Taložni okoliši i foraminiferske zajednice u sedimentima deltne ravnice rijeke Neretve

Ačkar, Marino

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:866010

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET

GEOLOŠKI ODSJEK

MARINO AČKAR

TALOŽNI OKOLIŠI I FORAMINIFERSKE ZAJEDNICE U SEDIMENTIMA DELTNE RAVNICE RIJEKE NERETVE

Diplomski rad

predložen Geološkom odsjeku

Prirodoslovno-matematičkog fakulteta

Sveučilišta u Zagrebu

radi stjecanja akademskog stupnja

magistra geologije

Zagreb, 2018.

Ovaj diplomski rad izrađen je u sklopu Diplomskog studija geologije i paleontologije na Geološkom odsjeku Prirodoslovno- matematičkog fakultetu Sveučilišta u Zagrebu pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Mladena Juračića i neposrednog voditelja dr. sc. Igora Felje.

ZAHVALA

*Zahvaljujem **prof. dr. sc. Mladenu Juračiću** na mentorstvu i na svim konstruktivnim savjetima koji su mi pomogli pri sastavljanju diplomskog rada.*

*Zahvaljujem **dr. sc. Igoru Felji**, neposrednom voditelju na iznimno velikoj pomoći tijekom analize i interpretacije foraminifera, te na svim pozitivnim i korisnim sugestijama prilikom izrade diplomskog rada.*

*Zahvaljujem članovima povjerenstva, **prof. dr. sc. Vlasti Ćosović** i **izv. prof. dr. sc. Marijanu Kovačiću** na dodatnim sugestijama i komentarima.*

Zahvaljujem svim dijelatnicima Geološkog odsjeka koji su mi pružili znanje tijekom svih predavanja, vježbi, a osobito terenskih nastava i rasplamsali ljubav prema geologiji.

Zahvaljujem svim kolegama koji su mi studiranje učinili još zanimljivijim i interesantnijim.

Zahvaljujem mojoj obitelji, osobito roditeljima na podršci i razumijevanju prilikom studija, te svim prijateljima koji su bili lijek za stres. Posebno hvala Lari na ogromnoj podršci.

SADRŽAJ

1. UVOD ... **1**

2. PROMJENE MORSKE RAZINE ... **2**

3. RUBNI MARINSKI OKOLIŠI ... **4**

3.1. Estuariji ... 4

3.2. Delte ... 6

3.2.1. Delte unutar estuarija ... 6

3.3. Važnost foraminifera u određivanju rubnih marinskih okoliša ... 8

4. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA ... **10**

4.1. Opće karakteristike delte Neretve ... 10

4.2. Geološki pregled ... 11

5. METODE ISTRAŽIVANJA ... **13**

5.1. Uzorkovanje jezgara ... 13

5.2. Analiza foraminifera ... 15

5.3. Biostatističke metode ... 16

5.3.1.Berger-Parker-ov indeks ... 16

5.3.2.Simpson-ov indeks ... 17

5.3.3. Shannon-Wiener-ov indeks ... 17

5.4.4. Fisher-ov indeks ... 18

6. REZULTATI ... **19**

6.1. Jezgra NER3 ... 19

6.2. Jezgra NER4 ... 25

6.3. Jezgra NER5 ... 29

6.4. Jezgra NER6 ... 32

7. RASPRAVA ... **37**

7.1. Usporedba i korelacija jezgri ... 37

7.2. Taložni okoliši ... 41

7.2.1. Aluvijalni okoliši (deltna ravnica) ... 42

7.2.2. Prijelazni (brakični) okoliši ... 43

7.2.3. Središnji i vanjski estuarij ... 45

8. ZAKLJUČAK ... **46**

9. LITERATURA ... **47**

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geološki odsjek

Diplomski rad

TALOŽNI OKOLIŠI I FORAMINIFERSKE ZAJEDNICE U SEDIMENTIMA DELTNE RAVNICE RIJEKE NERETVE

Marino Ačkar

Rad je izrađen: Prirodoslovno-matematički fakultet, Geološko-paleontološki zavod, Horvatovac 102a, Zagreb

Sažetak: Na jezgrama NER3 i NER4 te iz rezultata preuzetih iz disertacije Felja (2017) za jezgre NER5 i NER6 iz područja deltne ravnice rijeke Neretve provedena je foraminiferska analiza, s ciljem da se rekonstruiraju taložni okoliši koji su se izmjenjivali tijekom holocena. U jezgrama je određena apsolutna brojnost foraminifera, relativna brojnost foraminifera i indeksi bioraznolikosti (indeks dominacije, Berger-Parker-ov indeks, Simpson-ov indeks, Shannon-Wiener-ov indeks, Fisher-ov indeks). Najzastupljenije vrste foraminifera pripadale su rodovima *Ammonia*, *Haynesina* i *Porosononion.* Povećanjem dubine rasla je i raznolikost vrsti, pa su nađene miliolide i jedinke roda *Elphidium.* Taložni okoliši koji su prepoznati na temelju indeksa bioraznolikosti i zastupljenosti foraminiferskih rodova su: aluvijalni okoliš (deltna ravnica), brakični okoliš (močvare/lagune, unutrašnji estuarij), te središnji/vanjski estuarij. Na temelju rezultata utvrđena je progradacija delte unutar estuarija te zapunjavanje estuarija tijekom holocena.

Ključne riječi: taložni okoliši, foraminifere, indeksi bioraznolikosti, delta unutar estuarija, holocen, Neretva

Rad sadrži: 52 stranice, 18 slika, 12 tablica, 60 literaturnih navoda

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je pohranjen u: Središnjoj geološkoj knjižnici, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb

Mentor: dr. sc. Mladen Juračić. prof.

Neposredni voditelj: dr. sc. Igor Felja

Ocjenjivači: dr. sc. Mladen Juračić, prof.

dr. sc. Vlasta Ćosović, prof.

dr. sc. Marijan Kovačić, izv. prof.

Rad prihvaćen: 9.2.2018.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb

Faculty of Science

Department of Geology

Graduated Master Thesis

DEPOSITIONAL ENVIRONMENTS AND FORAMINIFERAL ASSEMBLAGES IN SEDIMENTS OF THE NERETVA RIVER DELTA PLAIN

Marino Ačkar

Thesis completed in: Faculty of Science, Division of Geology and Palontology, Horvatovac 102a, Zagreb

Abstract: On the cores NER3 and NER4, and from the results given in disertation Felja (2017) for cores NER5 and NER6 from the area of the Neretva river delta plain, a foraminiferal analysis was carried out to reconstruct the depositional environments that were changing during Holocene. In all drilled cores total number of foraminifera, relative percentage of foraminifera and biodiversity indices (Dominance, Berger-Parker index, Simpson index, Shannon-Wiener index, Fisher's index) were calculated. The most common types of foraminifera belonged to the genera *Ammonia*, *Haynesina* and *Porosononion*. The biodiversity increased with depth and various miliolids and *Elphidium* genus were present in the deeper layers. Depositional environments that were recognized based on biodiversity indices and the abundance of foraminiferal genera are: alluvial environments (deltaic plain), brackish environments (marhes/lagoons, inner estuaries), central/outer estuaries. Based on the results, progradation of intra-estuarine delta and the filling of the estuarine basin occurred during Holocene.

Keywords: depositional environments, foraminifera, biodiversity indices, intra-estuarine delta, Holocene, Neretva

Thesis contains: 52 pages, 18 figures, 12 tables, 60 references

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Central geological library, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb

Supervisors: dr. sc. Mladen Juračić, prof.

Immediate leader: dr. sc. Igor Felja

Reviewers: dr. sc. Mladen Juračić, prof.

dr. sc. Vlasta Ćosović, prof.

dr. sc. Marijan Kovačić, assoc. prof.

Thesis accepted: 9.2.2018.

1. UVOD

Riječna ušća su izrazito dinamični okoliši zbog velikog utjecaja procesa s kopna i mora (valovi, promjene morske razine, donosa sedimenta s kopna riječnim putem, litologija drenažnog prostora, itd.). Riječna ušća duž istočnojadranske obale prošla su najveće promjene tijekom i nakon zadnjeg glacijalnog maksimuma koji je bio prije 26,000-19,000 godina (Clark et al., 2009). Tijekom zadnjeg glacijalnog maksimuma morska razina bila je niža za ~120 m, i tadašnje rijeke su usijecale svoje korito u karbonatnu podlogu. Nakon glacijala, otapaju se velike količine leda te dolazi do naglog i skokovitog porasta morske razine. Jadransko more poplavilo je riječne doline istočnojadranskih rijeka, a time se i položaj njihovih ušća pomaknuo. Usporen rast morske razine tijekom holocena i intenzivniji donos materijala rijekama, snažno su utjecale na evoluciju i razvoj različitih okoliša na ušću rijeke Neretve. Svaki od tih okoliša ima karakterističnu fosilnu zajednicu i sedimentne karakteristike koje ukazuju na uvijete u kojima se taloženje odvijalo (Felja, 2017).

Bentičke foraminifere su mikroorganizmi koji su brojni u plitkim i prijelaznim morskim okolišima i različite vrste žive u usko definiranim zonama (Murray, 2006) pa se na taj način uz pomoć bentičkih foraminifera mogu odrediti taložni okoliš i uvjeti koji su vladali u njima. Foraminiferske zajednice ovise o puno ekoloških faktora, kao što su: salinitet, temperatura, nutrijenti, kompeticija, količina kisika, količina hrane, itd. (Murray, 2006).

U ovom diplomskom radu analizirane su plitke sedimentne jezgre iz kojih su dobiveni granulometrijski podaci i foraminiferski podaci. Uz ove podatke i biostatističke analize, pokušalo se odrediti promjene taložnih okoliša na području ušća rijeke Neretve. Rezultati ovog istraživanja će time pridonijeti u interpretaciji i rekonstrukciji taložnih okoliša na području deltne ravnice Neretve tijekom holocena.

2. PROMJENE MORSKE RAZINE

Tijekom geološke prošlosti Zemlje, promjene morske razine bile su učestale i izrazito su utjecale na nastanak i formiranje različitih tipova obalnih okoliša, što je vidljivo i u današnje vrijeme. Razdoblje kvartara je karakteristično po velikim klimatskim oscilacijama (izmjene interglacijala i glacijala). Uzrok tih varijacija u temperaturi su cikličke promjene u orbitalnim parametrima Zemlje (Milankovićevi ciklusi). U Milankovićeve cikluse ubrajamo ekscentricitet Zemljine orbite, nagib Zemljine osi i precesiju/Zemljinu orijentaciju. Zajednički utjecaji ovih cikličkih promjena uzrokovat će fluktuacije u količini i sezonskoj promjeni solarne energije koja dolazi do Zemlje (Berger, 1988).

Za razumijevanje promjena morske razine bitno je razlikovati eustatske od relativnih promjena (Van de Plassche, 1986). Eustatske ili globalne promjene morske razine nastaju zbog promjena u volumenu i/ili masi oceanske vode ili promjena volumena oceanskih bazena. Do tih promjena dolazi zbog otapanja/stvaranja ledenih kapa na kontinentima ili razmještajem vode u različitim hidrološkim rezervoarima (površinske vode, podzemne vode, vlažnost tla i snijeg) kada je u pitanju promjena u masi vode, a do promjena u volumena vode doći će zbog varijacije u gustoći morske vode (zagrijavanjem ili hlađenjem) ili zbog promjena saliniteta (Rovere et al., 2016).

Relativne ili lokalne promjene morske razine nastaju zbog tektonike i subsidencije i time ne utječu na globalne trendove promjene morske razine već samo lokalno. Do ovakvih promjena može doći uslijed tektonike (rasjedi) koji će promijeniti položaj obalne linije te zbog kompakcije sedimenta (Horton & Shennan, 2009). Također na relativnu promjenu morske razine utječu izostatske promjene koje su izrazito vidljive tijekom glacijala (Lambeck & Chappell, 2001).

Indikatori koji se koriste za određivanje morske razine su:

1. Geomorfološki indikatori - obuhvaćaju plimske potkapine koje nastaju u područjima s izmjenom plime i oseke (Furlani et al., 2011), kaverne i špilje (Mylroie & Carew, 1988) čije formiranje povezujemo s kopnenim okolišem. Za ove geomorfološke oblike valja reći da ih u današnje vrijeme nerijetko nađemo potopljene.

2. Sedimentološki indikatori - obuhvaćaju sedimente rubnih (prijelaznih) marinskih okoliša, kao što su lagune, estuariji, delte, slana i brakična močvarna područja jer se nalaze blizu same morske razine. Na tim područjima događale su se sezonske izmjene razine morske vode koje se lako prepoznaju u sedimentom sastavu. Foraminifere i ostali fosili rubnih marinskih okoliša (ostrakodi, dijatomeje, školjkaši, puževi) također mogu biti veoma korisni kod rekonstukcije obalnih granica i paleokoliša (Vacchi et al., 2016).
3. Biokonstrukcijski indikatori - obuhvaćaju razne grebenotvorne organizme (poput koralja, algi, mahovnjaka i organizme koji su živjeli sesilno/vagilno) i bioturbacije (spužve, školjkaši) (Rovere et al., 2015).
4. Arheološki indikatori - obuhvaćaju čovjekov utjecaj na obalu. To mogu biti ostaci morskih luka, uzgajališta riba i školjkaša, cesta i potopljenih nastamba (Van Andel, 1989).

Promjene morskih razina tijekom kvartara podijeljene su u više dijelova/zona na temelju omjera stabilnih kisikovih izotopa (^{18}O i ^{16}O) iz skeleta vapnenačkih foraminifera (Emiliani, 1955). Za istraživano područje (dolinu rijeke Neretve) i ostatak današnjih obala najvažniji događaj bio je zadnji glacijalni maksimum (LGM) koji je trajao od 26,000 godina do 19,000 godina. Morska razina tijekom LGM-a bila je niža za ~120 metara (Clark et al., 2009) te su brojne rijeke imale produljeni tok u usporedbi s današnjim tokovima. Za primjer možemo usporediti rijeku Neretvu koja je imala tok produljen za 136 km (Sikora et al., 2014).

Nakon LGM-a došlo je do otapanja ledenjaka i do ulijevanja velikih količina ledenjačke vode u oceane. To je uzorkovalo brzo uzdizanje morske razine od ~120 metara (Fairbanks, 1989; Edwards, 2006, Clark et al., 2009) tijekom perioda od 19,000 do 7,000 godina s prosječnom brzinom dizanja od 12 mm/god, ali s različitim brzinama u pojedinim razdobljima (Lambeck et al., 2014). Nakon ovog perioda dizanje morske razine se stabiliziralo (usporilo) u holocenu što je u kombinaciji s pojačanim donosom sedimenta omogućilo da se formiraju današnje delte i obalne linije (Stanley & Warne, 1994).

3. RUBNI MARINSKI OKOLIŠI

Rubni marinski okoliši poput slanih močvara, laguna, delta i (za ovaj rad bitnih) estuarija označavaju granicu između kopna i mora. Tijekom proteklih 19,000 godina morska razina se podigla za ~120 metara (Clark et al., 2009), radi toga recentni rubni marinski okoliši su geološki gledano, jako mladi. Na tim područjima imamo različite gradijente saliniteta zbog donosa slatkovodne vode i evaporacijskih procesa. Ti gradijenti saliniteta mogu biti horizontalni i/ili vertikalni ovisno o toku rijeku i plimskom režimu. Klima će utjecati na formiranje raznovrsnih okoliša od brakičnih pa sve do hipersalinih.

3.1. Estuariji

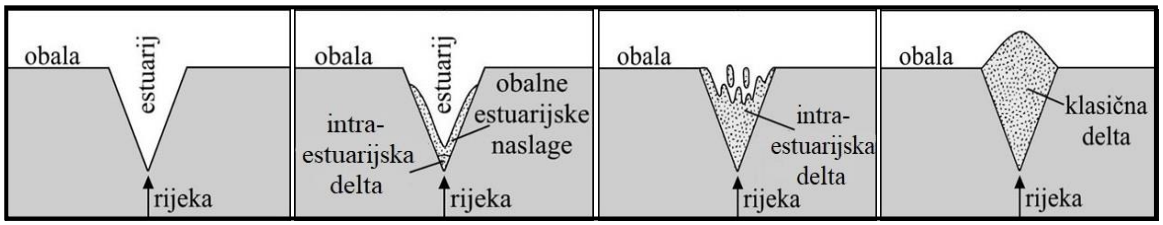
Estuarijski okoliši imaju veliku ekološku važnost jer na tim područjima nalazimo raznovrsnu floru i faunu (Dalrymple et al., 1994) te su veoma osjetljivi na promjene poput: promjene razine mora, temperature, saliniteta i zagađenja. Radi jako dobre dostupnosti ovih područja, istraživanja su jeftina i efikasna. Velike količine naftnih rezervi i općenito rezervi ugljikovodika mogu se pronaći u najstarijim naslagama akumuliranim na ovakvim područjima (Boyd et al., 2006) te nas ne treba čuditi da su ovakvi okoliši istraživaniji od ostalih (Murray, 2006).

Estuariji su poluzatvorena vodena tijela slobodno povezana s otvorenim morem (slika 1). Glavni procesi koji kontroliraju i diktiraju morfologiju estuarija su donos fluvijalnog materijala, gibanje valova te morske mijene (plima i oseka). Estuarij možemo podijeliti na 3 dijela (Fairbridge, 1980):

- Morski ili donji (vanjski) estuarij - slobodno povezan i pod dominantnim utjecajem otvorenog mora;
- Srednji ili centralni estuarij - intenzivno mješanje morske i riječne vode;
- Gornji ili riječni (unutrašnji) estuarij - pod dominantnim utjecajem riječne vode, ali s dnevnim utjecajem plime i oseke.

Sedimentni sastav u estuarijima je pod velikim utjecajem visine valova, dostupnosti sedimenta, transporta sedimenta te plime i oseke (Dalrymple, 1992; Bianchi, 2013). Također, sedimentni sastav estuarija ovisi o dominantnom izvoru sedimenata, a to mogu biti ili aluvijalni sedimenti ili marinski sedimenti. U estuarijskim okolišima dolazi do

miješanja fluvijalnih i marinskih procesa, te kao posljedicu toga imamo prethodno navedena 3 dijela (zone) estuarija s karakterističnim značajkama koje će biti opisane u nastavku.



Slika 1. Shematski prikaz evolucije delte od intra-estuarijske do klasične delte (modificirano prema Semeniuk & Semeniuk, 2016).

Sedimentološki gledano estuariji se ponašaju kao poluzatvoreni ili potpuno zaštićeni bazeni. Na taj način fluvijalni sedimenti koji su transportirani rijekom i marinski sedimenti koji su transportirani valovima i marinskim procesima bivaju zarobljeni (Dalrymple et al, 1992: Dalrymple et al., 1994). Estuarijski okoliši općenito gledajući imaju uniforman sedimentni sastav koji može varirati lateralno i vertikalno.

Morski ili donji (vanjski) estuarij je uglavnom plitkomorsko područje na kojem se talože kvarcni pjesci s ostacima skeletnog materijala, foraminifera i algalnih fragmenata; i šljunci s krhotinama školjkaša (Dalrymple et al, 1992: Dalrymple et al., 1994).

