolikost je nađena u sedimentima taloženim u dijelovima estuarija gdje je jači utjecaj mora).

### 3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

#### 3.1. Terenske metode

Terensko istraživanje provedeno je početkom prosinca 2019. godine. Uzorkovano područje je slana močvara na samom ušću rijeke Mirne (Slika 3). Oprema potrebna za uzorkovanje sastojala se od Ejikelkamp jezgrila, špatula različitih dimenzija, čašica s poklopcem, aluminijske folije, vrećica s patentom, te GPS-a (*Global Positioning System*). Smjer uzorkovanja unaprijed je određen počevši od kopnenog dijela močvare prema moru (Slika 3). Na tom smjeru odabrano je 7 točaka s kojih je prikupljen uzorak u obliku plitke jezgre (10 cm) i površinski uzorak (2 cm) za granulometrijsku analizu. Svaka točka ima svoje koordinate koje su unesene u *Google Earth* (Slika 3). Jezgre su pažljivo vađene kako bi slijed ostao neporemećen. Oprezno su špatulom prenesene na aluminijsku foliju (Slika 4), zatim u plastičnu vrećicu, te su odlagane u putni hladnjak. Svi su uzorci odlagani u hladnjak, kako bi se sačuvala njihove originalne karakteristike za daljnja laboratorijska istraživanja.



Slika 3. Prikaz slane močvare (lijevo), satelitska snimka s točnim koordinatama točaka uzorkovanja (desno) (*Google Earth*,

<https://earth.google.com/web/@45.32020824,13.60134019,-2.93307015a,727.52097098d,30y,0h,0t,0r/data=MicKJQojCiExZDNEVW1SWk1uNllrSkVUXzMxTzg3YTBfRGFOSjBfeUE>)





Slika 4. Uzorkovanje jezgrilom (lijevo), vađenje uzorka iz jezgrila i pravilno spremanje (desno)(M.Čančar)

### 3.2. Laboratorijske metode

Svi prikupljeni uzorci (Slika 5) obrađivani su u laboratoriju Geološko-paleontološkog zavoda Geološkog odsjeka, Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Zagrebu. Svaki uzorak je pažljivo izvađen iz folije i izmjeren (Slika 6). Za analizu jezgri bilo nam je potrebno gornjih 10 cm, tih je 10 cm izrezano u intervale debljine 2 cm. Za svaki interval određena je boja sedimenta prema MUNSELL SOIL COLOR BOOK. Intervali su odloženi svaki u označenu plastičnu čašu, te su preliveni destiliranom vodom kako bi se sediment istaložio na dno čaše. Nakon što je svaka jezgra pravilno izrezana i raspoređena u čaše, slijedi bojanje *Rose bengal*-om (Slika 7). Bojanje je potrebno u daljnjoj mikropaleontološkoj analizi svakog pojedinog uzorka. U svaku čašu sa sedimentom ulivena je otopina *Rose bengal*-a i destilirane vode, te je tako ostavljeno tijekom 14 dana. Ova metoda je korisna zbog toga što će se obojati samo jedinke koje su bile žive prilikom vađenja jezgara, na taj način se razlikuje živa zajednica od tanatocenoze. Nakon 14 dana uzorci su dekantirani te ostavljeni da se u potpunosti osuše.



Slika 5. Jezgre omotane aluminijskom folijom s oznakom mjesta uzorkovanja i orijentacijom vrh-dno jezgre



Slika 6. Mjerenje uzorkovanih jezgara i podjela na intervale od 2 cm



Slika 7. Bojanje uzoraka *Rose bengal* otopinom



### 3.2.1. Granulometrijska metoda

Za granulometrijsku analizu koristili su se površinski uzorci zagrabljeni plastičnom čašicom. Sastav svih uzoraka određen je kombiniranom metodom mokrog sijanja (za čestice > 0,063 mm) i sedigrafa (za čestice < 0,063 mm). Od svakog uzorka izdvojen je pod-uzorak težine 10 g, koji je zatim ostavljen 24 h u destiliranoj vodi kako bi se sediment dezintegrirao. Slijedi prosijavanje pod-uzoraka na standardnim Retsch® ASTM sitima od nehrđajućeg čelika uz pomoć tresilice Fritsch Analysette® (Slika 8). Sita imaju otvore standardnih veličina od 4 mm do 0,063 mm prema Wentworth-ovoj (1922) klasifikaciji. Sita razdvajaju sediment na temelju veličine zrna, počevši od krupnijih (šljunak) prema sitnijim (pijesak). Razmak između sita prema Wentworth-ovoj skali u logaritamskom obliku iznosi  $1\Phi$  (phi), čija formula glasi  $\Phi = -\log_2 d$ ,  $d$ =promjer čestica u mm (Krumbein, 1934). Proces sijanja izveden je tako da se posložio set sita od najvećeg promjera do najmanjeg na tresilicu, te se u najgornje sito istrese sediment. Dok je tresilica bila upaljena, destiliranom vodom se ispirao sediment sa svakog sita, kako bi se dobile odvojene frakcije različitih veličina zrna. Potom je svaka frakcija prebačena u odgovarajuće označenu čašicu, te ostavljena na sušenju, nakon čega je i izvagana. Frakcija koja je prošla kroz sva sita te ima zrna manja od 0,063 mm sakupljena je u staklene čaše u obliku suspenzije, ostavljena je da se istaloži te je slijedila analiza sedigrafom (SediGraph 5100) (Slika 9).



Slika 8. Mokro sijanje na standardnim Retsch® ASTM sitima u laboratoriju Geološko-paleontološkog zavoda (I. Felja)

Sustav za sedimentacijsku analizu SediGraph 5100 sastoji se od analizatora, sučelja i računala. U analizatoru se nalaze izvor i detektor rendgenskih zraka, ugrađen sustav za cirkulaciju (pumpe) koji odvodi sedimentacijsku tekućinu s uzorkom u ćeliju za analizu, odvodna i dovodna cijev za otpadnu i čistu sedimentacijsku tekućinu i čašica za suspendirani uzorak. Upravljanje i rad analizatorom omogućen je pomoću računalnog programa SediGraphWin 5100 (Micromeritics, 2002). Dva utemeljena fizička fenomena služe kao metoda određivanja veličine zrna sedigrafom, gravitacijska sedimentacija i apsorpcija nisko-energetskih rendgenskih (rtg) zraka. Stokes-ov zakon opisuje sedimentaciju uvjetovanu gravitacijom, te tvrdi da je brzina taloženja sferične čestice u fluidu funkcija promjera čestice, to jest:

$$v = \left(\frac{d}{K}\right)^2$$

gdje je  $v$  brzina taloženja čestice,  $d$  promjer čestice, a  $K$  konstanta proporcionalnosti.  $K$  u obzir uzima gustoću čestice i fizikalne karakteristike fluida, te njena formula glasi:

$$K = [(18\eta)/(\rho - \rho_0)g]^{1/2}$$

gdje je  $\rho$  gustoća čestice,  $\rho_0$  gustoća tekućine,  $\eta$  viskoznost tekućine, a  $g$  ubrzanje sile teže. Stokes-ov zakon ukoliko je točno primijenjen pokazuje da se čestica taloži i istiskuje (zamjenjuje) tekućinu, te je tok oko čestice laminaran. Ti su uvjeti zadovoljeni ako vrijedi:

$$(dv \rho_0 / \eta) < 0,3$$

Lijeva strana izraza predstavlja Reynoldsov broj (RB) što podrazumijeva da fluid koji teče oko čestice podržava laminaran tok sve dok je  $RB < 0,3$ . Ukoliko je  $RB > 0,3$  način tečenja je turbulentan. Brzinu taloženja čestica smanjuje energija koja je potrebna da proizvede turbulenciju, što dovodi do promjene odnosa  $v$  i  $d$  kao što je opisano u prvoj jednadžbi. Upravo zbog toga analiza sedigrafom ograničena je na čestice raspona promjer od 0,1 mm do 0,001 mm (Vitturi & Rabitti, 1980; Micromeritics, 2002). Kada bi čestice bile veće od 0,1 mm u suspenziji bi uzrokovale turbulenciju, što bi ometalo taloženje sitnijih čestica.



Slika 9. SediGraph 5100 (Micromeritics Instrument Corporation)

Osim informacija o veličini čestica, sedigraf služi i za mjerenje masene koncentracije čestica u suspenziji koja se mjeri pomoću snopa paralelnih rtg zraka. Prije mjerenja na uzorku, provjerava se intenzitet rtg zraka kroz čistu suspenzijsku tekućinu. Zatim se u suspenziju uvodi uzorak te kada postane homogena, intenzitet propuštenih zraka se smanjuje zbog toga što ga djelomično apsorbiraju čestice u suspenziji. Ukoliko je prisutna veća količina čestica u suspenziji, veća je i apsorpcija energije rtg zraka. Kada se čestice počnu taložiti, prolaznost rtg zraka se mjeri na određenoj dubini. Prema brzini taloženja, odnosno veličini, čestice se počinju razdvajati prema Stokes-ovom zakonu. Veće čestice prve se istalože, a male ostaju u suspenziji i polako se talože, kako bi se skratilo vrijeme analize, ćelija se pomiče prema gore u točno određenim vremenskim razmacima (Pikelj, 2010).

### 3.2.2. Mikroskopska metoda

Uzorci opisani u poglavlju 3.2. nakon obrade *Rose bengal*-om i sušenja, mikroskopaleontološki se obrađuju. Za potrebe ekoloških interpretacija, potrebno je svaki uzorak standardizirati (Schönfeld *et al.*, 2012). To se radi pomoću mikrosplitera, koji uzorak dijeli na jednake polovine, sve dok pod-uzorak ne sadrži odgovarajući broj jedinki. Standardizacija uzorka provodi se kako bi se izbjegla subjektivnost prilikom odabira vrsta za određivanje i statističku analizu, a takav pod-uzorak podrazumijeva 300 jedinki. Ostaci mikroorganizama ili mikroskopski sitni fragmenti većih organizama promatraju se pomoću stereoskopske lupe Nikon, na način da se mikrofossil iglicom umetnutom u vosak izdvaja i stavlja u posebne kutijice, „Frankove ćelije“. Nakon što su svi uzorci standardizirani i jedinke izvađene, određivanje se radi na nivou roda i vrste. To se radi tako da se mikrofosili iz mikropaleontoloških minispemnika prebacuju na plitice čije je dno obilježeno mrežom kvadrata koja služi za lakše prebrojavanje. Pregledom svake foraminiferske kućice bilježi se tip stijenke, vrsta namatanja i oblik kućice, stupanj očuvanosti, boja stijenke, ornamentacija, odnosno identifikacijski kriteriji na temelju kojih se određuje o kojoj se vrsti radi. Neke jedinke bilo je moguće odrediti samo na nivou roda zbog stupnja očuvanja kućice. Iz svakog uzorka karakteristične vrste su fotografirane kamerom Olympus U-TV1XC spojenom na Olympus SZX7 mikroskop, uz pomoć programa QuickPHOTO CAMERA 3.0. Mikroskopske fotografije posložene su u table.

### 3.3. Kabinetske metode

#### 3.3.1. Granulometrijske osobine

Završetkom laboratorijskih metoda, slijedi računalna obrada. Podaci o sedimentu dobiveni granulometrijskom analizom obrađuju se programom GRADISTAT Ver 6.0 koji se koristi u sklopu računalnog programa Microsoft® Office Excel. Unošenjem izvaganih masenih udjela i podataka dobivenih sedigraf analizom u tablicu, dobivaju se vrijednosti koje određuju vrstu sedimenta na temelju veličine zrna. Za svaki uzorak dobiveni su podaci o udjelu šljunka, pijeska, praha i gline, na temelju tih podataka izrađeni su trokomponentni dijagrami i tablica s podacima o srednjoj vrijednosti, medijanu, sortiranosti i teksturalnoj grupi.

#### 3.3.2. Mikropaleontološke osobine

Nasumično odabrane jedinke iz standardiziranih pod-uzoraka pomno su opisivane i promatrane kako bi se odredile vrste. Kao pomoć pri određivanju poslužile su monografije: Cimerman & Langer (1991), Loeblich & Tappan (1987), te Alfirević (1998), a dodijeljena imena vrsta usklađena su s *World Modern Foraminiferal Database* (Hayward *et al.*, 2018).

Glavni kriteriji za klasifikaciju foraminiferskih vrsta su: tip stijenke, oblik kućice i klijetki, način namatanja kućice, oblik sutura ukoliko su prisutne, izgled umbilikusa i ornamentacija na kućici, oblik i položaj ušća (Loeblich & Tappan, 1987). Postoji više tipova stijenki, organska, sitnozrnata, aglutinirana (predstavljena redom Textulariina), porculanasta – kalcitna imperforatna (predstavljena redom Milioliina) i staklasta – kalcitna perforatna (predstavljena redom Rotaliina). Skelet, odnosno kućica može biti sastavljena od samo jedne klijetke (monotalamična) ili od više klijetki (politalamična). Oblik kućice je različit, varira od kuglastog, fuziformnog, lećastog, cilindričnog do stožastog. Konačan oblik kućice ovisi o slaganju klijetki, one mogu rasti u jednom nizu ili više nizova, te na taj način nastaju uniserijalne, biserijalne ili triserijalne forme, a mogu rasti tako da tvore trohospiralne, planispiralne i miliolidne kućice. Oblik klijetke također je različit, kuglast, cjevast, polumjesečast, ali jedinka tijekom života uvijek ima isti oblik klijetke. Vrlo važan kriterij određivanja predstavlja umbilikus, odnosno pupak, koji predstavlja središnje udubljenje na kućici (klijetke dodiruju os namatanja). Umbilikus može biti otvoren ili prekriven umbilikalnim čepom, što je zapravo nakupina čvrstih lamela u obliku poklopca u središtu pupka. Suture predstavljaju mjesta na površini kućice gdje se nalaze septi (pregrade između klijetki), a mogu biti udubljene ili izbočene, te su također kriterij za identifikaciju vrsta. Osim sutura prisutne su i drugačije vrste ukrasa poput kvržica, rebara, strija, iglica i čvorića.

