Promjene okoliša zapisane u jezgri iz deltne ravnice rijeke Mirne

Katanec, Irena

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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:217:949922

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

IRENA KATANEC

PROMJENE OKOLIŠA ZAPISANE U JEZGRI IZ DELTNE RAVNICE RIJEKE MIRNE

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

Zagreb, 2017.

ZAHVALE

Zahvaljujem svome mentoru ***prof. dr. sc. Mladenu Juračiću*** *na mnogim savjetima, pomoći, strpljenju i uloženom trudu tijekom ispravaka i izrade ovog rada.*

Hvala mom neposrednom voditelju ***dr. sc. Igoru Felji*** *na savjetima, raspravama i prijedlozima tijekom uređivanja teksta i obrade podataka te na snalažljivosti i velikoj pomoći prilikom obavljanja laboratorijskih analiza. Hvala na podršci, smirenosti, vedrini te na ugodnom prijateljskom društvu.*

Zahvaljujem članovima komisijskog povjerenstva, višim predavačima ***mr. sc. Draženu Kurtanjeku*** *i* ***dr. sc. Borni Lužar-Oberiteru*** *na savjetima u svrhu poboljšanja ovog diplomskog rada tijekom njegove izrade te na lijepim riječima o samoj kvaliteti rada.*

Zahvaljujem ***dipl. inž. Štefici Kampić*** *i* ***dipl. ing. Željku Ištuku*** *na pomoći pri laboratorijskim analizama. Bez njihove prisutnosti bi moje vrijeme provedeno u laboratoriju prošlo u monotonosti i neizdržljivoj tišini.*

Veliko hvala ***dipl. iur. Mariji Cindro*** *na neiscrpnoj susretljivosti, ljubaznosti i razumijevanju prilikom svih mojih studentskih pitanja i problema, pogotovo u zadnje tri godine.*

Zahvaljujem svim profesoricama i profesorima koji su mi svojim postupcima i riječima kroz razne stupnjeve obrazovanja bili inspiracija i poticaj da se sve više obrazujem, da se bavim svojim interesima, da težim prema znanju i većim stvarima u životu te da dajem više od sebe nego što mislim da mogu.

Zahvaljujem svim kolegicama, kolegama, prijateljicama i prijateljima koje sam upoznala kroz život i razne stupnjeve školovanja što su svojim utjecajem na mene, lijepim riječima, svojom prisutnošću ili odsutnošću u mojem društvenom životu pridonijeli mojem razvoju i oblikovanju mog razmišljanja i karaktera i bez kojih možda ne bih bila ovdje gdje sam sada.

Od srca hvala mojim kolegicama i prijateljicama ***Magdaleni****,* ***Valentini****,* ***Anji****,* ***Eni*** *i* ***Ivani*** *na brizi, potpori, strpljenju i razumijevanju, posebice tijekom proteklih mjeseci. Hvala vam na izletima, izlascima, zabavnim i nezaboravnim trenucima bez kojih bi mi život, osobno i akademski gledano, bio vrlo hladan, prazan i dosadan.*

Od srca hvala i najstrpljivijem čovjeku na svijetu, ***Danielu****, na ljubavi, podršci, razumijevanju, bodrenju i na mnogočemu drugome tijekom mojeg akademskog obrazovanja i naših gotovo šest godina života zajedno.*

Najveću zahvalnost želim izraziti svojoj obitelji, posebice roditeljima na bezuvjetnoj podršci i neizmjernoj vjeri u moj uspjeh kada ju ja nisam imala. Pogotovo se moram zahvaliti svojoj sestri ***Sari*** *koja me pratila kroz moju akademsku pustolovinu s konstruktivnim kritikama i savjetima te podrškom i bila mi je toliko puta uzor i poticaj na (ne)rad ☺.*

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geološki odsjek

Diplomski rad

Promjene okoliša zapisane u jezgri iz deltne ravnice rijeke Mirne

IRENA KATANEC

Rad je izrađen: Geološko-paleontološki zavod
Prirodoslovno – matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb

Sažetak: Sedimentološkim analizama granulometrijskog sastava i kalcimetrije te makro-paleontološkim analizama biogenih ostataka materijala u jezgri MIR1 iz deltne ravnice rijeke Mirne pokušala se rekonstruirati morska razina tijekom prošlosti. Također, pokušali su se rekonstruirati taložni facijesi u ušću rijeke te geomorfološki razvoj i evoluciju okoliša. U ovom radu također su ispitivani preciznost i točnost terenskih metoda procjene granulometrijskog sastava usporedbom s egzaktnim rezultatima laboratorijskih analiza. Strukturno gledano, područje porječja Mirne dio je vanjskih Dinarida kojima dominiraju vapnenci taloženi na Jadransko-Dinarskoj karbonatnoj platformi u vremenskom rasponu od krede do eocena. Nakon transgresije u holocenu razina mora je dosezala nekoliko kilometara više uzvodno u riječnu dolinu od današnje obalne linije. U zadnjih 7000 do 6000 godina delta unutar estuarija rijeke Mirne progradirala je prema Jadranskom moru te se tako razvila današnja obalna linija. Sedimentna jezgra MIR1 sadrži zapise o tim promjenama budući da svaki taložni okoliš sadrži karakteristične fosilne zajednice i sedimentne značajke koje odražavaju uvjete života i sedimentacije materijala u tim taložnim okolišima kako je ušće rijeke progradiralo s vremenom. Antropogeni utjecaj na riječno ušće i obalu rijeke Mirne konstantno se povećavao i potpomognuo je evoluciji obale budući da traje još od 6. tisućljeća pr. Kr. kada se ljudi prvi put naseljavaju na tom području.

Ključne riječi: delta unutar estuarija, estuarij, granulometrija, holocen, kalcimetrija, promjene morske razine, rijeka Mirna

Rad sadrži: 71 stranicu, 21 sliku, 3 tablice, 102 literaturna navoda

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je pohranjen u: Središnja geološka knjižnica, Horvatovac 102a, Zagreb

Mentor: dr.sc. Mladen Juračić, redoviti profesor

Ocjenjivači: dr.sc. Mladen Juračić, redoviti profesor
mr. sc. Dražen Kurtanjek, viši predavač
dr. sc. Borna Lužar-Oberiter, viši predavač

Rad prihvaćen: 15. rujna 2017.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geology

Master's Thesis

Environmental changes recorded in the Mirna River Delta plain

IRENA KATANEC

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

Abstract: Using sedimentological analyses of granulometric composition, calcimetry and macropaleontological analysis of biogenous material residues in the MIR1 core of the Mirna River delta plain the reconstruction of the past relative sea levels, depositional facies in the Mirna River and the geomorphological and environmental evolution was attempted. This thesis also examines the precision and accuracy of field methods by comparing them with the exact results of laboratory analysis. The area of the Mirna River valley is structurally part of the External Dinarides which are dominated by limestones deposited on the Adriatic-Dinaric carbonate platform in the time range from Cretaceous to the Eocene. After the Holocene trangression sea level reached upstream in the Mirna River valley for a few kilometers further than the recent coastal line does. In the last 7,000 to 6,000 years, the Mirna River intra-estuarine delta has prograded into the Adriatic Sea. The sediment core MIR1 contains records of these changes in the environment since each depositional environment contains characteristic fossil assemblages and sedimentary characteristics that reflect the living conditions and sedimentation conditions of the material as the river progressed over time. Human activity has been continuously increasing and furthering the evolution of Mirna River valley and the estuarine (bay-head) delta and the river banks since it began 6000 years ago BC when the first settlers arrived in the area.

Keywords: calcimetry, estuary, estuarine (bay-head) delta, granulometry, Holocene, Mirna River, sea level changes

Thesis contents: 71 pages, 21 figures, 3 tables, 102 references

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Central Geological Library, Horvatovac 102a, Zagreb

Supervisor: prof. dr. sc. Mladen Juračić, full professor

Reviewers: prof. dr. sc. Mladen Juračić, Full Professor
mr. sc. Dražen Kurtanjek, Senior lecturer
dr. sc. Borna Lužar-Oberiter, Senior lecturer

Thesis accepted: 15th September 2017

POPIS SLIKA:

Slika 1 Tipovi estuarija s obzirom na miješanje riječne slatke vode i morske vode 2

Slika 2 Geomorfološka klasifikacija estuarija. 4

Slika 3 Milankovićevi ciklusi 6

Slika 4 Geološka karta Istre 12

Slika 5 Geografske karte proučavanog područja u Istri s označenim hidrografskim i hidrogeološkim slivom rijeke Mirne. 14

Slika 6 Uže područje deltne ravnice rijeke Mirne s označenim lokalitetom uzorkovanja. 17

Slika 7 Fritsch Analysette® tresilica s Retsch® ASTM sitima. 18

Slika 8 Sustav za granulometrijsku analizu SediGraph 5100 20

Slika 9 Scheiblerov kalcimetar 22

Slika 10 Intervali jezgre MIR1 pri početku i kraju jezgre 26

Slika 11 Raspodjela i zastupljenost granulometrijskih opisa/tipova svih uzoraka duboke jezgre iz delte rijeke Mirne. 29

Slika 12 Grafovi zastupljenosti i raspodjele pojedinih frakcija u svih 58 uzoraka 31

Slika 13 Granulometrijski sastav uzoraka u trokomponentnom dijagramu šljunka, pijeska i mulja. 32

Slika 14 Granulometrijski sastav uzoraka u trokomponentnom dijagramu pijeska, praha i gline 32

Slika 15 Grafički prikaz zastupljenosti granulometrijskih tipova. 33

Slika 16 Grafički prikaz sortiranosti svih 58 uzoraka iz jezgre MIR1 33

Slika 17 Fosili mekušaca: *Bittium* sp., *Nassarius* sp., Scaphopoda, *Dentalium* sp..... 35

Slika 18 Fosili mekušaca: *Rissoa* sp., *Turritella* sp., *Ostrea* sp. 35

Slika 19 Grafikon obrnuto proporcionalnog odnosa karbonatne i glinene komponente 46

Slika 20 Grafikon odnosa karbonatne i glinene komponente 47

Slika 21 Stratigrafski stup prvih 40 m jezgre MIR1 49

POPIS TABLICA:

Tablica 1 Terenski opis jezgre podijeljene u 23 međusobno različita odsječka opisana na terenu u rasponu dubina od 0,0 m do 34,50 m prema FELJA & FONATANA (2015) 27

Tablica 2 Podaci mjerenja svih 58 uzoraka u rasponu dubina od 2,07 do 34,40 m 30

Tablica 3 Usporedba slojeva jezgre MIR1 prema prvim procjenama s terena sa rezultatima dobivenim analizama 37

SADRŽAJ:

1. UVOD 1
2. TEORETSKI DIO 2
2.1. NASTANAK, KARAKTERISTIKE I TIPOVI ESTUARIJA 2
2.2. KLIMATSKE PROMJENE U KVARTARU 6
2.3. PROMJENE RAZINE MORA 8
3. GEOGRAFSKI I GEOLOŠKI PREGLED PODRUČJA ISTRAŽIVANJA 11
3.1. ARHEOLOŠKI OKVIR 13
4. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA U DELTI RIJEKE MIRNE 15
5. METODE ISTRAŽIVANJA 17
5.1. TERENSKE METODE 17
5.2.2. Uzorkovanje 17
5.2. LABORATORIJSKE METODE 18
5.2.1. Granulometrijska analiza 18
5.2.2. Kalcimetrija 22
5.2.3. Mikroskopiranje i fotografiranje fosila 24
5.2.4. Statistička obrada podataka 24
6. REZULTATI 26
6.1. REZULTATI TERENSKIH I MAKROPALEONTOLOŠKIH ANALIZA: 26
6.2. REZULTATI GRANULOMETRIJSKE ANALIZE 28
6.1. REZULTATI ODREĐIVANJA UDJELA KARBONATA 34
6.2. REZULTATI ODREĐIVANJA MAKROFOSILA 34
7. RASPRAVA 36
7.1. (NE)POKLAPANJE TERENSKOG I LABORATORIJSKOG OPISA 38
7.2. SEDIMENTACIJSKI OKOLIŠI DELTE RIJEKE MIRNE KROZ VRIJEME 42
7.3. EVOLUCIJA DOLINE RIJEKE MIRNE OD HOLOCENA DO DANAS 45
8. ZAKLJUČAK 51
9. LITERATURA 52

1. UVOD

Istočni dio obale Jadranskog mora sastoji se uglavnom od karbonatnih stijena na kojima je razvijen krš, tj. od vapnenaca i dolomita koje podliježu kemijskom trošenju. Zbog takve litologije te radi vlažne i tople klime koja utječe na potpovršinsku hidrografsku mrežu rijeka, je sedimentni donos krških rijeka do mora slab. Unatoč tome nekoliko rijeka, među kojima su Neretva, Raša i Mirna, ima razvijen riječni sustav i sastav stijena koje grade njihovo drenažno područje zbog kojeg imaju veliki terigeni donos materijala od alogenih izvora do svojih ušća u moru gdje su razvile delte (FELJA, 2017).

Grožnjan je naselje na 228 m visokom brežuljku s kojeg se vidi dvadesetak okolnih sela, njive s desna, dolina rijeke Mirne u podnožju i more od Novigrada do Umaga. U Grožnjanu i okolici izmjenjivali su se i borili za prevlast razni narodi i njihovi vladari kao što su Histri, Iliri, Kelti, Grci, Rimljani, Ostrogoti, Longobardi, Franci, Germani, Slaveni, Talijani itd. Grožnjanština, tj. područje obuhvaćeno župom Grožnjan, na jugu završava na rijeci Mirni gdje se nekoć nalazila luka Baštija koja je kroz povijest imala ključnu ulogu u trgovini i drvnoj industriji još od rimskog doba budući da je Grožnjan bio rimsko naselje za što ima dosta dokaza u obliku natpisa, kovanica, mozaika i dr. Antropogeni utjecaj na obalu rijeke Mirne započeo je još u 6. tisućljeću pr. Kr. poljoprivredom, plovidbom rijekom, gradnjom luka, krčenjem šuma, melioracijom i bonifikacijom riječne doline, a traje još i danas (TZ GROŽNJAN, 2016).

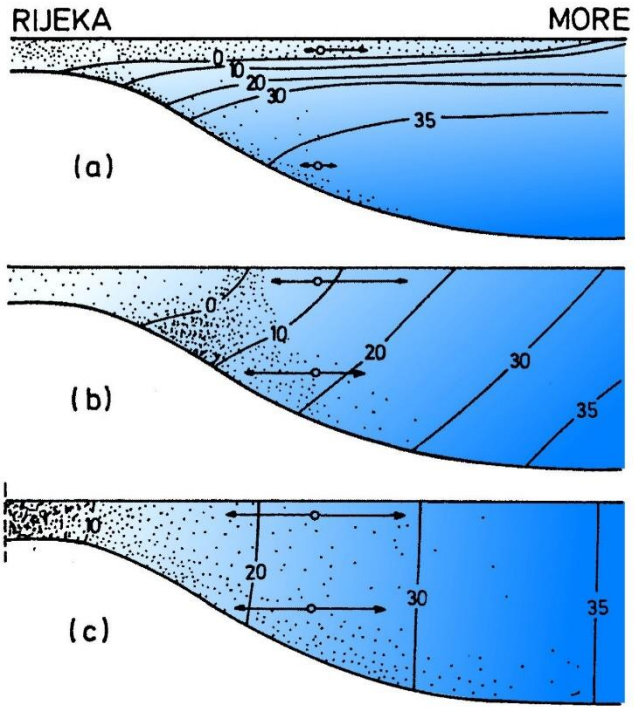
Duboka jezgra MIR1, izvađena iz deltne ravnice rijeke Mirne, dugačka je oko 120 m, ali za potrebe ovog diplomskog rada obrađen je samo njen dio do 34,40 m. Svakih oko 0,5 m jezgre prvo je opisano na terenu metodama opisanim kasnije u radu. Naknadno su spremljeni uzorci dopremljeni u Institut za Marinska istraživanja (Instituto di Scienze Marine – CNR-ISMAR) u Bologni na dodatne makropaleontološke i granulometrijske analize.

Cilj ovog diplomskog rada je analizama granulometrijskog sastava te udjela karbonata i biogenih ostataka materijala jezgre, vađene do 35 m dubine u delti rijeke Mirne, opisati slijedove taložnih facijesa u ušću rijeke, dopuniti znanja o relativnoj razini mora u geološkoj prošlosti te rekonstruirati geomorfološki razvoj i evoluciju ovog područja kao posljedicu klimatskih promjena i antropogenih aktivnosti. Također će se u ovom diplomskom radu ispitati preciznost i točnost rezultata terenskih metoda procjene granulometrijskog sastava sedimenta usporedbom s egzaktnim podacima dobivenim granulometrijskim analizama u laboratoriju.

2. TEORETSKI DIO

2.1. NASTANAK, KARAKTERISTIKE I TIPOVI ESTUARIJA

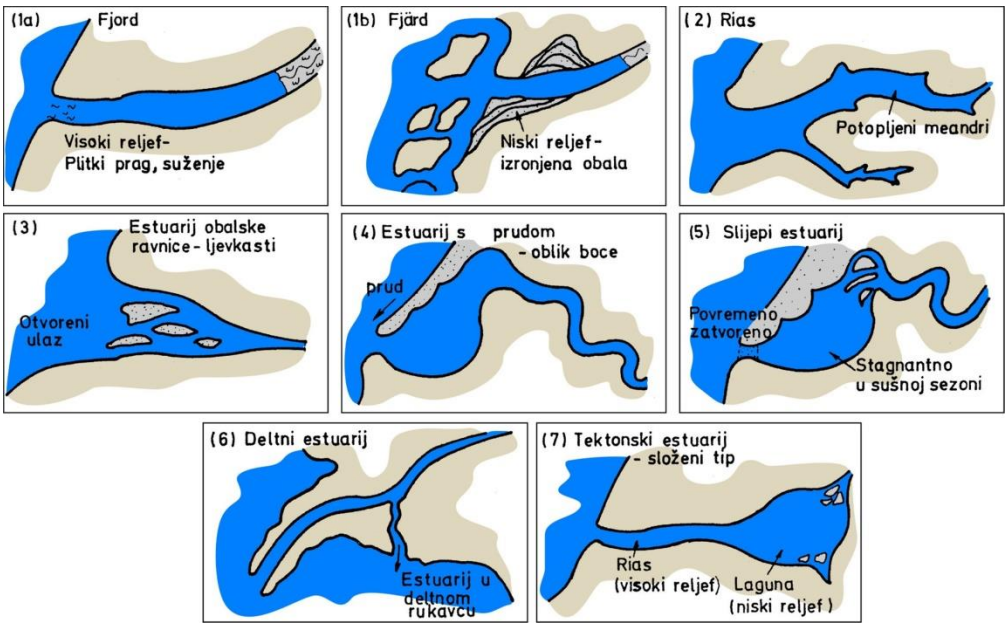
Riječna ušća, delte i estuariji, su područja sedimentacije materijala nastalog trošenjem kopna koji se kao vučeni nanos i u suspenziji prenosi do mora te stoga imaju važnu geološku i geokemijsku ulogu. Tip ušća koje će nastati ovisi o vrsti i količini materijala koje rijeke nose, tj. o klimi i topografiji područja kroz koje teče tok rijeke. Nadalje tip ušća definira i litologija i topografija terena u kojem rijeka utječe u veće vodeno tijelo kao i dubina tog vodenog tijela i utjecaji valova i morskih mijena na obalu. Budući da su ušća područja donosa velikih količina hranjivih tvari, važna su za intenzivne biološke reprodukcije te su važna ribolovna područja. Ušća su također područja dodira kopna i mora te su vrlo osjetljiva na klimatske promjene i promjene razine mora.