Srednji ili centralni estuarij je plitkovodno do umjereno dubljevodno područje. Tu će se generirati muljevi (algalni fragmenti, fragmenti školjkaša, foraminifere, dijatomeje i spikule spužvi), pijesci (foraminifere, algalni fragmetni i fragmenti invertebratnih skeleta) i šljunci (fragmenti invertebratnih skeleta). Zbog dubine i male energije dolazi do taloženja aluvijalnih muljeva i čestica sličnih veličina koji su najširije rasprostranjeni sedimenti u estuarijima jer bivaju transportirani u suspenziji (Dalrymple et al, 1992: Dalrymple et al., 1994).

Gornji ili riječni (unutrašnji) estuarij je također plitkovodno područje. Riječni tokovi transportiraju terigeni mulj (minerali glina i kvarcni silt), uglavnom kvarcni pijesak i šljunak u područje estuarija. Ovi sedimenti su karakteristični za aluvijalnu lepezu koja se nalazi u proksimalnom dijelu estuarija, međutim mogu se pronaći i u centralnim dijelovima estuarijskog bazena (Dalrymple et al, 1992: Dalrymple et al., 1994).

Specifičan tip estuarija koje nalazimo na Jadranskoj obali su krški estuariji (Juračić, 1992; Pikelj & Juračić, 2013). Krški estuariji imaju kršku (vapnenačku) podlogu i obalni okoliš male energije. Njihova ušća su zaštićena, te su neke krške rijeke tvorile barijere koje su smanjile donos materijala do kopna. Neke od krških rijeka poput Mirne (Felja et al., 2015) i Neretve (Vranješ et al., 2007) formirale su delte unutar estuarija tijekom holocena, zbog velikog donosa materijala transportiranih riječnim putem.

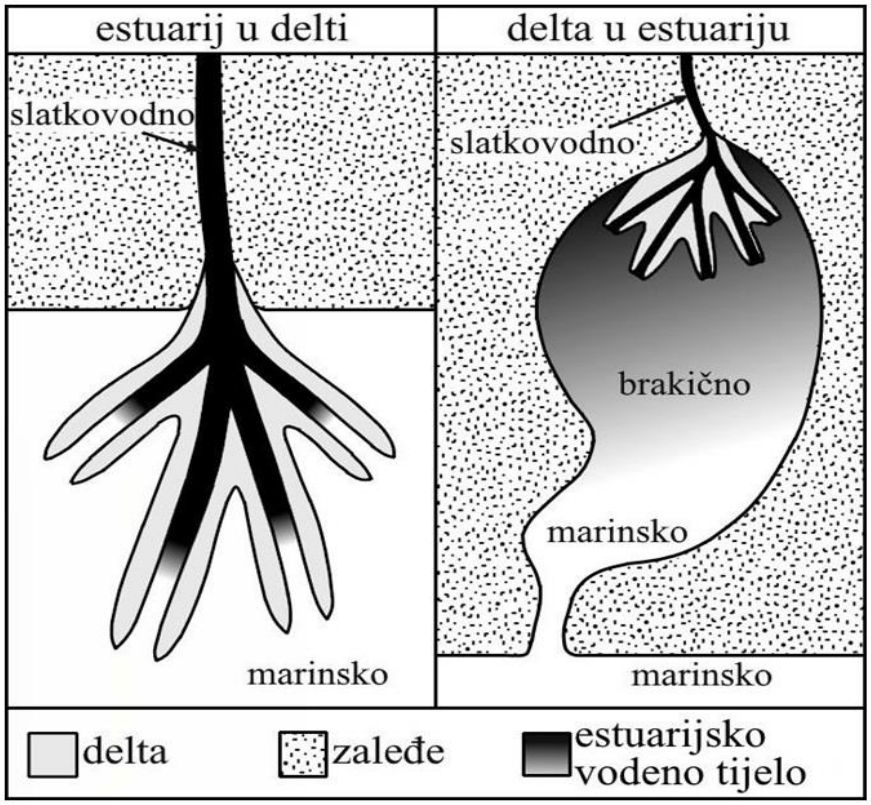
3.2. Delte

Delte su proširenja kopna u more. One nastaju kada tok rijeke koja nosi velike količine materijala dođe do stajaće vode (mora) te zbog iznimnog usporavanja dolazi do brze sedimentacije (Bhattacharya & Walker, 1992). Na oblik delte utječu brojni faktori poput količine sedimenta, brzine tonjenja bazena, protoka vode, klime, morske mijene, valovi, odnos gustoće riječne i stajaće vode. Delte s obzirom na različite dominirajuće utjecaje dijelimo na (Galloway, 1975) :

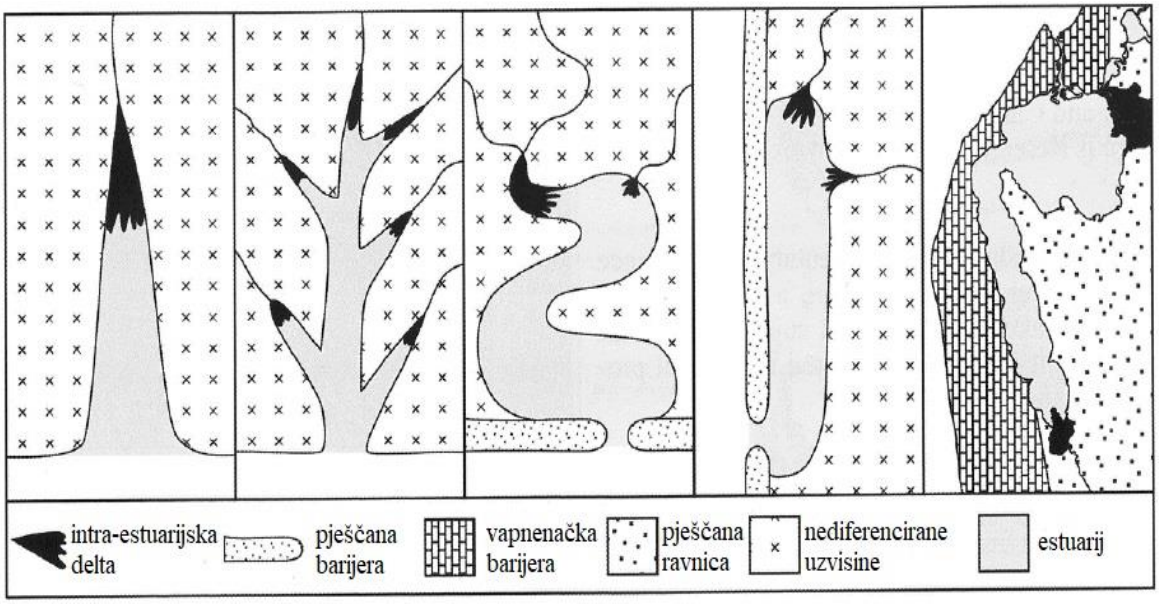
- Delte pod dominantnim riječnim utjecajem;
- Delte pod dominantnim utjecajem struja i morskih mijena;
- Delte pod dominantnim valnim utjecajem.

3.2.1. Delte unutar estuarija

Jako često se povezuju delte s estuarijima i obrnuto u današnjoj literaturi (slika 1, 2). Delte koje nalazimo unutar estuarija (slika 2, 3) su uglavnom male akumulacije sedimenta ako ih se usporedi s veličinom estuarijskog područja. Generalno gledajući svaki tip delte može biti estuarijski jer će neki dijelovi uvijek imati prijelaz iz slatkovodne vode u morsku vodu te velika estuarijska područja koja još nisu ispunila bazen sa sedimentom imati će delte uzduž rubnih dijelova.



Slika 2. Prikaz razlike između estuarija formiranog u delti i delte formirane u estuariju (modificirano prema Kennish, 2016).



Slika 3. Prikaz različitih tipova delti unutar estuarija (modificirano prema Kennish, 2016).

Oblik intra-estuarijskih delti (Semeniuk et al., 2011) ovisit će o salinitetu estuarija, morskim mjenama, snazi riječnog toka, vjetru i valovima. Generalno gledajući svi tipovi delti uglavnom su slični, u ovom slučaju za delte unutar estuarija i klasične delte vrijede ista načela poput hidrodinamike, geometrije/morfolgije, sedimentologije i stratigrafije.

3.3. Važnost foraminifera u određivanju rubnih marinskih okoliša

Foraminifere su eukariotski organizmi koji su građeni od kućice s jednom ili više povezanih klijetki. Foraminiferske vrste i rodove razlikujemo po obliku kućice i klijetki, lokaciji aperture i ukrasima na površini kućice (kvržice, čvorići, rebra, strije i suture) te po materijalu koji izgrađuje stijenku kućice (aglutinirana, hijalina i porculanasta). Kućice foraminifera imaju razne funkcije, kao što su: zaštita od predatora i nepovoljnih fizikalno-kemijskih uvjeta u okolišu, receptori za izlučene tvari, kontrola kretanja organizma i pomoć pri razmnožavanju. Način života foraminifera može biti planktonski i bentički. Bentičke foraminifere mogu živjeti epifaunalno na: sedimentu, drugim organizmima, ljušturama, kamenju i biljkama te infaunalno u sedimentu (Murray, 2006).

U rubnim marinskim okolišima poput brakičnih estuarija i laguna te u slanim/brakičnim močvara prevladavaju foraminifere s aglutiniranom i hijalinom (staklastom) stijenkom, no nalazimo i manji broj foraminifera porculanastih stijenki (Murray, 2006). Za ove okoliše karakteristična je foraminiferska zajednica niske raznolikosti i s velikom brojnošću oportunističkih vrsta i rodova koji mogu podnijeti određene oscilacije u salinitetu i temperaturi vode. Najzastupljeniji rodovi u rubnim marinskim okolišima su *Ammonia, Haynesina, Jadammina, Balticammina, Ammotium* i *Miliammina*. Osim tih rodova u manjoj brojnosti redom će biti prisutni rodovi *Porosononion, Elphidium, Buccela, Bulimina* i miliolide (Murray, 2006).

Rod *Ammonia* ima staklaste nisko trohospiralne kućice s 2.5 do 3 vidljiva zavoja. Ovisno o vrsti imamo varijacije u obliku klijetki i ušća. Spiralna strana je evolutna, a umbilikalna strana je involutna. Za umbilikalnu stranu treba reći da može postojati umbilikalni čep iz kojeg se šire zrakaste pukotine, a rodovi *Ammonia* mogu još imati razne ukrase poput stupića (Cimerman & Langer, 1991).

Foraminifere roda *Haynesina* imaju staklaste planispiralne, involutne kućice. Kućice su im skoro potpuno okrugle te sadrže 8 do 12 klijetki u zadnjem zavoju koje se postepeno povećavaju. Suture su im svinute prema nazad, izraženije su nego kod roda *Porosononion* s kojim su jako slični. Nadalje, rod *Haynesina* također ima razne ukrase na kućici, a ušće im je u obliku luka (Cimerman & Langer, 1991).

Rod *Porosononion* ima staklastu planispiralnu, involutnu kućicu sa 8 do 9 klijetki u zadnjem zavoju. Njihova kućica je također skoro potpuno okrugla, dok su im suture ravne do blago svinute prema nazad. Ušće kod roda *Porosononion* ima više manjih otvora, a kućica im može imate razne ukrase (Cimerman & Langer, 1991).

Rod *Elphidium* ima staklastu planispiralnu, involutnu kućicu s 8 do 18 klijetki u zadnjem zavoju koje se postepeno povećavaju. Kućica gledana iz profila ima oblik leće, a suture su im svinute prema nazad. Apertura ili ušće *Elphidiuma* je u obliku ravne linije uglavnom sastavljene od 8 manjih otvora s poluokruglim rubovima (Cimerman & Langer, 1991).

Rod *Quinqueloculina* ima porculanastu ovalnu (bočno gledano) i triangularnu (aperturalno gledano) kućicu s 3 do 4 klijetke. Površina kućice je glatka, a ušće je sferičnog oblika s tankim rubom i jednostavnim zubićem (Cimerman & Langer, 1991).

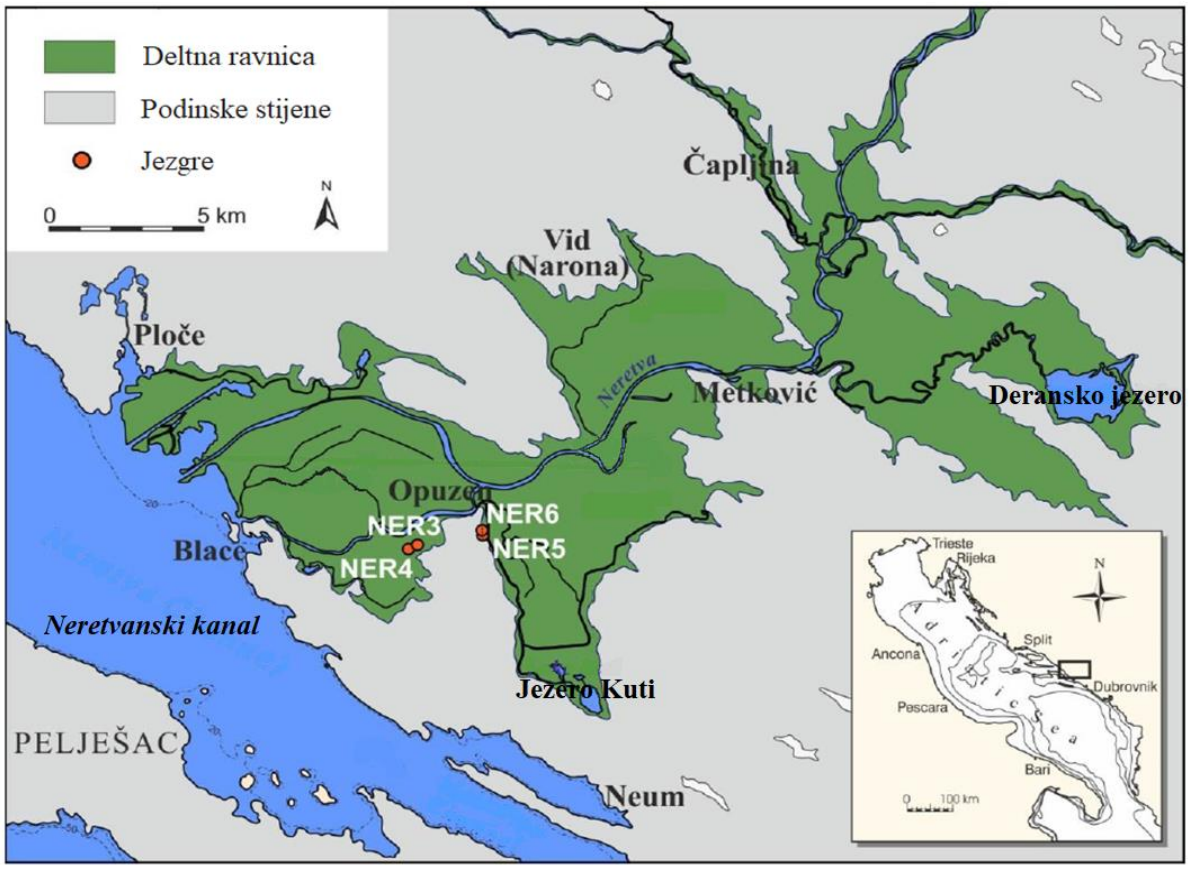
4. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

4.1. Opće karakteristike delte Neretve

Rijeka Neretva poznata je još pod nazivom *Narenta* koji potječe iz doba rimskih kolonija. Najutjecanija kolonija na području rijeke Neretve bila je *Narona*, njeni ostaci su u blizini gradića Vida. *Narona* je imala jako bitnu stratešku poziciju jer je bila poveznica Jadrana s unutarnjim dijelovima Ilirije. U 1. stoljeću današnje ere *Narona* postaje privremena prijestolnica Dalmatinske provincije. Grad proživljava razne faze krize tijekom godina, te biva napušten u 7. stoljeću zbog Avarskih i Slavenskih invazija. U 1995. godini pronađeni su ostaci Rimskog hrama s 17 monumentalnih mramornih statua (Dodig, n.d.)

Delta Neretve se nalazi na jugu Hrvatske odnosno na jugoistočnom dijelu Jadranske obale (slika 4). Njena duljina iznosi 215 km te većinski dio rijeke protječe kroz Bosnu i Hercegovinu, a manjim dijelom protječe kroz Hrvatsku, samo 22 km (Slišković, 2014). Izvire u planinskim predjelima Hercegovine na nadmorskoj visini od 1095 metara ispod planina Zelengore i Lebršnik te se ulijeva u Jadransko more u blizini Rogotina i Ploča. Neretva s brojnim pritokama čini jedinstveni ekosistem na ovom području Europe. Površina deltne ravnice rijeke Neretve iznosi otprilike 170 km^2 te je izgrađena uglavnom od kvartarnih aluvijalnih naslaga (Juračić, 1998, Felja, 2017).

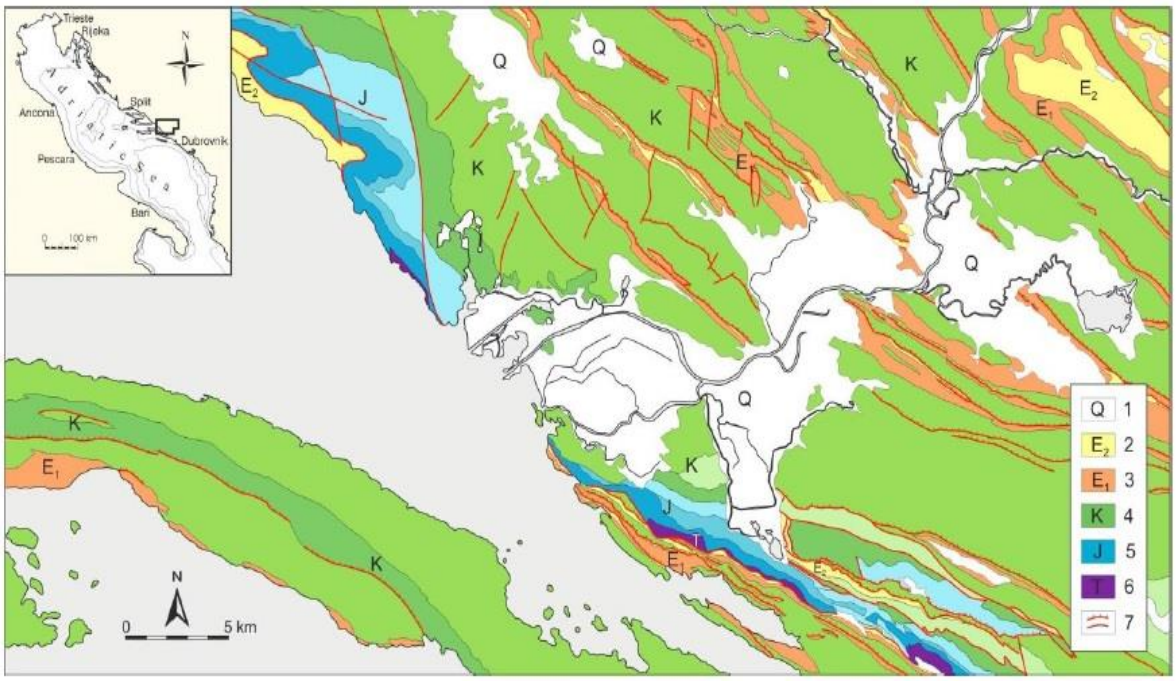
Za područje oko ušća Neretve poznato je da ima mediteransku klimu s godišnjim prosjekom oborina od 1230 mm i srednjom godišnjom temperaturom zraka od 15.7^oC, s maksimumom (25.2 ^oC) u rujnu. Godišnji prosjek istjecanja vode za rijeku Neretvu iznosi 332 m^3/s (Orlić et al., 2006). Na južnom dijelu delte Neretve nalazimo slane močvare, te su u nedavnom istraživanju pronađene karakteristične foraminiferske zajednice za slane močvare u blizini Blaca (Shaw et al., 2016).