Nakon što su sve foraminifere određene na nivou vrste ili roda, slijedi statistička obrada tj. određivanje raznih ekoloških indeksa. Izračunati su sljedeći indeksi: bogatstvo vrsta ( $S$ ), indeks dominacije (Simpson-ov indeks,  $D$ ), Fisher-ov ( $\alpha$ ) indeks i Shannon-Wiener-ov  $H(S)$ , informatički indeks.

Bogatstvo vrsta mjeri ukupan broj vrsta u zajednici, odnosno to je najjednostavnije mjerilo biološke raznolikosti i predstavlja broj različitih vrsta na određenom području. Ova mjera jako ovisi o veličini uzorka i zbog toga je sama po sebi neprecizna za opisivanje okolišnih uvjeta.

Simpson-ov indeks mjeri vjerojatnost da će dvije jedinke koje su nasumično odabrane iz uzorka pripadati istoj vrsti. Postoje dvije verzije formule za izračunavanje  $D$ , obje su točne, ali treba biti dosljedan jednoj.  $S$  ovim indeksom 0 predstavlja beskonačnu raznolikost, a 1 nema raznolikosti. Odnosno, što je vrijednost  $D$  veća, to je raznolikost manja. To nije ni intuitivno ni logično, pa se za prevladavanje ovog problema  $D$  često oduzima od 1 i daje: Simpson-ov indeks raznolikosti  $1 - D$ . Vrijednost ovako iskazanog indeksa također se kreće između 0 i 1, ali sada, što je veća vrijednost, veća je raznolikost uzorka. U ovom slučaju, indeks predstavlja vjerojatnost da će dvije jedinke slučajno odabrane iz uzorka pripadati različitim vrstama. Njegova formula glasi:

$$D = \sum(n_1(n_1-1)/N(N-1))$$

gdje  $D$  predstavlja Simpson-ov indeks,  $n_1$  broj jedinki iste vrste,  $N$  ukupan broj jedinki u zajednici.

Fisher-ov ( $\alpha$ ) indeks služi kao pokazatelj raznolikosti u zajednici, određuje se prema standardnom grafikonu. Izračunava se prema formuli:

$$S = \alpha \ln(1 + n/\alpha)$$

gdje  $S$  predstavlja broj vrsta,  $n$  broj jedinki, a  $\alpha$  Fisher-ov indeks. Vrijednosti  $\alpha$  predstavljaju okoliš o kojem se radi.

Pregled okoliša prema vrijednostima Fisher  $\alpha$  indeksa daje Murray (1991):

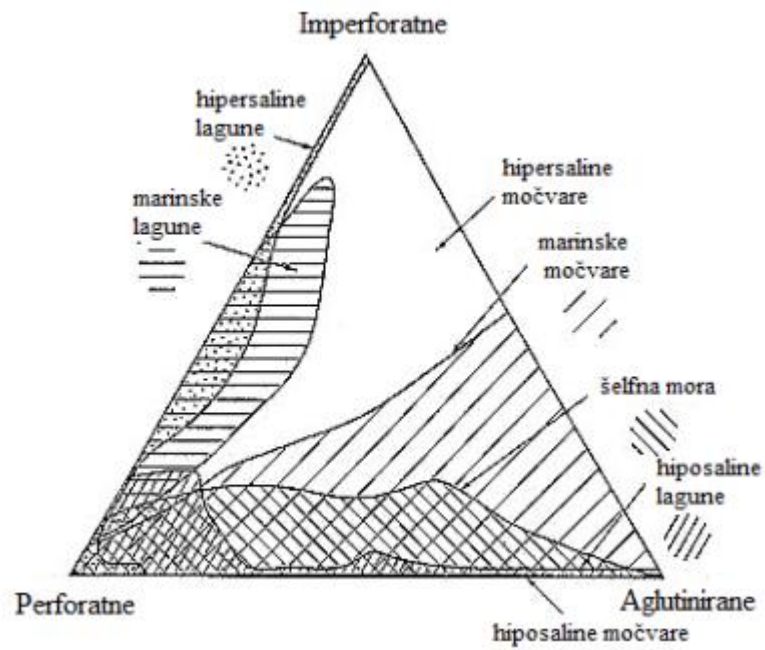
- Marinske močvare < 1-2
- Brakične močvare < 1-3
- Brakične močvare i lagune < 1-5
- Hipersaline lagune < 1-6, rijetko 7
- Hipersaline močvare < 1-7
- Gornji i donji batijal 1-22
- Marinske lagune 3-12
- Unutrašnji šelf 3-19
- Vanjski šelf 5-19

Shannon-Wiener-ov indeks je indeks omjera broja vrsta prema njihovom udjelu i važnosti u zajednici. Koristi se radi usporedbe raznolikosti različitih zajednica i okoliša. Izračunava se prema formuli:

$$H(S) = -\sum p_i \ln(p_i)$$

gdje  $S$  označava ukupni broj vrsta u uzorku,  $i$  ukupan broj jedinki jedne vrste, te  $p$  broj jedinki jedne vrste prema broju jedinki u uzorku. Indeks varira od 1,3 do 3,5. Vrijednost  $H(S) < 0,6$  ukazuje na brakičnu sredinu, a  $H(S) > 2,1$  ukazuje na okoliše s normalnim salinitetom.

Uz izračunavanje indeksa, napravljeni su i trokomponentni dijagrami zastupljenosti tipova stijenki foraminifera u svakom istraženom poduzorku (Slika 10) kako bi se opisao salinitet (Murray, 1974).



Slika 10. Trokomponentni dijagram tipova stijenki s označenom distribucijom određenih okoliša (preuzeto i preuređeno iz Murray, 1974)



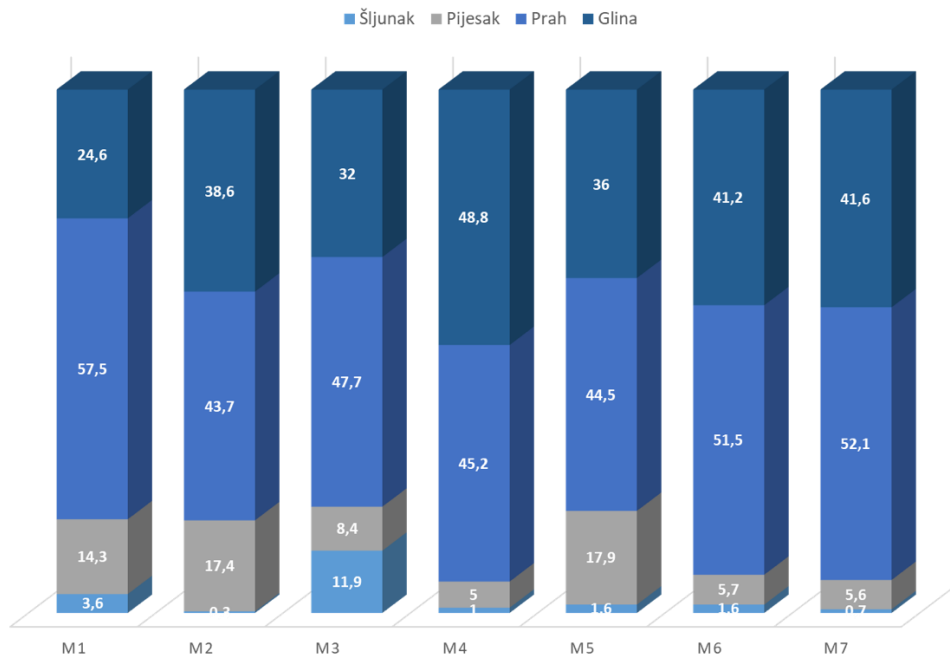
## 4. REZULTATI

### 4.1. Granulometrijska analiza

Svih sedam uzoraka obrađeno je granulometrijskom analizom. Prema Folku (1954) svaki je uzorak klasificiran prema veličini zrna s obzirom na granulometrijski sastav, te je prikazan trokomponentnim dijagramom. Tablica 1 prikazuje razne izračunate parametre za svaki uzorak, iskače podatak da su svi uzorci vrlo loše sortirani.

Uzorak M1 sadrži 3,6% šljunka, 14,3% pijeska, 57,5% praha i 24,6% gline (Slika 11). Prema granulometrijskom sastavu trokomponentnog dijagrama šljunka, pijeska i mulja ovaj sediment pripada u grupu: slabo šljunkovito pjeskoviti mulj (Slika 12), a prema dijagramu pijeska, praha i gline: pjeskoviti prah (Slika 13). Uzorak M2 sastoji se od 0,3% šljunka, 17,4% pijeska, 43,7% praha i 38,6% gline (Slika 11). Pjeskoviti mulj je naziv sedimenta koji dobiva prema trokomponentnom dijagramu šljunka, pijeska i mulja (Slika 12), te također i prema dijagramu pijeska, praha i gline (Slika 13). Sastav uzorka M3 predstavljen je udjelima: 11,9% šljunka, 8,4% pijeska, 47,7% praha i 32% gline (Slika 11.). Prema trokomponentnom dijagramu šljunka, pijeska i mulja pripada u grupu šljunkoviti mulj (Slika 12), a prema dijagramu pijeska, praha i gline naziva se muljem (Slika 13).

Uzorak M4 sadrži: 1% šljunka, 5% pijeska, 45,2% praha i 48,8% gline (Slika 11.). Naziv ovakvog sedimenta prema trokomponentnom dijagramu šljunka, pijeska i mulja je mulj ili slabo šljunkoviti mulj (Slika 12), a prema dijagramu pijeska, praha i gline naziva se muljem (Slika 13). Sastav uzorka M5 predstavljen je udjelima: 1,6% šljunka, 17,9% pijeska, 44,5% praha i 36% gline (Slika 11). Naziv koji mu je dodijeljen prema trokomponentnom dijagramu šljunka, pijeska i mulja je slabo šljunkovito pjeskoviti mulj (Slika 12), a prema dijagramu pijeska, praha i gline naziva se pjeskoviti mulj (Slika 13). Uzorak M6 sastoji se od 1,6% šljunka, 5,7% pijeska, 51,5% praha i 41,2% gline (Slika 11). Slabo šljunkoviti mulj je naziv sedimenta koji dobiva prema trokomponentnom dijagramu šljunka, pijeska i mulja (Slika 12), a prema dijagramu pijeska, praha i gline naziva se muljem (Slika 13). Sastav uzorka M7 predstavljen je udjelima: 0,7% šljunka, 5,6% pijeska, 52,1% praha i 41,6% gline (Slika 11). Prema trokomponentnom dijagramu šljunka, pijeska i mulja (Slika 12) i dijagramu pijeska, praha i gline naziva se muljem (Slika 13).



Slika 11. Grafički prikaz udjela frakcija šljunka, pijeska, praha i gline u svim uzorcima



Slika 12. Granulometrijski sastav sedimenata svih uzoraka u trokomponentnom dijagramu šljunka, pijeska i mulja prema Folku (1954)



Slika 13. Granulometrijski sastav sedimenata svih uzoraka u trokomponentnom dijagramu pijeska praha i gline prema Folku (1954)

Tablica 1. Tablica podataka o srednjoj vrijednosti, medijanu, sortiranosti i teksturalnoj grupi za sve uzorke

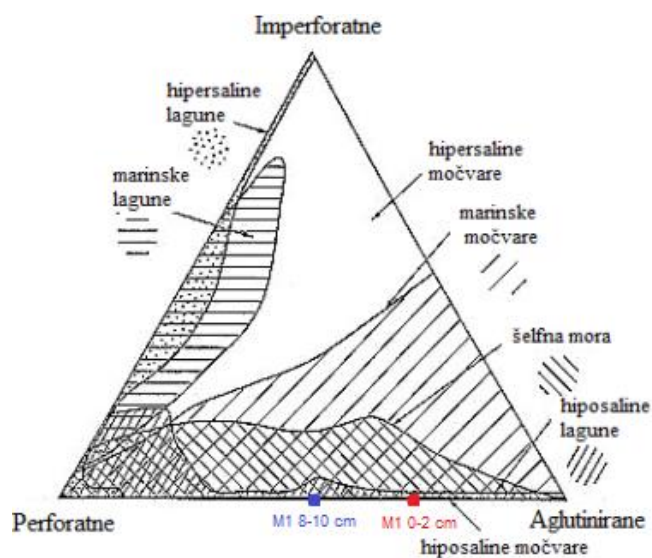
NAZIV UZORKA	SREDNJA VRIJEDNOST		MEDIJAN		SORTIRANOST			TEKSTURALNA GRUPA	
	$\mu\text{m}$	$\Phi$	$\mu\text{m}$	$\Phi$	$\mu\text{m}$	$\Phi$	NAZIV	Šljunak, pijesak, mulj	Pijesak, prah, glina
M1	7,9	6,9	5,05	7,6	8,8	3,1	Vrlo loša sortiranost	Slabo šljunkovito pjeskoviti mulj	Pjeskoviti prah
M2	5,5	7,5	2,7	8,5	7,5	2,9	Vrlo loša sortiranost	Slabo šljunkovito pjeskoviti mulj	Pjeskoviti mulj
M3	9,3	6,7	4	8	16,04	4	Ekstremno loša sortiranost	Šljunkoviti mulj	Mulj
M4	2,1	8,9	2	8,9	2,1	8,9	Loša sortiranost	Slabo šljunkoviti mulj	Mulj
M5	6,6	7,2	3,2	8,2	11,3	3,5	Vrlo loša sortiranost	Slabo šljunkovito pjeskoviti mulj	Pjeskoviti mulj
M6	2,7	8,5	2,7	8,5	4,3	2,1	Vrlo loša sortiranost	Slabo šljunkoviti mulj	Mulj
M7	2,7	8,5	2,6	8,6	4,1	2	Vrlo loša sortiranost	Slabo šljunkoviti mulj	Mulj

Svakom uzorku je određena boja sedimenta prema MUNSELL SOIL COLOR BOOK. M1 pokazuje boju 2,5Y 3/2, uzorak M2 za nijansu se razlikuje 2,5Y 4/1, M3 pokazuje boju 2,5Y 3/1, uzorak M4 iste je boje kao i M2, a to je 2,5Y 4/1. Zatim M5 pokazuje boju 2,5Y 4/2 boju, dok se zadnja 2 uzorka više razlikuju od prethodnih. M6 pokazuje boju 5Y 5/2, a uzorak M7 10YR 2/1.