Slika 1 Tri glavna tipa estuarija s obzirom na miješanje riječne slatke vode i morske vode: (A) Stratificirani ili estuarij s klinom morske vode, (B) Djelomično miješani estuarij i (C) Dobro miješani estuarij. Preuzeto iz JURAČIĆ (2008a)

Estuarij je poluzatvoreno vodeno tijelo u koje je more prodrlo u kopno duž riječne doline do mjesta gdje se osjeća utjecaj plime, a može se podijeliti na tri dijela: 1) Morski ili donji estuarij, slobodno vezan s otvorenim morem; 2) Srednji estuarij u kojem se snažno miješaju morska i riječna voda; 3) Gornji ili riječni estuarij koji je pod dominantnim utjecajem riječne vode, ali i pod utjecajem plime i oseke, tj. morskih mijena (FAIRBRIDGE, 1980). Prema BOWDEN (1980) postoje tri kategorije estuarija koje se definiraju razlikom u cirkulaciji voda **(Slika 1)**: 1) Stratificirani estuariji s klinom morske vode u kojima koncentracija suspendiranog materijala postupno pada prema otvorenom moru; 2) Djelomično miješani estuarij u kojem se suspendirana tvar koncentrira u zoni niskog saliniteta; 3) Dobro miješani estuarij u kojem se suspendirana tvar koncentrira uz obalu bez značajnijeg riječnog toka (plimne oscilacije). Prema COOPER (1993) estuarije se može podijeliti na ravnotežne estuarije: oni estuariji čiji se oblik s vremenom neće znatno mijenjati, te na neravnotežne estuarije: oni koji se s vremenom zatrpaju sedimentom nakon holocenskog uzdizanja mora u području tektonskih uzdizanja. Također se estuarije može svrstati i u sljedeće klimatsko-geografske grupe: polarnu i subpolarnu zonu, zonu umjerene klime i zonu tropske i suptropske klime. Na te zone utječu klimatsko-geomorfološka povijest područja estuarija kroz kvartar te vertikalna gibanja zemljine kore što u konačnici uvjetuje nastanak nekoliko tipova međusobno različitih estuarija **(Slika 2)**: 1) Rias – razgranata uvala formirana djelomičnim potapanjem ne-ledenjačkih riječnih dolina; 2) Fjord – uvale visokog reljefa nastale potapanjem ledenjačkih dolina čiji je presjek oblika slova „U“; 3) Fjärd – uvale nastale potapanjem ledenjačkih dolina i depresija u niskim stjenovitim terenima; 4) Estuarij obalne ravnice – otvoreni estuarij niskog reljefa i ljevkastog tlocrta; 5) Estuarij obalne ravnice – estuarij tlocrta u obliku boce s barijerom i djelomično pregrađen nanosima; 6) Estuarij sa prudom – estuarij niskog reljefa i tlocrta u obliku slova „L“; 7) Slijepi estuarij – niskog reljefa sa ili bez pruda nanesenog vjetrom koji je povremeno zatvoren uzobalnom strujom ili dinama; 8) Deltni estuarij – estuarij na čelu delte; 9) Tektonski estuarij – složeni rias u obliku boce iza kojeg je područje niskog reljefa i dr.

Gledano s geološke strane, estuariji su kratkoživući dinamični okoliši koji nastaju stvaranjem doline riječnom ili ledenjačkom aktivnošću, zatim se dolina potapa prodorom mora te se na kraju estuarij postupno zatrpava materijalom donesenim rijekom stvarajući deltu, tj. događa se proširenje kopna prema moru. Današnji estuariji nastali su upravo na taj način.



Slika 2 Geomorfološka klasifikacija estuarija: (1a) Fjord, (1b) Fjärd, (2) Rias, (3) Estuarij obalne ravnice, (4) Estuarij sa prudom, (5) Slijepi estuarij, (6) Deltni estuarij, (7) Tektonski estuarij. Preuzeto i preuređeno iz JURAČIĆ (2008a).

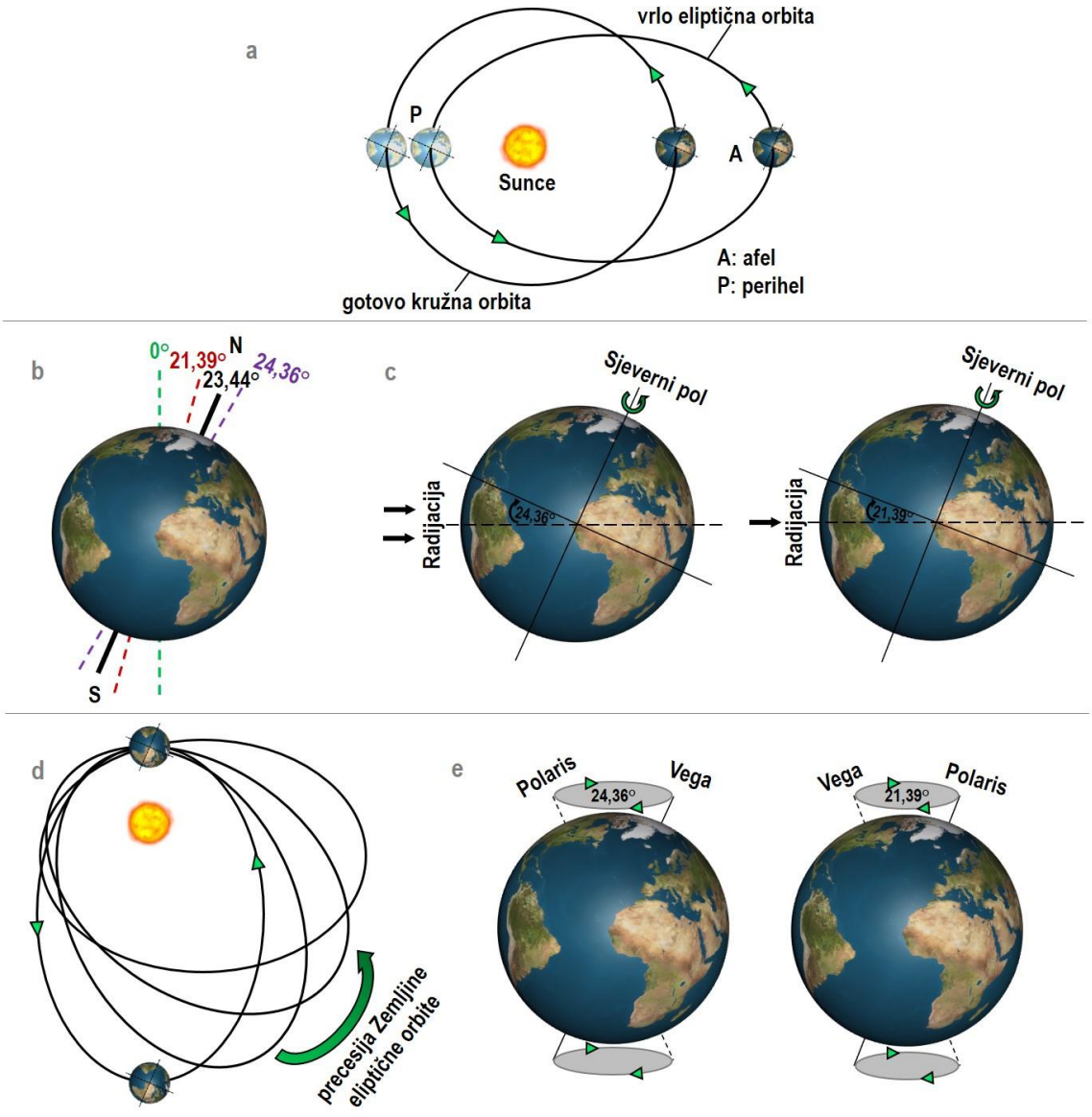
Razvoj obalne linije tijekom kasnog kvartara povezan je s oscilacijom razine mora, čiji je glavni uzrok izmjena glacijala i interglacijala tijekom pleistocena i holocena (LAMBECK & CHAPPELL, 2001; CLARK et al., 2009). Tijekom zadnjeg glacijalnog maksimuma (LGM) koji je trajao od 29000 do 19000 godina prije sadašnjosti, razina mora bila je oko 120 m niža od današnje te su rijeke na istočnoj strani jadranskog bazena usijecale svoje doline u karbonatnu podlogu (FELJA, 2017). Nakon završetka razdoblja glacijalnog maksimuma (oko 19000 godina prije sadašnjosti), veliki ledeni pokrovi su se otapali i razina mora je naglo rasla. Posljedica toga bila je globalna transgresija i poplavljivanje velikih obalnih područja uključujući usječene riječne i ledenjačke doline jadranskog bazena. Jadransko more poplavilo je krške riječne doline stvarajući duboke krške estuarije, kao npr. estuarije rijeke Neretve i Mirne. Porast razine mora usporio je u zadnjih 7000-6000 godina (ANTONIOLI et al., 2009; VACCHI et al., 2016), stvarajući stabilnije uvjete, što je uzrokovalo postupno ispunjavanje estuarija aluvijalnim sedimentima i stvaranje delti unutar estuarija (DALRYMPLE, 1992; STANLEY & WARNE, 1994; SEMENIUK et al., 2011). Tijekom zadnje glacijalne faze u kasnom pleistocenu, zbog snižene razine mora, izdanile su površine kopna koje se mogu prepoznati kao subaerski oksidirani sloj koji je naknadno potopilo more te je zatim zatrpan estuarijskim sedimentima u holocenu. Većina tih sedimenata su doneseni rijekom, dio preko padine koje omeđuju estuarij, a dio je donesen morem; proporcije toga variraju od estuarija do estuarija (GUILCHER, 1967).

Prema WOODROFFE (1996) slijed naslaga holocena sadrži klinove isprepletene riječnim i marinskim sedimentima čestica veličine pijeska, praha i gline s proslojcima ljušturica, slojevima treseta stvaranih u slanim močvarama/slàtinama te proslojcima morskih trava i mangrova koji su naknadno potopljeni i zatrpani mlađim sedimentima.

Delte, priobalne akumulacije riječnog sedimenta u produžetku ili neposrednoj blizini izvornog riječnog toka, su u literaturi usko povezane s estuarijima, pogotovo estuarijima pod jakim utjecajem morskih mijena. Delte nastaju kada riječni sediment ispuni ušće potopljene riječne doline, tj. kada brzina akumulacije sedimenta bude veća od brzine erozije valovima i morskim strujama. Osnovni dijelovi delte su: riječni tokovi koji donose sediment, deltna ravnica, čelo delte i prodelta (BROWN et al., 2006) U istom riječnom toku, delta opisuje geomorfološke i sedimentološke karakteristike dok estuarij opisuje hidrokemijske karakteristike jer tamo riječna slatka voda utječe u zaljev, lagunu ili drugo poluzatvoreno obalno tijelo i miješa se s morskom vodom (CAMERON & PRITCHARD, 1963; PRITCHARD, 1967; DAY, 1981). Na oblikovanje delti utječe nekoliko čimbenika: razina morske vode, vrsta stijena od kojih je građena obala i njeno zaleđe, tektonika, klima te režim valova i vjetrova. Delte unutar estuarija male su sedimentne akumulacije u usporedbi s njihovim estuarijskim okruženjem, a poznate su pod nazivima "*bayhead deltas*" (DALRYMPLE et al., 1992) i "*intra-estuarine deltas*" (SEMENIUK et al., 2011). U ovom diplomskom radu koristi se naziv *intra-estuarine delta* s obzirom da se delta nije uvijek nalazila blizu ušća rijeke Mirne nego je bila i u drugim dijelovima estuarija kako je progradirala s vremenom. Općenito sve delte mogu se nazvati estuarijskima s obzirom da ili veliki estuarijski okoliš, čiji se bazen nije ispunio sedimentom, može imati male delte uz rubove bazena i pri ušću ili će neki dio delte uvijek imati prijelaz iz slatkovodnog u marinski okoliš. Međutim, delte u otvorenom obalnom okruženju, na pasivnim kontinentalnim rubovima ili u rubnim morima (PENLAND & KULP, 2005) stvaraju velike sedimentne akumulacije značajne za manje delte koje se pojavljuju unutar estuarija s obzirom na njihovu hidrodinamiku, geometriju/morfologiju, mehanizme nastajanja, sedimentologije i facijesa te stratigrafiju. Takve delte se klasificira prema dominirajućim utjecajima kao: delte pod jakim utjecajem rijeke, morskih mijena i valova (GALLOWAY, 1975) ili prema karakteristikama drenažnog bazena koji definira granulometrijski sastav sedimenta (POSTMA, 1990). Strukturno se delte dijele prema ovim čimbenicima: razlika u gustoći riječnog toka i stajaćeg vodenog tijela, energija i morfološke karakteristike morskog bazena te opskrba vučenim sedimentom i sedimentom u suspenziji (SYVITSKI et al., 2005). S obzirom da delte nisu u fokusu ovog diplomskog rada, opisane su u vrlo kratkim crtama.

2.2.KLIMATSKE PROMJENE U KVARTARU

Iako postoje mnogobrojne teorije o uzrocima klimatskih promjena tijekom zadnjih 2 milijuna godina, danas je ipak Astronomska teorija, tj. Croll-Milankovićeva teorija najviše prihvaćena **(Slika 3)**. Na temelju prethodnih istraživanja MILANKOVITCH (1941) je predložio teoriju kojom kvartarne glacijacije povezuje s astronomskim događajima te se time objašnjava da promjene u orbitalnim parametrima kontroliraju zagrijavanje Zemlje pa time i nastajanje i nestajanje ledenih pokrova.



Slika 3 Milankovićevi ciklusi: (A) ekscentricitet Zemljine putanje oko Sunca, (B), (C) promjena nagiba Zemljine osi, (D) precesija Zemljine eliptične orbite, (E) precesija Zemljine osi. Preuzeto i preuređeno prema http://gulfcoastcommentary.blogspot.hr/2013/11/what-causes-ice-ages.html, http://www.indiana.edu/~geol105/images/gaia_chapter_4/milankovitch.htm; http://slideplayer.com/slide/6857046/

Promjene zemljinih orbitalnih parametara uvjetovani su gravitacijskom silom, a imaju različite frekvencije: 1) Ekscentricitet – parametar koji opisuje promjenu eliptičnosti putanje (od eliptične do gotovo kružne putanje) Zemlje oko Sunca s povratnim periodom od oko 100.000 godina što utječe na količinu primljenog sunčevog zračenja u pojedinim regijama. Tijekom perihela Zemlja je najbliža Suncu dok je tijekom afela zemljina udaljenost od Sunca najveća. 2) Promjene nagiba Zemljine osi rotacije – kut između Zemljine osi rotacije i okomice na ravninu ekliptike na kojoj je Zemljina putanja ima period od oko 41.000 godina, varira od 21°39` do 24°36`, a danas iznosi 23°5`. Promjena nagiba Zemljine osi utječe na kut upada Sunčevih zraka i osvjetljavanje Zemljine površine koja je manja što su zrake više okomite, dakle, insolacija je veća (jači intenzitet) na većim geografskim širinama (manja površina) i manja na manjim geografskim širinama. Također, što je veći nagib Zemljine osi, više solarne energije dolazi do polova. 3) Precesija – je pravilna promjena smjera/orijentacije Zemljine osi rotacije pod djelovanjem Sunca i Mjeseca u odnosu na zvijezdu Sjevernjaču u koju je Zemljina os usmjerena (sada je to Polaris, nekada je to bila Vega) s periodom od oko 21.000 godina. Precesija utječe na promjene geografskog rasporeda godišnjih doba zbog različitog izlaganja Zemljine površine Sunčevu zračenju, dakle postepena promjena u orijentaciji Zemljine osi utječe na odnos između Zemljine osi rotacije i ekscentriciteta. Dodatni uzroci klimatskih oscilacija u zadnjih 2,5 milijuna godina su izdizanje i promjena u rasporedu kopnenih masa, promjene oceanske cirkulacije, promjene dosega i rasporeda ledenih pokrova, promjene albeda (količina sunčeve svijetlosti reflektirane s ledenih i snježnih pokrova) te varijacije u sastavu atmosfere kao što su stakleнički plinovi (CO_2, CH_4 i drugi) i čestice prašine (SHACKLETON et al.,1983; CHAPPELLAZ et al., 1990).