Slika 4. Lokacija s označenim izbušenim jezgrama (deltna ravnica rijeke Neretve) (modificirano prema Felja, 2017).

4.2. Geološki pregled

Istraživano područje je dio Vanjskih Dinarida, te se radi o izrazito tektoniziranom području (prebačene bore i reversni rasjedi) (slika 5). Od srednjeg perma do srednjeg eocena taložili su se plitkovodni vapnenci na Jadranskoj karbonatnoj platformi (AdCP) (Vlahović et al., 2005). Izvor rijeke Neretve nalazi se u planinama Bosne i Hercegovine koje su sagrađene od metamorfnih, magmatskih, karbonatnih i klastičnih sedimentnih stijena. Osim što rijeka Neretva u gornjem dijelu toka protječe kroz te stijenske komplekse na području Bosne i Hercegovine, u donjem dijelu toka protječe kroz krš na području Hrvatske koji je sastavljen od karbonatnih stijena i fliša. Detaljniji opis geologije istraživanog područja nalazi se u tumačima listova Osnovne geološke karte SFRJ-a 1:100000 (Mojićević & Laušević, 1973a, 1973b, Raić et al., 1975, Raić et al., 1976, Marinčić et al., 1977, Raić et al., 1980, Sofilj & Živanović, 1980, Mojićević & Tomić 1982).



Slika 5. Shematski prikaz (karta) geologije istraživanog područja (deltna ravnica rijeke Neretve). 1 - kvartarne aluvijalne naslage; 2 - gornjoeocenski fliševi; 3 - donjoeocenski vapnenci; 4 - kredni vapnenci i dolomiti; 5 - jurski vapnenci i dolomiti; 6 - trijaski vapnenci; 7 - rasjedi (Felja, 2017, modificirano prema osnovnoj geološkoj karti SFRJ 1:100,000, listovi Metković (Raić et al., 1975), Ploče (Marinčić et al., 1977), Ston (Raić et al., 1980)).

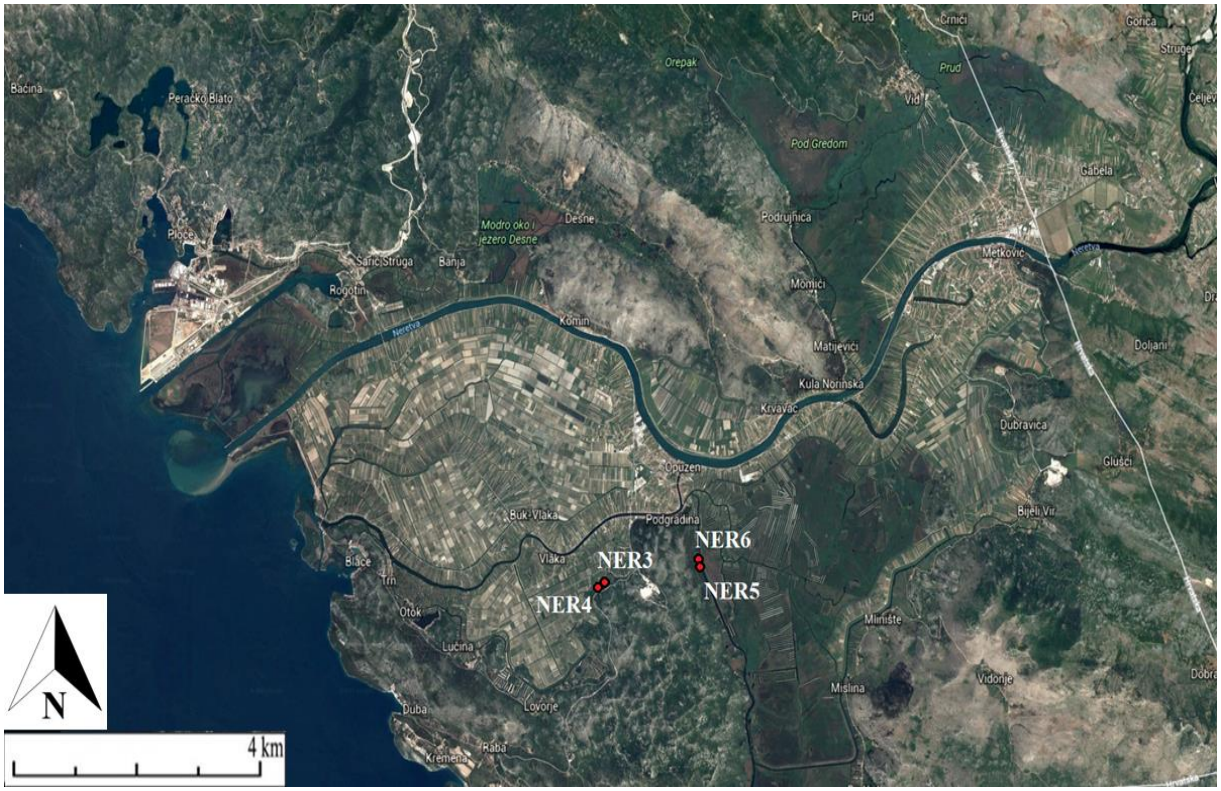
Brda i brežuljci (humovi) koji okružuju područje delte izgrađeni su od donjo-krednih vapnenaca i dolomita, gornjo-krednih rudistnih vapnenaca te foraminiferskih vapnenaca i fliša eocenske starosti (slika 5) (Raić et al., 1975, Raić et al., 1976). Sama delta rijeke Neretve izgrađena je od kompleksa kvartarnih morskih, slatkovodno-brakičnih i lagunarnih naslaga te se pretpostavlja da je debljina tog holocenskog slijeda oko 30-ak metara (Felja, 2017).

Izgradnjom hidroelektrana (Jablanica, Salakovac i Grabovica) na području Bosne i Hercegovine donos materijala do delte i u konačnici do mora je izrazito reduciran. Materijal biva zarobljen na području velikih brana (Vranješ et al., 2007; Kralj et al., 2015). S obzirom na ovakvu situaciju može se ustvrditi da kanal rijeke Neretve ima uniforman mineralni sastav i jednoličnu stopu sedimentacije koja varira od 4 do 6 mm godišnje (Jurina et al., 2015).

5. METODE ISTRAŽIVANJA

5.1. Uzorkovanje jezgara

Istraživanja su se radila na 4 sedimentne jezgre (NER3-NER6), s tim da je dio rezultata iz jezgri NER5 i NER6 preuzet iz disertacije Felja (2017) s području deltne ravnice rijeke Neretve. Jezgre su bile izvađene u periodu od 11.11.2015. do 14.11.2015. godine, (uzorkovanje Dr. Alessandro Fontana, Dr. Igor Felja, Dr. Sandro Rossato i studentice Petra Bakač i Irena Debeljak).



Slika 6. Lokacije jezgri (NER3-NER6) na istraživanom lokalitetu (deltna ravnica rijeke Neretve) (Google Earth).

Za bušenje ovih jezgara korišteno je ručno svrdlo tvrtke Ejikelkamp s Edelman glavom za sedimente iznad razine podzemnih voda i jezgrilo dugačko 1 m za sedimente ispod razine podzemnih voda. Dubina koja se postigla u jezgrama bila je ograničena radi limitiranih mogućnosti opreme na terenu i zbog tvrdoće sedimenta. Dubine jezgara su određene na terenu s pouzdanošću od ±0.05 m. Uzorci koji su prikupljeni s Edelman-ovom

glavom imali su vertikalnu duljinu od 10 cm i širinu od 7 cm. Uzorci prikupljeni s jezgrilom (slojevi ispod vodnog lica) imali su vertikalnu duljinu od 0.5/1 m i širinu od 3 cm, te su uglavnom bili neporemećeni, a takvu situaciju naročito možemo pronaći u siltoznim i muljnim naslagama gdje se čak može sačuvati i laminacija milimetarskih dimenzija (Felja et al, 2015).

Jezgre su bile odmah opisane na terenu metodom FAO-ISRIC (2006); određeni su:

- boja sedimenta i njegova struktura (veličina zrna)
- primarne sedimentološke teksture
- koncentracija i tip sporednih materijala (organska tvar, korijenje, ljušture makrofosila, karakteristike tla i ostaci biljaka)



Slika 7. Primjer izvađene jezgre s terena s karticama Munsell-ovog dijagrama (Felja, 2017).

Pri određivanju boje slojeva iz izvađenih jezgara korišten je Munsell-ov dijagram za boju tla, na način da je mokri sediment uspoređen s bojama na karticama iz Munsell-ovog dijagrama (slika 7). Za određivanje približnog udjela kalcijevog karbonata korištena je

klorovodična kiselina u koncentraciji od 10%, te se promatrala reakcija (stvaranje mjehurića) na ljestvici od 0 do 4 (FAO-ISRIC, 2006). Odredba ljuštura i fragmenata ljuštura vršila se direktno na terenu, zatim u laboratoriju uz pomoć stereomikroskopa. Nakon opisa, jezgre su bile omotane aluminijskom folijom i stavljene u plastične vrećice da bi se sačuvale njihove karakteristike za daljnja laboratorijska istraživanja. Detaljan opis metode i terenskih rezultata, te granulometrijske metode i klacimetrija opisane su u disertaciji Felja (2017).

5.2. Analiza foraminifera

Za analizu foraminifera korišten je FOBIMO (FOraminiferal BIo-MOnitoring) standardizacijski protokol za bentičke foraminifere (Schönfeld et al., 2012). U svrhu ovog istraživanja analizirani su podaci iz jezgri NER5 i NER6 (Felja, 2017) i uzorci uzeti iz 2 jezgre (NER3 i NER4) s područja deltne ravnice Neretve. Standardni protokol nalaže da se jezgre izrežu u segmente debljine 1 cm, no za istraživanje su uzeti samo oni segmenti gdje je bila jasna promjena litološkog sastava. Uzorci su bili prebačeni u staklene posude i prekriveni vodom i vodikovim peroksidom kako bi se uklonila organska tvar. Uzorci su ostavljeni da tako stoje 24 sata, a nekad i duže. Nakon toga uzorci su prosijani na situ veličine otvora od 63µm. Prosijavanje se odvijalo na tresilici Fritesh Analysette® na Retsch® ASTM situ od nehrđajućeg čelika, uz konstantno ispiranje destiliranom vodom. Nakon sušenja uzoraka ponovno se prosijavaju tehnikom suhog sijanja kroz sito od 125 µm te se odijeljuju u frankove ćelije. Uzorci koji su sadržavali više od 300 jedinki foraminifera, podijeljeni su u više manjih uzoraka, sve dok se nije dobio broj od ~300 jedinki u analiziranom uzorku. Nadalje te jedinke su se izbrojale, identificirale i podvrgnule statističkoj analizi.

Za identifikaciju rodova i vrsta foraminifera koristile su se dvije klasifikacije Loeblich & Tappan (1987) i Cimerman & Langer (1991). Zbog fragmentiranosti i oštećenja pojedinih skeleta nije uvijek bila moguća odredba foraminiferske vrste već samo roda. Fotografiranje uzoraka izvedeno je na stereo mikroskopu pomoću EUROMEX ImageFocus 4.0 fotoaparata. Upotrijebljeni indeksi bioraznolikosti koji su bili nužni za interpretaciju paleookoliša izračunati su programom PAST (Hammer et al., 2001) te će u nastavku biti detaljnije opisani.

5.3. Biostatističke metode

Indeksi bioraznolikosti su kvantitativne mjere koje odražavaju koliko različitih tipova (vrsta) ima u jednoj zajednici, te istovremeno uzima u obzir na koji način su jedinke raspoređene u zajednici. Za geološka i ekološka istraživanja, za indekse bioraznolikosti najvažnije su vrste, ali mogu biti rodovi i familije.

Indeksi koji su korišteni za ovo istraživanje su:

- Berger-Parker-ov indeks dominacije
- Simpson-ov indeks dominacije
- Indeks dominacije
- Shannon-Wiener-ov indeks
- Fisher-ov indeks

5.3.1.Berger-Parker-ov indeks

Izražava proporcionalnu važnost najzastupljenije vrste. Ne ovisi o bogatstvu vrsta, ali je ovisan o veličini uzorka. Standardizacija uzorka je obavezna, a izračunava se:

$$\boldsymbol{d = N_{max}/N}$$

Pri čemu su: d - Berger-Parker-ov indeks

N_{max} - broj jedinki najzastupljenije vrste

N - ukupan broj jedinki u uzorku

Loša strana ovog indeksa bioraznolikosti jest ta da raznolikost raste dok vrijednost d indeksa opada. U tom slučaju koristi se formula 1/d, pa s tom preinakom porast vrijednosti 1/d indeksa ukazuje na porast raznolikosti.

$$\boldsymbol{1/d = N_{max}/N}$$

5.3.2.Simpson-ov indeks

Ovaj indeks nije osjetljiv na promjene bogatstva vrsta i opisuje nam koja je vjerojatnost da će dvije nasumično odabrane jedinke biti iz različite ili iz iste kategorije. Izračunava se:

$$\boldsymbol{D_s = \sum \frac{n_1(n_1 - 1)}{N(N - 1)}}$$

Pri čemu su: D_s - Simpson-ov indeks

n_1 - broj jedinki vrste 1

N - ukupan broj jedinki u zajednici

Porastom raznolikosti, vrijednost indeksa ($\boldsymbol{D_s}$) opada. Kako bi se lakše snalazili indeks ($\boldsymbol{D_s}$) se može iskazati kao:

- Recipročna vrijednost = $1/D_s$
- Komplementarna vrijednost = $1-D_s$

Komplementarna vrijednost ovog indeksa zapravo je indeks dominacije (D) koji se izračunava u PAST softveru iz kojeg se izrazi Simpsonov indeks (D_s). S ovim promjenama na izvornoj formuli dobijamo situaciju gdje porastom raznolikosti raste i indeks na slijedeći način: $0.0 < 1/D < 10+$

$0.0 < 1-D < 1.0$

5.3.3. Shannon-Wiener-ov indeks

Shannon-Wiener-ov indeks je mjera "reda" u nekom uzorku. Korištenje ovog indeksa pomaže nam kad u zajednici imamo previše individua te nemamo vremena da se svaka od njih pregleda i identificira. Glavna karakteristika ovog indeksa bioraznolikosti je da nam daje sliku o omjeru broja vrsta prema njihovom udjelu i važnosti u zajednici, a računa se:

$$\boldsymbol{H' = -\sum p_i \ln(p_i)}$$

Pri čemu su: H' - Shannon-Wiener-ov indeks

p - Broj jedinki jedne vrste prema broju jedinki u uzorku

i - ukupan broj jedinki jedne vrste

Indeks se upotrebljava zbog usporedbe raznolikosti različitih zajednica i okoliša. Vrijednosti se uglavnom kreću od 1.5 do 3.5, nadalje vrijednosti indeksa (***H'***) koje su manje od 0.6 su indikator za brakičnu sredinu, a vrijednosti veće od 2.1 su tipične za okoliše normalnog saliniteta.

5.4.4. Fisher-ov indeks

Koristan indeks kod prikazivanja raznolikosti zajednice. Matematički opisuje vezu između broja vrsti prema broju jedinki. To je parametarski indeks raznolikosti koji uzima u obzir sve vrste neovisno o njihovoj brojnosti jedinki u zajednici, te se određuje pomoću standardnog grafikona. Izračunava se na slijedeći način:

$$\boldsymbol{S = \alpha \ln(1 + \frac{n}{\alpha})}$$

Pri čemu su: S - broj vrsta

α - Fisher-ov indeks

n - broj jedinki

Najniže vrijednosti ovog indeksa (***S***) su karakteristične za stresne okoliše. Vrijednost $\alpha<5$ ukazuje na brakični okoliš ili hipersalilnu sredinu, a vrijednost $\alpha>7$ je indikator za morski okoliš na šelfu i padini.

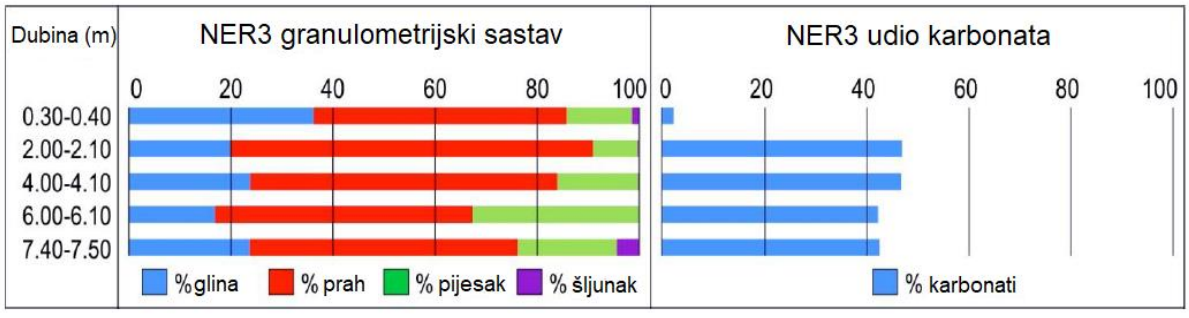
6. REZULTATI

Rezultati analiza za sve sedimentne jezgre korištene u ovom radu prikazani su u ovom dijelu. U jezgrama NER3 i NER6 analizirana je veličina zrna i kalcimetrija (Felja, 2017). Za jezgre NER3, NER4, NER5 i NER6 provedeni su izračuni za apsolutnu i relativnu brojnost foraminifera te indeksi bioraznolikosti. Granulometrijski sastav i dio foraminiferskih analiza objavljen je u disertaciji Felja (2017).

Prepoznato je šesnaest različitih rodova i vrsta foraminifera. Rodovi koji su prepoznati su: *Adelosina sp.*, *Ammonia sp.*, *Asterigerinata sp.*, *Buccella sp.*, *Elphidium sp.*, *Eponides sp.*, *Haynesina sp.*, *Porosononion sp.*, *Spiroloculina sp.*, *Triloculina sp.*. Nadalje, foraminiferske vrste koje su prepoznate su: *Ammonia beccarii* (Linnaeus, 1758), *Ammonia parkinsoniana* (d´Orbigny, 1839), *Ammonia tepida* (Cushman, 1926), *Elphidium crispum* (Linnaeus, 1758) *Elphidium depressulum* (Cushman, 1933), *Quinqueloculina seminula* (Linnaeus, 1758). Dominantne jedinke koje su bile prisutne u svim jezgrama su one roda *Ammonia* te ih slijede rodovi *Haynesina* i *Porosononion*.

6.1. Jezgra NER3

Jezgra NER3 izbušena je na lokaciji s koordinatama 42°59'52.4"N -17°32'37.1"E (slika 6); na nadmorskoj visini od ~0 m. Jezgra je duboka 7.70 m, te u prvom metru jezgre imamo jako puno ostataka biljaka i svega par ljuštura školjaša (*Cerastoderma* sp.). Duž cijele jezgre skeletni fragmenti gastropoda i školjkaša rijetka su pojava, no na dubini od 7.00-7.70 m imamo veliki broj fragmenata koralja *Cladocora caespitosa* (Linnaeus, 1758) (Felja, 2017).