## 4.2. Mikropaleontološka analiza

U svim istraživanim poduzorcima ukupno je određeno osam (8) foraminiferskih vrsta i 14 rodova (Tabla 1; Slike D, G, H, I, J i M, Tabla 2; Slika F). Vrsta koja dominira u većini uzoraka je *Ammonia tepida* (Cushman, 1926, Tabla 2; Slika E) (54,3%), zatim slijedi *Trochammina inflata* (Montagu, 1808, Tabla 2; Slika D) (12,7%), te *Porosononion granosum* (d'Orbigny, 1846, Tabla 3; Slike C, D i H) (10,5%), *Haynesina depressula* (Walker & Jacob, 1798, Tabla 2; Slika A, Tabla 3; Slike A, B, F i G) (4,7%), a u puno manjim udjelima pronalaze se *Ammonia parkinsoniana* (d'Orbigny, 1839, Tabla 1; Slike E i F) (0,44%), *Ammonia beccarii* (Linnaeus, 1758, Tabla 3; Slika E) (0,03%), *Bolivina spathulata* (Williamson, 1858, Tabla 1; Slika A) (0,03%). Ostatak foraminiferske zajednice određen je na nivou roda (15%) ili je zbog loše očuvanih kućica bilo nemoguće odrediti rod (2,3%). Prevladavaju odlično očuvane kućice, međutim pronađene su pretaložene i razbijene kućice. Na temelju tipova stijenki foraminifera dobiveni su postotni udjeli koji ucrtavanjem u trokomponentni dijagram (Murray, 1974) daju podatak o salinitetu okoliša u kojem je ta zajednica obitavala. Sve su jezgre dale jednake rezultate, to jest sve točke u trokomponentnim dijagramima nalaze se u području preklapanja sljedećih okoliša: hiposaline močvare, hiposaline lagune i marinske močvare.

U M1 jezgri u intervalu 0-2 cm određeno pet (5) vrsta, dominantne vrste su *T. inflata* (27,9%), *A. tepida* (25,8%) i *H. depressula* (19,35%). U dubljem dijelu jezgre (8-10 cm) dominiraju *T. inflata* (37,3%) i *A. tepida* (32,8%, Tablica 2). Izračunati indeksi se neznatno razlikuju, u plićem intervalu Simpson-ov (1-D) indeks iznosi 0,78, Shannon-Wiener-ov 1,67, te Fisher-ov ( $\alpha$ ) 2,46 (Tablica 3), dok u dubljem intervalu Simpson-ov (1-D) indeks iznosi 0,73, Shannon-Wiener-ov 1,5, a Fisher-ov ( $\alpha$ ) indeks pokazuje vrijednost 1,41 (Tablica 4). U jezgri M1 u plićem intervalu udio perforatnih stijenki iznosi 64,5%, aglutiniranih 35,5%, a imperforatne izostaju, u dubljem intervalu ponovno izostaju imperforatne stijenke, dok je udio perforatnih 49,7%, a aglutiniranih 50,3%, ti rezultati prikazani su na slici 14.



Slika 14. Trokomponentni dijagram tipova stijenci s označenom distribucijom određenih okoliša koji prikazuje rezultate jezgre M1 (preuzeto i modificirano prema Murray, 1974)

Tablica 2. Apsolutna i relativna zastupljenost foraminiferskih vrsta i rodova u jezgri M1

Rod i vrsta	Apsolutan broj M1 0-2 cm	Relativan broj M1 0-2 cm (%)	Apsolutan broj M1 8-10 cm	Relativan broj M1 8-10cm (%)	Način života
<i>Trochammina inflata</i> (Montagu)	26	27,9	75	37,3	Epifauna
<i>Ammonia parkinsoniana</i> (d'Orbigny)	1	1,1	-	-	Infauna
<i>Ammonia tepida</i> (Cushman)	24	25,8	66	32,8	Infauna
<i>Bolivina spathulata</i> (Williamson)	1	1,1	-	-	Infauna
<i>Haynesina depressula</i> (Walker & Jacob)	18	19,35	-	-	Epifauna
<i>Trochammina</i> sp. (neodredivo)	1	1,1	21	10,45	Epifauna
<i>Triloculina</i> sp. (neodredivo)	-	-	1	0,5	Epifauna
<i>Ammonia</i> sp. (neodredivo)	3	3,2	8	4	Infauna
<i>Haynesina</i> sp. (neodredivo)	2	2,15	20	9,95	Epifauna
Neodredivo	17	18,3	10	5	-

Tablica 3. Indeksi bioraznolikosti svih uzoraka za plići interval (0-2 cm)

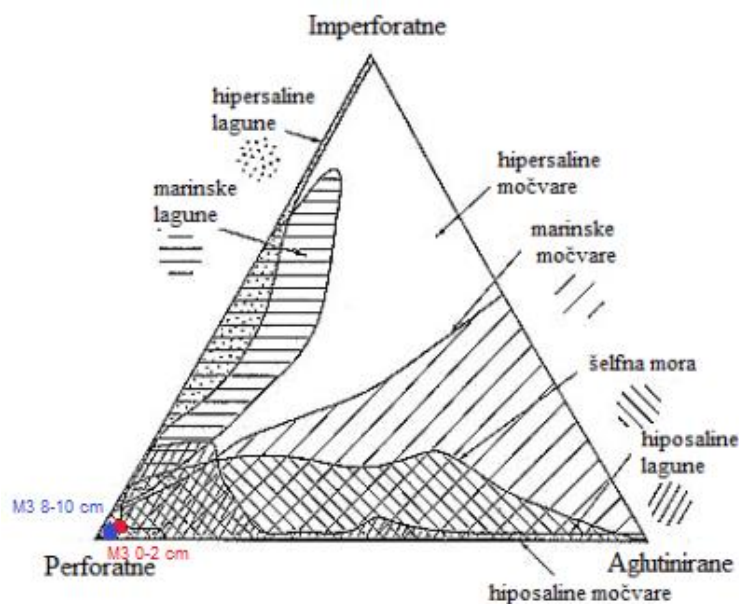
INDEKSI BIORAZNOLIKOSTI	M1 0-2 cm	M2 0-2 cm	M3 0-2 cm	M4 0-2 cm	M5 0-2 cm	M6 0-2 cm	M7 0-2 cm
Bogatstvo vrsta	5	5	4	4	5	5	4
Simpson-ov indeks (1-D)	0,78	0,35	0,54	0,5	0,82	0,7	0,7
Fisher ( $\alpha$ ) indeks	2,46	2,03	2,36	2,3	2,23	1,9	2,3
Shannon-Wiener-ov indeks	1,67	0,9	1,18	1,81	1,93	1,45	1,6



Tablica 5. Apsolutna i relativna zastupljenost foraminiferskih vrsta i rodova u jezgri M2

Rod i vrsta:	Apsolutan broj M2 0-2 cm	Relativan broj M2 0-2cm (%)	Apsolutan broj M2 8-10 cm	Relativan broj M2 8-10 cm(%)	Način života
<i>Trochammina inflata</i> (Montagu)	20	4,34	74	26,52	Epifauna
<i>Ammonia parkinsoniana</i> (d'Orbigny)	1	0,2	1	0,36	Infaua
<i>Ammonia tepida</i> (Cushman)	369	80,04	143	51,25	Infaua
<i>Haynesina depressula</i> (Walker & Jacob)	3	0,65	-	-	Epifauna
<i>Porosonion granosum</i> (d'Orbigny)	5	1,1	1	0,36	Epifauna
<i>Ammonia</i> sp.	23	5	1	0,36	Infaua
<i>Trochammina</i> sp. (neodredivo)	11	2,4	18	6,45	Epifauna
<i>Ammonia</i> sp. (neodredivo)	15	3,25	13	4,66	Infaua
<i>Haynesina</i> sp. (neodredivo)	6	1,3	26	9,32	Epifauna
<i>Porosonion</i> sp. (neodredivo)	1	0,2	-	-	Epifauna
Neodredivo	7	1,52	2	0,72	-

U jezgri M3, predstavnici vrsta *A. tepida* (64,66%) i *P. granosum* (19,3%) dominiraju u plićem intervalu. U dubljem intervalu, *A. tepida* je još zastupljenija (82,02; Tablica 6). Izračunate vrijednosti indeksa pokazuju razlike između mlađeg i starijeg intervala: 0,54 za Simpson-ov (1-D) indeks, 2,36 za Fisher-ov ( $\alpha$ ) indeks i 1,18 za Shannon-Wiener-ov indeks (Tablica 3) za površinski interval i za dublji interval Simpson-ov (1-D) indeks iznosi 0,32, Fisher-ov ( $\alpha$ ) indeks 1,67, a Shannon-Wiener-ov 0,77 (Tablica 4). Udio tipova stijenki razlikuje se prema dubini, 1,2% aglutiniranih, 98,4% perforatnih i 0,4% imperfortnih kućica je nađeno u plićem intervalu, a u dubljem intervalu samo je 0,3% aglutiniranih, a ostalo su kućice (99,7%) perforatnih stijenki (Slika 16).



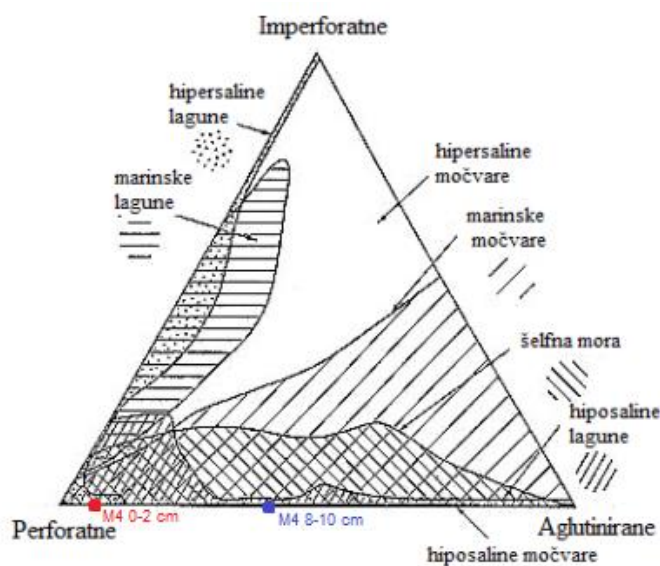
Slika 16. Trokomponentni dijagram tipova stijenci s označenom distribucijom određenih okoliša koji prikazuje rezultate jezgre M3 (preuzeto i modificirano prema Murray, 1974)

Tablica 6. Apsolutna i relativna zastupljenost foraminiferskih vrsta i rodova u jezgri M3

Rod i vrsta:	Apsolutan broj M3 0-2 cm	Relativan broj M3 0-2cm (%)	Apsolutan broj M3 8-10 cm	Relativan broj M3 8-10 cm(%)	Način života
<i>Trochammina inflata</i> (Montagu)	3	1,2	1	0,27	Epifauna
<i>Ammonia parkinsoniana</i> (d'Orbigny)	-	-	6	1,64	Infauna
<i>Ammonia tepida</i> (Cushman)	161	64,66	301	82,02	Infauna
<i>Haynesina depressula</i> (Walker & Jacob)	2	0,8	-	-	Epifauna
<i>Porosononion granosum</i> (d'Orbigny)	48	19,3	9	2,45	Epifauna
<i>Quinqueloculina</i> sp.	1	0,4	-	-	Epifauna
<i>Ammonia</i> sp.	6	2,41	22	6	Infauna
<i>Elphidium</i> sp.	-	-	1	0,27	Epifauna
<i>Polymorphina</i> sp.	1	0,4	-	-	?
<i>Ammonia</i> sp. (neodredivo)	17	6,83	20	5,45	Infauna
<i>Haynesina</i> sp. (neodredivo)	1	0,4	-	-	Epifauna
<i>Porosononion</i> sp. (neodredivo)	4	1,6	2	0,54	Epifauna
Neodredivo	5	2,01	5	1,36	-



U intervalu od 0-2 cm jezgre M4 dominira *A. tepida* s udjelom od 69,3%, a u intervalu od 8 do 10 cm dominira također *A. tepida* (42,4%), zajedno s vrstom *T. inflata* (34,2%)(Tablica 7). Indeksi u plićem intervalu (Tablica 3) niskih su vrijednosti: Simpson-ov (1-D) 0,5, Fisher-ov ( $\alpha$ ) 2,3, a Shannon-Wiener-ov 1,81. U dubljem intervalu indeksi imaju nešto više vrijednosti i iznose (Tablica 4): Simpson-ov (1-D) je 0,69, Fisher-ov ( $\alpha$ ) je 1,9, a Shannon-Wiener-ov je 1,54. Perforatne kućice foraminifera dominiraju jezgrom M4: 5,2% aglutiniranih i 94,8% perforatnih u plićem intervalu, te 39% aglutiniranih i 61% perforatnih u dubljem intervalu (Slika 17).