2.3.PROMJENE RAZINE MORA

Uzroci oscilacija razine mora posljedica su međudjelovanja lokalnih, regionalnih i globalnih procesa koji djeluju na različitim vremenskim i prostornim skalama. Geološki procesi stvaranja i oblikovanja oceanskih bazena i tektonskih ploča dominiraju na dugoročnoj skali od više milijuna godina (CLOETINGH, 1986; HAQ et al., 1988), dok klimatski i izostatski efekti kontroliraju razinu mora na srednjoj do kratkoročnoj skali (IMBRIE et al., 1984; LAMBECK et al., 1998). Kako bi se mogla uočiti promjena razine mora potrebno je definirati nekoliko termina kojima se omogućava rekonstrukcija razine mora kao što su: 1) Srednja razina mora (*mean sea level*) koja se definira kao srednji nivo površine mora koji je mjeren u odnosu na fiksni nivo na kopnu. Njezina promjena se obično izražava kao srednja vrijednost kroz duži period tj. mm/god ili m/1000 godina; 2) Relativna morska razina je udaljenost između površine mora i neke fiksne lokalne razine kao što je površina stijene koja čini podlogu u taložnom bazenu. Na nju utječu i lokalne i regionalne vertikalne tektonske promjene (izdizanje, tj. subsidencija i spuštanje) pojedinih šelfova uslijed njihova slijeganja uzrokovanog kompakcijom ili izostatskim izravnavanjem; 3) Globalna razina mora je parametar koji se mjeri između površine mora i fiksne točke, obično središta Zemlje. Dugoročnu promjenu razine mora globalnog karaktera uzrokuje istovremena transgresija ili regresija na cijeloj Zemlji; 4) Dubina mora je udaljenost između površine mora i površine sedimenta, a može se smanjivati sedimentacijom. (JURAČIĆ, 2008a; OREŠIĆ, 2016).

Prema BIRD (2008) promjenu morske razine, uz kratkotrajne oscilacije razine mora (plima i oseka) i kretanja uslijed promjene atmosferskih uvjeta, uzrokuju i sljedeći faktori: 1) Eustatska promjena razine mora – morska razina raste kada se poveća volumen vode u oceanima ili kada se smanji volumen oceanskog prostora i obrnuto. Ovaj proces je globalan budući da su svi oceani povezani.; 2) Glacio-eustatski pokreti – izmjena glacijala i interglacijala tijekom kvartara uzrokuje nastajanje i nestajanja ledenih pokrova na kontinentima što utječe na promjene u razini mora na način da tijekom glacijala dolazi do zadržavanja velike količine vode na kopnu u obliku snijega i leda zbog čega se spušta morska razina dok u interglacijalu zbog topljenja ledenjaka velika količina vode dotječe u ocean i uzrokuje porast morske razine.; 3) Steričke promjene – porastom globalne atmosferske temperature oceanska voda se zagrijava i širi dok hlađenje uzrokuje kontrakciju vode i time dizanje odnosno spuštanje razine mora.; 4) Sedimentacija – uslijed akumulacije sedimenta donesenog s kopna u more reducira se veličina oceanskih bazena te morska razina raste.; 5) Tektonski pokreti – relativna razina mora može se

promijeniti tektonskim pokretima koji mijenjaju oblik i veličinu oceanskih bazena izdizanjem, spuštanjem i deformacijom kontinenata.; 6) Izostatski pokreti – područja Zemljine kore koja imaju veliku akumulaciju sedimenata ili ledenjaka na kopnu tonu uslijed opterećenja dok se uslijed rasterećenja kore, npr. topljenjem leda, kora izdiže.; 7) Antropogeni utjecaj – deforestacijom i poljoprivredom uzrokuje se veća erozija, veći donos sedimenta u sliv i time brža progradacija rijeka prema moru dok se zbog gradnji brana na rijekama smanjuje sedimentni donos. Osim toga, subsidencijom deltnih područja uslijed crpljenja ugljikovodika i podzemne vode dolazi do relativnog porasta razine mora.

Direktni indikatori razine mora su tragovi morske erozije tj. plimne potkapine, deltni sedimenti zbog prepoznatljivih stratigrafskih značajki i prisutnosti određenih životinjskih zajednica, potopljene paleoobalne linije koje su povezane s ostacima kopnenih biljaka u obliku treseta te koraljni grebeni izgrađeni od vrsta koje žive blizu morske površine. Indirektni indikatori temperature mora su omjer kisikovih izotopa iz kućica foraminifera i modelna simulacija (LAMBECK & CHAPPELL, 2001; LEA et al., 2002). Omjer između ^{18}O i ^{16}O ($\delta^{18}O$) u oceanskoj vodi je rezultat oscilacija hidroloških ciklusa pokretanih klimom. Evaporacijom lakši ^{16}O izlazi iz oceana i taloži se oborinama u tekućicama i kopnenim izvorima vode, tj. u obliku ledenih kapa tijekom glacijala dok teži ^{18}O ostaje u oceanskoj vodi i proporcionalno se povećava. Rekonstrukcije klimatskih oscilacija u prošlosti modelnim simulacijama s različitim vremenskim skalama i različitim stupnjevima rezolucije su jedini način da se bolje razumiju buduće klimatske promjene, s obzirom da klimatski režimi u prošlosti pokazuju raspon klimatskih varijacija, uključujući i nagle promjene koje su bile i veće magnitude od onih primijećenih danas (BARBER et al., 1999; CLARK et al., 2002). Biološki pokazatelji promjene razine mora u obalnim/prijelaznim okolišima su organizmi koji žive u vrlo uskim rasponima ekoloških parametara pa i manje promjene dubine, saliniteta, temperature, količine kisika itd. uzrokuju njihovo širenje, povlačenje odnosno pojavljivanje. Stoga su najbolji organizmi za rekonstrukciju promjena u obalnim/prijelaznim okolišima upravo fosilna flora i fauna kao što su foraminifere, ostrakodi, dijatomeje, koralji, školjkaši, puževi, sjemenke, pelud, fragmenti drveća, lišće itd. Budući da jedna metoda sama po sebi ne može osigurati dovoljno dokaza za jasnu rekonstrukciju i promjene u taložnim okolišima, potrebno je kombinirati više vrsta fosilnih organizama s geomorfološkim, sedimentološkim i geokemijskim podacima. Obalni/prijelazni okoliši (estuariji, delte i lagune) pokazuju varijacije u slatkovodnom donosu i evaporaciji. Postoje vertikalni i/ili horizontalni gradijenti saliniteta, koji ovise o riječnom toku i režimu plima i oseka, a ovisno o klimi kreću se u rasponu od

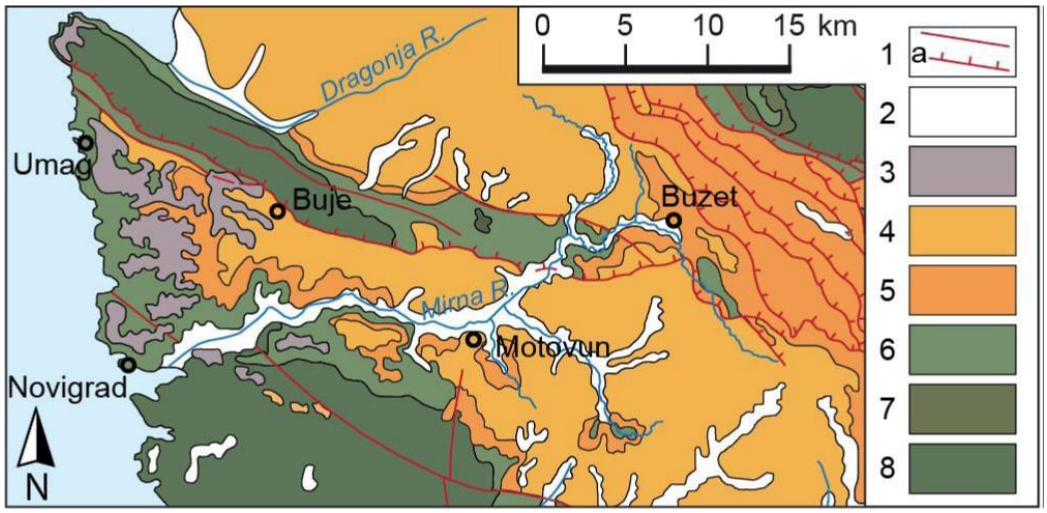
brakičnih do hipersalinih. Prostori s jače izraženom plimom sadrže međuplimnu zonu koju na kopnu čine močvare u umjerenim pojasevima i mangrove šume u tropskim pojasevima dok u neplimnim okolišima postoje fluktuacije vodene razine ovisno o atmosferskom tlaku i vjetrovima. Bioraznolikost foraminiferske faune veća je u estuarijima i lagunama dok je u močvarama mala te su stoga upravo močvare najbolji okoliši za određivanje nekadašnjih razina mora budući da je njihova zajednica foraminifera karakteristična isključivo za te okoliše. Tako su i strukture stjenke kućica različite budući da u močvarama dominiraju aglutinirane foraminifere, u brakičnim subtajdalnim okolišima prevladavaju aglutinirane i staklaste foraminifere, a hipersalini okoliši sadrže porculanaste i staklaste foraminifere (MURRAY, 1991).

3. GEOGRAFSKI I GEOLOŠKI PREGLED PODRUČJA ISTRAŽIVANJA

U zapadnoj Hrvatskoj na sjevero-zapadnom dijelu istarskog poluotoka nalazi se rijeka Mirna, koja je sa svojih 53,3 km najdulja rijeka u Istri. Rijeka Mirna izvire kod Huma u blizini grada Buzeta, a ulijeva se u Jadransko more u blizini grada Novigrada u Tarskom zaljevu. U porječju Mirne evidentirano je 140 tekućica (KOS, 2001) među kojima su najduži pritoci Bračana, Malahuba i Botonega stalni vodotoci dok su Mlinski potok, Krvar, Draga, Senica, Dragućica i Butari itd. sezonski ili povremeni. Drenažni bazen rijeke sastoji se od karbonata, uglavnom krednih i eocenskih vapnenaca te klastičnih eocenskih sedimenata (fliš, POLŠAK & ŠIKIĆ, D., 1963; PLENIČAR et al., 1965). Hidrografsko porječje rijeke Mirne ima površinu od oko 402,9 km^2, a hidrogeološko porječje površinu od oko 583,5 km^2 (BOŽIČEVIĆ, 2005).

Karbonatne naslage različitog su strukturno-tektonskog položaja i okršenosti te starosti i načina pojavljivanja. U središnjem dijelu Ćićarije i središnjem dijelu zapadnoistarske zaravni zastupljene su slabije propusne naslage vapnenačkih breča, pločastih vapnenaca i dolomita donjokredne starosti. Gornjokredni – paleogenski vapnenci koji izgrađuju hrptove Ćićarije (Bijela Istra) te dijelove zapadnoistarske zaravni su najzastupljeniji i tvore vodopropusna područja na kojima nema stalnog površinskog otjecanja. Naslage fliškog facijesa sastoje se od paleogenih klastičnih naslaga koje izgrađuju šire područje Oprtlja, Motovuna i Buzeta dok se na Ćićariji pojavljuju u nizu terasa sastavljenih od lapora u izmjeni s konglomeratima, vapnencima i pješčenjacima. U samoj dolini rijeke Mirne i u dolinama pritoka istaložene su nepropusne naslage kvartarne starosti koje se sastoje od prahovito glinovitog materijala dok su na pojedinim presjecima drenažnih kanala srednjeg toka Mirne prisutni i slojevi pijeska i šljunka pomiješani sa crvenicom (terra rossa) kao što se može i vidjeti na slici **(Slika 4)**. Prema POLŠAK, et al. (1969) vapnenci u sjevernom dijelu geološke karte Rovinj (Kaštelir, Tar, Luka Mirna) i južnom dijelu geološke karte Trst albske su starosti, deblje su uslojeni i pločasti te se sporadično javljaju i ulošci krupnih vapnenih breča i proslojci lapora dok su dolomiti sive boje i zrnate strukture. Svijetlosmeđi do bijeli brašnasti vapnenci cenomanske starosti tonu pod paleogenske sedimente Pazinskog bazena i ponovno izlaze na površinu od Karojbe do doline Mirne. Svijetlosivi do bijeli kredni dolomiti s rudistima i chondrodontima starosti su cenoman – turon. Zatim slijede foraminiferski i miliolidni vapnenci paleocena te donjeg i srednjeg eocena tamnosive i ponekad svijetlosive boje te alveolinsko – numulitni vapnenci starosti gornjeg paleogena. Klastični sedimenti srednjeg paleogena su lapori, breče, pješčenjaci i konglomerati starosti srednjeg i gornjeg eocena i dijele se na donje, srednje i gornje slojeve. Donji dio

klastičnih sedimenata pazinskog bazena sastoji se od lapora s globigerinama i rakovicama, a nalazi se u gornjem dijelu toka Mirne dok je gornji dio klastičnih sedimenata južno od Mirne. Na klastičnim sedimentima su kvartarne aluvijalne naslage koje ispunjavaju dolinu rijeke Mirne usječenu u klastične naslage Pazinskog paleogenskog bazena. Taj aluvijalni nanos se sastoji većinom od kaolinske gline i ilovače sive i sivoplave boje debljine naslaga i do 10 m koje se koriste u ciglarskoj industriji. Taj glinoviti sediment nastao je trošenjem eocenskih lapora i nanošenjem mulja te sporadično pijeska i šljunka u doline (POLŠAK & ŠIKIĆ, 1963).



Slika 4 Shematska geološka karta porječja Mirne: 1. Rasjed, 1a. Navlaka, 2. Kvartarni sedimenti/naslage (uglavnom Holocen), 3. Terra rossa naslage (Holocen), 4. Fliški sedimenti (Eocen), 5. Liburnijske naslage, foraminiferski vapnenci i prijelazne naslage (Paleocen?, Eocen), 6. Rudistni vapnenci (Kreda), 7. Dolomit i breča (Kreda), 8. Vapnenac i dolomit (Kreda). Preuzeto iz rada (FELJA et al., 2015), preuređeno prema Geološkoj karti Republike Hrvatske 1:300.000, (HRVATSKI GEOLOŠKI INSTITUT, 2009).

U porječju Mirne mogu se izdvojiti četiri tektonske jedinice od kojih su zapadnoistarska i bujska antiklinala relativno uzdignute, dok su ljuskava struktura Ćićarije najviša, a Tršćanski paleogenski bazen najniža tektonska jedinica. Strukturno gledano, ovo područje dio je vanjskih Dinarida kojima dominiraju vapnenci taloženi na Jadransko-Dinaridskoj karbonatnoj platformi u vremenskom rasponu od donje jure do eocena (VELIĆ et al., 2002). Dinaride karakterizira pružanje duž SI-JZ zbog smjera kompresijske tektonike uz maksimalan stres/pritisak duž SI-JZ te pritiske i reversne rasjede duž SZ-JI (CASTELLARIN et al., 1992; VLAHOVIĆ et al., 2005).

3.1.ARHEOLOŠKI OKVIR

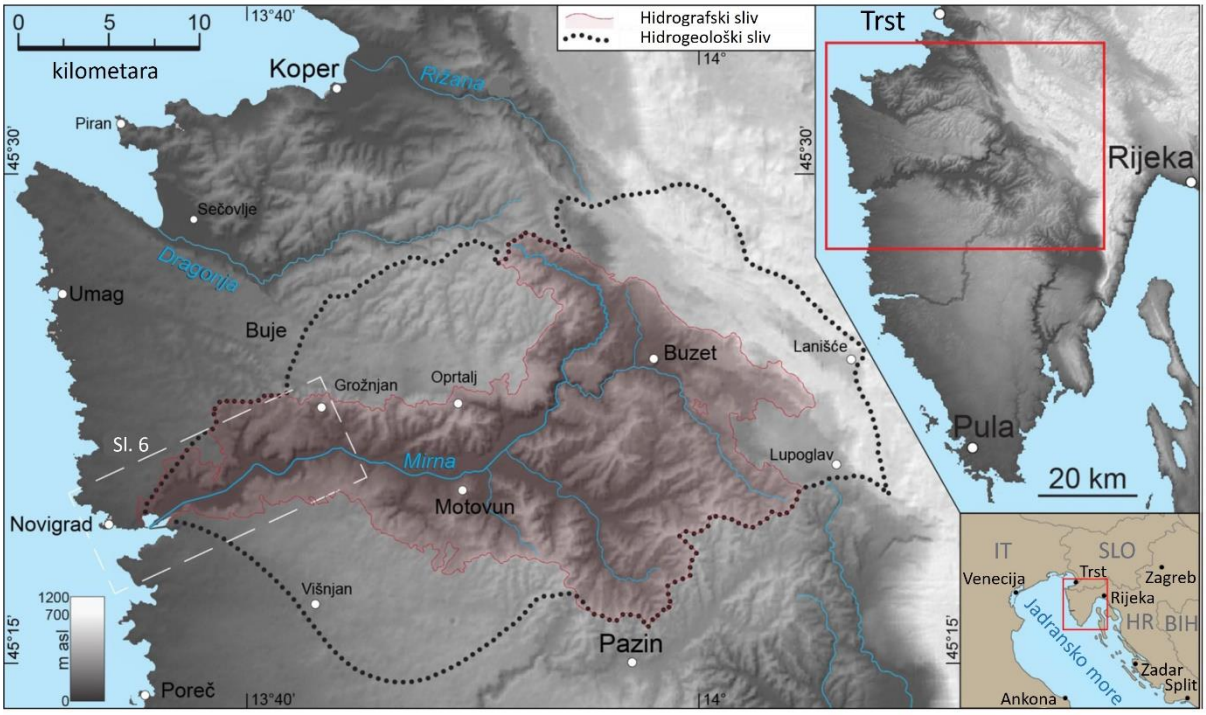
U periodu između 5800 i 5600 pr. Kr. Istru su naselili ljudi mlađeg kamenog doba (Neolitik, počeo ~6500 pr. Kr.), te su se tada razvile i prve zemljoradničke i stočarske privrede kao i prva stalna ruralna naselja, pogotovo duž obale. Glavna faza naseljavanja prostora dogodila se tijekom ranog (2000 – 1600 pr. Kr.) i kasnog (1300 – 750 pr. Kr.) brončanog doba kada se tadašnje stanovništvo raspodijelilo u nekoliko velikih centara koji su kasnije vjerojatno postali rimski gradovi (FELJA et al., 2015).

Rimljani su zauzeli Istru između 2. i 1. stoljeća pr. Kr. te su tada izgradili kompleksnu mrežu cesta i sustave polja u kršu. Na rubovima zaravni sv. Vida (područje obuhvaćeno župom Grožnjan, drevna Graeciniana) nalazi se Rimska palača gdje su pronađeni ostaci naselja, cesta, mozaika i rimske kovanice. U to vrijeme rijeku Mirnu se vjerojatno nazivalo *Ningus Flumen*, a na njoj je od tada sve do oko 1500 godine postojala i važna zaštićena luka Baštija, tzv. Palada Baštija. Mirna je bila plovna sve do mjesta na kojem presijeca drevnu carsku cestu, via Flavia, dakle do mosta Ponte Portona **(Slika 6)**. Tada su i manja riječna plovila mogla doći do kaštela Pietrapelosa i do buzetske utvrde. Povijesne kronike i karte pokazuju jaku progradaciju riječnog ušća tijekom i nakon srednjeg vijeka. Dakle nakon što se riječno dno izdignulo jer se zapunilo sedimentom, nitko nije čistio kanale te su Mirnom mogle ploviti isključivo brodice ravnog dna (FELJA et al., 2015; TZ GROŽNJAN, 2016).