Slika 9. Raspodijela veličine zrna i udio karbonata u jezgri NER3 (modificirano prema Felja, 2017)

Sedimenti u NER3 jezgri su slabo sortirani. Prah (silt) je dominantna frakcija s udjelom od 50.4 % do 71.1 %, Frakcija gline bila je u rasponu od 16.90 % - 36.20 %, a frakcija pijeska između 8.8 % - 32.7 %, dok je šljunak prisutan vrlo malo na površini i na dubini od 7.40 m (od 4.3%). Udio karbonata u jezgri NER3 je u rasponu između 2.30% - 46.88% (Felja, 2017). Za susjednu jezgru NER4 nisu rađene zasebne granulometrijske i kalcimetrijske tablice s obzirom da je stratigrafija slična za obje jezgre.

Jezgra NER3 izbušena je do dubine od 7.69 m. Ukupan broj foraminifera varira od 207 jedinki na dubini od 7.00 m do 309 jedinki na dubini od 3.00 m (Tablica 1 i 2). Od prepoznatih foraminiferskih rodova dominiraju rod *Ammonia* (*Ammonia sp., A. tepida, A. beccarii.* i *A. parkinsoniana*), rod *Haynesina* i rod *Porosononion.* Rodovi i vrste koje su još prepoznate su: *Adelosina sp., Asterigerinata sp., Buccella sp., Bulimina elongata, Elphidium sp., E. crispum, Spiroloculina sp., Quinqueloculina seminula* i *Triloculina sp*. Duž istraživanog dijela jezgre prisutne su jedinke rodova *Ammonia, Haynesina* te izuzevši najplići interval (1.00 m) i rod *Porosononion*. Vrste roda *Ammonia* imaju intervalne poraste i padove u brojnosti jedinki, pa tako vrsti *Ammonia sp*. brojnost raste do dubine od 4.00 m gdje imamo pad, zatim ponovni rast do 6.00 m i ponovno pad u dubljim dijelovima jezgre. Maksimalan broj jedinki vrste *A. tepida* nalazimo na dubinama od 1.00 i 4.00 m (129 jedinki), dok na ostalim dubinama njen broj varira od 47 do 82 jedinke. Sličan trend ima i vrsta *A. parkinsoniana* s najvećim brojem jedinki na dubinama od 1.00, 4.00 i 7.69 m. Maksimalan broj jedinki za vrstu *Haynesina sp*. nalazimo na 2.00 m dubine (61 jedinka), a za vrstu *Porosononion sp*. na 6.00 m dubine (39 jedinki). Na dubini od 3.00 m pojavljuju se 2 jedinke vrste *Bullimina elongata*, a u dubljim intervalima jezgre na 6.00, 7.00 i 7.69 m, u malom broju pojavljuju se jedinke rodova *Adelosina sp., Asterigerinata sp., Buccella sp., Elphidium sp., Spiroloculina sp., Triloculina sp*. i vrste *E. crispum* i *Q. seminula.*

Tablica 1. Apsolutna brojnost foraminifera iz jezgre NER3.

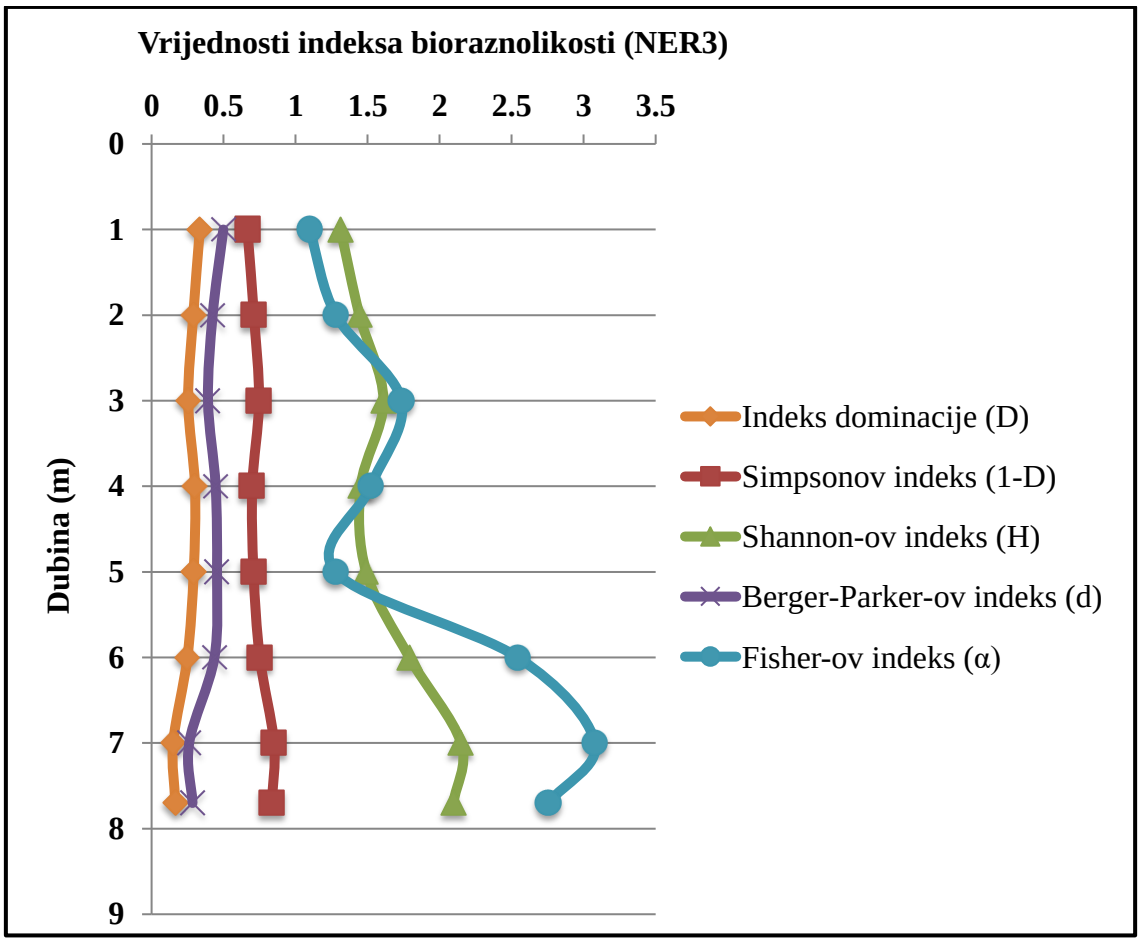
Jezgra NER3 - Apsolutna brojnost																
Dubina (m)	*Adelosina sp.*	*Ammonia sp.*	*Ammonia beccarri*	*Ammonia parkinsoniana*	*Ammonia tepida*	*Asterigerinata sp.*	*Buccella sp.*	*Bulimina elongata*	*Elphidium sp.*	*Elphidium crispum*	*Haynesina sp.*	*Porosononion sp.*	*Spiroloculina sp.*	*Quinqueloculina seminula*	*Triloculina sp.*	Neodredivo	**Ukupno**
1.00 -1.01	-	63	3	21	129	-	-	-	-	-	37	-	-	-	-	6	**259**
2.00 -2.01	-	128	3	11	77	-	-	-	-	-	61	11	-	-	-	11	**302**
3.00 -3.01	-	121	21	7	82	-	-	2	-	1	37	31	-	-	-	7	**309**
4.00 -4.01	1	84	-	20	129	-	2	-	-	-	31	13	-	-	-	10	**290**
5.00 -5.01	-	139	11	11	76	-	-	-	-	-	37	25	-	-	-	7	**306**
6.00 -6.01	2	123	13	6	47	8	2	-	-	-	22	39	-	9	4	7	**282**
7.00 -7.01	7	42	4	10	54	14	-	-	3	-	27	17	1	17	5	6	**207**
7.69 -7.70	9	87	17	27	69	12	-	-	4	10	21	34	1	8	-	7	**306**

Tablica 2. Relativna brojnost foraminifera iz jezgre NER3.

Jezgra NER3 - Relativna brojnost (%)																
Dubina (m)	*Adelosina sp.*	*Ammonia sp.*	*Ammonia beccarri*	*Ammonia parkinsoniana*	*Ammonia tepida*	*Asterigerinata sp.*	*Buccella sp.*	*Bulimina elongata*	*Elphidium sp.*	*Elphidium crispum*	*Haynesina sp.*	*Porosononion sp.*	*Spiroloculina sp.*	*Quinqueloculina seminula*	*Triloculina sp.*	Neodredivo	**Ukupno (%)**
1.00 -1.01	-	24	1	8	50	-	-	-	-	-	14	-	-	-	-	2	**100**
2.00 -2.01	-	42	1	4	25	-	-	-	-	-	20	4	-	-	-	4	**100**
3.00 -3.01	-	39	7	2	26	-	-	1	-	1	12	10	-	-	-	2	**100**
4.00 -4.01	1	29	-	7	44	-	1	-	-	-	10	4	-	-	-	3	**100**
5.00 -5.01	-	45	4	4	25	-	-	-	-	-	12	8	-	-	-	2	**100**
6.00 -6.01	1	44	5	2	17	3	1	-	-	-	8	14	-	3	1	2	**100**
7.00 -7.01	3	20	2	5	26	7	-	-	1	-	13	8	1	8	2	3	**100**
7.69 -7.70	3	28	6	9	23	4	-	-	1	3	7	11	1	3	-	2	**100**

Tablica 3. Indeksi bioraznolikosti za jezgru NER3

Jezgra NER3 - Indeksi bioraznolikosti							
Dubina(m)	Broj taksona (S)	Broj jedinki (N)	Indeks dominacije (D)	Simpsonov indeks (1-D)	Shannon-ov indeks (H)	Berger-Parker-ov indeks (d)	Fisher-ov indeks (α)
1.00 – 1.01	6	259	0,335	0,665	1,312	0,498	1,097
2.00 – 2.01	7	302	0,290	0,711	1,443	0,424	1,280
3.00 – 3.01	9	309	0,254	0,746	1,610	0,392	1,735
4.00 – 4.01	8	290	0,301	0,699	1,452	0,445	1,522
5.00 – 5.01	7	306	0,292	0,708	1,490	0,454	1,277
6.00 – 6.01	12	282	0,249	0,751	1,790	0,436	2,544
7.00 – 7.01	13	207	0,150	0,850	2,149	0,261	3,078
7.69 – 7.70	13	306	0,165	0,836	2,096	0,284	2,755



Slika 10. Usporedba indeksa bioraznolikosti iz jezgre NER3

Indeks dominacije varira od 0.150 do 0.335 (tablica 3, slika 10). U najplićem dijelu jezgre je i najveća vrijednost (0.335) te porastom dubine smanjuje se do 4.00 m gdje opet imamo porast vrijednosti, a nakon toga vrijednost ponovno opada. Na dubini od 7.00 m indeks dominacije ima najnižu vrijednost (0.150). Simpson-ov indeks koji je obrnuto proporcionalan indeksu dominacije imat će i takve rezultate, stoga imamo najnižu vrijednost u najplićem intervalu jezgre (0.665) koja raste do 4.00 m dubine gdje imamo pad vrijednosti, a nakon toga opet dolazi do povećanja vrijednosti porastom dubine. Najveći iznos Simpson-ovog indeksa (0.850) nalazi se na dubini od 7.00 m. Shannon-ov indeks također ima najnižu vrijednost (1.312) u najplićem intervalu (1.00 m). On raste do dubine od 4.00 m gdje mu vrijednost opada i nakon toga imamo ponovni rast vrijednosti porastom dubine, gdje je i najveća vrijednost od 2.150 na 7.00 m dubine. Berger-Parker-ov indeks dijeli sličnosti s indeksom dominacije; od najplićeg intervala (maksimalna vrijednost: 0.498) vrijednost opada do 4.00 m gdje se ponovno diže i nakon toga imamo ponovni pad s najmanjom vrijednosti (0.261) na dubini od 7.00 m. Najmanja vrijednost Fisher-ovog indeksa (1.097) je u najplićem intervalu, porastom dubine do 3.00 m raste vrijednost, nakon toga pada do 5.00 m, te imamo ponovni rast vrijednosti indeksa. Najveća vrijednost Fisher-ovog indeksa (3.078) nalazi se također na 7.00 m dubine.

6.2. Jezgra NER4

Ova jezgra izbušena je 6.8 m južno od NER3 jezgre, na koordinatama 42°59'52.2"N - 17°32'37.1"E (slika 6); na nadmorskoj visini od 0.30 m. NER4 jezgra duboka je 6.80 m i ima puno više frakcija pijeska u usporedbi s jezgrom NER3. Na dubini od 5.8 m - 6.8 m također imamo prisutnost fragmenata koralja *Cladocora caespitosa* (Linnaeus, 1758). Stratigrafija ove jezgre vrlo je slična jezgri NER3 (Felja, 2017).

Tablica 4. Apsolutna brojnost foraminifera iz jezgre NER4

Jezgra NER4 - Apsolutna brojnost															
Dubina (m)	*Adelosina sp.*	*Ammonia sp.*	*Ammonia beccarri*	*Ammonia parkinsoniana*	*Ammonia tepida*	*Asterigerinata sp.*	*Elphidium sp.*	*Elphidium crispum*	*Haynesina sp.*	*Porosononion sp.*	*Spiroloculina sp.*	*Quinqueloculina seminula*	*Triloculina sp.*	Neodredivo	**Ukupno**
5.10 -5.11	-	78	9	17	88	-	-	-	57	23	-	2	-	9	**283**
5.50 -5.51	4	66	33	-	79	12	8	7	33	17	3	15	10	5	**292**
5.99 -6.00	-	97	7	-	85	-	-	-	63	37	-	3	1	5	**298**
6.50 -6.51	-	112	4	-	89	2	1	-	51	21	-	2	4	12	**298**
6.80 -6.81	-	109	-	-	94	-	-	-	39	12	-	-	-	7	**261**

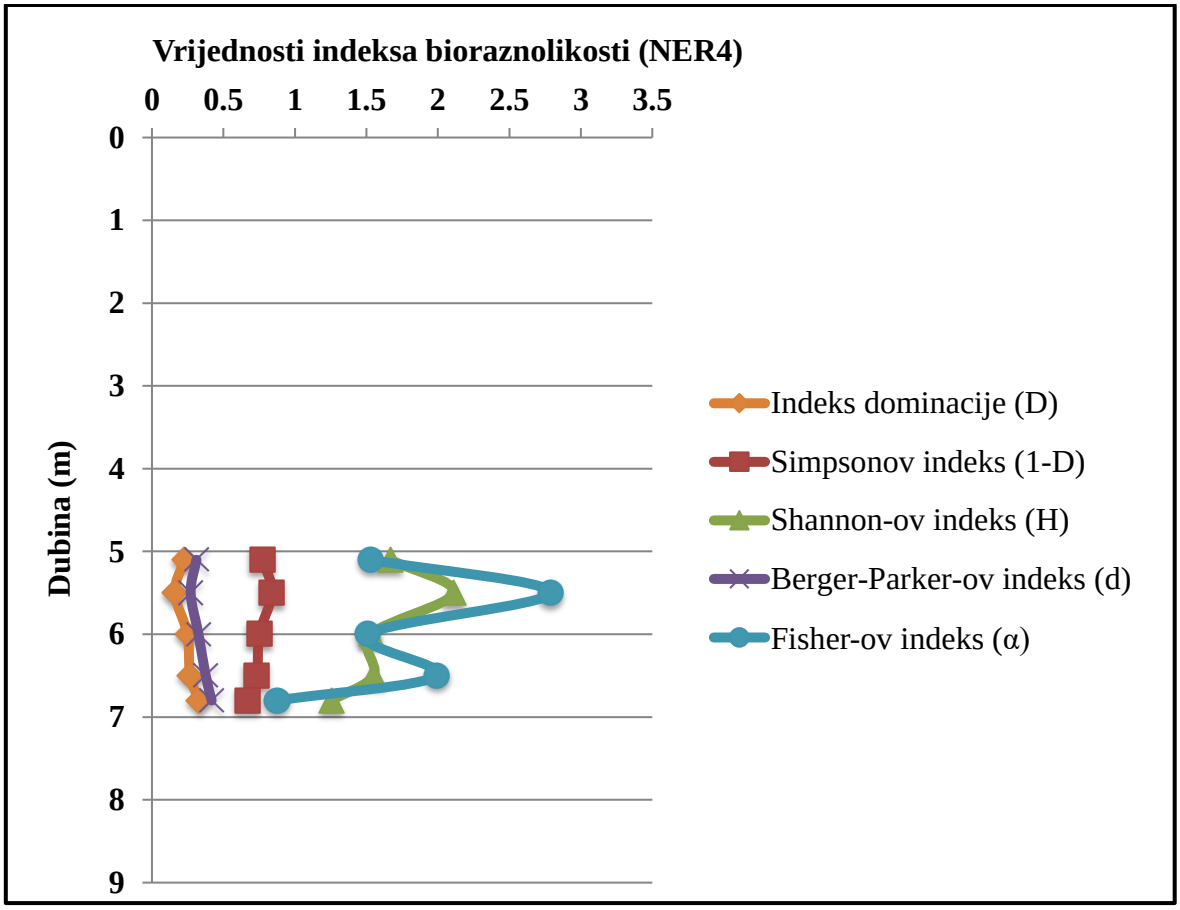
Tablica 5. Relativna brojnost foraminifera iz jezgre NER4

Jezgra NER4 - Relativna brojnost (%)															
Dubina (m)	*Adelosina sp.*	*Ammonia sp.*	*Ammonia beccarri*	*Ammonia parkinsoniana*	*Ammonia tepida*	*Asterigerinata sp.*	*Elphidium sp.*	*Elphidium crispum*	*Haynesina sp.*	*Porosononion sp.*	*Spiroloculina sp.*	*Quinqueloculina seminula*	*Triloculina sp.*	Neodredivo	**Ukupno (%)**
5.10 -5.11	-	28	3	6	31	-	-	-	20	8	-	1	-	3	**100**
5.50 -5.51	1	23	11	-	27	4	3	2	11	6	1	5	3	2	**100**
5.99 -6.00	-	33	2	-	29	-	-	-	21	12	-	1	1	2	**100**
6.50 -6.51	-	38	1	-	30	1	1	-	17	7	-	1	1	4	**100**
6.80 -6.81	-	42	-	-	36	-	-	-	15	5	-	-	-	3	**100**

Jezgra NER4 kao i jezgra NER3 pokazuje velike sličnosti u foraminiferskom sastavu s obzirom da su blizu jedna drugoj. Broj određivanih jedinki je u rasponu od 261 do 298 (Tablica 4 i 5). Najzastupljenije su opet foraminifere roda *Ammonia*, preciznije *Ammonia sp.*, *A. beccarri* i *A. tepida*. Iza njih po brojnosti uz rod *Ammonia* su rodovi *Haynesina* i *Porosononion.* Foraminifere koje se još pojavljuju u ovoj jezgri s puno manjom brojnošću su redom rodovi i vrste poput: *Adelosina sp.*, *Ammonia parkinsoniana*, *Asterigerinata sp.*, *Elphidium sp.*, *E. crispum*, *Spiroloculina sp.*, *Quinqueloculina seminula* i *Triloculina sp*. Foraminifere roda *Ammonia* nalazimo u svim intervalima jezgre, najmanje brojnosti svih njenih vrsta su u intervalu na dubini od 5.50 m, dok je najveća brojnost u dubljim intervalima (6.50 m i 6.80 m). Brojnost roda *Haynesina* varira od 33 (5.50 m) do 57 (5.10 m) jedinki, a rod *Porosononion* ima najveću brojnost na 5.99 m dubine i najmanju vrijednost u najdubljem intervalu (6.80 m). U najplićem dijelu (5.10 m) imamo pojavu vrste *A. parkinsoniana* (17 jedinki) i vrstu *Q. seminula* (2 jedinke). Na dubini od 5.50 m u svega nekoliko jedinki pojavljuju se rodovi i vrste: *Adelosina sp.*, *Asterigerinata sp.*, *Elphidium sp.*, *E. crispum*, *Spiroloculina sp.*, *Q. seminula* i *Triloculina sp*. Većina ovih foraminifera se više ne pojavljuju u ostatku jezgre, međutim vrstu *Q. seminula* i rod *Triloculina sp*. nalazimo i u dubljim intervalima sve do 6.80 m dubine. Najdublji interval (6.80 m) je najsiromašniji s brojem foraminiferskih vrsta.