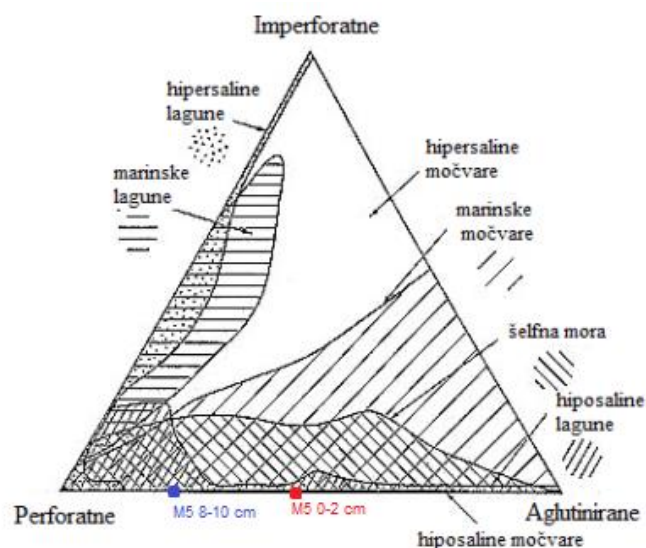


Slika 17. Trokomponentni dijagram tipova stijenki s označenom distribucijom određenih okoliša koji prikazuje rezultate jezgre M4 (preuzeto i modificirano prema Murray, 1974)

Tablica 7. Apsolutna i relativna zastupljenost foraminiferskih vrsta i rodova u jezgri M4

Rod i vrsta	Apsolutan broj M4 0-2 cm	Relativan broj M4 0-2 cm (%)	Apsolutan broj M4 8-10cm (%)	Relativan broj M4 8-10cm (%)	Način života
<i>Trochammina inflata</i> (Montagu)	12	4,4	129	34,2	Epifauna
<i>Ammonia parkinsoniana</i> (d'Orbigny)	2	0,7	3	0,8	Infaua
<i>Ammonia tepida</i> (Cushman)	187	69,3	160	42,4	Infaua
<i>Haynesina depressula</i> (Walker & Jacob)	-	-	10	2,7	Epifauna
<i>Porosononion granosum</i> (d'Orbigny)	18	6,7	12	3,2	Epifauna
<i>Ammonia</i> sp.	11	4,1	15	4	Infaua
<i>Elphidium</i> sp.	1	0,4	-	-	Epifauna
<i>Trochammina</i> sp. (neodredivo)	2	0,7	14	3,7	Epifauna
<i>Ammonia</i> sp. (neodredivo)	28	10,4	14	3,7	Infaua
<i>Haynesina</i> sp. (neodredivo)	4	1,5	11	2,9	Epifauna
<i>Porosononion</i> sp. (neodredivo)	2	0,7	-	-	Epifauna
Neodredivo	3	1,1	9	2,4	-

Zajednicom plićeg (mlađeg) intervala jezgre M5 dominiraju kućice *T. inflata* (29,4%), *A. tepida* (18,6%) i *H. depressula* (11,3%). U dubljem dijelu jezgre najzastupljenije vrste su *A. tepida* (46,7%) i *T. inflata* (24,1%) (Tablica 8). Razlika u brojčanoj zastupljenosti jedinki različitih vrsta odražava se razlikom u vrijednostima indeksa bioraznolikosti između površinskog i dubljeg dijela sedimentne jezgre. Tako vrijednosti indeksa u mlađem intervalu imaju sljedeće vrijednosti: Simpson-ov (1-D) 0,82, Fisher-ov ( $\alpha$ ) 2,23 i Shannon-Wiener-ov 1,93 (Tablica 3), te za dublji interval: Simpsonov (1-D) interval iznosi 0,31, Fisher-ov ( $\alpha$ ) indeks iznosi 2,32, Shannon-Wiener-ov indeks koji iznosi 0,7 (Tablica 4). U jezgri M5 u plićem intervalu udio perforatnih stijenki iznosi 45,5%, aglutiniranih 54,5%, a imperforatnih nema, u dubljem intervalu pojavljuju se imperforatne kućice s malim udjelom od 0,4%, dok je udio perforatnih 73%, a aglutiniranih 26,6% (Slika 18).

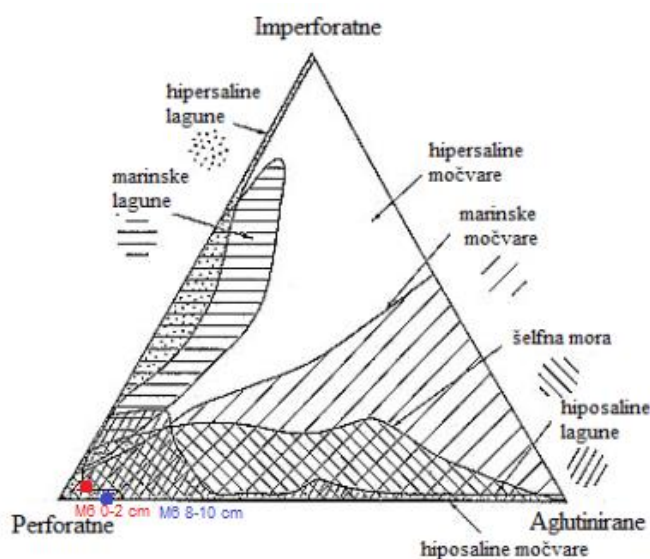


Slika 18. Trokomponentni dijagram tipova stijenci s označenom distribucijom određenih okoliša koji prikazuje rezultate jezgre M5 (preuzeto i modificirano prema Murray, 1974)

Tablica 8. Apsolutna i relativna zastupljenost foraminiferskih vrsta i rodova u jezgri M5

Rod i vrsta	Apsolutan broj M5 0-2 cm	Relativan broj M5 0-2 cm (%)	Apsolutan broj M5 8-10 cm (%)	Relativan broj M5 8-10 cm (%)	Način života
<i>Trochammina inflata</i> (Montagu)	57	29,4	63	24,1	Epifauna
<i>Ammonia beccarii</i> (Linnaeus)	1	0,5	-	-	Infauna
<i>Ammonia parkinsoniana</i> (d'Orbigny)	-	-	3	1,2	Infauna
<i>Ammonia tepida</i> (Cushman)	36	18,6	122	46,7	Infauna
<i>Haynesina depressula</i> (Walker & Jacob)	22	11,3	2	0,8	Epifauna
<i>Porosonion granosum</i> (d'Orbigny)	12	6,2	6	2,3	Epifauna
<i>Quinqueloculina</i> sp.	-	-	1	0,4	Epifauna
<i>Ammonia</i> sp.	5	2,6	2	0,8	Infauna
<i>Trochammina</i> sp. (neodredivo)	28	14,4	6	2,3	Epifauna
<i>Ammonia</i> sp. (neodredivo)	3	1,5	10	3,8	Infauna
<i>Haynesina</i> sp.	23	11,9	45	17,2	Epifauna
Neodredivo	7	3,6	1	0,4	-

Kućice vrsta *A. tepida* (45%), *P. granosum* (26,4%) i *H. depressula* (16,8%) dominiraju zajednicom mlađeg intervala sedimentne jezgre M6. U dubljem intervalu određene su četiri (4) vrste, a dominantne su *A. tepida* (53,3%) i *P. granosum* (27,2%)(Tablica 9). Vrijednosti indeksa su niske, zajednica iz plićeg intervala ima Simpson-ov (1-D) indeks 0,7, Fisher-ov ( $\alpha$ ) je 1,9, te Shannon-Wiener-ov 1,6 (Tablica 3). Vrijednosti indeksa u dubljem intervalu su nešto više, Simpson-ov (1-D) iznosi 0,63, Fisher-ov ( $\alpha$ ) 2,32 i Shannon-Wiener-ov 1,35 (Tablica 4). Plići interval jezgre M6 sadrži 1,1% kućica s aglutiniranom, 97,2% s perforatnom i 1,7% s imperforatnom stijenkom, u dubljem intervalu aglutiniranih kućica ima 5%, a perforatnih 95% (Slika 19).

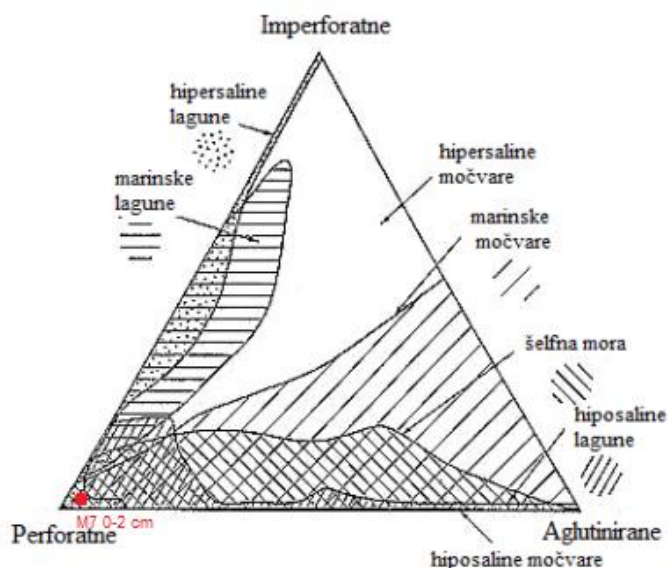


Slika 19. Trokomponentni dijagram tipova stijenki s označenom distribucijom određenih okoliša koji prikazuje rezultate jezgre M6 (preuzeto i modificirano prema Murray, 1974)

Tablica 9. Apsolutna i relativna zastupljenost foraminiferskih vrsta i rodova u jezgri M6

Rod i vrsta	Apsolutan broj M6 0-2 cm	Relativan broj M6 0-2 cm (%)	Apsolutan broj M6 8-10 cm (%)	Relativan broj M6 8-10 cm (%)	Način života
<i>Trochammina inflata</i> (Montagu)	4	1,1	15	4,8	Epifauna
<i>Ammonia tepida</i> (Cushman)	163	45	167	53,3	Infauna
<i>Haynesina depressula</i> (Walker & Jacob)	61	16,8	17	5,4	Epifauna
<i>Planorbulina mediterraneensis</i> (d'Orbigny)	2	0,5	-	-	?
<i>Porosonion granosum</i> (d'Orbigny)	96	26,4	85	27,2	Epifauna
<i>Massilina</i> sp.	6	1,6	-	-	?
<i>Ammonia</i> sp.	17	4,7	8	2,6	Infauna
<i>Ammonia</i> sp. (neodredivo)	3	0,8	5	1,6	Infauna
<i>Haynesina</i> sp. (neodredivo)	10	2,8	8	2,6	Epifauna
<i>Porosonion</i> sp. (neodredivo)	-	-	2	0,6	Epifauna
Neodredivo	1	0,3	6	1,9	-

Za jezgru M7 interpretacije sastava zajednice su napravljene samo za plići interval. Određene su četiri (4) vrste, a najzastupljenije su jedinke *A. tepida* (45,6%) i *P. granosum* (26%) (Tablica 10). Izračunati indeksi bioraznolikosti imaju sljedeće vrijednosti, Simpson-ov (1-D) iznosi 0,7, Fisher-ov ( $\alpha$ ) 2,3, te Shannon-Wienerov 1,6 (Tablica 3). U jezgri M7 udio aglutiniranih kućica iznosi 1%, perforatnih 98,3% i imperforatnih 0,7% (Slika 20).



Slika 20. Trokomponentni dijagram tipova stijenci s označenom distribucijom određenih okoliša koji prikazuje rezultate jezgre M7 (preuzeto i modificirano prema Murray, 1974)

Tablica 10. Apsolutna i relativna zastupljenost foraminiferskih vrsta i rodova u jezgri M7

Rod i vrsta	Apsolutan broj M7 0-2 cm	Relativan broj M7 0-2 cm (%)	Način života
<i>Trochammina inflata</i> (Montagu)	4	0,9	Epifauna
<i>Ammonia tepida</i> (Cushman)	200	45,6	Infauna
<i>Haynesina depressula</i> (Walker & Jacob)	48	11	Epifauna
<i>Porosonion granosum</i> (d'Orbigny)	114	26	Epifauna
<i>Quinqueloculina</i> sp.	2	0,5	Epifauna
<i>Triloculina</i> sp.	1	0,2	Epifauna?
<i>Ammonia</i> sp.	12	2,7	Infauna
<i>Bulimina</i> sp.	1	0,2	Infauna
<i>Ammonia</i> sp. (neodredivo)	5	1,1	Infauna
<i>Haynesina</i> sp. (neodredivo)	23	5,2	Epifauna
<i>Porosonion</i> sp. (neodredivo)	15	3,4	Epifauna
Neodredivo	14	3,2	-

## 5. RASPRAVA

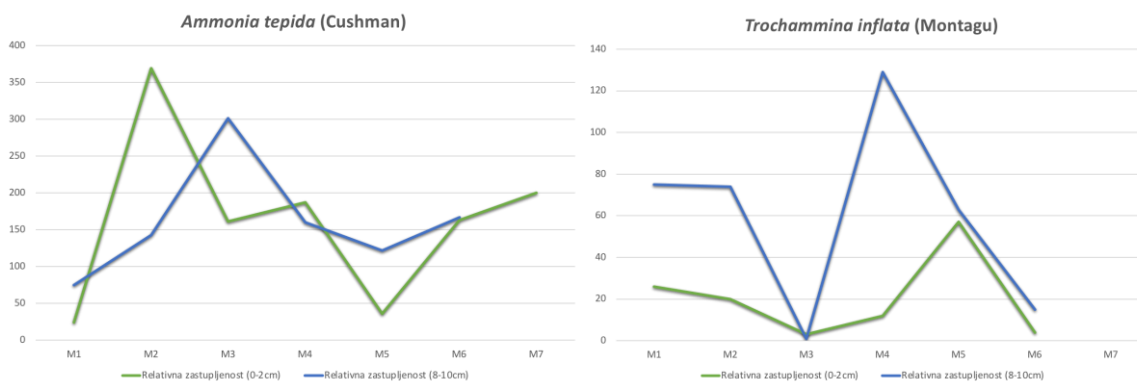
Ušće rijeke Mirne predstavlja estuarij s intraestuarijskom deltom, a slana močvara nalazi se na samom ušću u području miješanja slatke i slane vode. Slane močvare predstavljaju najekstremnije okoliše od svih morskih okruženja, s velikim varijacijama u temperaturi, slanosti i pH vrijednostima (Phleger & Bradshaw, 1966). U takvom okolišu živi vrlo mali broj tipičnih morskih foraminifera, a njihova je distribucija kontrolirana uglavnom fizikalno-kemijskim parametrima vezanim za vrijeme izloženosti (tj. izloženost iznad srednje razine mora ili plime).