Novigrad je postao glavni grad ovog područja tijekom Bizantskog razdoblja, a tijekom Venecijanske/Mletačke vladavine rijeka preuzima ime *Fiume Quieto* radi svog mirnog toka. Venecija je uredila korito Mirne kako bi njime mogla prevoziti drva iz Motovunske šume. Glavna faza degradacije zemljišta dogodila se između 12. i 19. stoljeća kada su se istarske šume koristile za potrebe brodogradnje u Veneciji (PARENTIN, 1974; D'INCA, 2007). Venecijanska vlast kolonizirala je ovo područje Slavenima kako bi se obnovila poljoprivredna proizvodnja. Povijesni dokumenti svjedoče o postojanju luke kod crkve Majke Božje od Baštije (crkva sv. Blažene Djevice Marije od Baštije) 1582. godine dok arheološki zapisi dokumentiraju na toj istoj lokaciji porast dna doline za oko 4,6 m od tada do 1857. godine (MILOTIĆ & PRODAN, 2014). Nakon propasti Venecijanske Republike kanali su se prestali održavati, livade su se zamočvarile i zavladala je malarija.

Tijekom Austrougarske vladavine (Markgrofovija Istra), bilo je nekoliko pokušaja reguliranja rijeke umjetnim rezanjem meandara i započet je veliki projekt melioracije. Tijekom perioda vladavine Kraljevine Italije područjem Grožnjanštine od Buzeta do mora prolazio je

glavni vodovod, veća mjesta su imala električnu energiju te je napravljena bonifikacija doline rijeke Mirne. Područje donjeg dijela rijeke Mirne pretvoren je u sadašnje poljoprivredno zemljište izgradnjom umjetnih rukavaca i guste mreže jaraka povezanih s vodocrpnim stanicama, a nakon poplave 1964. godine napokon je završen proces melioracije (PARENTIN, 1974; SANTIN, 2013). Bonifikacijom i melioracijom doline rijeke Mirne isušene su močvare čime je malarija iskorijenjena te je tako ponovno omogućeno obrađivanje plodnih površina. Razvitkom cestovnog prometa riječni promet prestaje.



Slika 5 Geografske karte proučavanog područja u Istri s označenim hidrografskim i hidrogeološkim slivom rijeke Mirne. Također je označeno područje detaljnije opisano u slici 6. Preuzeto i preuređeno iz rada (FELJA et. al, 2015).

4. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA U DELTI RIJEKE MIRNE

Istočni dio jadranske obale sastoji se od karbonatnih stijena koje uslijed kemijskog trošenja u vlažnoj i toploj klimi razvijaju krš. Tijekom kvartara su rijeke radi intenzivnih krških procesa i smanjenog aluvijalnog donosa sedimenata na svojim ušćima u Jadranskom moru razvile specifičan tip estuarija – krške estuarije (JURAČIĆ, 1992). Kako bi krški estuariji (JURAČIĆ, 1992; PIKELJ & JURAČIĆ, 2013) nastali na karbonatnim stijenama, obalni okoliš mora biti niske energije (zaštićeno riječno ušće i slabi utjecaj plime). Glavna karakteristika krških estuarija je smanjeni donos aluvijalnih sedimenata zbog topljenja karbonata u ušću rijeke (JURAČIĆ, 1992). Jedne od rijeka u Hrvatskoj koje su razvile delte u svojim ušćima tijekom holocena su Neretva, Mirna i Raša i to zbog toga što su alogene krške rijeke pa zato imaju nešto veći terigeni donos sedimenata. U sjeveroistočnom dijelu Jadrana, u Istri, jedna od najvećih deltnih ravnica nalazi se u završnom dijelu doline rijeke Mirne i sadrži karakteristične okoliše koji su privlačili povjesničare, arheologe i geografe od kraja 19. stoljeća (CARRE et al., 2007, D'INCA, 2007).

U dosadašnjim hidrogeološkim istraživanjima Mirna je prikazana kao tekućica kojoj je ušće bio prostrani i duboki morski zaljev (D'AMBROSI, 1969). Termin ogoline (*badland*) i fliš često su povezani s obzirom da takav reljef ima rijetki vegetacijski pokrov, strmog je nagiba, guste hidrografske mreže i materijal od kojeg se sastoji je obično nekonsolidirani sediment bogat glinom. Lapori i recentni aluvij se vrlo brzo erodiraju i imaju jaku denudaciju (GULAM et al., 2014). Ogoline su u središnjoj Istri poznate kao područja velike erozije koja proizvode do 8000 puta više sedimenta od područja koja imaju na sebi neku vrstu vegetacije (JURAK & FABIĆ, 2000). Do oplićavanja zaljeva (estuarija) i njegovog zatrpavanja došlo je uslijed sedimentacije velike količine materijala donesenog vodenim tokovima (BENAC, 1991). Porijeklo sedimenata povezano je s erozijom fliša i padinskom denudacijom (BABIĆ, 1968). Zbog ogoljavanja erozijom flišni dio porječja, od kraja zadnje oledbe, ubrzano se snižava. U porječju Bračane denudacijsko snižavanje reljefa je 0,95 mm godišnje, a u porječju Botonege 1,98 mm godišnje (MIHLJEVIĆ, 1995). Sustav podzemnog otjecanja porječjem istraživan je primjenom različitih obilježivača (MAGDALENIĆ & VAZDAR, 1999; BONACCI, 1996). Ustanovljeni su glavni smjerovi otjecanja te podzemne veze između ponora i izvora. Prema FILIPČIĆ (1999) na porječju rijeke Mirne je zastupljena umjereno topla vlažna klima s vrućim ljetima i umjereno topla vlažna klima s toplim ljetima.

Položaj recentne obalne linije vezan je uz oscilacije razine mora uzrokovane izmjenama razdoblja glacijala i interglacijala tijekom pleistocena i holocena (LAMBECK & CHAPPELL, 2001). Krajem posljednjeg glacijalnog maksimuma (LGM) prije 18 do 19.000 godina su se veliki ledenjaci počeli topiti, globalna razina mora (kao i razina Jadranskog mora) se brzo podizala što je rezultiralo potapanjem krških riječnih dolina u Istri, Kvarneru i Dalmaciji te nastankom dubokih krških estuarija (Mirna, Neretva, Raša, Krka). U posljednjih 7000 – 6000 godina, kada je porast razine mora usporio, alogene rijeke donosile su velike količine materijala u ušće, što je izazvalo postupno zapunjavanje estuarija i stvaranje estuarijskih delti (*intra – estuarine delta*) (STANLEY & WARNE, 1994). Te delte su tijekom holocena progradirale i mijenjale okoliš iz estuarijskog u prijelazni (unutarnji estuarij, lagune, močvare) te konačno u recentni aluvijalni i deltni okoliš zapunjavanjem nekadašnjih poplavljenih riječnih dolina. Ove promjene moguće je pratiti s fosilnim zajednicama u sedimentima istaloženim u deltnim ravnicama i sedimentima karakterističnim za svaki od ta tri okoliša.

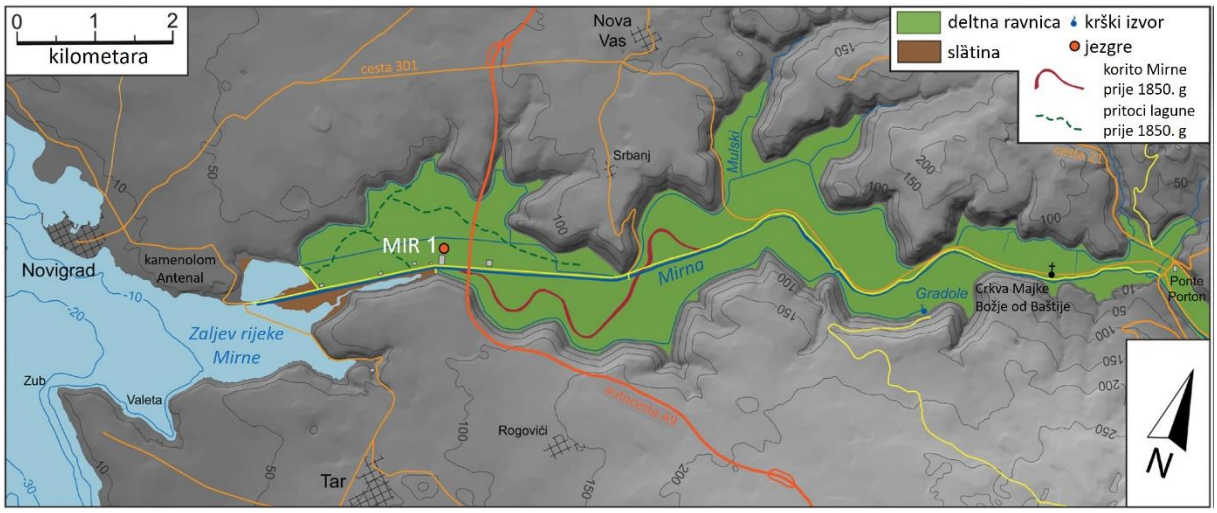
5. METODE ISTRAŽIVANJA

5.1. TERENSKE METODE

Prema FELJA (2017) terenski opis jezgre uključuje određivanje boje i teksture sedimenta, primarne sedimentne strukture te tip i koncentraciju sporednih materijala (npr. korijenja, biljnih ostataka, organske tvari, ljuštura makrofosila itd.). Boja pojedinih slojeva određena je uspoređivanjem mokrog sedimenta s Munsell Soil Colour Chart dok je sadržaj kalcijevog karbonata ($CaCO_3$) procijenjen promatranjem reakcije s klorovodičnom kiselinom (HCl) koncentracije 10% na skali od 0 do 4 (FAO-ISRIC, 2006) s time da je 0 nepostojeća reakcija, 1 slaba, 2 srednje jaka, 3 jaka i 4 vrlo jaka reakcija s HCl.

5.2.2. Uzorkovanje

Prema FELJA (2017) Geoservizi Inc. izvadilo je 01. - 04.07.2013. dugu jezgru MIR1 mehaničkom sondom Atlas Copco montiranom na kamion Magirus opremljenim „jednostavnim uzorkivačem“ koji vadi sedimentne jezgre promjera 88 mm i dužine između 1,5 i 3,0 m. Jezgra je duboka 120 m no u ovom radu opisano je samo prvih 35 metara. Ušće bušotine jezgra je na visini od 0,55 m iznad prosječne razine mora i nalazi se u blizini vijadukta koji prelazi preko doline rijeke Mirne (φ = 45°19'53.23"i λ = 13°37'13.92") **(Slika 6)**.

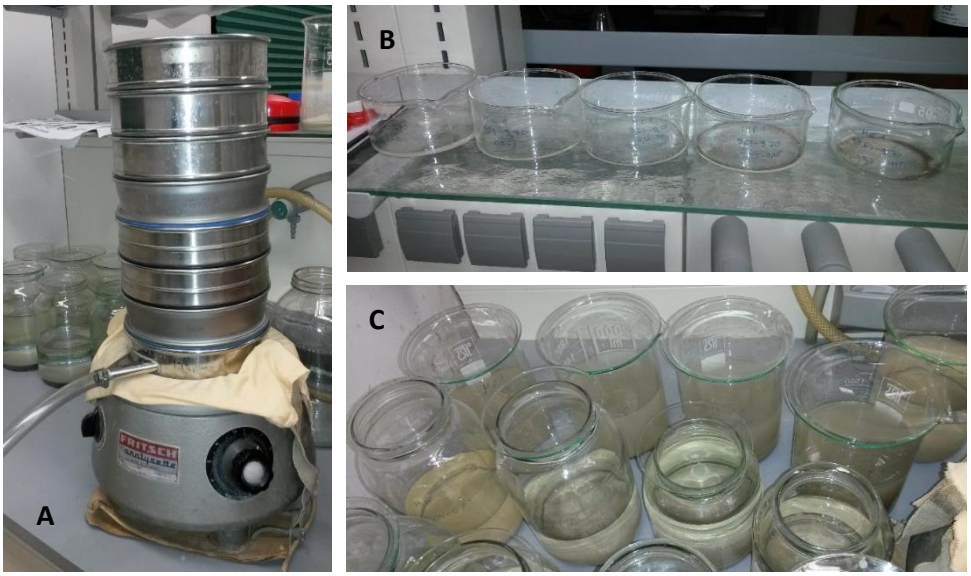


Slika 6 Uže područje deltne ravnice rijeke Mirne s označenim lokalitetom uzorkovanja. Preuzeto i preuređeno iz rada FELJA et al., 2015 i iz doktorske disertacije FELJA, 2017.

5.2. LABORATORIJSKE METODE

5.2.1. Granulometrijska analiza

Budući da raspodjela veličina zrna morskih sedimenata može pokrivati raspon od 8 redova veličine, od blokova metarskih dimenzija do čestica mikrometarskih dimenzija, da bi cjelokupni raspon bio pokriven najčešće nije moguće koristiti isključivo jednu metodu određivanja veličine zrna, već se koriste tehnike čiji se rezultati mogu preklopiti. Stoga je kombinirana metoda mokrog sijanja (za čestice > 0,063 mm) i sedigrafa (za čestice < 0,063 mm) bila osnovna metoda koja se koristila za određivanje granulometrijskih karakteristika sedimenata. Granulometrijska analiza izvršena je u laboratoriju Geološko-paleontološkog zavoda Geološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta sveučilišta u Zagrebu. Od svakog uzorka izdvojen je poduzorak vagan na analitičkoj vagi od 20 g, odnosno od 15 g onih uzoraka kojih količinski nije bilo dovoljno. Sve poduzorke sedimenta stavilo se namakati u destiliranu vodu 24 sata, svaki u vlastitoj staklenki zasebne oznake.



Slika 7 (A) Fritsch Analysette® tresilica s Retsch® ASTM sitima, (B) Frakcije sedimenata jednog uzorka ispranih sa sita u staklene zdjelice, (C) Suspenzije nekoliko uzoraka u staklenim posudama. Sve slike su fotografirane u laboratoriju Geološko-paleontološkog zavoda Geološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta sveučilišta u Zagrebu.

Nakon toga je svaki poduzorak prosijan oko 30 minuta kroz standardna Retsch® ASTM sita od nehrđajućeg čelika raspona promjera otvora sita od 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm i 0,063 mm. Raspon promjera otvora sita određen je prema granicama definiranim Wentworth-ovom (1922) klasifikacijom od sitnog šljunka do vrlo sitnog pijeska, uz pomoć Fritsch Analysette® tresilice **(Slika 7a)** i konstantnim ispiranjem destiliranom vodom. Frakcije sedimenta zaostale na svakom od sita ispiralo se destiliranom vodom u lavor i prebacilo u staklene zdjelice s oznakom uzorka i veličinom frakcije **(Slika 7b)**. Nakon toga se dekantirao višak vode iz staklenih zdjelica i preostala mokra frakcija ostavljena je na sušenju na sobnoj temperaturi. Kada su frakcije bile potpuno osušene, kistom ih se odvojilo od staklenih zdjelica i prebacilo u satna stakla na analitičkoj vagi te ih se tako odmah izvagalo. Izvagane frakcije se prebacilo u papirnate vrećice s oznakom uzorka, veličinom i masom frakcije te se dobivene vrijednosti zapisalo u granulometrijsku tablicu svakog pojedinog uzorka pod adekvatnu veličinu frakcije prema promjeru otvora sita. Težine svih frakcija pojedinog uzorka se zbroje i oduzmu od početne mase tog uzorka te se dobivena razlika zapiše u tablicu. Ostatak sedimenta, čestica veličine manjih od 0,063 mm, je tijekom sijanja ispran destiliranom vodom i sakupljen u obliku suspenzije u označenim staklenim posudama **(Slika 7c)** i ostavljen oko 7 dana da se istaloži. Višak vode je dekantiran na omjer debljine sedimenta i vode 1:1, uzorak je promiješan radi homogenizacije, te podijeljen u dva poduzorka, svaki od oko 100 ml u vlastitim označenim čašama. Prije same analize uzoraka sedimenta na sedigrafu SediGraph 5100 **(Slika 8)** analizirana je čista tekućina 0,5%-tne koncentracije (5g/l), koja se sastoji od suspenzijske tekućine (destilirane vode) i antikoagulansa (natrij heksametafosfat $(NaPO_3)_6$) koji služi za dodatno sprječavanje sljepljivanja čestica, čime je dobivena bazna linija koja pokazuje prolaznost, tj. apsorpciju rtg zraka u pripremljenoj otopini. Po jedan od svakog poduzoka pomiješan je sa sedimentacijskom tekućinom i time razrijeđen, te je dobivena suspenzija ulivena u posudu za miješanje i sustavom pumpi dovedena u ćeliju za analizu sedigrafa. Kada je započela analiza, miješanje je prestalo i počelo je taloženje. Svaka analiza vremenski je trajala oko 25 minuta po uzorku. Da bi analiza bila valjana, krivulja prolaznosti rtg zraka suspendiranog uzorka mora biti 50 – 70 % bazne linije što znači da ukoliko dođe do greške prilikom snimanja, analizira se i drugi poduzorak kako bi se dobio ispravan rezultat.



Slika 8 Sustav za granulometrijsku analizu SediGraph 5100 koji se sastoji od analizatora, sučelja i računala. Slika je fotografirana u laboratoriju Geološko-paleontološkog zavoda Geološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta sveučilišta u Zagrebu.

Sustav za granulometrijsku analizu SediGraph 5100 sastoji se od analizatora u kojem se nalazi 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, te čašica za suspendirani uzorak, te od sučelja i računala, na kojem je pokrenut računalni program SediGraphWin 5100. Rezultati dobiveni analizom muljevite frakcije na sedigrafu preračunati su na način da se, budući da se radi o kumulativnim postocima od najvećeg postotka (frakcija 0,032 mm) oduzme sljedeći najveći postotak (frakcija 0,016 mm) i tako dalje redom svakoj frakciji oduzmemo sljedeću manju dok se ne dođe do frakcije < 0,001 mm, razlika postotaka svake frakcije pretvori u decimalni broj i pomnoži s razlikom početne mase promatranog uzorka i zbroja njegovih frakcija većih od 0,063 mm.