Tablica 6. Indeksi bioraznolikosti za jezgru NER4.

Jezgra NER4 - Indeksi bioraznolikosti							
Dubina(m)	Broj taksona (S)	Broj jedinki (N)	Indeks dominacije (D)	Simpsonov indeks (1-D)	Shannon-ov indeks (H)	Berger-Parker-ov indeks (d)	Fisher-ov indeks (α)
5.10 – 5.11	8	283	0,226	0,775	1,668	0,311	1,531
5.50 – 5.51	13	292	0,161	0,839	2,111	0,271	2,789
5.99 – 6.00	8	298	0,248	0,752	1,533	0,326	1,513
6.50 – 6.51	10	298	0,267	0,733	1,549	0,376	1,995
6.80 – 6.81	5	261	0,329	0,671	1,255	0,418	0,877



Slika 11. Usporedba indeksa bioraznolikosti iz jezgre NER4

Indeksi biorazolikosti nemaju velike varijacije (tablica 6, slika 11). Intervali koji odskaču po vrijednostima su na dubinama od 5.50 m i 6.80 m. Indeks dominacije imati će svoj maksimum (0.329) u najdubljem dijelu (6.80 m) a minimum (0.161) na dubini od 5.50 m. Ostale vrijednosti variraju od 0.226 do 0.267. Simpson-ov indeks će na taj način imati maksimum (0.839) na 5.50 m dubine, nakon koje će vrijednost padati sve do minimuma (0.671) u najdubljem intervalu (6.80 m). Shannon-ov indeks je varirao od 1.255 u najdubljem intervalu do 2.111 na 5.50 m dubine. Minimalna vrijednost (0.271) Berger-Parker-ovog indeksa je na 5.50 m dubine te nakon toga porastom dubine raste i indeks. Maksimum (0.418) će isto biti na najvećoj dubini od 6.80 m. Kod vrijednosti Fisher-ovog indeksa ne može se primjetiti nekakav kontinuirani pad/rast. Vrijednost indeksa pada do 6.00 m, pa raste do 6.50 m, te ponovno pada do 6.80 m. Vrijednosti indeksa koje se razlikuju u svega nekoliko decimala su sa dubina od 5.10 m i 6.00 m. Ostale vrijednosti indeksa odskaču od ovih te maksimum od 2.789 nalazimo na 5.50 m, a minimum od 0.877 nalazimo na dubini od 6.80 m.

6.3. Jezgra NER5

Jezgra NER5 nalazi se na lokaciji s koordinatama 43°00'04.5"N -17°34'04.7"E (slika 6). Nadmorska visina vrha ove jezgre iznosi 1.1 m. Dubina jezgre iznosi 4.9 m. Na dubini između 1.50 m do 2.80 m nalazila se glina bogata organskom tvari sa ostacima biljaka i treseta, a prvu pojavu foraminifera nalazimo na dubini između 3.20 m i 3.56, uz njih prisutni su ostaci biljaka, razni ostrakodi, fragmenti ljuštura školjkaša i kućice puževa u pijeskovitom siltitu (Felja, 2017).

Tablica 7. Apsolutna brojnost foraminifera iz jezgre NER5 (Felja, 2017).

Jezgra NER5 - Apsolutna brojnost														
Dubina (m)	*Ammonia sp.*	*Ammonia beccarri*	*Ammonia parkinsoniana*	*Ammonia tepida*	*Asterigerinata sp.*	*Buccella sp.*	*Elphidium sp.*	*Elphidium depressulum*	*Eponides sp.*	*Haynesina sp.*	*Porosononion sp.*	*Quinqueloculina seminula*	Neodredivo	**Ukupno**
2.10 -2.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**-**
2.80 -2.81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**-**
3.00 -3.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**-**
3.20 -3.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**-**
3.30 -3.31	72	7	42	95	-	5	-	-	1	47	22	-	9	**300**
3.60 -3.61	44	15	53	121	1	2	-	-	2	32	29	-	5	**304**
4.50 -4.51	57	81	34	67	-	6	-	-	2	24	29	-	2	**302**
4.90 -4.91	77	86	31	55	1	2	-	-	2	17	24	-	6	**301**

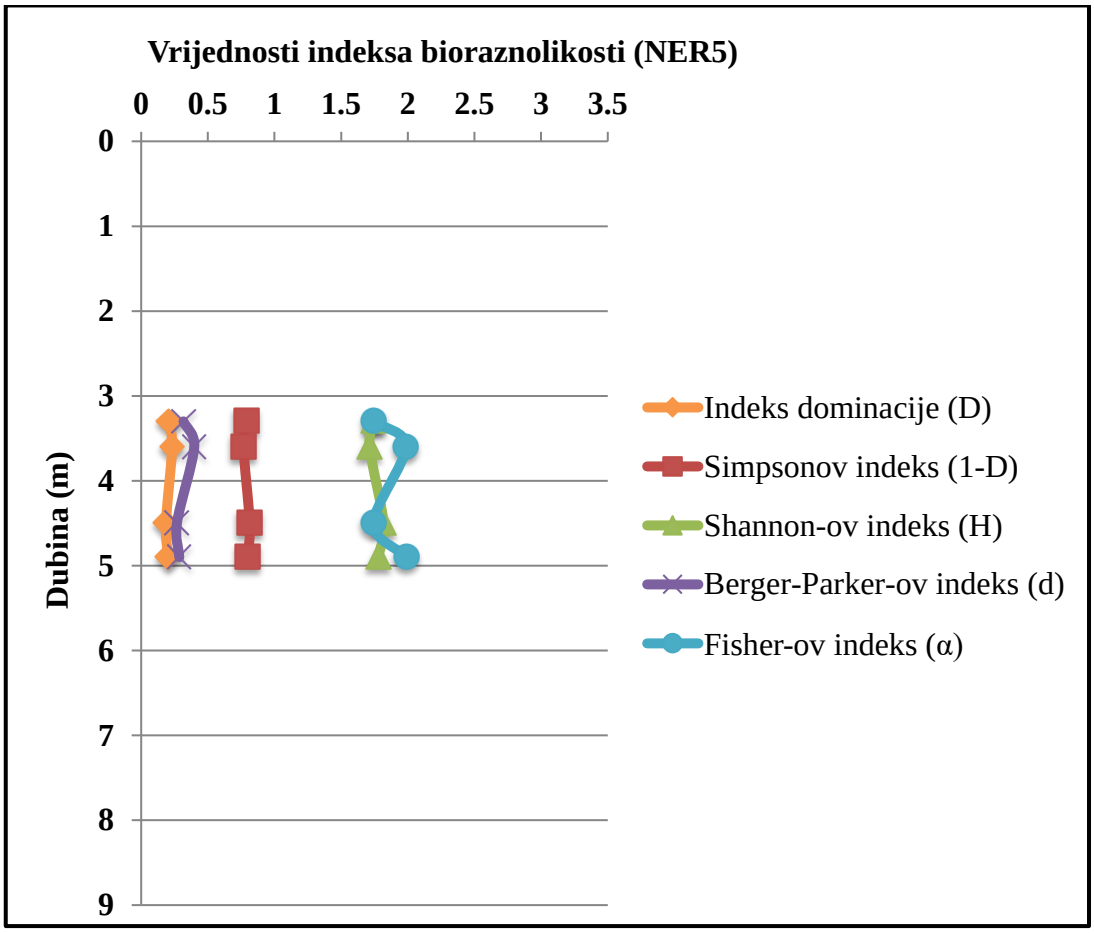
Tablica 8. Relativna brojnost foraminifera iz jezgre NER5.

Jezgra NER5 - Relativna brojnost (%)														
Dubina (m)	*Ammonia sp.*	*Ammonia beccarri*	*Ammonia parkinsoniana*	*Ammonia tepida*	*Asterigerinata sp.*	*Buccella sp.*	*Elphidium sp.*	*Elphidium depressulum*	*Eponides sp.*	*Haynesina sp.*	*Porosononion sp.*	*Quinqueloculina seminula*	Neodredivo	**Ukupno (%)**
2.10 -2.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**-**
2.80 -2.81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**-**
3.00 -3.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**-**
3.20 -3.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**-**
3.30 -3.31	24	2	14	32	-	2	-	-	1	15	7	-	3	**100**
3.60 -3.61	14	5	17	40	1	1	-	-	1	11	10	-	2	**100**
4.50 -4.51	19	27	11	22	-	2	-	-	1	8	10	-	1	**100**
4.90 -4.91	26	29	10	18	1	1	-	-	1	6	8	-	2	**100**

U jezgri NER5 foraminifere su se pojavile tek na dubini od 3.30 m jer su plići slojevi sastavljeni pretežito od recentnih nanosa sedimenta i gline s ostacima biljaka. Ukupni broj foraminifera varira od 300 do 304. Najmanji broj foraminifera je na dubini od 3.30 m, a najveći na 3.60 m dubine. Rodovi foraminifera koji su najzastupljeniji te su prisutni kroz cijelu jezgru, su redom: *Ammonia* (*Ammonia sp., A. beccarri, A. parkinsoniana* i *A. tepida*), *Haynesina* i *Porosononion.* Uz ove rodove pojavljuje se i manji broj rodova: *Eponides sp., Asterigerinata sp*. i *Buccella sp* (Tablica 7, 8). Na dubinama 3.30 m i 3.60 m vrsta *A. tepida* prevladava (s maksimumom od 95 i 121 jedinkom), u dubljim dijelovima jezgre njihova brojnost pada, a brojnost vrste *A. beccarri* raste (maksimum od 86 jedinki). Porastom dubine broj jedinki roda *Haynesina* opada s maksimumom od 47 jedinki na 3.30 m, dok je broj jedinki roda *Porosononion* približno jednak na svim dubinama (maksimum od 29 jedinki).

Tablica 9. Indeksi bioraznolikosti za jezgru NER5 (Felja, 2017).

Jezgra NER5 - Indeksi bioraznolikosti							
Dubina(m)	Broj taksona (S)	Broj jedinki (N)	Indeks dominacije (D)	Simpsonov indeks (1-D)	Shannon-ov indeks (H)	Berger-Parker-ov indeks (d)	Fisher-ov indeks (α)
3.30 – 3.31	9	300	0,209	0,791	1,744	0,317	1,747
3.60 – 3.61	10	304	0,233	0,767	1,713	0,398	1,985
4.50 – 4.51	9	302	0,186	0,815	1,818	0,268	1,744
4.90 – 4.91	10	301	0,201	0,799	1,779	0,286	1,990

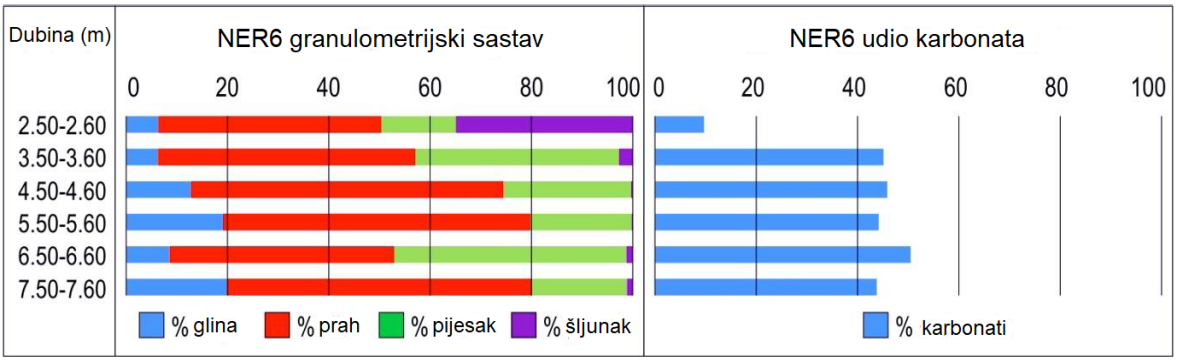


Slika 12. Usporedba indeksa bioraznolikosti iz jezgre NER5.

Brojnost foraminifera se razlikuje u svega nekoliko jedinki pa zbog toga indeksi bioraznolikosti za jezgru NER5 nemaju velikih varijacija (tablica 9, slika 12). Indeks dominacije (D) je u rasponu od 0.186 (4.50 m) do 0.233 (3.60 m). Simpsonov indeks (1-D) varira od 0.767 (3.60 m) do 0.816 (4.50 m). S obzirom da su obrnuto proporcionalni imat će maksimalne i minimalne vrijednosti na suprotnim dubinama. Shannon-ov indeks (H) je u rasponu od 1.713 (3.60 m) do 1.818 (4.50 m). Za Berger-Parker-ov indeks varijacije su također male, od 0.268 (4.50 m) do 0.398 (3.60 m). Raspon Fisher-ovog indeksa je od 1.744 (4.50 m) do 1.99 (4.90 m). Za uzorke do dubine od 3.30 m nisu računati indeksi bioraznolikosti jer nisu sadržavali foraminifere.

6.4. Jezgra NER6

Jezgra NER6 izvađena je na koordinatama 43°00'04.7"N -17°34'05"E (slika 6). Jezgra je duboka 8.2 m te je izvađena na nadmorskoj visini od 0.9 m. Prah je dominantna frakcija u jezgri (44.0-61.7 %) iza koje slijedi frakcija pijeska (14.7 -45.9 %). Također imamo i glinene frakcije s maksimalno 20 % u najdubljem sloju (7.50 m), a frakcija šljunka prevladava u najplićem sloju (2.50 m) s 34.9 % (slika 13). Prvu pojavu foraminifera nalazimo na dubini od 3.25 m (2 jedinke) te porastom dubine raste i broj jedinki i bioraznolikost (Felja, 2017).



Slika 13. Raspodijela veličine zrna i udio karbonata u jezgri NER6 (preuzeto i uređeno prema Felja, 2017).

Tablica 10. Apsolutna brojnost foraminifera iz jezgre NER6 (Felja, 2017).

Jezgra NER6 - Apsolutna brojnost														
Dubina (m)	*Ammonia sp.*	*Ammonia beccarri*	*Ammonia parkinsoniana*	*Ammonia tepida*	*Asterigerinata sp.*	*Buccella sp.*	*Elphidium sp.*	*Elphidium depressulum*	*Eponides sp.*	*Haynesina sp.*	*Porosononion sp.*	*Quinqueloculina seminula*	Neodredivo	**Ukupno**
2.10 -2.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.00 -3.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.25 -3.26	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**2**
3.30 -3.31	23	7	15	12	-	-	-	-	-	5	-	-	2	**64**
3.35 -3.36	9	3	9	21	-	-	-	-	-	2	5	-	4	**53**
3.40 -3.41	27	5	15	51	1	-	-	-	-	3	5	-	2	**109**
3.45 -3.46	34	7	21	47	-	-	-	-	1	8	15	-	5	**138**
3.50 -3.51	65	11	34	97	-	-	-	-	2	31	23	-	7	**270**
3.55 -3.56	76	21	47	117	1	4	1	-	-	35	15	-	4	**321**
3.60 -3.61	64	11	32	132	1	5	1	-	-	27	25	-	5	**303**
3.65 -3.66	77	13	31	112	-	2	-	-	-	51	17	-	3	**306**
4.50 -4.51	55	57	34	89	2	1	1	-	2	32	45	-	5	**323**
5.50 -5.51	65	99	27	34	-	2	1	-	2	37	25	-	1	**293**
6.50 -6.51	51	117	21	45	2	4	-	-	3	34	17	-	7	**301**
7.50 -7.51	71	103	17	67	-	2	1	-	1	27	11	-	2	**302**
8.10 -8.11	54	123	21	56	1	5	2	4	3	17	7	17	4	**314**

Tablica 11. Relativna brojnost foraminifera iz jezgre NER6.

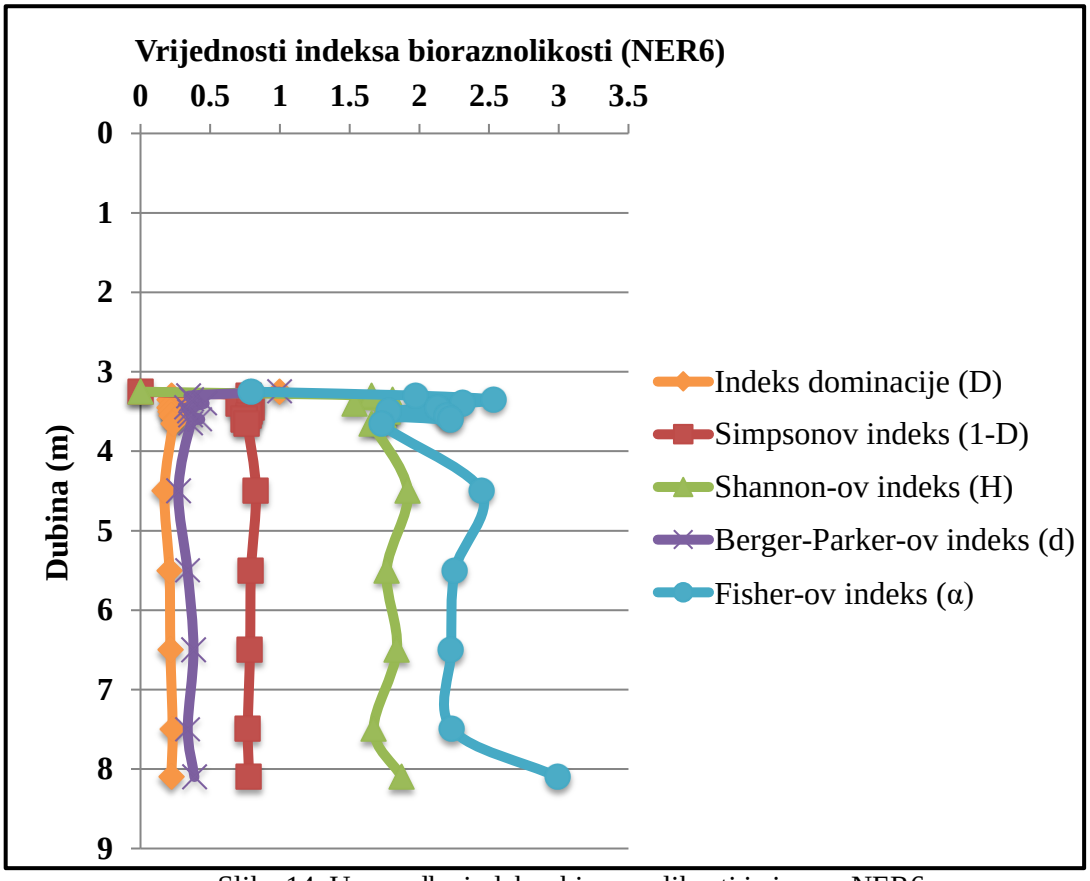
Jezgra NER6 - Relativna brojnost (%)														
Dubina (m)	*Ammonia sp.*	*Ammonia beccarri*	*Ammonia parkinsoniana*	*Ammonia tepida*	*Asterigerinata sp.*	*Buccella sp.*	*Elphidium sp.*	*Elphidium depressulum*	*Eponides sp.*	*Haynesina sp.*	*Porosononion sp.*	*Quinqueloculina seminula*	Neodredivo	**Ukupno (%)**
2.10 -2.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.00 -3.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.25 -3.26	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**100**
3.30 -3.31	36	11	23	19	-	-	-	-	-	8	-	-	3	**100**
3.35 -3.36	17	6	17	40	-	-	-	-	-	4	9	-	8	**100**
3.40 -3.41	25	5	14	47	1	-	-	-	-	3	5	-	2	**100**
3.45 -3.46	25	5	15	34	-	-	-	-	1	6	11	-	4	**100**
3.50 -3.51	24	4	13	36	-	-	-	-	1	11	9	-	3	**100**
3.55 -3.56	24	6	14	36	1	1	1	-	-	11	5	-	1	**100**
3.60 -3.61	21	4	10	43	1	2	1	-	-	9	8	-	2	**100**
3.65 -3.66	25	4	10	37	-	1	-	-	-	17	6	-	1	**100**
4.50 -4.51	17	18	10	27	1	1	1	-	1	10	14	-	1	**100**
5.50 -5.51	22	34	9	11	-	1	1	-	1	13	9	-	0	**100**
6.50 -6.51	17	39	7	15	1	1	-	-	1	11	6	-	2	**100**
7.50 -7.51	23	34	5	22	-	1	1	-	1	9	4	-	1	**100**
8.10 -8.11	17	39	7	18	1	1	1	1	1	5	2	5	1	**100**