Zajednička značajka sedimenta iz svih istraživanih jezgara njihov je sitnozrnati karakter. Sve su jezgre bile sastavljene u potpunosti od mulja, točnije izmjene šljunkovitog mulja, slabo šljunkovitog mulja, slabo šljunkovito pjeskovitog mulja i pjeskovitog mulja prema trokomponentnom dijagramu šljunka, pijeska i mulja (Slika 12), dok prema trokomponentnom dijagramu pijeska, praha i gline (Slika 13) očituje se izmjena pjeskovitog mulja, pjeskovitog praha i mulja. U ovom istraživanju je utvrđeno kako se udio pjeskovite frakcije smanjuje idući od obale prema moru, što je i očekivano s obzirom na utjecaj rijeke koja velikim dijelom prolazi kroz naslage fliša. Fliš, izmjena lapora i pješčenjaka, mehanički se troši, a čestice se rijekom transportiraju. Zrna veličine pijeska (vrlo sitan pijesak i sitan pijesak) su malobrojna, biogenog su podrijetla i to su kućice foraminifera i ljuštore ostrakoda. Čestice veličine šljunka su vrlo rijetke, to su neki biljni ostaci npr. fragmenti močvarnog bilja. Također, sve jezgre pokazuju izrazito lošu sortiranost što odgovara okolišu koji je pod utjecajem plimskih struja i riječnog donosa materijala zbog preplavlivanja Mirne (Felja *et al.* 2015). Boja sedimenta jezgara tek se neznatno mijenja, uglavnom su sve jezgre svijetlosmeđe boje s prisutnim crnim tragovima organske tvari. S obzirom na zastupljenost foraminiferskih kućica s različitim tipovima stijenki, jezgre izvađene bliže obali odgovaraju hiposalinim lagunama (Slike 14, 15 i 18), dok jezgre bliže moru pokazuju hipersaline lagune (Slike 16, 17, 19 i 20).

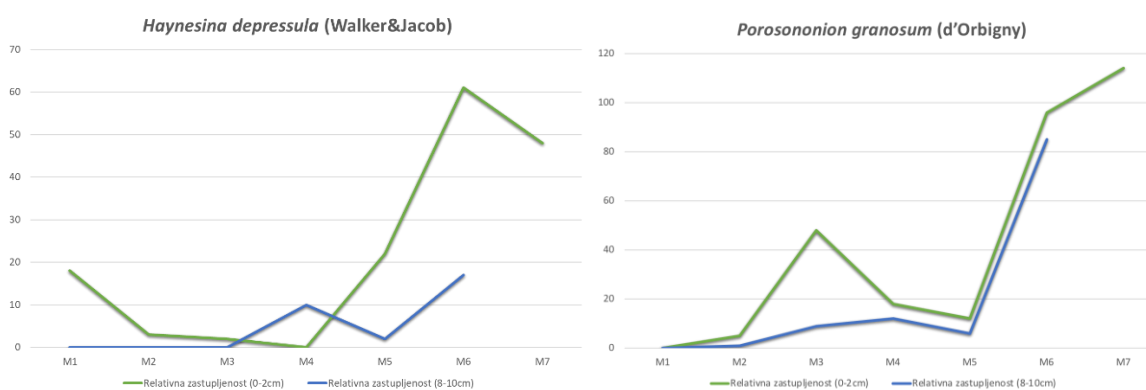
Među određenim foraminiferskim vrstama i rodovima, najzastupljenija brojem jedinki u svim istraživanim uzorcima je plitka infaunalna vrsta *A. tepida*. Njena brojnost se mijenja s obzirom na udaljenost istraživanih uzoraka od obale (Slika 21), te je u zajednici najbližoj obali (M1) vrsta najmanje zastupljena. U tom uzorku kao i u ostalima nađene su i deformirane kućice (Tabla 1; Slike B i C). Deformiranost kućice, izražena povećanjem zadnje klijetke, povezuje se promjenama saliniteta (Debenay, 1998). Vrsta *T. inflata*, ima

suprotni distribucijski trend, u uzorku M1 je najzastupljenija (Slika 21). Znatno je veća abundacija (broj jedinki) vrste *T. inflata* u dubljim intervalima (8-10 cm) jezgara, što može biti posljedica nakupljanja kućica tijekom vremena (sezona, proces „*time averaging*“). S obzirom na tip stijenke (aglutinirana, nastala lijepljenjem zrnaca), za očekivati je kako s dubinom, broj jedinki će biti manji, jer su prazne kućice izložene djelovanju pornih voda i sklonije uništavanju. Vrste *H. depressula* i *P. granosum* su brojnije u zajednicama bliže moru (Slika 22). Infaunalni način života dominira zajednicama, što odgovara granulometrijskim osobinama sedimenta (sitnozrnati sediment bogat organskom tvari). Očuvanost jedinki je odlična u plićim intervalima jezgara (Tabla 4; Slike A, B, G, H), međutim u dubljim intervalima kućice foraminifera značajnije su oštećene (Tabla 4; Slike D, E, F) izuzev jezgre M3 (Tabla 4; Slika C) što je u skladu s mogućim promjenama na ostatcima. Zato još više iznenađuje brojnost kućica *T. inflata* u dubljim intervalima. Pronađene su pretaložene jedinice roda *Haynesina* u svim jezgrama osim M3 i M5 (Tabla 1; Slike K i L, Tabla 2; Slike B i C) što podupire utjecaj rijeke Mirne na sedimente slane močvare na ušću.





Slika 21. Zastupljenost vrsta *Ammonia tepida* (Cushman) i *Trochammina inflata* (Montagu) u istraživanim jezgrama i prema dubini u svakoj jezgri



Slika 22. Zastupljenost vrsta *Haynesina depressula* (Walker & Jacob) i *Porosonion granosum* (d'Orbigny) u istraživanim jezgrama i prema dubini u svakoj jezgri

Vrijednosti Fisher ( $\alpha$ ) indeksa u plićem intervalu (0-2 cm) su u rasponu od 1,9 do 2,46, dok su u dubljem intervalu (8-10 cm) vrijednosti manje, odnosno u rasponu od 1,41 do 2,33, što ukazuje na tek neznatnu promjenjivost saliniteta na istraživanom području, izmjenu okoliša: marinska močvara i brakična močvara (Murray, 1991; Prilog 1). U plićem intervalu (0-2 cm) vrijednosti Shannon-Wiener-ovog H(S) indeksa su od 0,9 do 1,93, a u dubljem intervalu (8-10 cm) od 0,7 do 1,5 (Prilog 2). Plići (mlađi) intervali imaju veće vrijednosti nego dublji što znači da je zajednica foraminifera u plićem intervalu ujednačenija prema udjelu svake vrste u zajednici, dok manje balansirana zajednica dubljeg intervala može biti posljedica tafonomskog gubitka (npr. nemogućnost očuvanja nekih tipova kućica).

Tipično za okoliše slane močvare baš svugdje u svijetu je prisustvo vrste *T. inflata* u zajednici s drugim aglutiniranim vrstama i koje brojnošću nadilaze ovu vrstu (Scott & Medioli, 1978; Amorosi *et al.*, 2004; Albani *et al.*, 2007.). Monospecifični karakter aglutiniranih foraminifera na području ušća rijeke Mirne je već opisan (Felja, 2017). Najveća vrijednost Simpson-ovog S(1-D) indeksa u plićem intervalu iznosi 0,82, a najmanja 0,35, dok u dubljem intervalu (8-10 cm) vrijednosti se kreću od 0,3 do 0,73 (Prilog 3). Uzorci koji su smješteni na suprotnim krajevima profila kopno-more, koji bi trebali imati zbog utjecaja mora suprotne vrijednosti svih indeksa, imaju najveće vrijednosti. To samo da cijelim profilom vladaju nestabilni uvjeti, a da su uzroci nestabilnosti posljedica prepletanja utjecaja mora i rijeke Mirne.

Sastav foraminiferske zajednice odgovara tranzicijskim okolišima odnosno brakičnoj/slanoj močvari i unutrašnjem estuariju (Felja, 2017). Veća brojnost vrsta *A. tepida*, *H. depressula* i *P. granosum* upućuju na brakičnu/slanoj močvaru dok značajna abundancija vrste *T. inflata*, upućuje na brakične uvjete.

Također, sastav zajednice odgovara foraminiferskim zajednicama koje su opisane u dvjema sjevernojadranskim lagunama (lagune Marano i Grado, Melis & Covelli, 2013), te u slanoj močvari Čižići na otoku Krku (usmeno priopćenje, Neral), dok se nešto južnije na Kraljičinoj plaži u Ninu distribucija i sastav zajednice razlikuju (usmeno priopćenje, Čančar). U zajednicama laguna također dominira vrsta *A. tepida*, međutim zajednice imaju veću bioraznolikost u odnosu na istraživane uzorke. Brojnost vrste *A. tepida* objašnjava i sastav sedimenta (pretežno muljevi) koji su bogati s organskom tvari. Uočava se smanjenje brojnosti vrste *A. tepida* u blizini rijeke Aussa (Melis & Covelli, 2013), kao što je utvrđeno ovim istraživanjima (blizini ušća Mirne), gdje dominira glinovita komponenta. Cijeli Tršćanski zaljev (Melis *et al.*, 2019) može se usporediti s ušćem rijeke Mirne s obzirom na foraminifersku zajednicu, dominaciju vrste *A. tepida* u pjeskovitom i prahovitom dnu.

## 6. ZAKLJUČAK

Sediment sedam plitkih jezgara je izvađenih u slanoj močvari, na ušću rijeke Mirne, granulometrijski i mikropaleontološki je analizirano u svrhu opisivanja uvjeta koji kontroliraju taloženje.

1. Granulometrijskom i sedigraf analizom utvrđen je sitnozrnati sastav sedimenta, odnosno sediment pripada u grupu muljeva s neznatnom izmjenom udjela frakcija pijeska i praha. Uzrok takvog sastava je geološka građa porječja Mirne (flišne formacije) i donos vrlo sitnozrnatih čestica, te zaštićeno ušće bez značajnih utjecaja valova.

2. Mikropaleontološkom analizom određeno je ukupno osam (8) foraminiferskih vrsta i četrnaest (14) rodova. Brojnošću jedinki se ističu vrste *Ammonia tepida*, *Trochammina inflata*, *Porosonion granosum* i *Haynesina depressula* koje su tipične za okoliš slane močvare.

3. Indeksi bioraznolikosti potvrđuju promjenjivost saliniteta u istraživanom području. Fisher-ov ( $\alpha$ ) indeks okoliš definira kao izmjenu marinske i brakične močvare, Shanonn-Wiener-ov  $H(S)$  indeks potvrđuje veću raznolikost zajednice plićeg intervala u odnosu na dublji, te Simpson-ov (1-D) indeks dominacije pokazuje jednak trend, odnosno veću dominaciju u plitkom intervalu jezgre.

4. Rezultati sastava zajednice i sedimenta podudaraju se s rezultatima prethodnih istraživanja ušća rijeke Mirne i drugih sličnih okoliša u sjevernom Jadranu.

## 7. LITERATURA

- Albani, A.D., Serandrei-Barbero, R. & Donnici, S. (2007): Foraminifera as ecological indicators in the Lagoon of Venice, Italy. *Ecological Indicators* 7, 239–253.
- Alfirević, S. (1998): The taxonomy, distribution and ecology of Adriatic foraminifera with atlas. *Acta Adriatica*, 39, 3–251 str.
- Amorosi, A., Colalong, M.L., Fiorini, F., Fusco, F., Pasini, G., Vaiani, S.C. & Sarti, G. (2004): Palaeogeographic and palaeoclimatic evolution of the Po Plain from 150-ky core records. *Global Planetary Change*, 40, 55–78.
- Ban, A. (2019): Distribucija foraminifera i ostrakoda u slanoj močvari Lokunja (Otok Pag). Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1-39 str.
- Barić, A.; Grbec, B., and Bogner, D. (2008): Potential implications of sealevel rise for Croatia. *Journal of Coastal Research*, 24(2), 299–305.
- Božičević, S. (2005): Mirna.– In: BERTOŠA, M. & MATIJAŠIĆ, R. (eds.): *Istarska enciklopedija*. [Istrian Enciklopedy]. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 493–494.
- Carre, M.B., Kovačić, V. & Tassaux, F. (2007): Quatre ans de recherche sur le littoral parentin.– In: AURIEMMA R., KARINJA S. (ur.): *Terre di Mare. L'archeologia dei paesaggi costiere e le variazioni climatiche*. Atti del Convegno Internazionale di Studi Trieste, 8–10 novembre 2007, Trieste, 310–315.
- Cimerman, F. & Langer, M.R. (1991): Mediterranean Foraminifera. *Slovenska Akademija Znanosti in Umetnosti. Opera Academia Scientiarum et Artium Slovenica. Classis* 4, *Historia Naturalis* 30, 118 str.
- Cimerman, F., Drobne, K. & Ogorelec, B. (1988): L'association de foraminifères benthiques des vases de la baie de Veliko jezero sur l'île de Mljet et de la falaise Lenga, ouverte vers la mer (Adriatique Moyenne). *Revue de Paleobiologie*, Vol. Spec. N°2, Benthos '86, 741–753.
- Clark, P.U., Dyke, A.S., Shakun, J.D., Carlson, A.E., Clark, J., Wohlfarth, B., Mitrovica, J.X., Hostetler, S.W. & McCabe, A.M. (2009): The last Glacial Maximum. *Science* 324, 720–714.