Metoda određivanja veličine zrna sedigrafom bazira se na dva fizička fenomena: apsorpciji nisko-energetskih rtg zraka, te gravitacijskoj sedimentaciji koju opisuje Stokesov zakon koji navodi da je brzina taloženja sferične čestice u fluidu funkcija promjera čestice, tj:

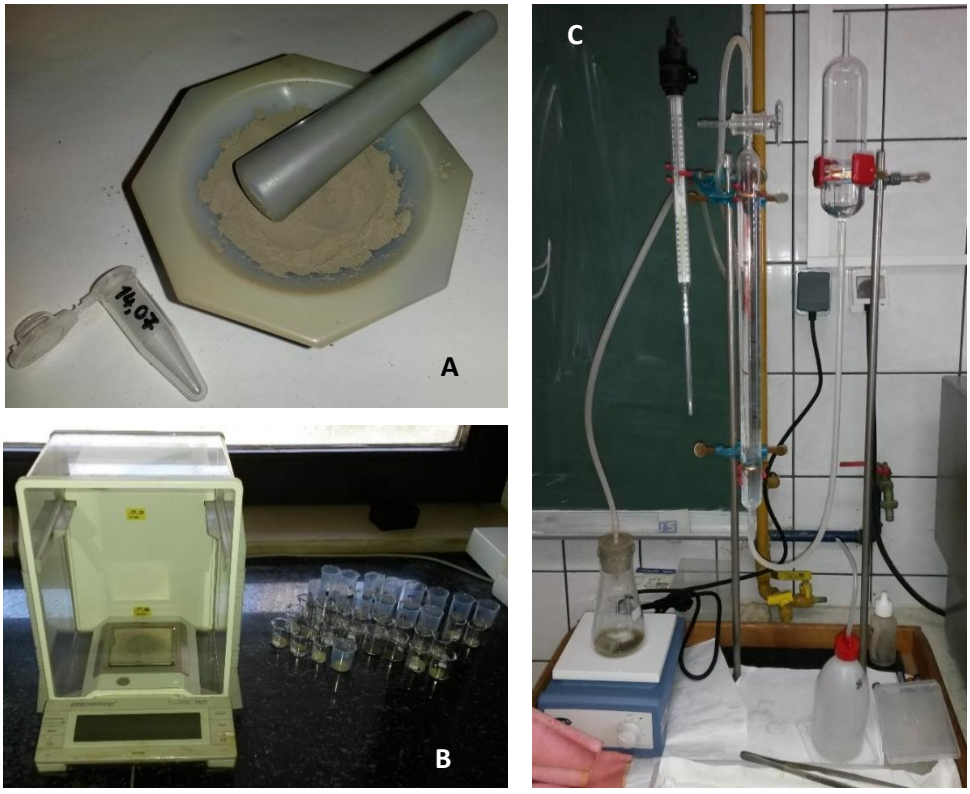
$$v = \frac{d^2(\rho - \rho_f)g}{18\eta} \qquad [1]$$

pri čemu je v brzina taloženja čestice, d čestični promjer, ρ gustoća čestice, ρ_f gustoća fluida, η viskoznost fluida, a g ubrzanje sile teže. Stokesov zakon pokazuje da, ako se čestica taloži i tako istiskuje tekućinu, laminirani tok oko čestice se podržava toliko dugo dok je

Reynoldsov broj (RB) < 0,3. Ako je RB > 0,3 način tečenja postaje turbulentan što pak smanjuje brzinu taloženja čestica. Iz toga je razloga analiza sedigrafom (kao i druge tehnike koje se temelje na gravitacijskom taloženju) ograničena na raspon čestica promjera od 100 μm do 1 μm, teoretski do 0,1 μm (VITTURI & RABITTI, 1980; MICROMERITICS, 2002). Prije mjerenja masene koncentracije čestica u suspenziji s uzorkom, sedigraf prvo mjeri intenzitet (I_{max}) snopa paralelnih rtg zraka koje su prošle kroz čistu suspenzijsku tekućinu. Jačina intenziteta rtg zraka, tj. prolaznost rtg zraka kroz suspenziju je obrnuto proporcionalna količini čestica u suspenziji, tj. gustoći suspenzije. Dakle, što je više čestica prisutnih u suspenziji, to je i veća apsorpcija energije rtg zraka na česticama. U homogenoj suspenziji izmjereni intenzitet rtg zraka (I_{min}) ostaje konstantan za vrijeme skeniranja čitave ćelije no prestankom miješanja iz suspenzije se počinju taložiti čestice te se prolaznost rtg zraka mjeri na određenoj dubini s. Čestice se počinju razdvajati po Stokesovom zakonu, tj. po veličinama način da se veće čestice brže talože dok se manje polako talože i ostaju u suspenziji vrlo dugo. Zbog toga, kako bi se skratilo vrijeme analize, ćelija se tokom analize pomiče prema dole u točno određenim vremenskim razmacima što ostavlja najveće čestice ispod zone mjerenja, a iznad ostaje bistra tekućina. Za posljedicu toga je prolaznost rtg zraka sve veća, tj. njihov intenzitet se povećava od I_{min} do I_{max}.

5.2.2. Kalcimetrija

Udjeli karbonata u svim uzorcima određeni su u laboratoriju Mineraloško-petrografskog zavoda Geološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu volumetrijskim mjerenjem plina Scheiblerovim kalcimetrom **(Slika 9c)** koji se sastoji od dvije staklene cijevi međusobno spojene gumenim cijevima. Prva trbušasta staklena cijev je pokretna, služi za izjednačavanje tlaka tijekom rada te sadrži zakiseljenu vodu koja se sastoji od smjese destilirane vode i H_2SO_4 radi sprječavanja adsorpcije razvijenog CO_2 obojane s nekoliko kapi metil crvenog indikatora. Druga staklena cijev je fiksna i graduirana te na vrhu ima ventil kojim se regulira protok CO_2 kroz gumenu cijev spojenom s Erlenmeyerovom tikvicom u koju se stavlja uzorak tla i solna kiselina. Metoda se temelji na određivanju volumnog udjela CO_2 koji nastaje pri reakciji otapanja karbonata u uzorcima u HCl.



Slika 9 (A) Zrakosuhi uzorak drobljen u ahatnom tarioniku i spremljen u epruveticu za centrifugu s čepićem, (B) Uzorci vagani na analitičkoj vagi i spremljeni u staklene i plastične čašice od 5 ili 10 ml, (C) Scheiblerov kalcimetar. Sve slike su fotografirane u laboratoriju Mineraloško-petrografskog zavoda Geološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta sveučilišta u Zagrebu

Od svakog pojedinog preostalog zrakosuhog uzorka tla odvajaju se poduzorci težine oko 2 g svaki koji se zatim drobe u prah u ahatnom tarioniku i spremaju svaki u svoju epruveticu za centrifugu s čepićem s oznakom uzorka **(Slika 9a)**. Na analitičkoj vagi se od svakog uzorka iz epruvetice odvažu po dva poduzorka od 300 mg svaki u staklene ili plastične čašice od 5 ili 10 ml s vlastitom oznakom **(Slika 9b)**. Prije određivanja udjela karbonata u uzorcima sedimenata mjeri se standard (čisti $CaCO_3$) koji se također odvaže dva puta po 300 mg u čašice od 5 ili 10 ml. Oba standarda pojedinačno su usipana u Erlenmeyerovu tikvicu uz ispiranje čašice destiliranom vodom tri puta, zatim se pincetom oprezno bez izlijevanja umetne plastična posudica s 5 ml 10%-tne HCl i mali magnet. Ventil na drugoj graduiranoj cijevi se stavi u položaj da povezuje svoju cijev i gumenu cijev, tj. uzorak. Pomicanjem prve trbušaste cijevi poravnava se razina tekućine u toj cijevi i drugoj graduiranoj cijevi na razinu 0 ml. Ventil se postavlja u položaj tako da povezuje gumenu cijev s okolinom. Erlenmeyerova tikvica dobro se zatvori smočenim gumenim čepom kako bi se dobio potpuno zatvoreni sustav iz kojeg novonastali CO_2 ne može pobjeći. Ventil na drugoj graduiranoj cijevi se opet vrati u položaj da povezuje svoju cijev i Erlenmeyerovu tikvicu te se uključi magnetna miješalica na 5 – 10 minuta koja rotira magnetić i time ruši plastičnu čašicu s kiselinom što pokreće reakciju stvaranja CO_2. Razvijeni plin potiskuje vodu u drugoj graduiranoj cijevi. Nakon poravnavanja razina tekućina u obje staklene cijevi, očitava se volumen razvijenog CO_2 na skali druge graduirane cijevi te se iz tog volumena očitava količina $CaCO_3$ formulom:

$$\%CaCO_3 = \frac{ml\ CO_2 \times F_{t,p} \times 2{,}274 \times 100}{mg_{(uzorak)}} \qquad [2]$$

pri čemu je $F_{t,p}$ vrijednost težine 1 ml CO_2 pri temperaturi i tlaku provođenja analize svakog pojedinog uzorka, a iščitava se iz tablice prema (ÖNORM L 1084, 1989). Dobiveni maseni udio karbonata standarda morao bi iznositi 100% ± 1%. Udio karbonata u svakom uzorku sedimenta odredi se na isti način. Kako su za standard i svaki uzorak izvršena po dva mjerenja, kao konačna vrijednost udjela karbonatne komponente uzima se aritmetička sredina dobivenih rezultata koja je grafički prikazana uz pomoć računalnog programa Microsoft® Office Excel.

5.2.3. Mikroskopiranje i fotografiranje fosila

Uzorci fosilnih ostataka ljušturica puževa i školjkaša prvo su identificirani na razini rodova na terenu (Hrvatska, Istra) i kasnije u laboratoriju u Italiji (CNR-ISMAR u Bologni). Na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu dodatno je analizirano 58 poduzoraka u rasponu jezgre od 2,07 m do 34,40 m dubine gdje su iz krupnozrnatih frakcija (2 – 4 mm) iz ukupno 7 uzoraka duž cijele jezgre (2,37 m, 6,37 m, 11,77 m, 14,07 m, 25,47 m, 28,57 m i 29,47 m) izvađeni makrofosili te ponovno identificirani na razini rodova. Ti su makrofosili mikroskopirani i fotografirani pomoću stereomikroskopa NexiusZoom i digitalne camere Euromex HD2 6MP HDMI+USD, montirane na okularu mikroskopa. U računalnom softveru kamere ImageFocus v4 fotografije su se dodatno podesile i kalibrirale. Fotografiranje i ponovno identificiranje fosila na razini rodova je izvršeno na Geološko-paleontološkom zavodu Geološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta sveučilišta u Zagrebu uz pomoć stručne literature (MOORE, 1960, 1971; SREMAC, 1999; PEZELJ, 2011; http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=search).

5.2.4. Statistička obrada podataka

Podaci o raspodjeli veličine zrna, dobiveni kombiniranom metodom mokrog sijanja i sedigrafa, spojeni u cjeloviti niz omogućili su da svaki analizirani sediment bude granulometrijski karakteriziran, a njihova statistička obrada napravljena je uz pomoć statističkog paketa GRADISTAT Ver. 6.0. (BLOTT & PYE, 2001) koji se koristi unutar računalnog programa Microsoft® Office Excel. Maseni udio svake pojedine frakcije upisan je u tablicu programa te je započeta programska (računalna) obrada podataka.

Granulometrijski podaci su nakon računalne obrade podataka grafički prikazani histogramima, trokomponentnim dijagramima, kumulativnim krivuljama (μm i ϕ) te krivuljama učestalosti (μm i ϕ). Očitavanjem vrijednosti kumulativnih postotaka na granicama između šljunka i pijeska (2 mm = -1 ϕ), pijeska i praha (0,063 mm = 4 ϕ) i praha i gline (0,004 mm = 8 ϕ) (WENTWORTH, 1922) dobiveni su postoci navedenih frakcija u sedimentu. Prema udjelima navedenih frakcija određen je tip sedimenta prema Folkovim klasifikacijama (1954) u obliku trokomponentnih dijagrama ovisno o prisutnosti šljunka u uzorku.

Statističke granulometrijske parametre potrebne za klasifikaciju sedimenata, kao što su srednja veličina zrna (*median*), prosječna veličina zrna (*mean size*), asimetričnost krivulje

(*skewness*), zaoštrenost krivulje (*kurtosis*) i sortiranje (*sorting*) **[3]**, izračunalo se preko njihovih zasebnih formula očitanjem veličine zrna u ϕ jedinicama iz kumulativne krivulje kod kumulativnih postotaka: 5, 16, 25, 50, 75, 84 i 95 (FOLK & WARD, 1957). Sortiranost sedimenta svih 58 analiziranih uzoraka prikazana je u **Tablici 2** i na grafikonu **(Slika 17)**. Koeficijent sortiranosti prikazuje jednoličnost distribucije veličine čestica sedimenta formulom:

$$So = \frac{\phi 84 - \phi 16}{4} + \frac{\phi 95 - \phi 5}{6{,}6} \qquad [3]$$

s time da su kategorije sortiranosti sedimenta raspoređene na sljedeći način:

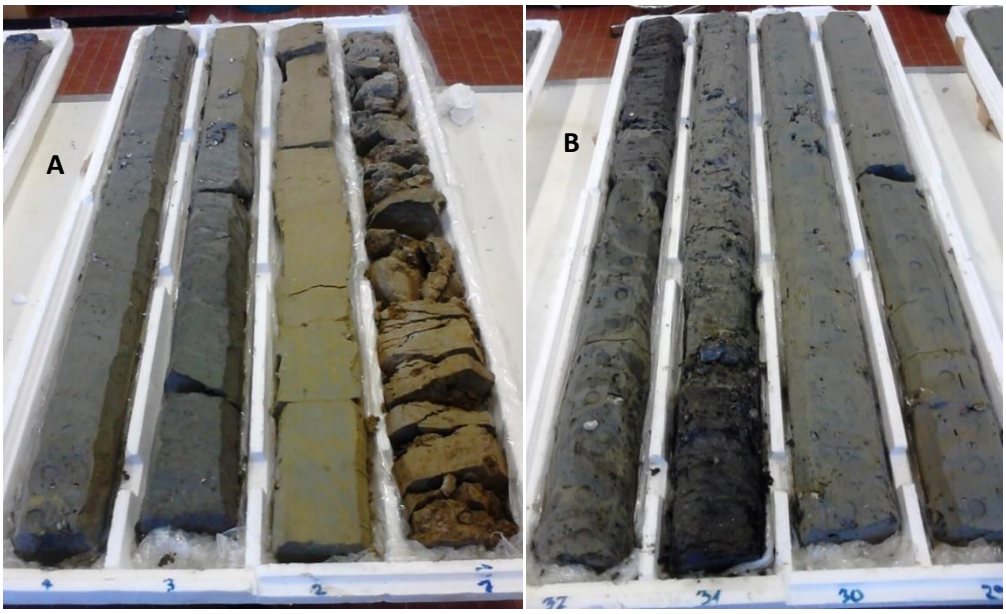
< 0,35	vrlo dobro sortirano
0,35 - 0,50	dobro sortirano
0,50 - 0,70	umjereno dobro sortirano
0,70 - 1,00	umjereno sortirano
1,00 - 2,00	loše sortirano
2,00 - 4,00	vrlo loše sortirano
> 4,00	izrazito loše sortirano

Svi podaci dobiveni prethodno opisanim analizama prikazani su u ovom radu na trokomponentnim dijagramima **(Slika 13, 14)**, tablicom **(Tablica 2)** i grafikonima **(Slika 11, 12, 15, 16, 19, 20)** preuzetih iz statističkog paketa GRADISTAT Ver. 6.0 unutar računalnog programa Microsoft® Office Excel.

6. REZULTATI

6.1.REZULTATI TERENSKIH I MAKROPALEONTOLOŠKIH ANALIZA:

Izvađena jezgra MIR1 rezana je i opisana u Italiji, Bologni, gdje je podijeljena u 23 međusobno različita odsječka koji se razlikuju prema boji, veličini zrna, jačini reakcije s HCl, teksturama unutar slojeva te makrofosilima **(Slika 10, Tablica 1)**.



Slika 10 (A) Interval jezgre MIR1 od 1 do 4 m dubine, (B) interval jezgre MIR1 od 29 do 32 m dubine. Preuzeto i preuređeno iz FELJA (2017).

Tablica 1 Jezgra podijeljena u 23 međusobno različita odsječka opisana na terenu, a razlikuju se prema boji, veličini zrna, jačini reakcije s HCl, teksturama unutar slojeva te prema makrofosilima u rasponu dubina od 0,0 m do 34,50 m prema FELJA & FONATANA (2015).