Jezgra NER6 dvostruko je dublja od susjedne jezgre NER5, zbog toga ima puno veću i raznovrsniju foraminifersku zajednicu u dubljim slojevima. Ukupan broj foraminifera varira od 2 do 314 jedinki (Tablica 10 i 11). Minimalni broj foraminifera je u najplićem sloju na 3.25 m dubine (2 jedinke), a maksimalan broj foraminifera nalazi se u najdubljem sloju na 8.10 m dubine (314 jedinki). Duž cijele jezgre prevladavaju i dominiraju rodovi: *Ammonia* (*Ammonia sp., A. beccarri, A. parkinsoniana* i *A. tepida*), *Haynesina* i *Porosononion.* Osim njih susrećemo rodove *Asterigerinata*, *Elphidium* i vrstu *Quinqueloculina seminula.* S porastom dubine vrsti *A. beccarri* raste brojnost sa maksimumom od 123 jedinke na dubini od 8.10 m. Ostale vrste roda *Ammonia* pokazuju maksimalne vrijednosti na dubini od 3.50 m do 3.66 m (tablica 14). Vrste *Haynesina sp.* i *Porosononion sp.* ne pokazuju kontinuirane trendove rasta ili pada brojnosti. Na dubinama ispod 3.50 m imamo pojavu vrsti *Asterigerinata sp., Buccella sp., Elphidium sp.* i *Eponides sp.*, broj jedinki ovih vrsti varira od 1 do 5. Na dubini od 8.10 m javljaju se vrste *Elphidium depressulum* (4 jedinke) i *Quinqueloculina seminula* (17 jedinki). Osim foraminifera u svim uzorcima pronađeni su i ostrakodi, fragmenti i cijele ljušture školjkaša i kućice puževa (Felja, 2017).

Indeksi bioraznolikosti imaju manje varijacije (tablica 12, slika 14). Indeks dominacije (D) varira od 0.172 (4.50 m) do 1 (3.25 m). Njemu obrnuto proporcionalan Simpson-ov indeks (1-D) ima varijaciju od 0 (3.25 m) do 0.828 (4.50 m). Oba indeksa ne pokazuju trend kontinuiranog rasta/pada s porastom dubine. Shannon-ov indeks varira od 0 (3.25 m) do 1.917 (4.50 m), on također ima promjenjive vrijednosti s porastom dubine koje nemaju kontinuiranost. Berger-Parker-ov indeks ima varijacije od 0.271 (4.50 m) do 1 (3.25 m), za njega se može primjetiti da je na većini dubina približno jednak (~0.35). Za Fisher-ov indeks varijacije se kreću od 0.796 (3.25 m) do 2.995 (8.10 m). Najdublji dio jezgre ima najveću vrijednost Fisher-ovog indeksa.

Tablica 12. Indeksi bioraznolikosti za jezgru NER6 (Felja, 2017).

Jezgra NER6 - Indeksi bioraznolikosti							
Dubina(m)	Broj taksona (S)	Broj jedinki (N)	Indeks dominacije (D)	Simpsonov indeks (1-D)	Shannon-ov indeks (H)	Berger-Parker-ov indeks (d)	Fisher-ov indeks (α)
3.25 – 3.26	1	2	1	0	0	1	0,796
3.30 – 3.31	7	66	0,225	0,775	1,659	0,349	1,979
3.35 – 3.36	8	57	0,207	0,793	1,810	0,368	2,534
3.40 – 3.41	9	111	0,294	0,706	1,536	0,460	2,313
3.45 – 3.46	9	143	0,205	0,795	1,804	0,329	2,133
3.50 – 3.51	9	277	0,215	0,785	1,776	0,350	1,781
3.55 – 3.56	11	325	0,224	0,776	1,744	0,360	2,199
3.60 – 3.61	11	308	0,254	0,746	1,699	0,429	2,229
3.65 – 3.66	9	309	0,236	0,764	1,658	0,363	1,735
4.50 – 4.51	12	328	0,172	0,828	1,917	0,271	2,446
5.50 – 5.51	11	294	0,207	0,793	1,765	0,337	2,255
6.50 – 6.51	11	308	0,214	0,786	1,839	0,380	2,229
7.50 – 7.51	11	304	0,230	0,770	1,673	0,339	2,236
8.10 – 8.11	14	318	0,221	0,779	1,875	0,387	2,995



Slika 14. Usporedba indeksa bioraznolikosti iz jezgre NER6.

7. RASPRAVA

Područje gdje su uzete sedimentne jezgre (NER3-NER6) jest završni dio doline rijeke Neretve (deltna ravnica). Za vrijeme LGM-a morska razina bila je ~120 m ispod današnje morske razine, što je rezultiralo pojavom kontinentskih uvjeta na znatnom dijelu današnjeg Jadranskog mora (Correggiari et al., 1996; Lambeck et al., 2004; Amorosi et al., 2005). Pretpostavlja se da je u to doba rijeka Neretva imala ušće između otoka Visa i Korčule, gdje je danas more dubine preko 100 m (Juračić, 1998; Sikora et al., 2014).

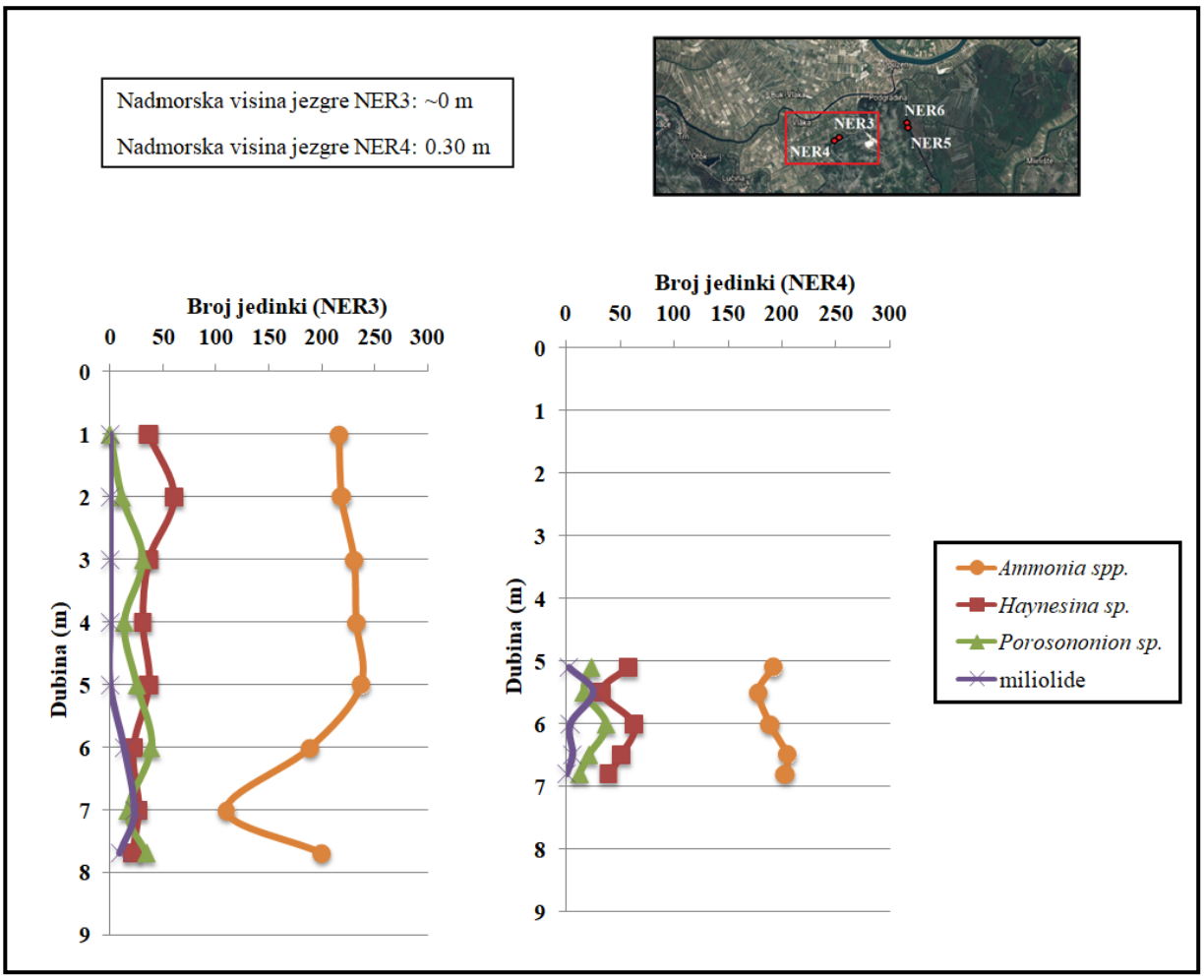
Transgresija koja se dogodila nakon LGM-a poplavila je dolinu rijeke Neretve. Tijekom holocena došlo je do velikog donosa materijala s kopna i progradacije delte unutar estuarija. Ovi događaji uzrokovali su popunjavanje estuarija Neretve i njenih lateralnih proširenja (lagune i zaljevi), što je na kraju dovelo do očuvanja taložnih sekvencija koje su nam omogućile interpretaciju taložnih okoliša i morske razine tijekom holocena. Za precizniju odredbu paleookoliša iz doline rijeke Neretve pomoći će nam usporedbe i korelacije jezgri. U jezgrama će se pratiti foraminiferske zajednice i indeksi bioraznolikosti.

7.1. Usporedba i korelacija jezgri

Susjedne jezgre NER3-NER4 i NER5-NER6 korelirane su na temelju foraminiferskih rodova. Uz te korelacije napravljen je longitudinalni profil između jezgri NER3 i NER6. Jezgra NER3 izvađena je na nadmorskoj visini od ~0 m, dok je jezgra NER6 izvađena na 0.9 m nadmorske visine. Prvu pojavu foraminifera u jezgri NER6 nalazimo na dubini od 3.30 m, a kod jezgre NER3 već u najplićem dijelu na dubini od 1.00 m. Pružanje profila je pod azimutom od 82°.

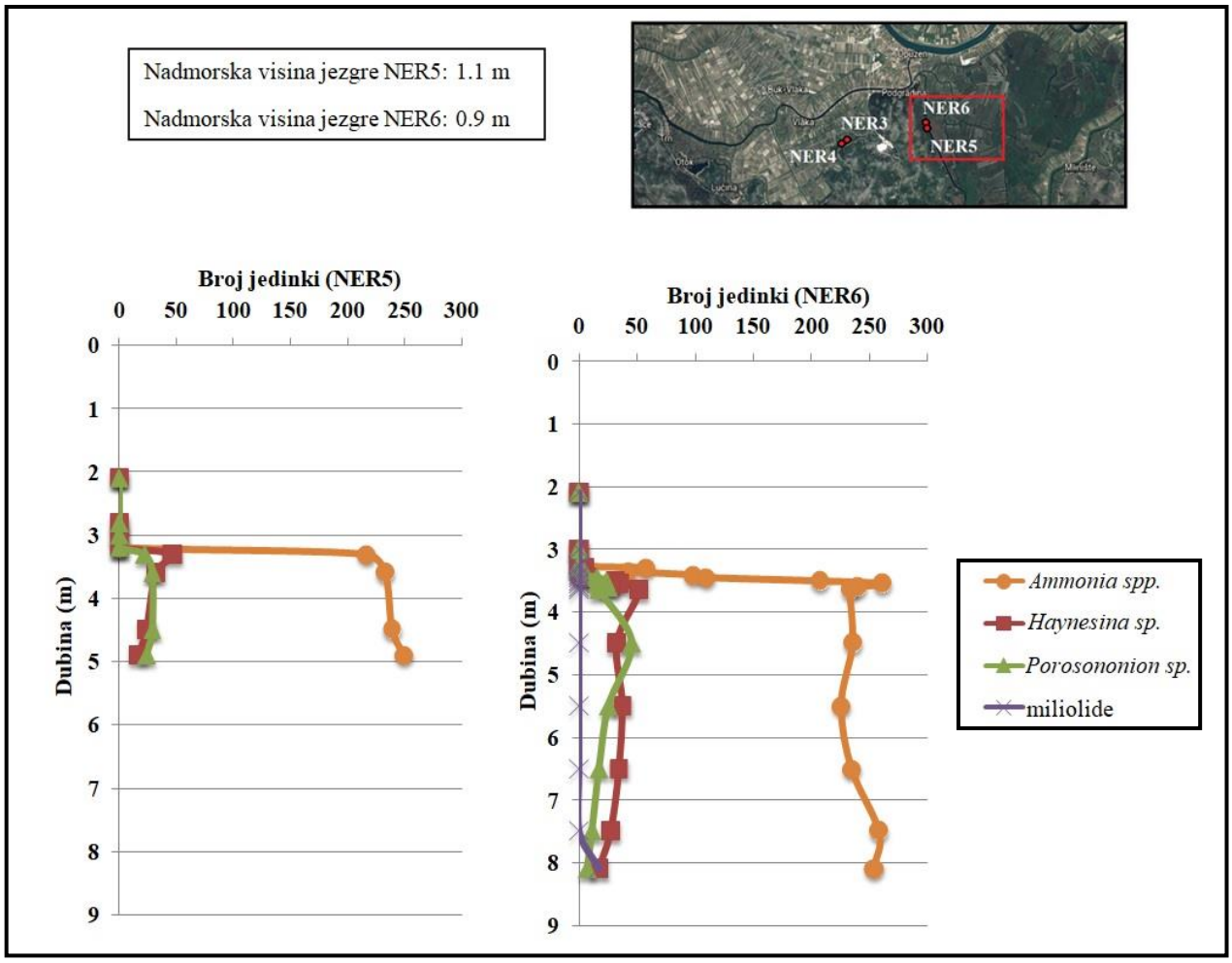
Kod jezgri NER3 i NER4 primjećuju se slični trendovi kod foraminiferskih rodova (slika 11). U obje jezgre dominiraju foraminifere roda *Ammonia* s maksimumima na 5.00 m za NER3, te na 6.50 m za NER4. Najmanji broj jedinki roda *Haynesina* u jezgri NER3 nalazimo na dubini od 4.00 m i u zadnjem intervalu na 7.69 m. Isti trend za rod *Haynesina* nalazimo i u jezgri NER4 gdje na dubinama od 5.50 m i 6.80 m (zadnji interval) imamo najmanju brojnost. Zastupljenost roda *Porosononion* kod obje jezgre ima maksimum na

istoj dubini (6.00 m). Miliolide se pojavljaju na približno sličnim dubinama, u jezgri NER3 na 6.00 m, a u jezgri NER4 na 5.10 m. Maksimum brojnosti miliolida za jezgru NER3 je na 7.00 m, a za NER4 na 5.50 m.



Slika 11. Usporedba apsolutne brojnosti dominantnih foraminifera u jezgrama NER3 i NER4.

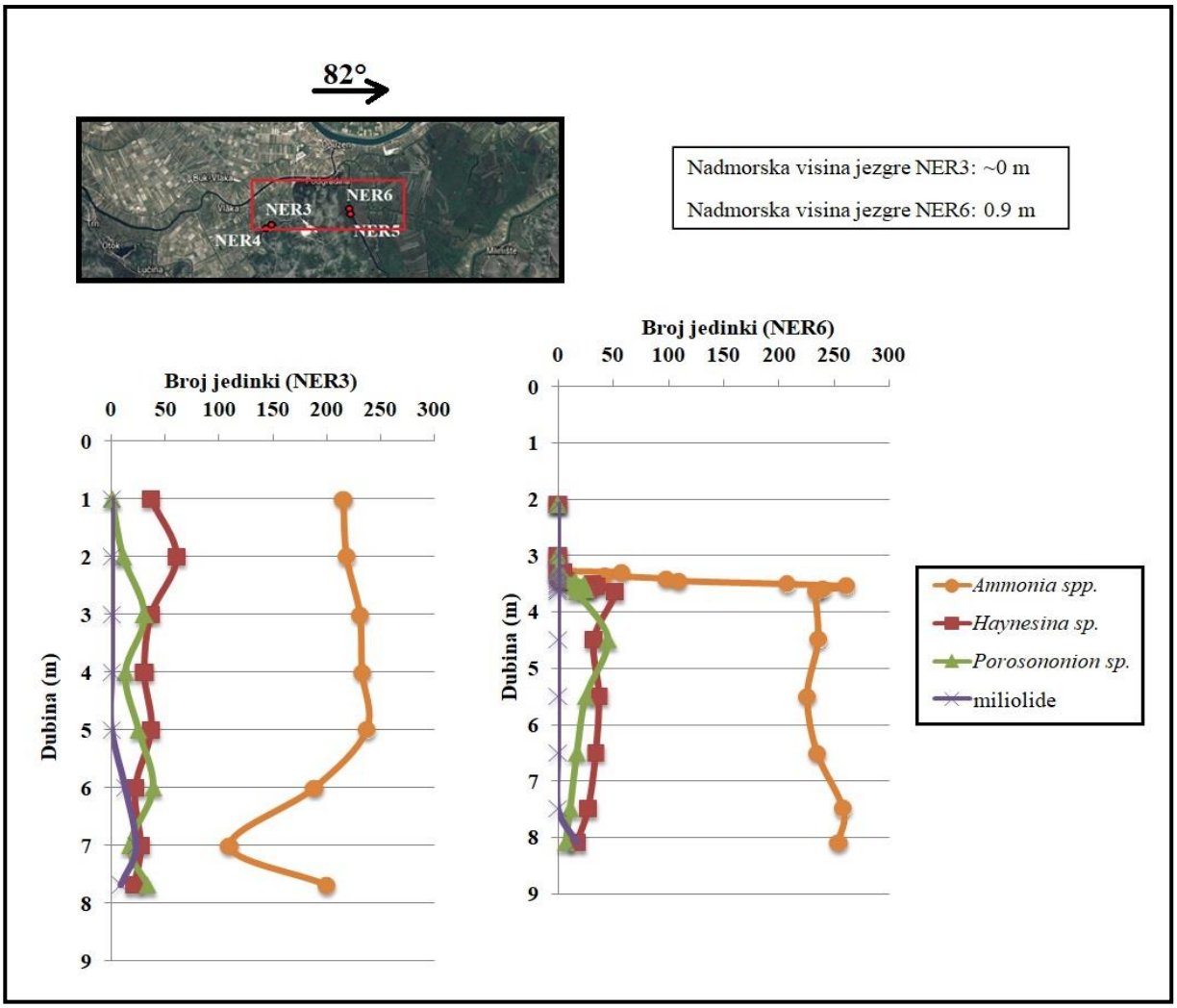
U jezgrama NER5 i NER6 prve pojave foraminifera nalazimo na dubini od 3.30 m (slika 12). Maksimalna brojnost roda *Ammonia* u jezgri NER5 je na dubini od 4.90 m (zadnji interval), a u jezgri NER6 na dubinama od 3.55 m i 7.50 m (zadnji interval). Za rod *Haynesina* primjećuje se sličan trend promjene u brojnosti jedinki. U obje jezgre njihova brojnost raste do ~3 m (za NER5 na dubini od 3.30 m, a za NER6 na dubini od 3.65 m) te nakon te dubine postepeno pada uz određene oscilacije kod jezgre NER6. Na dubini od 4.50 m prisutna je maksimalna brojnost roda *Porosononion* u obje jezgre. Miliolide su pronađene samo u jezgri NER6 i to samo u zadnjem intervalu na 8.10 m dubine.