- Cooper, J. A. G., Green, A.N. & Wright, C. I. (2011): Evolution of an incised-valley coastal plain estuary under low sediment supply: a “give-up” estuary. *Sedimentology*, 59 (3), 899–916.
- Ćosović, V., Zavodnik, D., Borčić, A., Vidović, J., Deak, S. & Moro, A. (2011): A checklist of Foraminifera of the Eastern Shelf of the Adriatic Sea. *Zootaxa*, 3035, 1–56.
- Ćosović, V., Gajski, N., Ptiček, A., Vidović, J. Kružić, P. (2016): The distribution of benthic foraminifera in *Cladocora caespitosa* coral banks of the Veliko Jezero sediments (Mljet National Park, eastern Adriatic Sea). *Neues jahrbuch fur geologie und palaontologie-abhandlungen*, 279/3, 323–340.
- Čančar, M. (2020): Distribucija i tafonomske karakteristike bentičkih foraminifera u međuplinskoj zoni Kraljičine plaže u Ninu. Diplomski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu. (neobjavljeno)
- Debenay, J. P., Bénéteau, E., Zhang, J., Stouff, V., Geslin, E., Redais, F., Fernandez-Gonzalez, M. (1998): *Ammonia beccarii* and *Ammonia tepida* (Foraminifera): Morphofunctional arguments for their distinction. *Marine Micropaleontology* 34, 235–244.
- Deželić, V. (1896): Foraminifere jadranskog mora (Foraminifera of the Adriatic Sea). *Glasnik Hrvatskog naravoslovnog društva* 9, 1–97 str.
- D’incà, C. (2007): Il Porto Quietto e il fiume: un mutare di funzioni e di paesaggi tra l’Istria costiera e l’interno.– In: AURIEMMA, R. & KARINJA, S. (eds.): *Terre di Mare. L’archeologia dei paesaggi costierei e le variazioni climatiche. Atti del Convegno Internazionale di Studi Trieste*, 8–10 novembre 2007, Trieste, 400–406.
- Felja, I., Fontana, A., Furlani, S., Barjaktarević, Z., Paradžik, A., Topalović, E., Rossato, S., Ćosović, V. & Juračić, M. (2015): Environmental changes in the lower Mirna River valley (Istria, Croatia) during the Middle and Late Holocene. *Geologia Croatica*. 68, 3; 209–224.
- Felja, I. (2017): Krški estuariji duž istočne jadranske obale: evolucija ušća rijeka Mirne i Neretve u mlađem kvartaru. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1-169 str.
- Folk, R. L. (1954): The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. *Journal of Geology and Geophysics*, 62/4, 344–359.

- Hayward, B.W., Cedhagen T., Kaminski, M., Gross, O. (2018): World Foraminifera Database (WoRMS Foraminifera)
- Jorissen, J. F. (1987): The distribution of benthic foraminifera in the Adriatic Sea. *Marine Micropaleontology*, 12, 21–48.
- Kelletat, D.H. (2005): Dalmatian coasts. In: Schwartz, M. (ed.), *Encyclopedia of Coastal Science. Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 355–356.
- Kelletat, D.H. & Scheffers, A. (2005): Europe, coastal geomorphology. In: Schwartz, M. (ed.), *Encyclopedia of Coastal Science. Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 452–462.
- Krumbein, W.C., (1934): Size Frequency Distribution of Sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 4, 65–77.
- Lambeck, K. & Chappell, H. (2001): Sea-Level Change Through Last Glacial Cycle. *Science* 292, 679–686.
- Loeblich Jr., A.R., Tappan, H. (1987): *Foraminiferal Genera and their Classification*. Van Reinhold Company, New York, 970 str.
- Magaš, N. (1973): *Osnovna geološka karta 1:100 000, Tumač za list Cres.*- Institut za geološka istraživanja Zagreb, (1965), Savezni geološki zavod, Beograd.
- Melis, R. & Covelli, S. (2013): Distribution and morphological abnormalities of recent foraminifera in the Marano and Grado Lagoon (North Adriatic Sea, Italy).— *Mediterranean Marine Science*, 14/1, 432–450.
- Melis, R., Celio, M., Bouchet, M. P. V., Varagona, G., Bazzaro, M., Crosera, M., Pugliese, N. (2019): Seasonal response of benthic foraminifera to anthropogenic pressure in two stations of the Gulf of Trieste (northern Adriatic Sea, Italy): the marine protected area of Miramare versus the Servola water sewage outfall. *Mediterranean Marine Science*, 20, 120–141.
- Micromeritics (2002): *SediGraph 5100 Particle size analysis system operator' manual*. Micromeritics Instrument Corporation, Norcross, Georgia.
- Murray, J.W. (1974): *Distribution and Ecology of Living Benthic Foraminiferids.*— Heinemann Educational Books, London, 274 str.

- Murray, J.W. (1991): Ecology and Paleoecology of Benthic Foraminifera. Longman Scientific & Technical, Harlow, 397 str.
- Neral, N. (2020): Prostorna raspodjela i sastav bentičke foraminiferske zajednice u slanoj močvari Čižići (otok Krk). Diplomski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu. (neobjavljeno)
- Phleger, F.,B. & Bradshaw, J., S. (1966): Sedimentary environments in a Marine Marsh, Science, 154, Issue 3756, 1551–1553.
- Pikelj, K. (2010): Sastav i porijeklo sedimenata dna istočne strane Jadranskog mora. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1-239 str.
- Pikelj, K. & Juračić, M. (2013): Eastern Adriatic Coast (EAC): Geomorphology and Coastal Vulnerability of a Karstic Coast. Journal of coastal research, 29, 944–957.
- Pleničar, M., Polšak, A. & Šikić, D. (1965): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, Tumač za list Trst, L33–88 [Basic Geological Map of SFRY 1:100000, Geology of the Trst sheet, L33–88].– Geološki zavod Ljubljana i Institut za geološka istraživanja Zagreb.
- Pleničar, M., Polšak, A., Šikić, D. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Trst, L33-88.- Institut za geološka istraživanja Zagreb, Geološki zavod Ljubljana (1965), Savezni geološki zavod, Beograd.
- Polšak, A.& Šikić, D. (1963): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, Tumač za list Rovinj, L33–100 [Basic Geological Map of SFRY 1:100000, Geology of the Rovinj sheet, L33–100].– Institut za geološka istraživanja, Zagreb.
- Polšak, A. (1970): Osnovna geološka karta SFRJ 1: 100.000. Tumač za list Pula L33–112 (Basic Geologic Map of SFRY 1:100.000 – Geology of the Pula sheet).– Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd.
- Polšak, A., Šikić, D. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za List Rovinj L33-100. Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1963), Savezni geološki Institut, Beograd.
- Popadić, A., Vidović, J., Čosović, V., Medaković, D., Dolenc, M., Felja, I. (2013): Impact evaluation of the industrial activities in the Bay of Bakar (Adriatic Sea, Croatia): Recent benthic foraminifera and heavy metals // *Marine pollution bulletin*, 76, 1/2; 333–348.

- Schafer, C. T. & Cole, F.E. (1986): Reconnaissance Survey of Benthonic Foraminifera from Baffin Island Fiord Environments, Arctic, 39, 3, 232–239.
- Schönfeld, J., Alve, E., Geslin, E., Jorissen, F., Korsun, S. (2012): The FOBIMO (Foraminiferal Bio-Monitoring) initiative - Towards a standardised protocol for soft-bottom benthic foraminiferal monitoring studies. *Marine Micropaleontology*, 94-95, 1–13.
- Scott, D.B. & Medioli, F.S. (1978): Vertical zonations of marsh foraminifera as accurate indicators of former sea-levels. *Nature*, 272, 528–531.
- Scott, D.B., Medioli, F.S., Schafer, C.T. (2001): *Monitoring of Coastal Environments Using Foraminifera and Thecamoebian Indicators*. Cambridge University Press, Cambridge, 177 str.
- Sen Gupta, B. K., and Schafer, C. T. (1973): Holocene benthonic foraminifera in leeward bays of St. Lucia, West Indies. *Micropaleontology*, 19, 341–65.
- Shaw, T. A., Baldwin, M., Barnes, E. A., Caballero, R., Garfinkel, C. I., Hwang, Y.-T., LI, C., O'gorman, P. A., Rivière, G., Simpson, I. R., Voigt, A. (2016): Storm track processes and the opposing influences of climate change. *Nature Geoscience*, 9, 656–664.
- Šikić, D. & Polšak, A., (1973): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Labin, L33-101.- Institut za geološka istraživanja Zagreb (1963), Savezni geološki zavod, Beograd.
- Šikić, D. & Pleničar, M. (1975): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Ilirska Bistrica, L33-89.- Institut za geološka istraživanja Zagreb, Geološki zavod Ljubljana (1967), Savezni geološki zavod, Beograd.
- Thornton, E.; Dalrymple, R.A.; Drake, T.G.; Elgar, S.; Gallagher, E.L.; Guza, R.T.; Hay, A.E.; Holman, R.A.; Kaihatu, J.M.; Lippmann, T.C., and Ozkan-Haller, H.T. (2000): *State of Nearshore Processes Research, II*. Naval Postgraduate School Technical Report NPS-OC-00-001.
- Vaniček, V., Juračić, M., Bajraktarević, Z. & Čosović, V. (2000): Benthic Foraminiferal Assemblages in a Restricted Environment – An Example from the Mljet Lakes (Adriatic Sea, Croatia). – *Geologia Croatica*, 53, 269–279.



- Velić, I., Tišljar, J., Matičec, D. i Vlahović, I. (1995): Opći prikaz geološke građe Istre.- 1. hrvatski geološki kongres, Opatija, 1995, Vodič ekskurzije, Zagreb, 5–30.
- Velić, I., Vlahović, I. & Matičec, D. (2002): Depositional sequences and Palaeography of the Adriatic Carbonate Platform.– *Memorie Della Società Geologica Italiana*, 57, 141–151.
- Vidović, J., Čosović, V., Juračić, M., Petricioli, D. (2009): Impact of fish farming on foraminiferal community, Drvenik Veliki Island, Adriatic Sea, Croatia. *Marine Pollution Bulletin*, 58, 1297–1309.
- Vitturi, L. M. & Rabitti, S. (1980): Automatic particle-size analysis of sediment fine fraction by SediGraph 5000D. *Geologia Applicata e Idrogeologia* 15, 101–108.
- Wentworth, C. K. (1922): A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *The Journal of Geology*, 30/5, 377–392.

Izvori s interneta:

<https://earth.google.com/web/@45.32078397,13.60570008,-1.56267201a,3153.97545766d,30y,0h,0t,0r>

<https://earth.google.com/web/@45.32020824,13.60134019,-2.93307015a,727.52097098d,30y,0h,0t,0r/data=MicKJQojCiExZDNEVW1SWk1uNllrSkVUXzMxTzg3YTBfRGFOSjBfeUE>

<https://www.istrapedia.hr/hr/natuknice/291/mirna%0c>

## 8. Popis slika u tekstu

Slika 1. Satelitska snimka istraživanog područja (Google Earth, <https://earth.google.com/web/@45.32078397,13.60570008,-1.56267201a,3153.97545766d,30y,0h,0t,0r>)

Slika 2. Geološka karta sjeverno-zapadnog dijela Istre (modificirano prema Geološkoj karti Hrvatske 1: 300 000, Hrvatski geološki zavod, 2009.); 1. Rasjed, 1a. Navlaka, 2. Kvartarne naslage (uglavnom holocen), 3. Terra rosa naslage (holocen), 4. Naslage fliša (eocen), 5. Liburnijske naslage, foraminiferski vapnenci i prijelazne naslage (paleocen ?, eocen), 6. Rudistni vapnenac (kreda), 7. Dolomiti i breče (kreda), 8. Vapnenci i dolomiti (kreda) (Felja *et al.*, 2015)

Slika 3. Prikaz slane močvare (lijevo), satelitska snimka s točnim koordinatama točaka uzorkovanja (desno) (Google Earth, <https://earth.google.com/web/@45.32020824,13.60134019,-2.93307015a,727.52097098d,30y,0h,0t,0r/data=MicKJQojCiExZDNEVW1SWk1uNllrSkVUXzMxTzg3YTBfRGFOSjBfeUE>)

Slika 4. Uzorkovanje jezgrilom (lijevo), vađenje uzorka iz jezgrila i pravilno spremanje (desno)(M.Čančar)

Slika 5. Jezgre omotane aluminijskom folijom s oznakom mjesta uzorkovanja i orijentacijom vrh-dno jezgre

Slika 6. Mjerenje uzorkovanih jezgara i podjela na intervale od 2 cm

Slika 7. Bojanje uzoraka Rose bengal otopinom

Slika 8. Mokro sijanje na standardnim Retsch® ASTM sitima u laboratoriju Geološko-paleontološkog zavoda (I. Felja)

Slika 9. SediGraph 5100 (Micrometrics Instrument Corporation)

Slika 10. Trokomponentni dijagram tipova stijenki s označenom distribucijom određenih okoliša (preuzeto i preuređeno iz Murray, 1974)

Slika 11. Grafički prikaz udjela frakcija šljunka, pijeska, praha i gline u svim uzorcima

Slika 12. Granulometrijski sastav sedimenata svih uzoraka u trokomponentnom dijagramu šljunka, pijeska i mulja prema Folku (1954)

Slika 13. Granulometrijski sastav sedimenata svih uzoraka u trokomponentnom dijagramu pijeska praha i gline prema Folku (1954)

Slika 14. Trokomponentni dijagram tipova stijenki s označenom distribucijom određenih okoliša koji prikazuje rezultate jezgre M1 (preuzeto i modificirano prema Murray, 1974)

Slika 15. Trokomponentni dijagram tipova stijenki s označenom distribucijom određenih okoliša koji prikazuje rezultate jezgre M2 (preuzeto i modificirano prema Murray, 1974)

Slika 16. Trokomponentni dijagram tipova stijenki s označenom distribucijom određenih okoliša koji prikazuje rezultate jezgre M3 (preuzeto i modificirano prema Murray, 1974)