Dubina (m)	Veličina zrna	Boja	Reakcija s HCl	Tekstura	Makrofosili
1 0,0 – 0,30	Glinoviti prah (<20% gline)	žućkasto siva (2.5Y 5/3)	4	konsolidirana, donja granica postupna	živo korijenje biljaka, fragmenti lagunskih školjkaša
2 0,30 – 0,75	Glinoviti prah (<20% gline)	tamnožućkasto siva (2.5Y 3/2)	4	konsolidirana, donja granica postupna	živo korijenje biljaka, rijetki fragmenti lagunskih školjkaša
3 0,75 – 1,10	Glinoviti prah (<20% gline)	tamnožućkasta (2.5 Y 5/2) i trošenje (10Y 6/6)	4	konsolidirana, donja granica postupna	rijetko korijenje biljaka
4 1,10 – 1,72	Glinoviti prah (<20% gline)	tamnožućkasta (2.5 Y 5/2) i trošenje (10Y 6/6)	4	konsolidirana, donja granica postupna	rijetki mm fragmenti lagunskih školjkaša
5 1,72 – 2,38	Glinoviti prah (<20% gline)	zelenkasto siva (5 Y 5/2) i trošenje (10Y 6/6)	3, 4	konsolidirana, donja granica oštra	*Cyclope* sp., *Gibbula* sp., *Bittium* sp. i *Loripes* sp.
6 2,38 – 2,78	Glinoviti prah i organski glinoviti prah	svijetlo siva (5 Y 5/1) i tamnosiva (5 Y 3/2)	1	milimetarske alternacije, donja granica postupna	biljni mm ostaci, *Cerastoderma* sp., *Gibbula* sp., *Bittium* sp. *i Loripes* sp.
7 2,78 – 2,98	Glinoviti prah	svijetlo siva (5 Y 5/1) i tamnosiva (5 Y 3/2)	1	donja granica oštra	biljni mm ostaci
8 2,98 – 4,08	Glinoviti prah (<25 – 30% gline)	svijetlo siva (N5)	4	donja granica postupna	biljni mm ostaci, *Cerastoderma* sp., *Gibbula* sp., *Bittium* sp. *i Loripes* sp.
9 4,08 – 5,86	Prahovita glina	tamno siva (5N5 – 4N4)	3, 4	milimetarske laminacije, donja granica oštra	*Cerastoderma* sp., *Rissoa* sp., *Gibbula* sp., *Loripes* sp., *Nassarius* sp., *Gastrana* sp., *Paphia* sp., mm biljni ostaci npr. *Pulsatilla* sp.
10 5,86 – 9,60	Prahovita glina	tamnožućkasto siva (2.5Y 3/2)	4	/	*Rissoa* sp., *Loripes* sp., *Cerastoderma* sp., *Nucula* sp., *Gastrana* sp., *Nuculana* sp.
11 9,60 – 20,60	Prahovita glina	(2.5Y 3/1)	3, 4	laminirani biljni ostaci, donja granica tranzicijska	biljni ostaci, *Nuculana* sp., *Tellina* sp., *Nassarius* sp., *Murex* sp., *Cerastoderma* sp., *Dentalium* sp., *Donax* sp., *Abra* sp., echinoderma
12 20,60 – 23,50	Prahovita glina (30% praha)	siva (1 4/N)	3, 4	homogena	*Ostrea* sp., *Pecten* sp., *Abra* sp.
13 23,50 – 29,30	Prahovita glina (30% praha)	tamno siva (5N5)	4	homogena	*Turritella* sp., *Dentalium* sp., *Pectinidae* sp. *i Ostrea* sp.
14 29,30 – 30,50	Prahovita glina	tamno siva (5N5)	4	homogena, donja granica tranzicijska	*Ostrea* sp., *Dentalium* sp., *Mytilus* sp., *Murex* sp.,porodica crva *Serpulida* sp., kliješta raka (crustacea)
15 30,50 – 30,83	Prahovita glina s lećama organske gline	tamno siva (5N5) i leće (10Y 5/1)	4	leće, donja granica erozijska i valovita	*Ostrea* sp., *Mytilus* sp., *Cerastoderma* sp., *Gastrana* sp., *Serpulida* sp.
16 30,83 – 31,17	Organska slabo prahovita glina i organska prahovita glina	(2.5Y 4/1) i (10Y 2/1)	3, 4 i treset 0, 1	uslojeni treset i biljni ostaci, donja granica sloja tranzicijska	*Cerastoderma* sp., biljni ostaci, treset, organska tvar
17 31,17 – 31,73	Organska prahovita glina	(2.5Y 5/1)	0, 1	donja granica tranzicijska	rijetki fragmenti školjkaša, organska tvar
18 31,73 – 32,10	Prahovita glina i organska prahovita glina	svijetlo siva (2.5Y 4/2) i (2.5Y 5/1)	4	donja granica tranzicijska	*Turritella* sp., *Ostrea* sp. *i Pectinidae* sp.
19 32,10 – 32,72	Prahovita glina i organska prahovita glina	svijetlo siva (2.5Y 4/2) i (2.5Y 5/1)	4	leće, donja granica postupna	*Turritella* sp., *Ostrea* sp. *i Pectinidae* sp., organska tvar
20 32,72 – 33,10	Glinoviti prah (35% gline)	tamno siva (5N5)	4	donja granica oštra	*Serpulida* sp., *Cerastoderma* sp. *i Dentalium* sp.
21 33,10 – 33,40	Prahovita glina (30% praha)	tamno siva (4N4)	0	konkrecije	karbonatne konkrecije
22 33,40 – 33,90	Prahovita glina	(2.5Y 3/1)	0	konkrecije, donja granica postupna	rijetke karbonatne konkrecije, fragmenti močvarnih ili slatkovodnih školjkaša
23 33,90 – 34,50	Glinoviti prah (<15% gline) i lamela sitnozrnatog prahovitog pijeska	(5Y 5/2 – 6/10Y) i trošenje (2.5Y 6/6)	4	konkrecije i lamela	karbonatne konkrecije

6.2.REZULTATI GRANULOMETRIJSKE ANALIZE

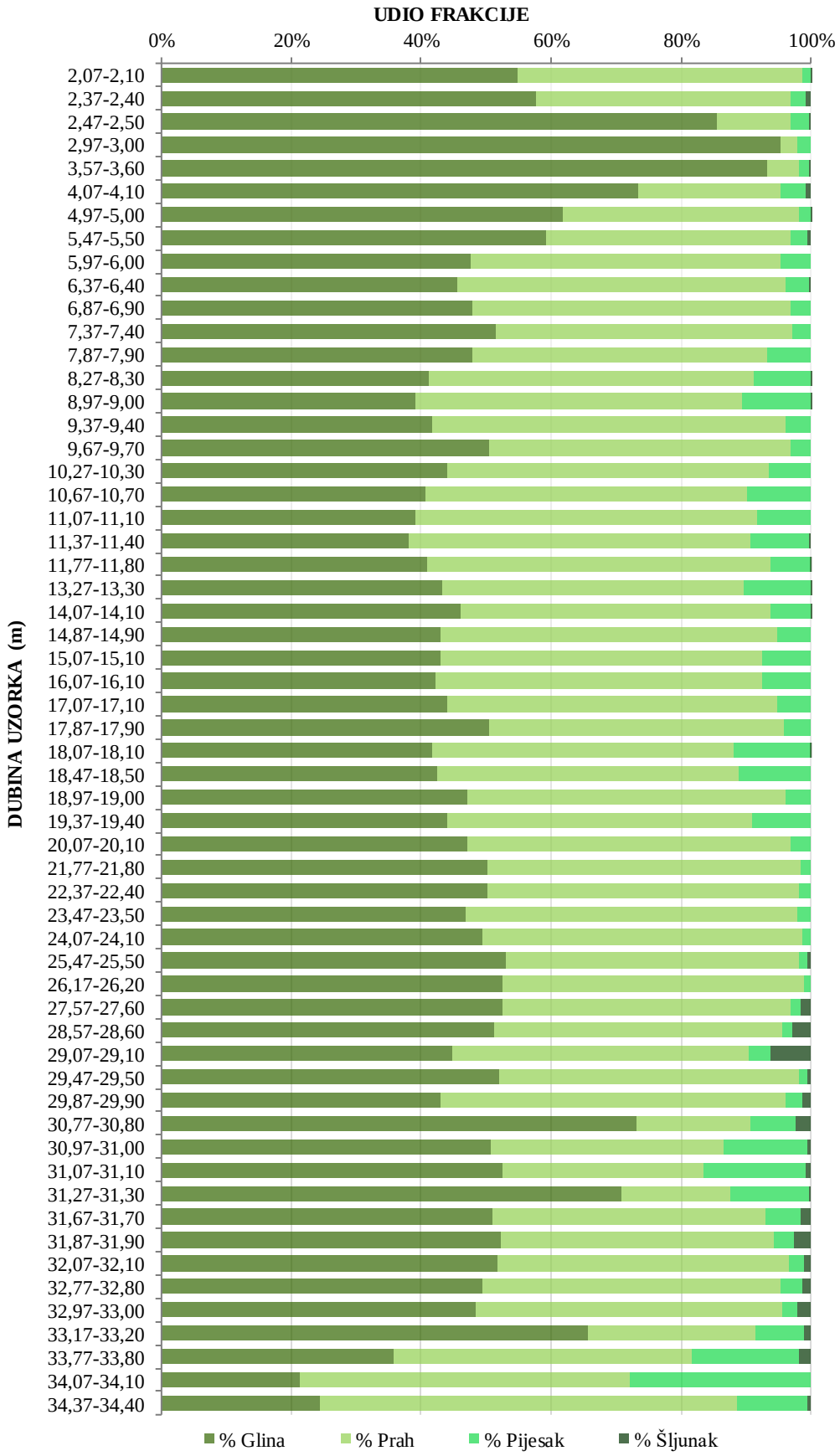
Granulometrijska analiza provedena je na ukupno 58 uzoraka koji se protežu u rasponu dubina od 2,07 m do 34,40 m. Prosječni sastav svih analiziranih uzoraka je sljedeći: glina 50,42%, prah 43,23%, pijesak 5,79% i šljunak 0,56%. U rezultatima analize prikazane grafikonom **(Slika 11)** vidi se da se glinoviti udio kreće u rasponu od 21,2 – 95,2%. Prahovita komponenta je u rasponu od 2,7 – 64,3%, pjeskovita komponenta ima najmanju vrijednost od 1,1%, a najveću 28% dok šljunka nema u 25 uzoraka od 58, a u ostalih 33 uzoraka udio varira od 0,1 – 6,1%.

U gornjem dijelu jezgre (0,0 – 34,40 m) prevladavaju uglavnom glinovita i prahovita frakcija s time da je u samom podpovršinskom sloju udio gline u najvećem udjelu od 95,2 % dok je udio praha tamo najmanje zastupljen sa 2,7 %. Duž jezgre obje frakcije opet iznose oko 50 % sve do 34 metra gdje prah ima svojih maksimalnih 64,3 % dok glina iznosi svojih minimalnih 21,2 % **(Slika 11 i 12 a i b, Tablica 2)**.

U prvih 8 m jezgre udio pijeska kreće se oko 2,7 % s time da na 2. metru ima svoj minimum od 1,1 % nakon čega se udio povećava na prosjek od 7,5 % u rasponu od 8. do 19. metra. Nakon toga sljedećih 14 m opet udio opada na prosječnih 3,43 % s iznimkama (na 31. metru tri uzorka imaju 12 %, 12,9 % i 15,9 %) i pri samom kraju istraživanog dijela jezgre opet raste do svog maksimuma od 28 % **(Slika 12 c, Tablica 2)**.

Udio šljunka u prvih 26 metara gotovo je zanemariv sa prosjekom od 0,11 %. Nakon toga šljunka ima značajno više budući da na 29. metru dubine postiže svoj maksimum od 6,1 % odakle do 34. metra nastavlja padajućim trendom opet sa prosječnim udjelom od 0,77 % sa tu i tamo kojim povećanjem do prosječno 2,2 % **(Slika 12 d, Tablica 2)**. U dijelu jezgre na dubini od 27,57 m do 29,10 m može se vidjeti da se postotak udjela pijeska znatno smanjuje dok se postotak udjela šljunka povećava.

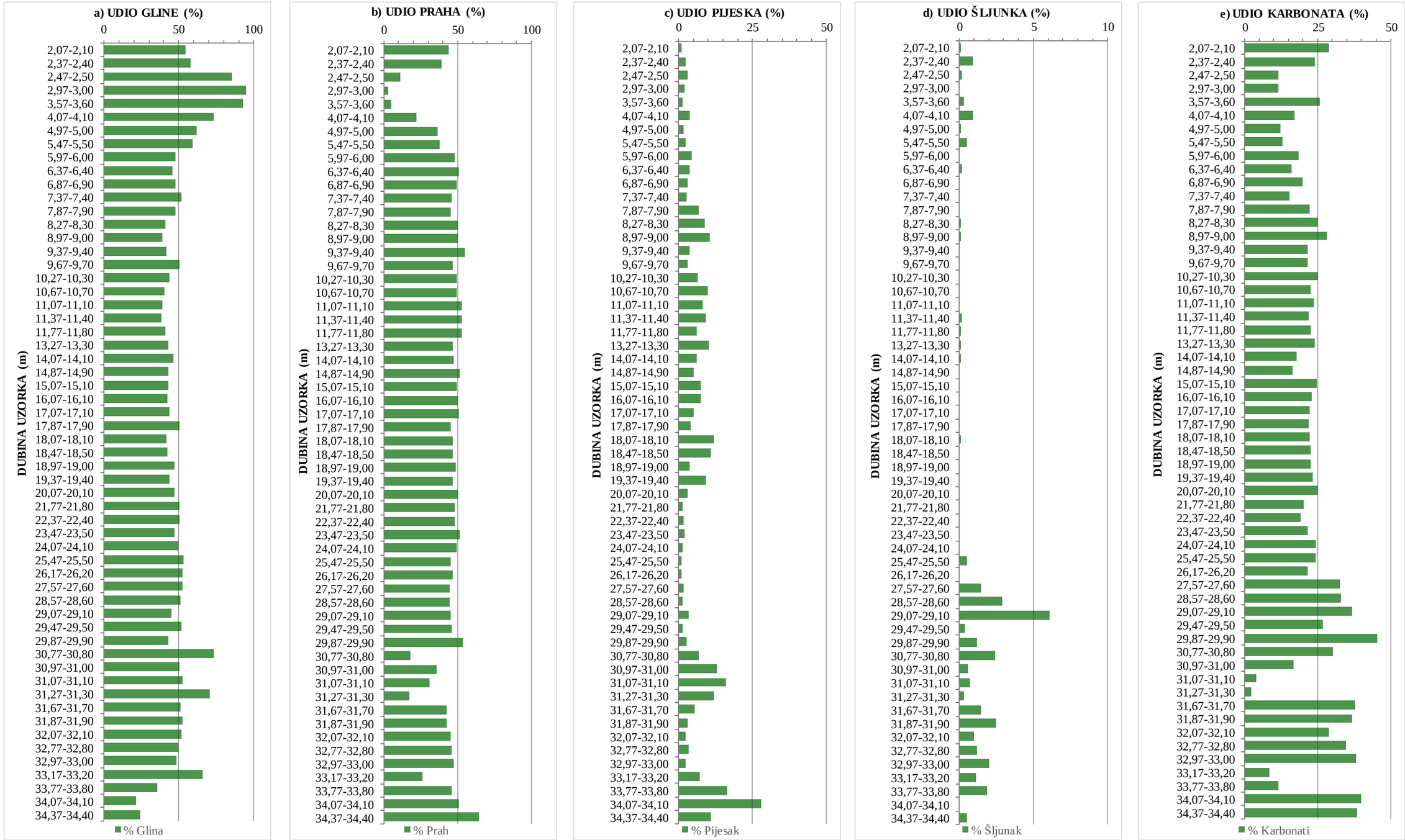
Klasifikacija sedimenata prema veličini zrna s obzirom na granulometrijski sastav svih 58 uzoraka duboke jezgre prikazan je trokomponentnim dijagramima po FOLK (1954). Budući da se gornji dio (prvih 35 m) duge jezgre MIR1 uglavnom sastoji od gline i praha, dijagram šljunka, pijeska i mulja **(Slika 13)** je nepregledan te je potreban i drugi dijagram pijeska, praha i gline **(Slika 14)** da bi se mogla vidjeti ikakva raznolikost uzoraka prema njihovu sastavu. Većina uzoraka je prema granulometrijskom opisu/tipu mulj.



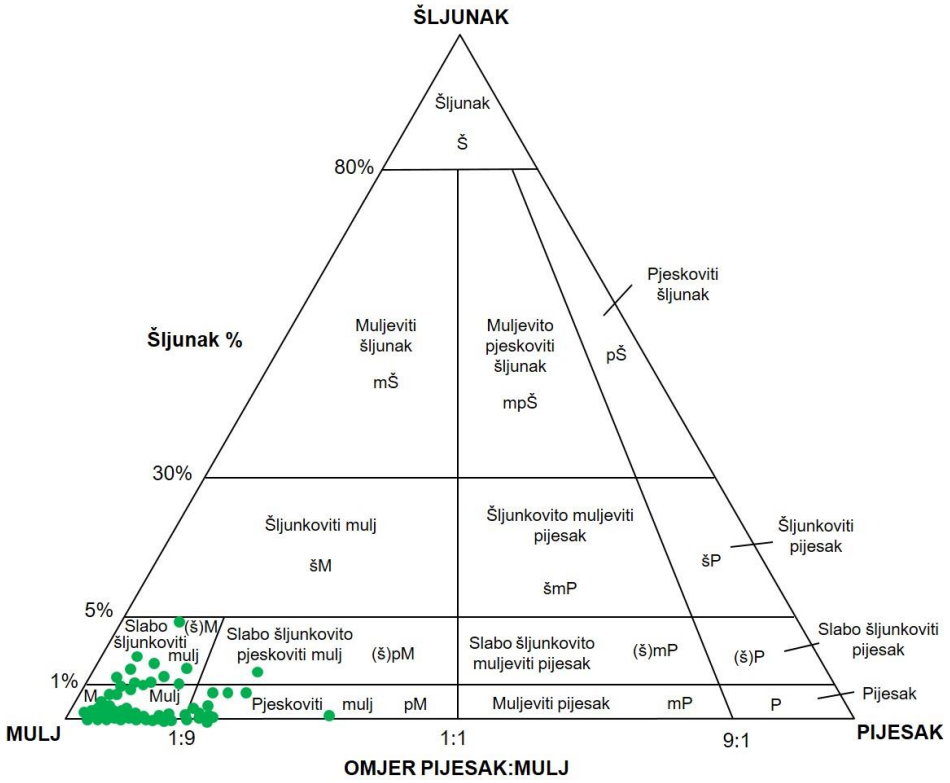
Slika 11 Raspodjela i zastupljenost frakcija šljunka, pijeska, praha i gline kroz sve uzorke sedimenata duboke jezgre iz delte rijeke Mirne.

Tablica 2 Podaci mjerenja svih 58 uzorka kao što su udjeli pojedinih frakcija, granulometrijski opis i sortiranost u rasponu dubina od 2,07 do 34,40 m.