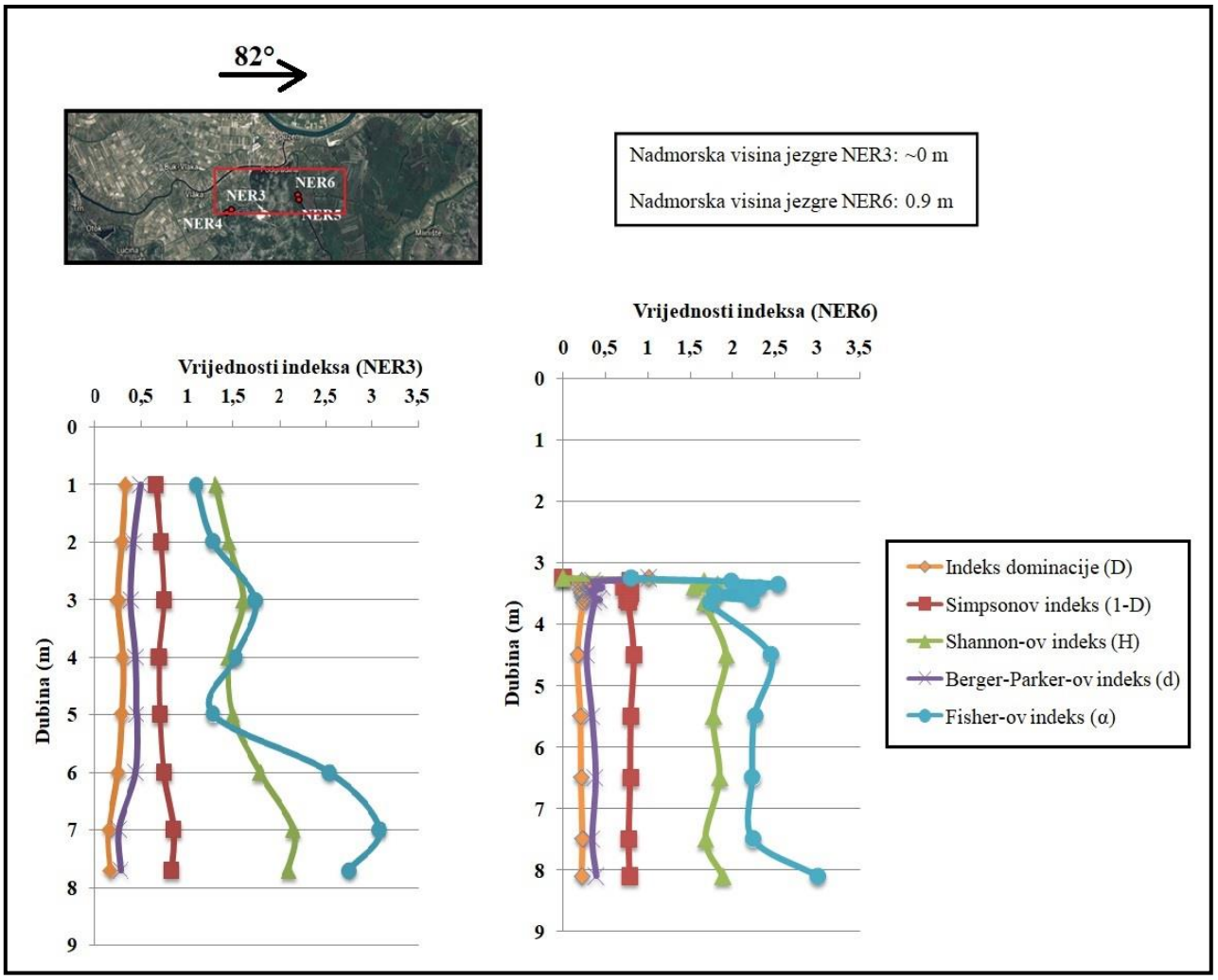
Slika 12. Usporedba apsolutne brojnosti dominantnih foraminifera u jezgrama NER5 i NER6.

Duž istraživanog dijela jezgre NER3, približno je jednak broj jedinki za rodove *Ammonia, Haynesina* i *Porosononion* (slika 13). Zastupljenost ovih rodova se smanjuje na dubini od 7.00 m, gdje će i rod *Ammonia* imati svoj minimum. U jezgri NER6 zastupljenost roda *Ammonia* postepeno će rasti s porastom dubine i neće biti velikih padova ili skokova u brojnosti. Mali pad u brojnosti vidljiv je na dubini od 5.50 m, ta dubina otprilike odgovara dubini od 7.00 m iz jezgre NER3. Rodovi *Haynesina* i *Porosononion* isto neće imati velike varijacije u brojnosti, njihov pad u brojnosti u NER3 također će se odviti na dubini od 7.00 m, a u NER6 to će se dogoditi na 5.50 m (*Porosononion*) i 7.50 m (*Haynesina).* Osim ta tri roda u obje jezgre na većim dubinama pojavljuju se miliolide, točnije rodovi: *Quinqueloculina, Triloculina* i *Spiroloculina*. Njihova pojava povezana je sa smanjenjem brojnosti rodova *Ammonia, Haynesina* i *Porosononion*. U jezgri NER3 pojavu miliolida pratimo od 6.00 m dubine, s maksimumom

od 23 jedinke na 7.00 m dubine. Jezgra NER6 siromašnija je s miliolidama od NER3, te jedini interval koji sadrži miliolide je ujedno i najdublji (8.10 m). Stoga zadnji interval iz jezgre NER6 odgovara dubini od 6.00 m iz jezgre NER3.



Slika 13. Usporedba apsolutne brojnosti dominantnih foraminifera u jezgrama NER3 i NER6.

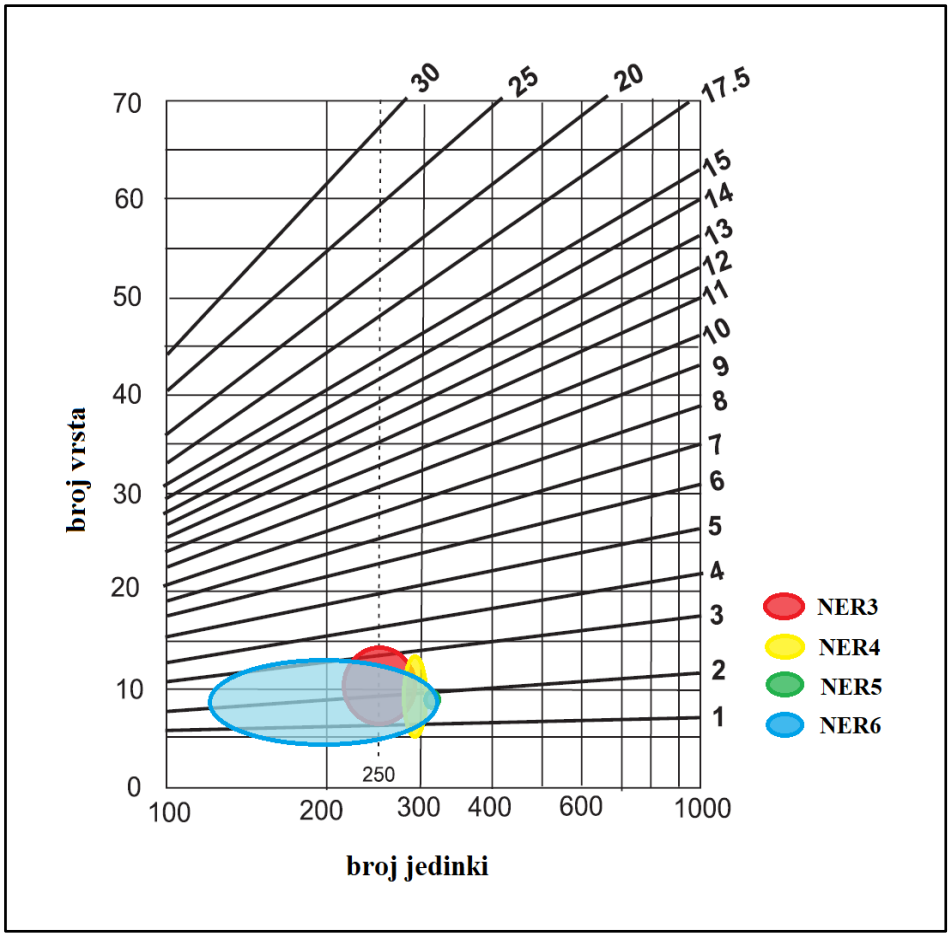


Slika 14. Usporedba indeksa bioraznolikosti iz jezgri NER3 i NER6.

7.2. Taložni okoliši

Recentni taložni okoliši na području Neretve su većinskim dijelom okoliši deltne ravnice s mnogim kanalima i s lateralnim proširenjima aluvijalnih močvara i slatkovodnih/brakičnih jezerca. Niski Fisher α indeksi (slika 15) ukazuju na prijelazne brakične okoliše te su na temelju sedimentoloških podataka (veličina i boja zrna, sedimetološke teksture, koncentracija i tip sporednih materijala) i prepoznatih foraminiferskih rodova i vrsti iz izvađenih sedimentnih jezgri pretpostavljeni slijedeći okoliši (Felja, 2017):

- Aluvijalni okoliši: aluvijalna (deltna) ravnica i slatkovodna močvara
- Prijelazni (brakični) okoliši: brakična močvara, unutrašnji estuarij
- Središnji i vanjski estuarij



Slika 15. Dijagram Fisher α indeksa iz jezgri uzetih u deltnoj ravnici rijeke Neretve (modificirano prema Murray, 1991)

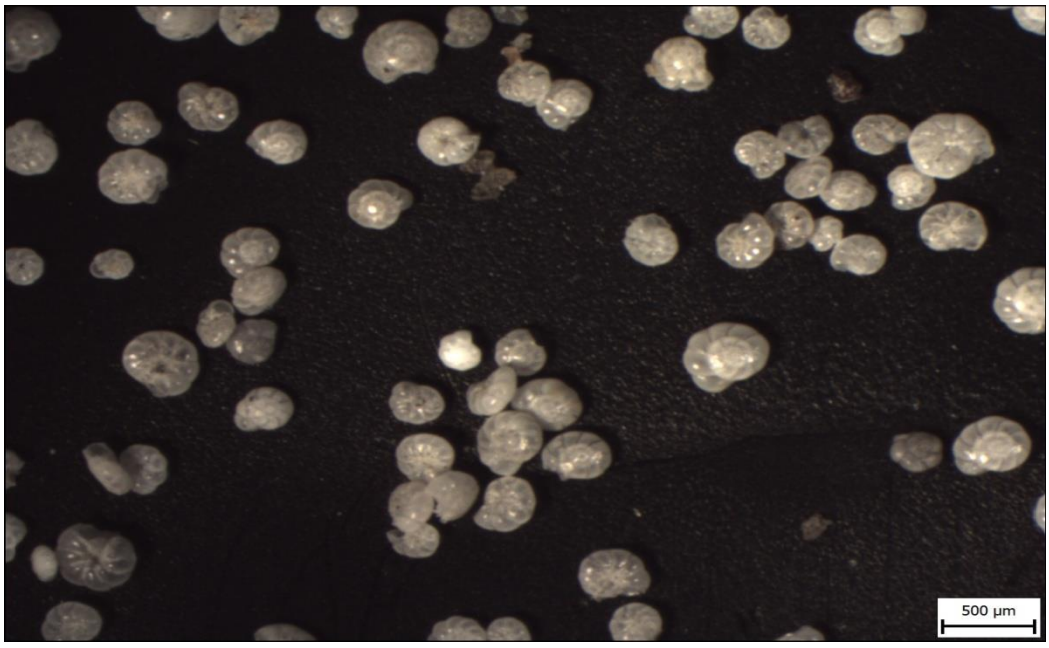
7.2.1. Aluvijalni okoliši (deltna ravnica)

Aluvijalne okoliše dijelimo na aluvijalne (deltne) ravnice i slatkovodne močvare. Karakteristični sedimenti aluvijalnih ravnica/močvara pronađeni su u najgornjim dijelovima jezgri, odnosno do 2-3 metra u dubinu. Za ove okoliše treba naglasiti da se sastoje uglavnom od mulja (glina i prah) i da su obilježeni s nedostatkom foraminifera. U ovim plićim intervalima jezgri pronađeno je mnoštvo biljnih ostataka, korijenja, te slatkovodnih ostrakoda, ljuštura školjkaša i kućica puževa pa čak i antropogenih ostataka.

Sedimenti slatkovodnih močvara prisutni su u jezgrama NER3, NER5 i NER6. Njihove karakteristike su laminirani slojevi bogati tresetom i organskom tvari sa čestom pojavom biljnih ostataka (Felja, 2017).

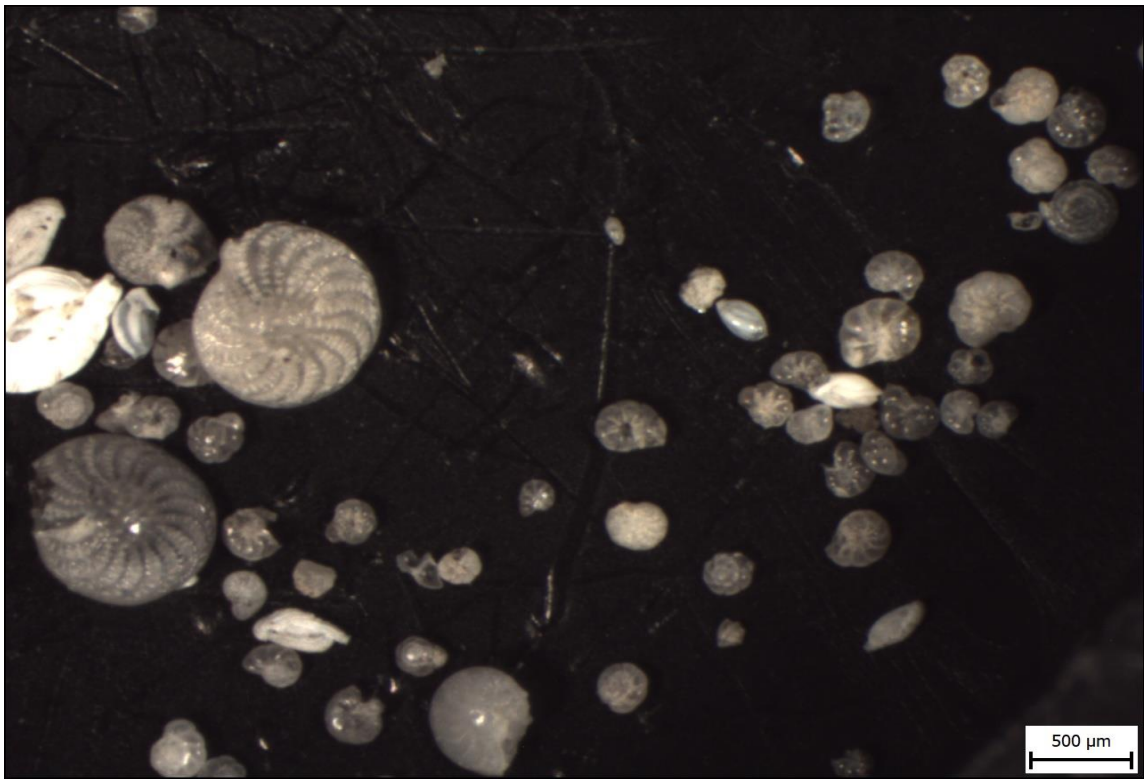
7.2.2. Prijelazni (brakični) okoliši

Okoliši koji su po karakteristikama prijelazni su brakične močvare i unutrašnji estuariji. Ovi okoliši mogu se raspoznati po maloj bioraznolikosti i većem broju foraminifera, osobito onih rodova *Ammonia spp., Haynesina sp.* i *Porosononion sp.* (slika 16) (Murray, 1991, 2006; Albani et al., 2007; Amorosi et al., 2004, 2005). Također ovakav tip okoliša u sedimentnim jezgrama zabilježen je prisustvom ljuštura školjkaša i kućica gastropoda. Vrijednosti indeksa bioraznolikosti ovih sedimenata bili su vrlo mali. Rodovi i vrste iz ovih sedimenata uglavnom su oportunistički nastrojeni te su mogli preživjeti fluktuacije saliniteta i temperature koji su karakteristični za ove obale. Istaloženi sedimenti u ovim okolišima sastoje se uglavnom od sivo-smeđih glinovitih siltova i pjeskovitih siltova s određenim stupnjem bioturbacije, te su u njima pronađeni ostrakodi i ostaci biljaka milimetarskih dimenzija. Brakični okoliši identificirani su u svim istraživanim jezgrama (NER3, NER4, NER5 i NER6) na temelju Shannon-ovog i Fisher-ovog indeksa. U jezgri NER3 brakični okoliši su u intervalu od 1.00 m do 6.00 m dubine, u jezgri NER4 na 5.10 m i u rasponu od 6.00 m do 6.80 m dubine, u jezgri NER5 u intervalu od 3.30 m do 4.80 m dubine i u jezgri NER6 u intervalu od 3.30 m do 6.50 m dubine. Vrijednosti Shannon-ovog indeksa za ovaj okoliš kreću se između 1.312 do 1.917, a za Fisher-ov indeks od 1.097 do 2.446.



Slika 16. Primjer foraminiferske zajednice iz jezgre NER3 (1.00 m) karakteristična za prijelazne (brakične) okoliše s dominantnim udjelom rodova *Ammonia*, *Haynesina* i *Porosononion*.