Slika 17. Trokomponentni dijagram tipova stijenki s označenom distribucijom određenih okoliša koji prikazuje rezultate jezgre M4 (preuzeto i modificirano prema Murray, 1974)

Slika 18. Trokomponentni dijagram tipova stijenki s označenom distribucijom određenih okoliša koji prikazuje rezultate jezgre M5 (preuzeto i modificirano prema Murray, 1974)

Slika 19. Trokomponentni dijagram tipova stijenki s označenom distribucijom određenih okoliša koji prikazuje rezultate jezgre M6 (preuzeto i modificirano prema Murray, 1974)

Slika 20. Trokomponentni dijagram tipova stijenki s označenom distribucijom određenih okoliša koji prikazuje rezultate jezgre M7 (preuzeto i modificirano prema Murray, 1974)

Slika 21. Zastupljenost vrste *Ammonia tepida* (Cushman) u svakoj jezgri (lijevo), zastupljenost vrste *Trochammina inflata* (Montagu) u svakoj jezgri (desno)

Slika 22. Zastupljenost vrste *Haynesina depressula* (Walker & Jacob) u svakoj jezgri (lijevo), Zastupljenost vrste *Porosonion granosum* (d'Orbigny) u svakoj jezgri (desno)

## 9. Popis tablica u tekstu

Tablica 1. Tablica podataka o srednjoj vrijednosti, medijanu, sortiranosti i teksturalnoj grupi za sve uzorke

Tablica 2. Apsolutna i relativna zastupljenost foraminiferskih vrsta i rodova u jezgri M1

Tablica 3. Indeksi bioraznolikosti svih uzoraka za plići interval (0-2 cm)

Tablica 4. Indeksi bioraznolikosti svih uzoraka za dublji interval (8-10 cm)

Tablica 5. Apsolutna i relativna zastupljenost foraminiferskih vrsta i rodova u jezgri M2

Tablica 6. Apsolutna i relativna zastupljenost foraminiferskih vrsta i rodova u jezgri M3

Tablica 7. Apsolutna i relativna zastupljenost foraminiferskih vrsta i rodova u jezgri M4

Tablica 8. Apsolutna i relativna zastupljenost foraminiferskih vrsta i rodova u jezgri M5

Tablica 9. Apsolutna i relativna zastupljenost foraminiferskih vrsta i rodova u jezgri M6

Tablica 10. Apsolutna i relativna zastupljenost foraminiferskih vrsta i rodova u jezgri M7

**10. TABLE****TABLA I**

Slika A) *Bolivina spathulata* (Williamson), uzorak M1 (0-2 cm)

Slika B) *Ammonia tepida* (Cushman), spiralna strana, deformirana zadnja klijetka, uzorak M1 (8-10 cm)

Slika C) *Ammonia tepida* (Cushman), umbilikalna strana, deformirana zadnja klijetka, uzorak M1 (8-10 cm)

Slika D) *Triloculina* sp., uzorak M1 (8-10 cm)

Slika E) *Ammonia parkinsoniana* (d'Orbigny), spiralna strana, uzorak M3 (8-10 cm)

Slika F) *Ammonia parkinsoniana* (d'Orbigny), umbilikalna strana, uzorak M3 (8-10 cm)

Slika G) *Ammonia* sp., spiralna strana, uzorak M4 (0-2 cm)

Slika H) *Ammonia* sp., umbilikalna strana, uzorak M4 (0-2 cm)

Slika I) *Quinqueloculina* sp., uzorak M5 (8-10 cm)

Slika J) *Massilina* sp., uzorak M6 (0-2 cm)

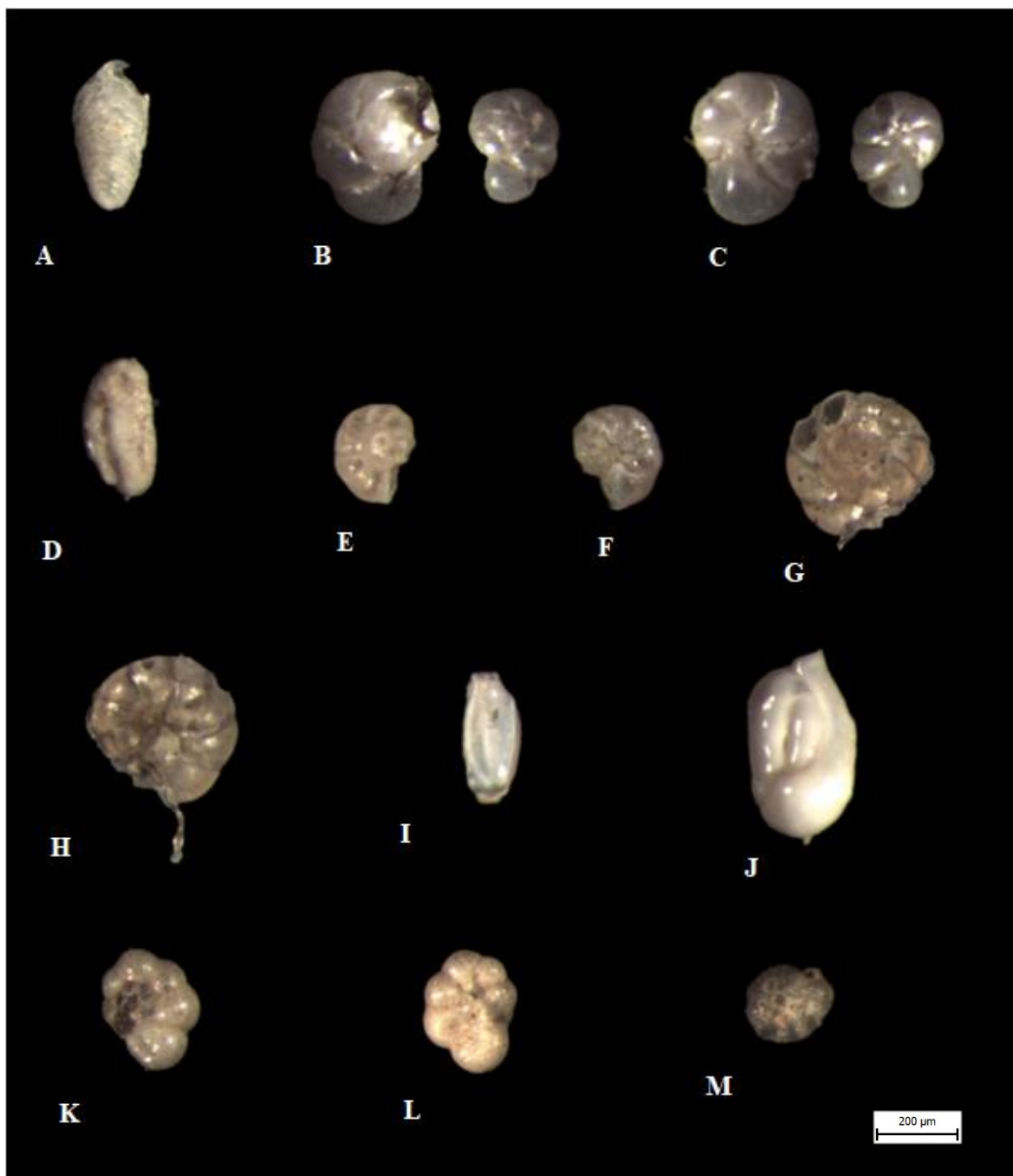
Slika K) *Haynesina* sp., jedna strana, piritizirana i pretaložena, uzorak M7 (0-2 cm)

Slika L) *Haynesina* sp., druga strana, piritizirana i pretaložena, uzorak M7 (0-2 cm)

Slika M) *Porosononion* sp., crno obojan, uzorak M7 (0-2 cm)

Kućice planspiralnih i trohospiralnih foraminifera nisu orijentirane prema pravilima zbog tehničkih ograničenja kamere prilikom slikanja.

**TABLA 1**



---

**TABLA II**

Slika A) *Haynesina depressula* (Walker & Jacob), uzorak M1 (0-2 cm)

Slika B) *Haynesina* sp., jedna strana, uzorak M1 (0-2 cm)

Slika C) *Haynesina* sp., jedna strana, uzorak M1 (0-2 cm)

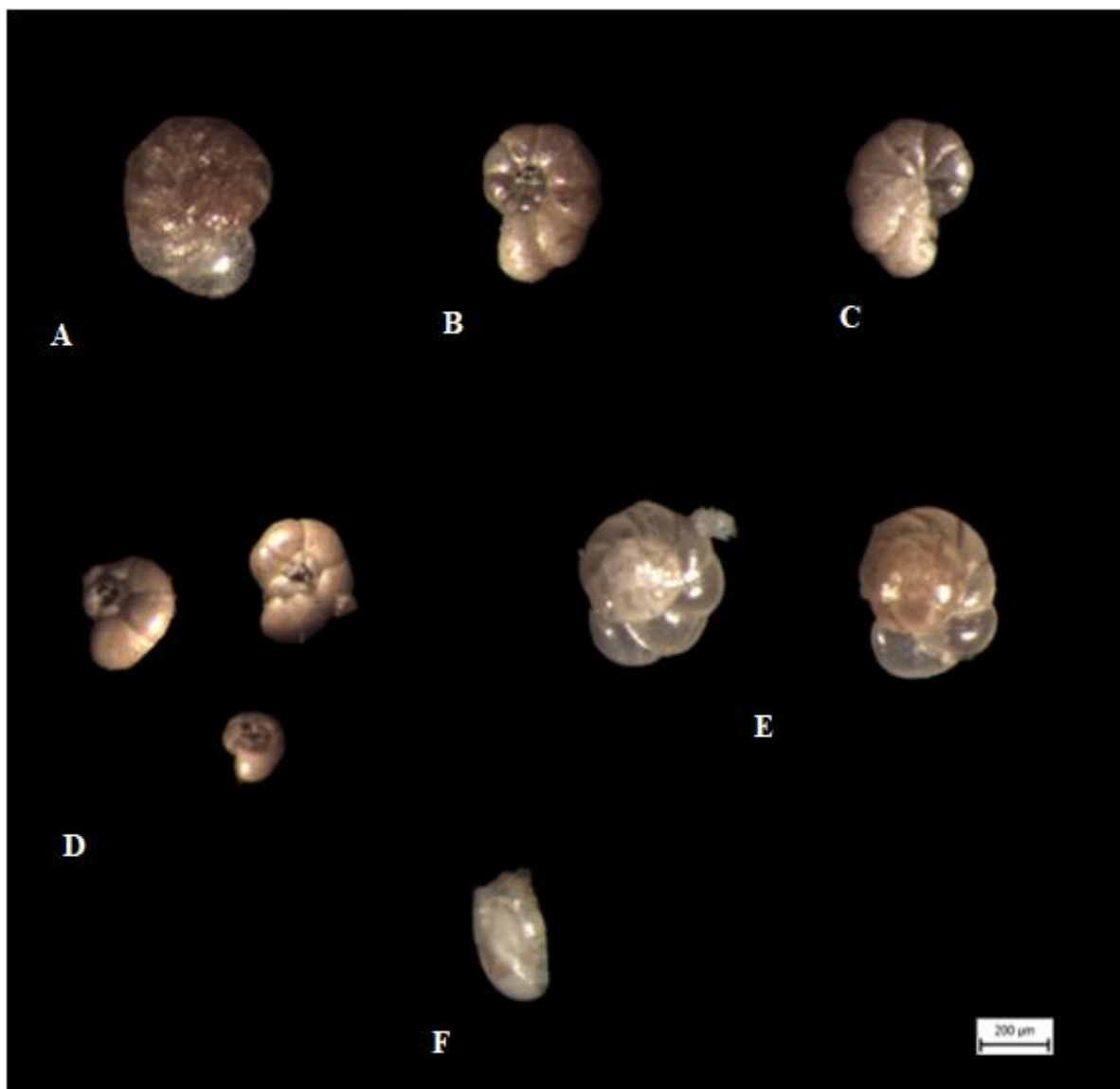
Slika D) *Trochammina inflata* (Montagu), uzorak M1 8-10 cm)

Slika E) *Ammonia tepida* (Cushman), uzorak M2 (0-2 cm)

Slika F) *Polymorphina* sp., uzorak M3 (0-2 cm)

Kućice planspiralnih i trohospiralnih foraminifera nisu orijentirane prema pravilima zbog tehničkih ograničenja kamere prilikom slikanja.