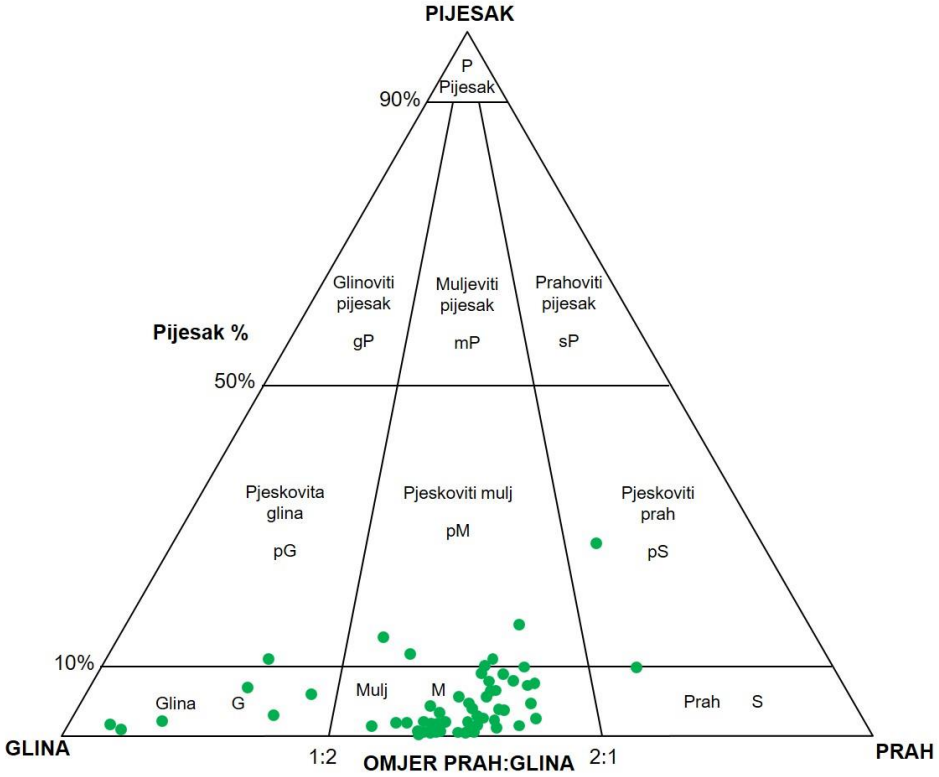
Oznaka	Dubina	% Glina	% Prah	% Pijesak	% Šljunak	% Karbonata	Granulometrijski opis	Sortiranost (ϕ)
MIR1	2,07-2,10	54,8	44	1,1	0,1	28,7	mulj	1,6 - loša
MIR1	2,37-2,40	57,7	39,1	2,3	0,9	24,1	slabo šljunkoviti mulj	1,7 - loša
MIR1	2,47-2,50	85,6	11,2	3	0,2	11,5	glina	1,0 - umjerena
MIR1	2,97-3,00	95,2	2,7	2	0	11,7	glina	0,5 - dobra
MIR1	3,57-3,60	93,2	5,1	1,4	0,3	25,8	glina	0,6 - umjereno dobra
MIR1	4,07-4,10	73,3	22,1	3,7	0,9	17,2	slabo šljunkoviti mulj	1,9 - loša
MIR1	4,97-5,00	61,8	36,3	1,8	0,1	12,4	mulj	1,7 - loša
MIR1	5,47-5,50	59,2	37,8	2,5	0,5	13,1	slabo šljunkoviti mulj	1,7 - loša
MIR1	5,97-6,00	47,5	47,9	4,6	0	18,5	mulj	2,2 - vrlo loša
MIR1	6,37-6,40	45,6	50,5	3,7	0,2	16	mulj	2,2 - vrlo loša
MIR1	6,87-6,90	47,9	49	3,1	0	19,8	mulj	2,1 - vrlo loša
MIR1	7,37-7,40	51,5	45,7	2,8	0	15,5	mulj	2,0 - loša
MIR1	7,87-7,90	48	45,2	6,8	0	22,3	mulj	2,4 - vrlo loša
MIR1	8,27-8,30	41,2	49,9	8,8	0,1	25,1	mulj	2,5 - vrlo loša
MIR1	8,97-9,00	39,1	50,1	10,6	0,1	28,2	pjeskoviti mulj	2,6 - vrlo loša
MIR1	9,37-9,40	41,7	54,5	3,8	0	21,6	mulj	2,3 - vrlo loša
MIR1	9,67-9,70	50,4	46,4	3,2	0	21,4	mulj	2,2 - vrlo loša
MIR1	10,27-10,30	44	49,5	6,5	0	25,1	mulj	2,4 - vrlo loša
MIR1	10,67-10,70	40,7	49,4	9,9	0	22,7	mulj	2,5 - vrlo loša
MIR1	11,07-11,10	39,1	52,6	8,3	0	23,6	mulj	2,5 - vrlo loša
MIR1	11,37-11,40	38,2	52,5	9,1	0,2	22	mulj	2,5 - vrlo loša
MIR1	11,77-11,80	41	53	6	0,1	22,5	mulj	2,4 - vrlo loša
MIR1	13,27-13,30	43,3	46,5	10,1	0,1	24	pjeskoviti mulj	2,6 - vrlo loša
MIR1	14,07-14,10	46,2	47,6	6,1	0,1	17,9	mulj	2,3 - vrlo loša
MIR1	14,87-14,90	43,1	51,7	5,2	0	16,5	mulj	2,3 - vrlo loša
MIR1	15,07-15,10	43	49,5	7,5	0	24,8	mulj	2,4 - vrlo loša
MIR1	16,07-16,10	42,3	50,2	7,5	0	22,9	mulj	2,4 - vrlo loša
MIR1	17,07-17,10	43,9	50,9	5,2	0	22,2	mulj	2,3 - vrlo loša
MIR1	17,87-17,90	50,4	45,4	4,2	0	21,8	mulj	2,2 - vrlo loša
MIR1	18,07-18,10	41,8	46,3	11,9	0,1	22,4	mulj	2,6 - vrlo loša
MIR1	18,47-18,50	42,4	46,6	11	0	22,7	pjeskoviti mulj	2,6 - vrlo loša
MIR1	18,97-19,00	47,2	48,9	3,9	0	22,7	mulj	2,2 - vrlo loša
MIR1	19,37-19,40	44	46,9	9,1	0	23,2	mulj	2,5 - vrlo loša
MIR1	20,07-20,10	47	49,9	3,1	0	25,1	mulj	2,1 - vrlo loša
MIR1	21,77-21,80	50,3	48,2	1,5	0	20,3	mulj	1,9 - loša
MIR1	22,37-22,40	50,2	48,1	1,7	0	19,2	mulj	1,9 - loša
MIR1	23,47-23,50	46,9	51,1	2	0	21,7	mulj	2,0 - loša
MIR1	24,07-24,10	49,5	49,2	1,3	0	24,3	mulj	1,9 - loša
MIR1	25,47-25,50	53	45,3	1,2	0,5	24,2	slabo šljunkoviti mulj	1,8 - loša
MIR1	26,17-26,20	52,5	46,4	1,1	0	21,7	mulj	1,8 - loša
MIR1	27,57-27,60	52,5	44,3	1,7	1,5	32,6	slabo šljunkoviti mulj	1,8 - loša
MIR1	28,57-28,60	51,3	44,4	1,4	2,9	32,8	slabo šljunkoviti mulj	2,0 - loša
MIR1	29,07-29,10	44,8	45,5	3,5	6,1	36,8	šljunkoviti mulj	3,1 - vrlo loša
MIR1	30,77-30,80	73,1	17,6	6,9	2,4	30,1	slabo šljunkoviti mulj	2,4 - vrlo loša
MIR1	30,97-31,00	50,8	35,7	12,9	0,6	16,6	slabo šljunkovito pjeskoviti mulj	2,6 - vrlo loša
MIR1	31,07-31,10	52,5	30,9	15,9	0,7	4,1	slabo šljunkovito pjeskoviti mulj	3,1 - vrlo loša
MIR1	31,27-31,30	70,9	16,9	12	0,3	2,4	slabo šljunkovito pjeskoviti mulj	2,3 - vrlo loša
MIR1	31,67-31,70	50,9	42,2	5,5	1,5	37,6	slabo šljunkoviti mulj	2,3 - vrlo loša
MIR1	31,87-31,90	52,2	42,2	3,2	2,5	36,8	slabo šljunkoviti mulj	2,2 - vrlo loša
MIR1	32,07-32,10	51,7	45	2,3	1	28,9	slabo šljunkoviti mulj	1,9 - loša
MIR1	32,77-32,80	49,5	45,8	3,5	1,2	34,5	slabo šljunkoviti mulj	2,1 - vrlo loša
MIR1	32,97-33,00	48,4	47,3	2,3	2	38,2	slabo šljunkoviti mulj	2,0 - loša
MIR1	33,17-33,20	65,7	25,9	7,3	1,1	8,6	slabo šljunkoviti mulj	2,2 - vrlo loša
MIR1	33,77-33,80	35,8	46	16,3	1,9	11,4	slabo šljunkovito pjeskoviti mulj	3,0 - vrlo loša
MIR1	34,07-34,10	21,2	50,8	28	0	39,9	pjeskoviti mulj	3,0 - vrlo loša
MIR1	34,37-34,40	24,4	64,3	10,8	0,5	38,5	slabo šljunkovito pjeskoviti mulj	2,5 - vrlo loša



Slika 12 Grafikoni raspodjele granulometrijskih opisa/tipova u 58 uzoraka sedimenata duboke jezgre iz delte rijeke Mirne

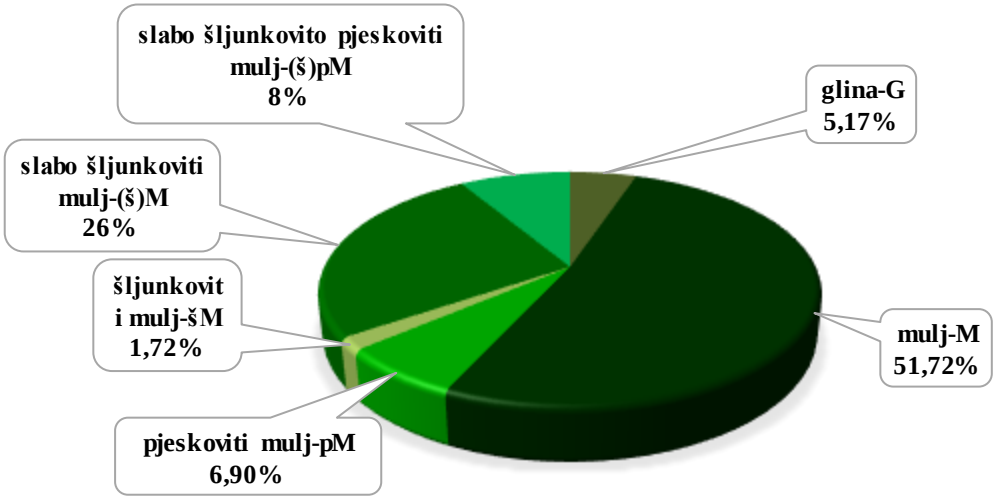


Slika 13 Granulometrijski sastav svih 58 uzoraka sedimenata u trokomponentnom dijagramu šljunka, pijeska i mulja prema Folku (1954).

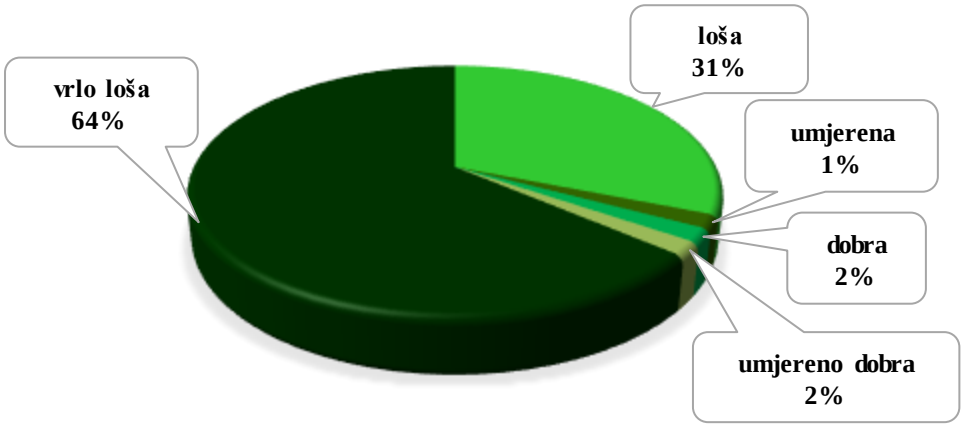


Slika 14 Granulometrijski sastav svih uzoraka sedimenata u trokomponentnom dijagramu pijeska, praha i gline prema Folku (1954).

Među uzorcima od granulometrijskih opisa sedimenta **(Slika 15)** dominiraju glina (50,42 %) i prah (43,23 %), zatim slijede pijesak (5,79 %) i šljunak (0,56 %) koji su slabije zastupljeni. Od granulometrijskih opisa/tipova među uzorcima uglavnom dominira muljevita grupa (30 uzoraka, 51,72 %) nakon koje slijedi slabo šljunkoviti mulj (15 uzoraka, 25,86 %). Ostali granulometrijski opisi/tipovi koji se javljaju su slabo šljunkovito pjeskoviti mulj (5 uzoraka, 8,62 %), pjeskoviti mulj (4 uzorka, 6,90 %), čista glina (3 uzorka, 5,17 %) i šljunkoviti mulj (1 uzorak 1,72 %). S obzirom na sortiranost sedimenata **(Slika 16)** kategorije koje su najčešće su vrlo loša (37 uzoraka,64 %), loša (18 uzoraka, 31 %), umjerena (2 uzorka, 3 %) i umjereno dobra (1 uzorak, 2 %)



Slika 15 Grafički prikaz zastupljenosti pojedinih granulometrijskih opisa/tipova u uzorcima sedimenata duboke jezgre iz delte rijeke Mirne.



Slika 16 Grafički prikaz sortiranosti svih 58 uzoraka iz jezgre MIR1

6.1. REZULTATI ODREĐIVANJA UDJELA KARBONATA

Određivanje udjela karbonatne komponente provedeno je na 58 uzoraka odnosno na rasponu dubina od 2,07 – 34,40 m i prosječni udio karbonata u njima iznosio je 23,25% **(Tablica 2)**. Iz rezultata **(Slika 12 e)** je vidljivo da udio karbonata u analiziranim uzorcima ima raspon od 2,4 do 45,3%.

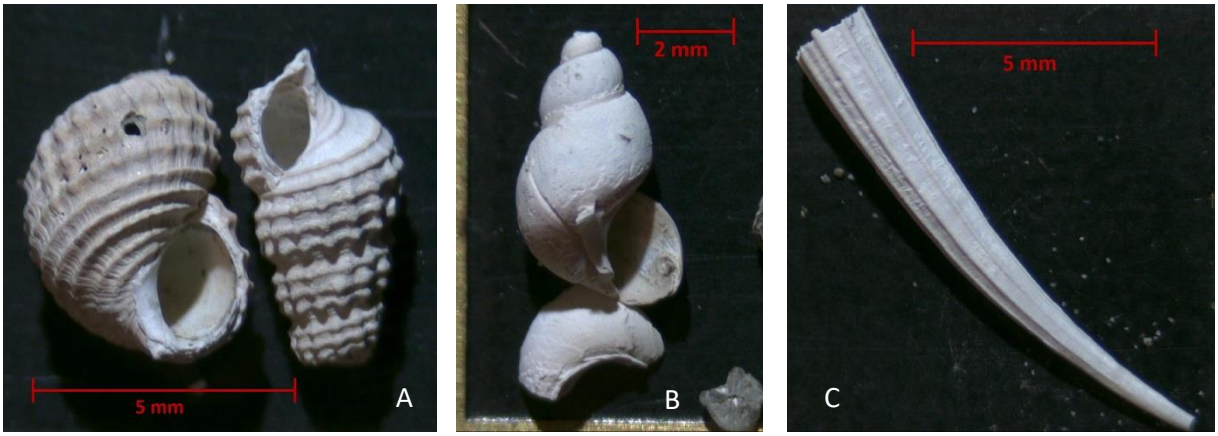
Duž prvih 26 metara jezgre udio karbonata malo fluktuira i kreće se oko 21,2 %, zatim od 27. do 34. metra udio naglo raste i ima prosjek od 35,3 % gdje dostiže svoj maksimum od 45,3 % na 29 metru. U zadnjih 8 metara sporadično se pojave niže vrijednosti kao npr. na 31. metru gdje 3 uzorka postepeno opadaju sa 16,6% do 4,1 % i konačno do minimuma od 2,4 % te na 33. metru gdje dva uzorka imaju 8,6 % i 11,4 % **(Slika 11 i 12 e, Tablica 2)**. Kada se pogleda karbonatni udio duž jezgre može se primijetiti da se u prvih 26,20 metara prosječni postotak karbonata kreće oko 20% do 25% s time da je minimalni postotak 11,5%, a maksimalni 28,7%. U drugom dijelu jezgre od 26,20 do 34,40 metara većina uzoraka ima oko 30% do 40% karbonata. Minimum postotka karbonata u drugom dijelu jezgre iznosi 2,4% dok je maksimum 45,3%.

6.2. REZULTATI ODREĐIVANJA MAKROFOSILA

Opisi i slike makrofaune spomenute u ovom segmentu rada izvađeni su iz krupnozrnatih frakcija (2-4 mm) iz šest uzoraka duž cijele jezgre (2,37 m; 6,37 m; 11,77 m; 14,07 m; 25,47 m; 28,57 m) te su slikani i opisani metodama spomenutim u prethodnom odjeljku rada (5.2.3.). U raspravi će se spomenuti i interpretirati zašto je njihova pojava u određenim slojevima bitna i što bi ona mogla značiti.

Makrofosili koji se pojavljuju u 5. sloju prema terenskoj podjeli **(Tablica 1)** su ljušturice, bivalvia *Loripes* sp. te gastropoda *Cyclope* sp., *Gibbula* sp. i *Bittium* sp. koji je također pronađen u uzorku MIR1 2,37-2,40 **(Slika 17a)**.