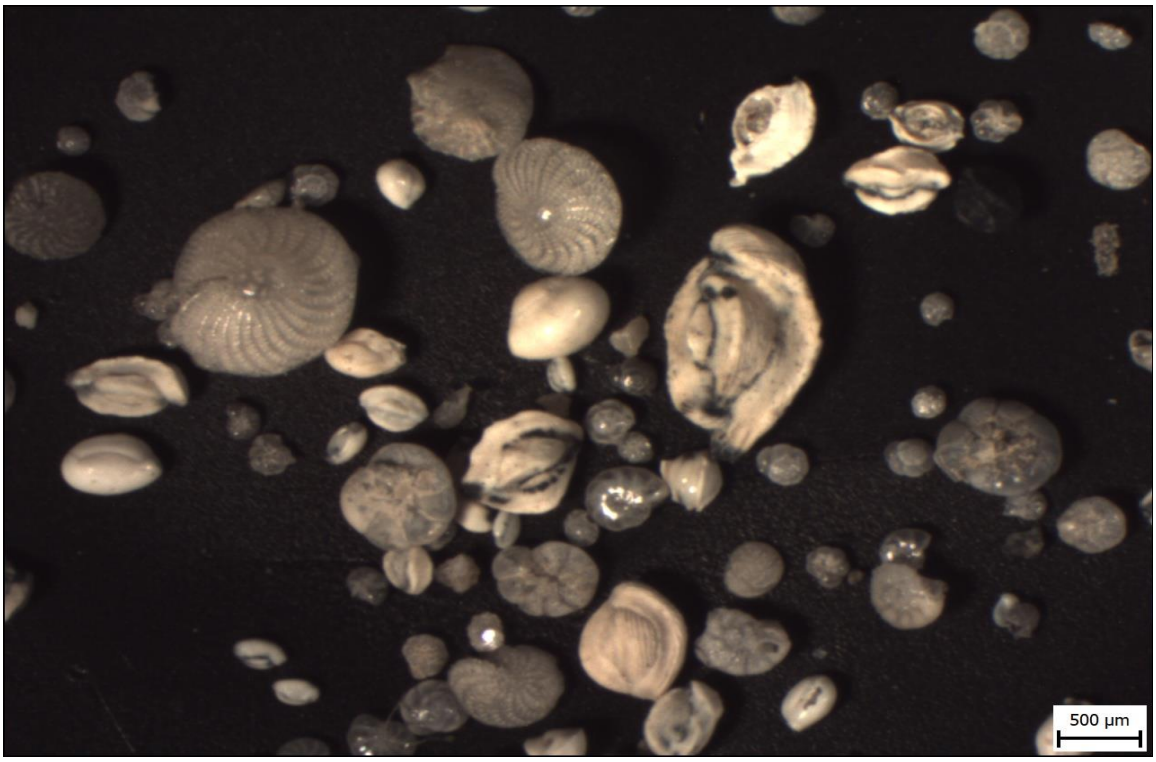
U prijelazne okoliše ubrajamo još i unutrašnje estuarije koji su jako slični brakičnim okolišima te ih teško možemo razlikovati. Naime njihove foraminiferske zajednice su veoma slične, u obje imamo dominaciju rodova *Ammonia spp*., *Haynesina sp*. i *Porosononion sp*. Razlika je u tome što u sedimentima unutrašnjih okoliša imamo pojavu jedinki roda *Elphidium* i foraminifera porculanastih stijenki, odnosno miliolida (rodovi *Adelosina, Spiroloculina, Quinqueloculina* i *Triloculina*) (slika 17). Do pojave ovih rodova foraminifera dolazi zbog većeg marinskog utjecaja (Murray, 2006). Karakteristike ovih okoliša pronađeni su jezgrama NER3, NER4 na temelju indeksa bioraznolikosti (Shannon i Fisher). U jezgri NER3 karakteristke unutarnjih estuarija nalazimo na 6.00 m i 7.69 m dubine, a u jezgri NER4 na 5.50 m dubine. Vrijednosti Shannon-ovog indeksa bile su u rasponu od 1.790 do 2.111, a za Fisher-ov indeks u rasponu od 2.544 do 2.789. Osim foraminifera pronađene su i kućice gastropoda, fragmentirane ljušture školjkaša i ostrakodi.



Slika 17. Primjer foraminiferske zajednice iz jezgre NER3 (7.69 m) za unutrašnji estuarij s prisustvom rodova *Ammonia*, *Haynesina* i *Porosononion* te pojavom manjeg broja roda *Elphidium* i miliolida.

7.2.3. Središnji i vanjski estuarij

Samo najdublji dijelovi sedimentnih jezgri iz deltne ravnice Neretve sastavljene su od pjeskovitog silta i siltoznog pijeska. Brojnost jedinki rodova *Haynesina* i *Porosononion* smanjuje se u tim dubljim dijelovima jezgri. Brojnost jedinki roda *Ammonia* ostaje približno isti, a brojnost roda *Elphidium* (*Elphidium sp*., *E. crispum*) i miliolida (*Adelosina sp., Spiroloculina sp., Q. seminula* i *Triloculina sp.*) raste (slika 18). Njihova zastupljenost raste (osobito za vrstu *Q. seminula*) zbog većeg marinskog utjecaja i porasta saliniteta (Murray, 2006). Karakterisitike ovih okoliša pronađeni su u jezgrama NER3 i NER6 na temelju Shannon-ovog i Fisher-ovog indeksa bioraznolikosti. U NER3 karakteristike središnjeg/vanjskog estuarija su na dubini od 7.00 m (Shannon-ov indeks: 2.149, Fisher-ov indeks: 3.078), a u jezgri NER6 na dubini od 8.10 m (Shannon-ov indeks: 1.875, Fisher-ov indeks: 2.995). Također u jezgrama NER3 i NER4 pronađeni su fragmenti koraljne vrste *C. caespitosa* koje upućuju na dominantan marinski utjecaj i na okoliš središnjeg/vanjskog estuarija (Felja, 2017).



Slika 18. Primjer foraminiferske zajednice iz jezgre NER4 (5.50 m) za središnji i vanjski estuarij s prisustvom jedinki roda *Ammonia*, smanjenim brojem jedinki rodova *Haynesina* i *Porosononion* i s povećanom brojnošću roda *Elphidium* i miliolida.

8. ZAKLJUČAK

Za potrebe ovog istraživanja koristile su se 2 samostalno analizirane jezgre (NER3 i NER4) i podaci iz 2 preuzete jezgre (NER5 i NER6) s područja deltne ravnice rijeke Neretve, koja je ujedno i najveća rijeka na istočnoj obali Jadranskog mora. Izvađene jezgre podvrgnute su sedimentološkoj analizi (boja i veličina zrna, sedimentološke teksture, koncentracija i tip sporednih materijala) te analizi makrofosila i mikrofosila. Time je primjenjen multidisciplinirani pristup za određivanje taložnih okoliša i promjene morske razine za vrijeme holocena. Jezgre s područja deltne ravnice Neretve sastojale su se pretežito od mulja (prah i glina) i pijeska. Taložni slijed sačuvan u sedimentu deltne ravnice rijeke Neretve, pokazuje karakteristične sedimentne značajke i fosilnu zajednicu (bentičke foraminifere, školjkaše i puževe) koji odražavaju različite taložne okoliše u kojima su sedimenti taloženi tijekom holocena, a to su: aluvijalni okoliši (aluvijalna ravnica i slatkovodna močvara), brakični okoliši (brakična/slana močvara, unutrašnji estuarij) te središnji i vanjski estuariji.

Okoliši koji su bili bez foraminifera su oni aluvijalnog tipa. Najplići intervali izvađenih jezgri sadržavali su karakteristike aluvijalnih okoliša. Brakične okoliše karakterizira povećanje zastupljenosti rodova *Ammonia spp.*, *Haynesina sp*. i *Porosononion sp*. U unutarnjim estuarijima imamo prve pojave miliolida i jedinki roda *Elphidium spp.*, te im se povećava zastupljenost u sedimentima koji su bili pod snažnijim marinskim utjecajem (središnji i vanjski estuariji).

Stoga možemo zaključiti da je tijekom holocena rijeka Neretva (intraestuarijska delta) progradirala, te je time zatrpavala i popunjavala taložni bazen (estuarij). Rezultat toga je aluvijalna ravnica po kojoj je danas ušće rijeke Neretve prepoznatljivo.

9. 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.

Amorosi, A., Colalongo, 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.

Amorosi, A., Centineo, M.C., Colalongo, M.L. & Fiorini, F. (2005): Millennial–scale depositional cycles from the Holocene of the Po Plain, Italy. -Marine Geology, 222-223, 7-18.

Berger, A. (1988): Milankovitch theory and climate. Reviews of geophysics, 26/4, 624-657.

Bhattacharya, J. P. & Walker, R. G. (1992): Deltas. U: Facies Models. Response to Sea Level Change (ur.: R. G. Walker & N. P. James). Geological Association of Canada, Ontario, 157-178.

Bianchi, T. S. (2013): Estuaries: where the river meets the sea. Nature Education Knowledge, 4(4), 12.

Boyd, R., Dalrymple, R.W. & Zaitlin, B.A. (2006): Estuarine and incised-valleys facies models. In: Posamentier, H.W., and Walker, R.G. (eds.), *Facies Models Revisited*. Tulsa, OK: SEPM (Society of Sedimentary Geology), 171-235.

Cimerman, F. & Langer, M. R. (1991): Mediterranean Foraminifera. Slovenska Akademija Znanosti in Umetnosti, Ljubljana, 1991, 1-119.

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, 325/710, 710-714**.**

Correggiari, A., Roveri, M. & Trincardi, F. (1996): Late Pleistocene and Holocene evolution of the north Adriatic sea II Quaternario. Italian Journal of Quaternary Sciences, 9/2, 697-704.

Dalrymple, R. W., Zaitlin, B. A. & Boyd, R. (1992): Estuarine Facies Models: Conceptual Basis and Stratigraphic Implications. Journal of Sedimentary Petrology, 62/6, 1130-1146.

Dalrymple, R.W., Boyd, R. & Zaitlin, B.A. (1994): History of research, types and internal organization of incised-valley systems: introduction to the volume. In Dalrymple, R.W., Boyd, R. and Zaitlin, B.A. (eds.), *Incised Valley Systems: Origin and Sedimentary Sequences*. Tulsa, OK: SEPM (Society for Sedimentary Geology. SEPM Special Publication No. 51, 3-10.

Dodig, Radoslav (n.d.): Grad na povijesnoj vjetrometini. Preuzeto s http://www.metkovic.hr/povijest/default.asp?izb=povijest.asp.

Edwards, R. L. (2006): Sea-levels: change and variability during warm intervals. Progress in Physical Geography 30, 785-796.

Emiliani, C. (1955): Pleistocene temperatures. Journal of Geology 63, 538-578.

Fairbanks, R.G. (1989): A 17.000-yr glacio-eustatic sea-level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation. Nature 342, 637-642.

Fairbridge, R.W. (1980): The estuary: its definition and geodynamic cycle. In Olausson, E., and Cato, I. (eds.), *Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries*. Chichester: Wiley.

FAO -ISRIC (2006): Guidelines for soil description, 4th edition. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rim, 1-97.

Felja, I., Fontana, A., Furlani, S., Bajraktarević, 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): Karstic estuaries along the eastern Adriatic coast: Late-Quaternary evolution of the Mirna and Neretva River mouths (Krški estuariji duž istočne jadranske obale: evolucija ušća rijeka Mirne i Neretve u mlađem kvartaru).

Doktorska disertacija. Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, 1-169.

Furlani, S., Cucchi, F., Biolchi, S. & Odorico, R. (2011): Notches in the Northern Adriatic Sea: Genesis and development. Quaternary International, 232, 158-168.

Galloway, W. E. (1975): Process Framework for Describing the Morphologic and Stratigraphic Evolution of Deltaic Depositional Systems. U: Deltas: Models for Exploration (ur.: M. L. Broussard). Houston Geological Society, Houston, 87-98.

Hammer, Ø., Harper, D. A. T. & Ryan, P. D. (2001): Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Palaeontologia Electronica, 4/1, 1-9.

Horton, B. P. & Shennan, I. (2009): Compaction of Holocene strata and the implications for relative sea-level change on the east coast of England. Geology, 37/12, 1083-1086.

Juračić, M. (1992): Sedimentation in some Adriatic karstic river mouths (are they estuaries or rias?). Proceedings of the International symposium "Geomorphology and sea", Mali Lošinj, 1-9.

Juračić, M. (1998): O nastanku i promjenama delte rijeke Neretve. Dubrovnik, časopis za književnost i znanost, Nova serija 9, 4, 228-232.

Jurina, I., Ivanić, M., Vidović, N., Troskot-Čorbić, T., Lojenc, S., Mikac, N. & Sondi, I. (2015): Deposition of trace metals in sediments of the deltaic plain and adjacent coastal area (the Neretva River, Adriatic Sea). J. Geochem. Explor. 157, 120-131.

Kralj, D., Romić, D., Romić, M., Cukrov, N., Mlakar, M., Kontrec, J., Barišić, D. & Sirac, S. (2015): Geochemistry of stream sediments within the reclaimed coastal floodplain as indicator of anthropogenic impact (River Neretva, Croatia). J. Soils Sediments http://dx.doi. org/10.1007/s11368-015-1194-3.

Lambeck, K & Chappell, J. (2001): Sea Level Change Through the Last Glacial Cycle. Science, 292/5517, 679-686.

Lambeck, K., Antonioli, F., Purcell, A. & Silenzi, S, (2004): Sea-level change along the Italian coast for the past 10,000 yrs. Quaternary Science Reviews 23, 1567-1598.

Lambeck, K., Rouby, H., Purcell, A., Sun, Y. & Sambridge, M. (2014): Sea level and global ice volumes from the Last Glacial Maximum to the Holocene. Proceedings National Academy Sciences USA 111, 15296-15303.

Loeblich, A. R. & Tappan, H. (1988): Foraminiferal Genera and Their Classification. Van Nostrand, Reinhold, 970+847, New York.

Marinčić, S., Magaš, N., Benček, Đ. (1977): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, umač za list Ploče (K33-35). [Basic Geological Map of SFRY 1: 100000, Ploče sheet, K33-35]. Savezni geološki zavod, Beograd.

Mojićević, M. & Laušević, M. (1973a): Osnovna geološka karta Jugoslavije 1:100000, tumač za list Mostar, K33-24. [Basic Geological Map of SFRY 1:100000, Mostar sheet, K33-24]. Savezni geološki zavod, Beograd.

Mojićević, M. & Laušević, M. (1973b): Osnovna geološka karta Jugoslavije 1:100000, tumač za list Nevesinje, K34-25. [Basic Geological Map of SFRY 1:100000, Nevesinje sheet, K34-25]. Savezni geološki zavod, Beograd.

Mojićević, M. & Tomić, B. (1982): Osnovna geološka karta Jugoslavije 1:100000, tumač za list Kalinovik, K34-12. [Basic Geological Map of SFRY 1:100000, Kalinovik sheet, K34-12]. Savezni geološki zavod, Beograd.

Murray, J. W. (1991): Ecology and palaeoecology of benthic foraminifera. Longman Scientific and Technical, Harlow, 1-401.

Murray, J. W. (2006): Ecology and Applications of Benthic Foraminifera. Cambridge University Press, Cambridge, 1-426.

Mylroie, J. E. & Carew, J. L. (1988): Solution Conduits as Indicators of Late Quaternary Sea Level Position. Quaternary Science Reviews, 7, 55-64.

Orlić, M., Beg Paklar, G., Pasarić, Z., Grbec, B. & Pasarić,M. (2006): Nested modeling of the east Adriatic coastal waters. Acta Adriat. 47 (Suppl.), 219-245.

Pikelj, K. & Juračić, M. (2013): Eastern Adriatic Coast (EAC): Geomorphology and Coastal Vulnerability of a Karstic Coast. Journal of coastal research, 29, 944-957.

Raić, V., Papeš, J., Behlilović, S., Crnolatac, I., Mojićević, M., Ranković, M., Slišković, T., Đorđević, B., Golo, B., Ahac, A., Luburić, P. & Marić, Lj. (1975): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, tumač za list Metković, K33–36. [Basic Geological Map of SFRY 1:100000, Metković sheet, K33-36]. Savezni geološki zavod, Beograd.

Raić, V., Ahac, A., Papeš, J. (1976): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, tumač za list Imotski, K33–23. [Basic Geological Map of SFRY 1:100000, Imotski sheet, K33-23]. Savezni geološki zavod, Beograd.

Raić, V., Papeš, J., Ahac, A., Korolija, B., Borović, I., Grimani, I., Marinčić, S. (1980): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, tumač za list Ston, K33–48. [Basic Geological Map of SFRY 1: 100000, Ston sheet, K33-48]. Savezni geološki zavod, Beograd.

Rovere, A., Antonioli, F. & Bianchi, C.N. (2015): Fixed biological indicators. In: Shennan, I., Long, A.J., Horton, B.P. (Eds.), Handbook of Sea-Level Research. Wiley, 268-280.

Rovere, A., Stocchi, P. & Vacchi, M. (2016): Eustatic and Relative Sea Level Changes. Current Climate Change Reports, 2/4, 221-231.

Schönfeld, J., Alve, E., Geslin, E. & Jorissen, F. (2012): The FOBIMO (FOraminiferal BIo-MOnitoring) initiative - Towards a standardised protocol for soft-bottom benthic foraminiferal monitoring studies. Marine Micropaleontology, 94-95, 1-13.

Semeniuk, V., Semeniuk, C. A., Tauss, C., Unno, J. & Brocx, M. (2011): Walpole and Nornalup Inlets: Landforms, Stratigraphy, Evolution, Hydrology. Water Quality, Biota and Geoheritage. Perth: Western Australian Museum, 1-584.

Semeniuk, V. & Semeniuk, C. (2016): Deltas. U: Encyclopedia of Estuaries (ur.: M. J. Kennish). Springer Dordrecht, New York, London, 177-187.

Shaw, T. A., Kirby, J. R., Holgate, S., Tutman, P. & Plater, A. J. (2016): Contemporary salt-marsh foraminiferal distribution from the Adriatic coast of Croatia and its potential for sea-level studies. Journal of Foraminiferal Research, 46/3, 314-332.

Sikora, M., Mihanović, H. & Vilibić, I. (2014): Paleo-coastline of the Central Eastern Adriatic Sea, and Paleo-Channels of the Cetina and Neretva rivers during the last glacial maximum. Acta Adriatica, 55/1, 3-18.

Slišković, I. (2014): Vode u kršu slivova Neretve i Cetine. Hrvatski geološki institut, Zagreb, 7-171.

Sofilj, J. & Živanović, M. (1980): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, list Prozor, K34-25. [Basic Geological Map of SFRY 1:100000, Prozor sheet, K34-25]. Savezni geološki zavod, Beograd.

Stanley, J.D. & Warne, A.G. (1994): Worldwide initiation of Holocene marine deltas by deceleration of sea-level rise. Science 265, 228-231.

Vacchi, M., Marriner, N., Morhange, C., Spada, G., Fontana, A. & Rovere, A. (2016): Multiproxy assessment of Holocene relative sea-level changes in the western Mediterranean: Sea-level variability and improvements in the definition of the isostatic signal. Earth-Science Reviews 155, 172-197.

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.

Vranješ, M., Vidoš, D. & Glavaš, B. (2007): Status of sediments in the lower Neretva River (Stanje sedimenta u donjoj Neretvi). -In: GEREŠ, D. (ed), 4 Hrvatska konferencija o vodama, Hrvatske vode i Europska unija -izazovi i mogućnosti, Zagreb: Hrvatske vode, 337-344.

Van Andel, T. H. (1989): Late Quaternary sea-level changes and archaeology. Antiquity, 63/241, 733-745.

Van De Plassche, O. (1986): Sea-level research: a manual for the collection and evaluation of Data. Norwich, Geobooks, 27-64.