**TABLA II**





**TABLA III**

Slika A) *Haynesina depressula* (Walker & Jacob), jedna strana, uzorak M2 (0-2 cm)

Slika B) *Haynesina depressula* (Walker & Jacob), druga strana, uzorak M2 (0-2 cm)

Slika C) *Porosononion granosum* (d'Orbigny), jedna strana, uzorak M3 (0-2 cm)

Slika D) *Porosononion granosum* (d'Orbigny), druga strana, uzorak M3 (0-2 cm)

Slika E) *Ammonia beccarri* (Linnaeus), uzorak M5 (0-2 cm)

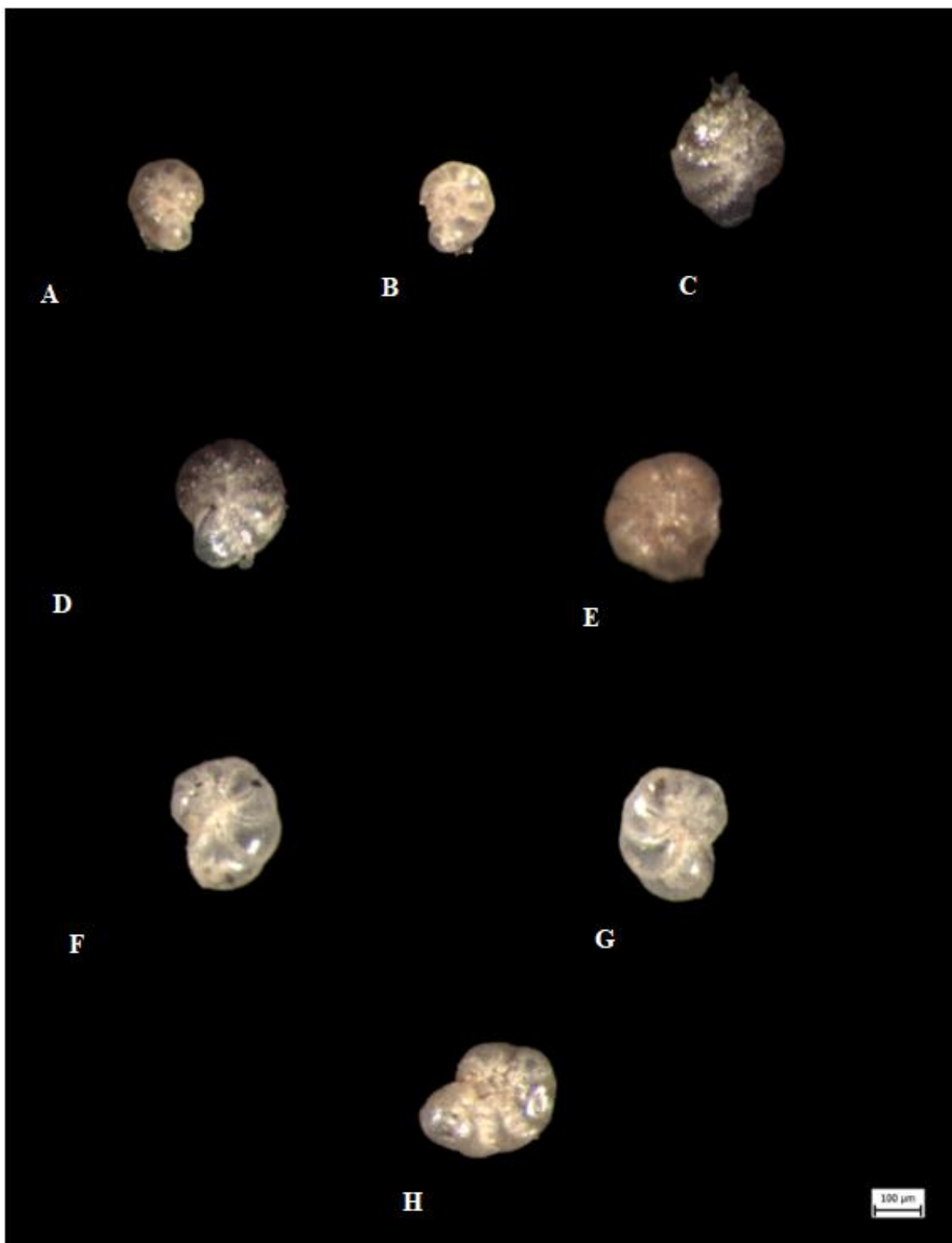
Slika F) *Haynesina depressula* (Walker & Jacob), jedna strana, M7 (0-2 cm)

Slika G) *Haynesina depressula* (Walker & Jacob), druga strana, M7 (0-2 cm)

Slika H) *Porosononion granosum* (d'Orbigny), uzorak M7 (0-2 cm)

Kućice planspiralnih i trohospiralnih foraminifera nisu orijentirane prema pravilima zbog tehničkih ograničenja kamere prilikom slikanja.

**TABLA III**



**TABLA IV**

Slika A) Zajednica foraminifera u uzorku M1 (8-10 cm)

Slika B) Zajednica foraminifera u uzorku M2 (0-2 cm)

Slika C) Zajednica foraminifera u uzorku M3 (8-10 cm)

Slika D) Zajednica foraminifera u uzorku M4 (8-10 cm)

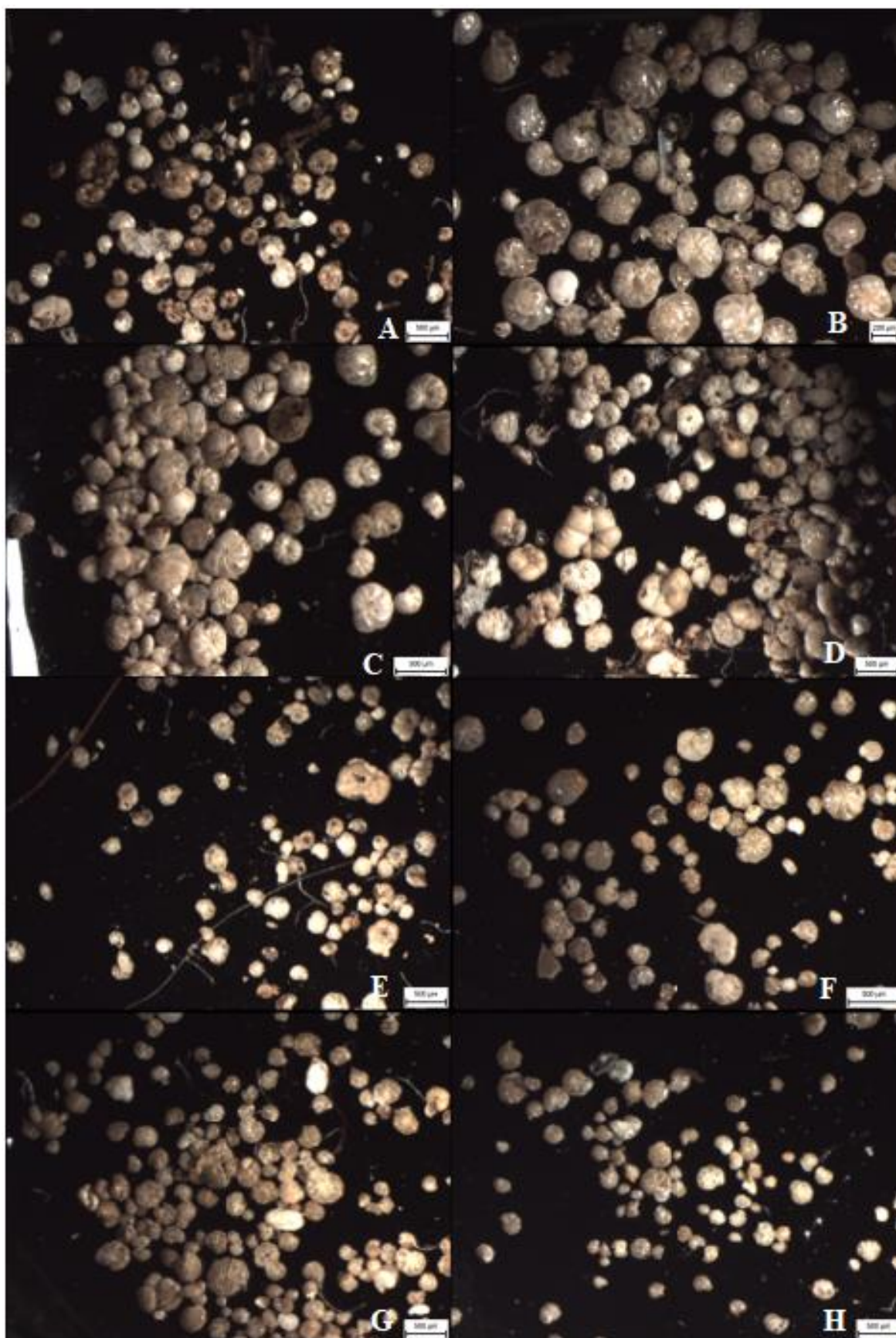
Slika E) Zajednica foraminifera u uzorku M5 (8-10 cm)

Slika F) Zajednica foraminifera u uzorku M6 (0-10 cm)

Slika G) Zajednica foraminifera u uzorku M6 (0-2 cm)

Slika H) Zajednica foraminifera u uzorku M7 (0-2 cm)

TABLA IV



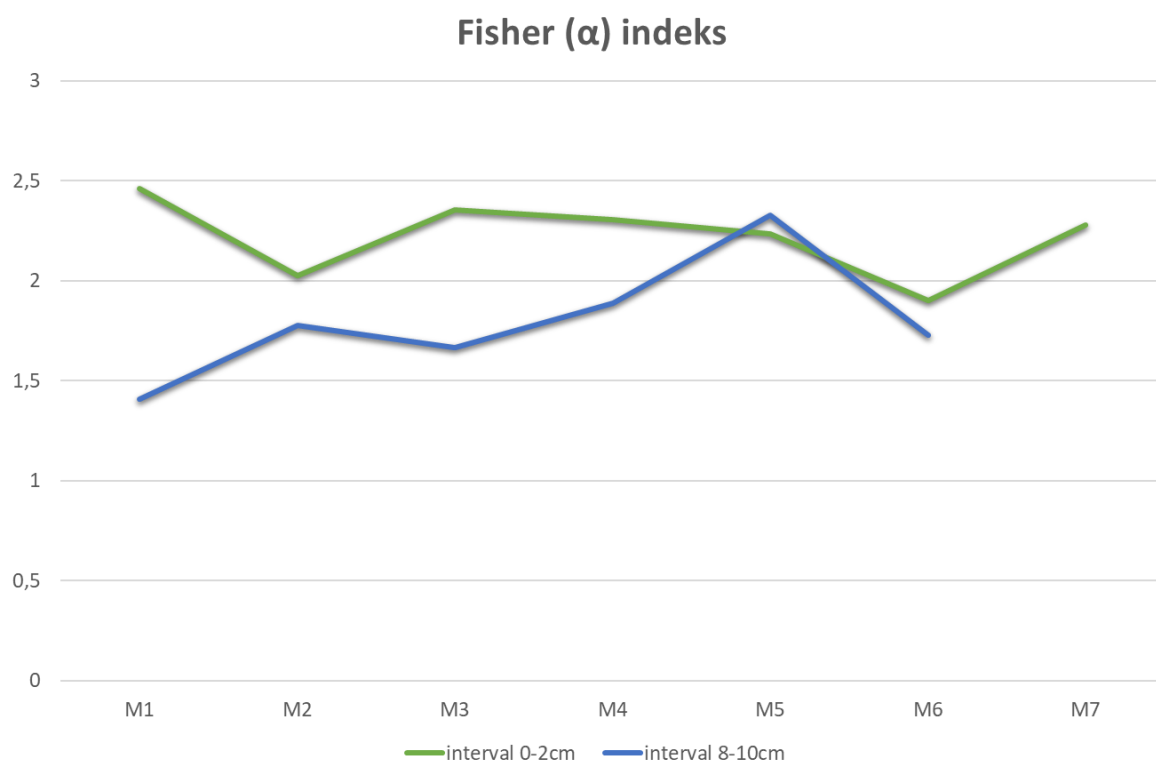
## **11. PRILOZI**

Prilog 1. Grafikon s vrijednostima Fisher ( $\alpha$ ) indeksa

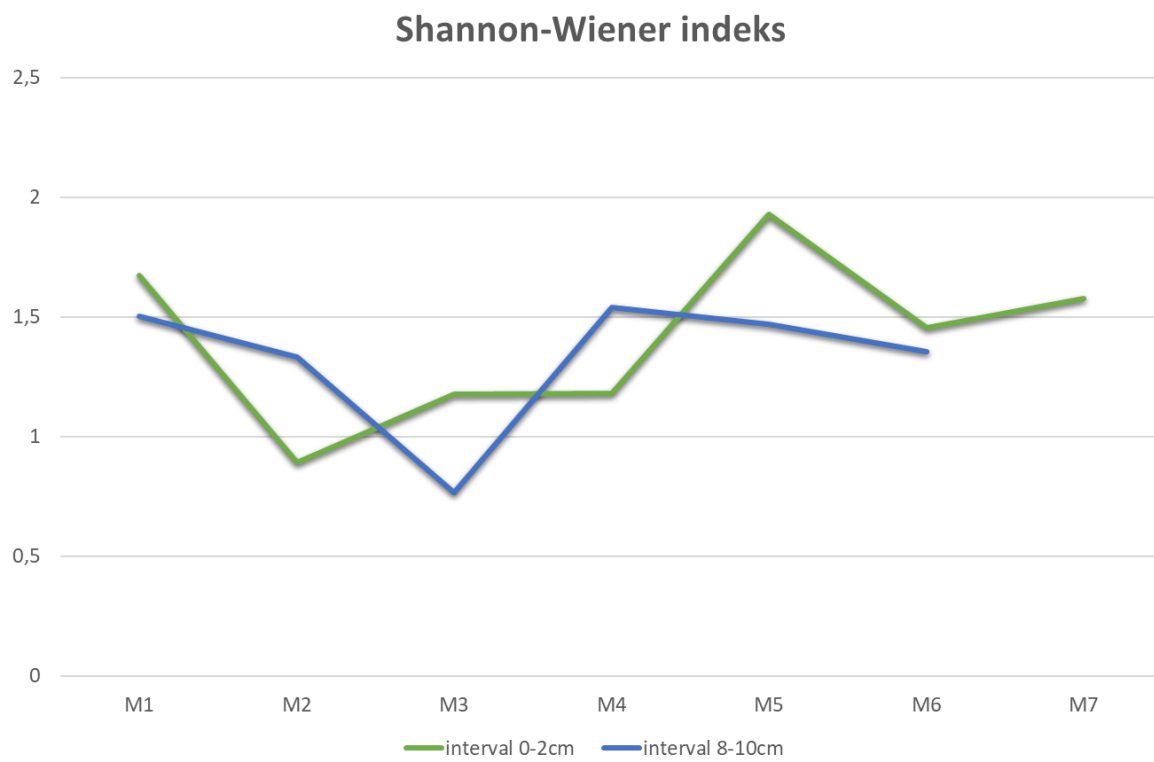
Prilog 2. Grafikon s vrijednostima Shannon-Wiener-ovog H(S) indeksa

Prilog 3. Grafikon s vrijednostima Simpson-ovog S(1-D) indeksa

**PRILOG 1**



**PRILOG 2**



**PRILOG 3**