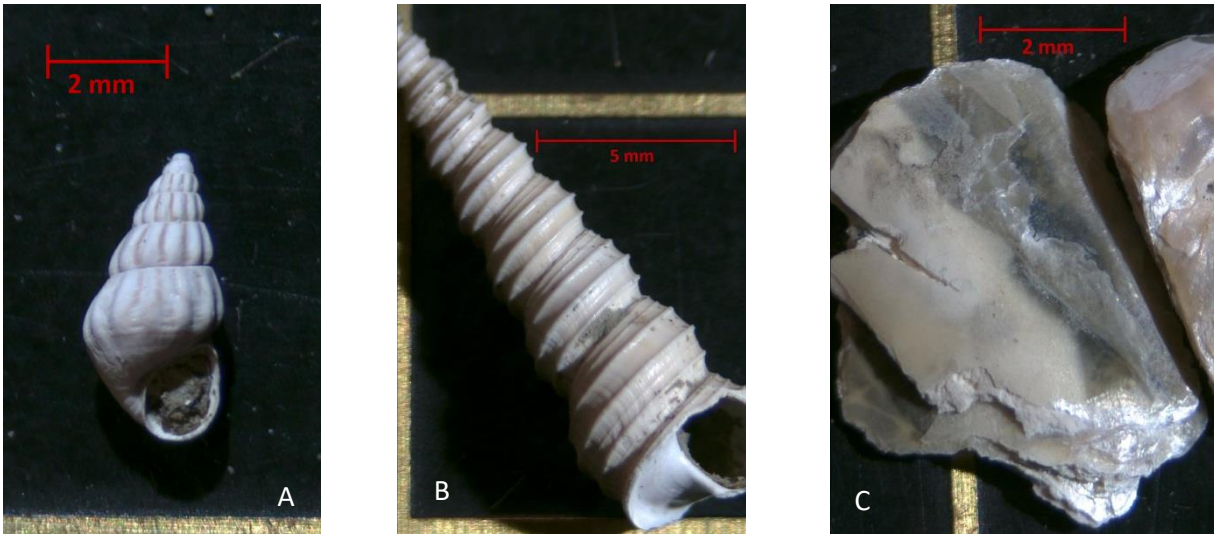
Makrofosilni sastav 10. sloja prema terenskoj podjeli **(Tablica 1)** sastoji se od ljuštura gastropoda *Rissoa* sp. te bivalvia *Loripes* sp., *Cerastoderma* sp., *Nucula* sp., *Nuculana* sp. i *Gastrana* sp. no u uzorku MIR1 6,37-6,40 koji odgovara tom sloju nađen je i *Nassarisus* sp. **(Slika 17b)** kojeg se može naći u okolna dva sloja 9. i 11.



Slika 17 Oštećeni fosili mekušaca iz uzoraka sedimenata duboke jezgre MIR1 na dubinama od: (A) *Bittium* sp. – 2,37 m, (B) *Nassarius* sp. – 6,37 m, (C) scaphopoda, *Dentalium* sp. – 11,77 m. Slike su fotografirane u laboratoriju Geološko-paleontološkog zavoda Geološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta sveučilišta u Zagrebu.

Makrofosili pronađeni u 11. sloju terenske podjele **(Tablica 1)** su ljušture bivalvia *Nuculana* sp., *Tellina* sp., *Cerastoderma* sp., *Donax* sp. i *Abra* sp., zatim gastropoda *Murex* sp. i *Nassarisus* sp. te echinoderma i scaphopoda *Dentalium* sp. kojeg sadrži i uzorak MIR1 11,77-11,80 **(Slika 17c)**.U ovom sloju u uzorku MIR1 14,07-14,10 nađen je i gastropoda *Rissoa* sp. **(Slika 18a)**.

U 13. sloju prema terenskoj podjeli **(Tablica 1)** makrofosilni sastav sadrži ljušture scaphopoda *Dentalium* sp., zatim gastropoda *Turritella* sp., koji je pronađen i u tom sloju odgovarajućem uzorku MIR1 25,47-25,50 **(Slika 18b)**, te bivalvia *Pectinidae* sp.i *Ostrea* sp., koji je pronađen u uzorku MIR1 28,57-28,60 **(Slika 18c)**.



Slika 18 Oštećeni fosili mekušaca iz uzoraka sedimenata duboke jezgre MIR1 na dubinama od: (A) *Rissoa* sp. – 14,07 m, (B) *Turritella* sp. – 25,47 m, (C) *Ostrea* sp. – 28,57 m. Slike su fotografirane u laboratoriju Geološko-paleontološkog zavoda Geološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta sveučilišta u Zagrebu.

7. RASPRAVA

Jezgra MIR1 opisana je prvi puta na terenu prilikom prvog bušenja. Nešto detaljnije opisana je u Italiji na Institutu za Marinska istraživanja (Instituto di Scienze Marine – CNR-ISMAR) u Bologni, gdje je razlikovana i opisana u odsječcima od uglavnom 0,5 m i posložena u 23 različita sloja od dubine 0,0 m do 34,50 m **(Tablica 1)**. Na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu na Geološko-paleontološkom zavodu Sveučilišta u Zagrebu dodatno je analizirano 58 uzoraka, svaki debljine 0,03 m uzorkovanih u razmacima od 20 cm do 1 m **(Tablica 2)**, ako gledamo raspon jezgre od 2,07 m do 34,40 m dubine.

Mjerenja istog dijela jezgre dovela su do mogućnosti da se usporede terenski podaci s podacima dobivenim laboratorijskim analizama. Dakle, usporedbe slojeva jezgre MIR1 opisanih u Bologni prema prvim procjenama s terena **(Tablica 1)** s konkretnim rezultatima dobivenim analizama u laboratorijima Mineraloško-petrološkog zavoda i Geološko-paleontološkog zavoda na PMF-u **(Tablica 2)** opisane su u sljedećem poglavlju, a koji slojevi iz Tablice 1 su se uspoređivani s kojim uzorcima iz Tablice 2 u nastavku teksta prikazano je tablicom **(Tablica 3)**.

Tablica 3 Usporedba slojeva jezgre MIR1 prema prvim procjenama s terena (Tablica 1) s konkretnim rezultatima dobivenim analizama (Tablica 2) s prosječnim vrijednostima podataka mjerenja analiziranih uzoraka

Terenski određeni slojevi	Analizirani uzorci koji odgovaraju pojedinom terenskom sloju	Prosječna vrijednost granulometrijskih tipova i karbonata analiziranih uzoraka
5 1,72 – 2,38	MIR 1 2,07-2,10; MIR1 2,37-2,40	56,3% gline, 41,6% praha, 1,7% pijeska, 0,5% šljunka, 26,4% karbonata
6 2,38 – 2,78	MIR1 2,47-2,50	85,6% gline, 11,2% praha, 3% pijeska, 0,2% šljunka, 11,5% karbonata
7 2,78 – 2,98	MIR1 2,97-3,00	95,2% gline, 2,7% praha, 2% pijeska, 0% šljunka, 11,7% karbonata
8 2,98 – 4,08	MIR1 2,97-3,00; MIR1 3,57-3,60; MIR1 4,07-4,10	87,2% gline, 10% praha, 2,4% pijeska, 0,4% šljunka, 18,2% karbonata
9 4,08 – 5,86	MIR1 4,07-4,10; MIR1 4,97-5,00; MIR1 5,47-5,50	64,8% gline, 32,1% praha, 2,7% pijeska, 0,5% šljunka, 14,2% karbonata
10 5,86 – 9,60	MIR1 5,97-6,00; MIR1 6,37-6,40; MIR1 6,87-6,90; MIR1 7,37-7,40; MIR1 7,87-7,90; MIR1 8,27-8,30; MIR1 8,97-9,00; MIR1 9,37-9,40	45,3% gline, 49,1% praha, 5,5% pijeska, 0,05% šljunka, 20,9% karbonata
11 9,60 – 20,60	MIR1 9,67-9,70; MIR1 10,27-10,30; MIR1 10,67-10,70; MIR1 11,07-11,10; MIR1 11,37-11,40; MIR1 11,77-11,80; MIR1 13,27-13,30; MIR1 14,07-14,10; MIR1 14,87-14,90; MIR1 15,07-15,10; MIR1 16,07-16,10; MIR1 17,07-17,10; MIR1 17,87-17,90; MIR1 18,07-18,10; MIR1 18,47-18,50; MIR1 18,97-19,00; MIR1 19,37-19,40; MIR1 20,07-20,10	43,8% gline, 49,1% praha, 7,1% pijeska, 0,03% šljunka, 22,4% karbonata
12 20,60 – 23,50	MIR1 21,77-21,80; MIR1 22,37-22,40; MIR1 23,47-23,50	49,1% gline, 49,1% praha, 1,7% pijeska, 0% šljunka, 20,4% karbonata
13 23,50 – 29,30	MIR1 24,07-24,10; MIR1 25,47-25,50; MIR1 26,17-26,20; MIR1 27,57-27,60; MIR1 28,57-28,60; MIR1 29,07-29,10	50,6% gline, 45,9% praha, 1,7% pijeska, 1,8% šljunka, 28,7% karbonata
14 29,30 – 30,50	MIR1 29,47-29,50; MIR1 29,87-29,90	47,5% gline, 49,8% praha, 2% pijeska, 0,8% šljunka, 36,1% karbonata
15 30,50 – 30,83	MIR1 30,77-30,80	73,1% gline, 17,6% praha, 6,9% pijeska, 2,4% šljunka, 30,1% karbonata
16 30,83 – 31,17	MIR1 30,97-31,00; MIR1 31,07-31,10	51,7% gline, 33,3% praha, 14,4% pijeska, 0,7% šljunka, 10,4% karbonata
17 31,17 – 31,73	MIR1 31,27-31,30; MIR1 31,67-31,70	60,9% gline, 29,6% praha, 8,8% pijeska, 0,9% šljunka, 20% karbonata
18 31,73 – 32,10	MIR1 31,87-31,90; MIR1 32,07-32,10	52% gline, 43,6% praha, 2,8% pijeska, 1,8% šljunka, 32,9% karbonata
20 32,72 – 33,10	MIR1 32,77-32,80; MIR1 32,97-33,00	49% gline, 46,6% praha, 2,9% pijeska, 1,6% šljunka, 36,4% karbonata
21 33,10 – 33,40	MIR1 33,17-33,20	65,7% gline, 25,9% praha, 7,3% pijeska, 1,1% šljunka, 8,6% karbonata
22 33,40 – 33,90	MIR1 33,77-33,80	35,8% gline, 46% praha, 16,3% pijeska, 1,9% šljunka, 11,4% karbonata
23 33,90 – 34,50	MIR1 34,07-34,10; MIR1 34,37-34,40	22,8% gline, 57,6% praha, 19,4% pijeska, 0,3% šljunka, 39,2% karbonata

7.1. (NE)POKLAPANJE TERENSKOG I LABORATORIJSKOG OPISA

Prema terenskom opisu sedimenta, peti sloj 1,72-2,38 m dubine opisan je kao glinoviti prah s manje od 20% gline i velikim udjelom karbonata s obzirom na vrlo jaku reakciju s HCl. Međutim, prema dva analizirana uzorka u rasponu od MIR1 2,07 do 2,40 koji odgovaraju 5. sloju **(Tablica 3)**, aritmetička sredina od 56,25% gline i 41,55% praha ne odgovaraju terenskoj procjeni dok karbonata imaju prosječno 26,4% što odgovara jačini reakcije na HCl. Na terenu nije zamijećeno, no prema laboratorijskim analizama u uzorcima je još bilo i prosječnih 1,7% pijeska i 0,5% šljunka. Granulometrijski opis/tip uzoraka je mulj do slabo šljunkoviti mulj.

Šesti sloj 2,38-2,78 m dubine terenski je opisan kao svjetlije sivi glinoviti prah i tamnije sivi organski glinoviti prah oboje s vrlo slabom reakcijom na HCl, no njemu odgovarajući analizirani uzorak MIR1 2,47-2,50 **(Tablica 3)** sadrži 3% pijeska i 0,2% šljunka, što se terenski nije ustanovilo, te 85,6% gline i 11,2% praha dok karbonata ima 11,5%. Granulometrijski opis/tip analiziranog uzorka bio bi glina. Dakle, terenska procjena omjera gline i praha je netočna.

Sedmi sloj 2,78-2,98 m dubine sličan je prethodnom te je terenski također opisan kao svjetlije sivi glinoviti prah i tamnije sivi organski glinoviti prah s vrlo slabom reakcijom na HCl. Ovom sloju jedini odgovarajući analizirani uzorak MIR1 2,97-3,00 **(Tablica 3)** sadrži 2% pijeska što se terenski nije ustanovilo, te 95,2% gline i 2,7% praha dok karbonata ima 11,7%. Granulometrijski opis/tip analiziranog uzorka također bi bio glina, dakle, i u ovome sloju je terenska procjena omjera gline i praha netočna.

Terenski opis osmog sloja 2,98-4,08 m dubine je glinoviti prah s manje od 25-30% gline s vrlo jakom reakcijom na HCl. Tri analizirana uzorka u rasponu od MIR1 2,97 do 4,10 **(Tablica 3)** imaju srednju vrijednost od 87,23% gline, praha 9,97% i karbonata 18,23% te pijeska 2,37% i šljunka 0,4%. Može se vidjeti da se terenska procjena ponovno razlikuje od mjerenih podataka glede omjera praha i gline. Također postoje i nelogičnosti kod subjektivne procjene jačine reakcije uzoraka s HCl s obzirom da je gotovo ista srednja vrijednost karbonata u ovom sloju i sloju ispod, no jačine reakcije na HCl su različite. Granulometrijski opis/tip analiziranih uzoraka bio bi glina do slabo šljunkoviti mulj.

Deveti sloj 4,08-5,86 m dubine je na terenu opisan kao organska prahovita glina jake do vrlo jake reakcije s HCl, međutim 3 analizirana uzorka u rasponu od MIR1 4,07 do 5,50 **(Tablica 3)** su određeni kao mulj i slabo šljunkoviti mulj aritmetičke sredine pijeska 2,67% i

šljunka 0,5% koji na terenu nisu zabilježeni te gline 64,77%, praha 32,07% i karbonata 14,23% što se uglavnom slaže s opisom na terenu osim procjene reakcije s HCl.

Deseti sloj 5,86-9,60 m dubine opisan je na terenu kao prahovita glina vrlo jake reakcije s HCl dok su osam analiziranih uzoraka u rasponu od MIR1 5,97 do 9,40 **(Tablica 3)** granulometrijski određeni kao mulj ili pjeskoviti mulj zbog prosječnog iznosa pijeska 5,53% i šljunka 0,05% te zbog središnje vrijednosti gline od 45,31%, praha 49,1% i karbonata 20,88%. Terenska procjena količine gline i praha te jačina reakcije s HCl uglavnom odgovaraju laboratorijskim podacima, no prisutnost pijeska i šljunka nije zabilježena.

Terenski opis jedanaestog sloja 9,60-20,60 m dubine je prahovita glina jake do vrlo jake reakcije s HCl, a 18 analiziranih uzoraka u rasponu od MIR1 9,67 do 20,10 **(Tablica 3)** imaju prosječne vrijednosti gline 43,78%, praha 49,1% i karbonata 22,42% što se slaže s terenskom procjenom. Srednje vrijednosti pijeska 7,1% i šljunka 0,03% ustanovljene su tek laboratorijski stoga je granulometrijski opis/tip uzoraka mulj ili pjeskoviti mulj.

Dvanaesti sloj 20,60-23,50 m dubine opisan je terenski kao prahovita glina s barem 30% praha jake do vrlo jake reakcije s HCl i njemu odgovarajuća tri analizirana uzorka u rasponu od MIR1 21,77 do 23,50 **(Tablica 3)** imaju aritmetičku sredinu gline 49,13%, praha 49,13% i karbonata 20,4% što se ponovno slaže s terenskom procjenom. U uzorcima je još ustanovljen prosječni iznos pijeska 1,73%. Granulometrijski sastav analiziranih uzoraka određen je kao mulj.

Trinaesti sloj 23,50-29,30 m dubine je terenski opisan kao prahovita glina s barem 30% praha vrlo jake reakcije s HCl. Šest analiziranih uzoraka u rasponu od MIR1 24,07 do 29,10 **(Tablica 3)** ima prosjek gline 50,6%, praha 45,85%, a udio karbonata je 28,73% što se poklapa s procjenom na terenu. Tek je laboratorijski ustanovljen prosječni iznos pijeska 1,7% i šljunka 1,83%. što znači da su po granulometrijskom sastavu uzorci mulj i slabo šljunkoviti mulj ili šljunkoviti mulj.

Četrnaesti sloj 29,30-30,50 m dubine terenski je opisan kao prahovita glina vrlo jake reakcije s HCl te su njemu odgovarajuća dva analizirana uzorka u rasponu od MIR1 29,47 do 29,90 **(Tablica 3)** prosječno sastavljeni od 47,45% gline, 49,75% praha i 36,1% karbonata što se ne slaže s procjenom na terenu. Tek je laboratorijski ustanovljeno da u uzorcima još ima srednja vrijednost pijeska 2% i šljunka 0,8% što znači da im je granulometrijski opis/tip slabo šljunkoviti mulj.

Terenski opis petnaestog sloja 30,50-30,83 m dubine je prahovita glina vrlo jake reakcije s HCl koja sadrži leće organske gline. Jedini odgovarajući analizirani uzorak MIR1 30,77-30,80

(Tablica 3) ima gline 73,1%, praha 17,6% i karbonata 30,1% što je točno s obzirom na terensku pretpostavku. Tek je laboratorijski bilo moguće ustanoviti 6,9% pijeska i 2,4% šljunka. Granulometrijski opis/tip analiziranog uzorka je prema tome slabo šljunkoviti mulj.

Šesnaesti sloj 30,83-31,17 m dubine opisan je terenski kao organska slabo prahovita glina i organska prahovita glina jake do vrlo jake reakcije s HCl dok organska komponenta (treset) jedva reagira s HCl. Dva analizirana uzorka u rasponu od MIR1 30,97 do 31,10 **(Tablica 3)** imaju prosječnu vrijednost gline 51,65%, praha 33,3% i karbonata 10,35% što je uglavnom točno, no vidi se greška u procjeni reakcije s HCl. Laboratorijski je ustanovljeno da uzorci prosječno sadrže 14,4% pijeska i 0,65% šljunka. Granulometrijski opis/tip analiziranih uzoraka je stoga slabo šljunkovito pjeskoviti mulj.

Sedamnaesti sloj 31,17-31,73 m dubine opisan je terenski kao organska prahovita glina nikakve do slabe reakcije s HCl. Dva analizirana uzorka u rasponu od MIR1 31,27 do 31,70 **(Tablica 3)** imaju srednju vrijednost gline 60,9%, praha 29,55% i karbonata 20% što se slaže s terenskom pretpostavkom, no procjena udjela karbonata na temelju reakcije s HCl je uglavnom pogrešna. Analizama u laboratoriju dobila se prosječna vrijednost pijeska 8,75% i šljunka 0,9%. Dakle, granulometrijski opis/tip analiziranih uzoraka je slabo šljunkoviti mulj ili slabo šljunkovito pjeskoviti mulj.

Osamnaesti sloj 31,73-32,10 m dubine opisan je terenski kao prahovita glina i organska prahovita glina vrlo jake reakcije s HCl. Dva analizirana uzorka u rasponu od MIR1 31,87 do 32,10 **(Tablica 3)** imaju središnju vrijednost gline 51,95%, praha 43,6% i karbonata 32,85% što se ponovno sve slaže s terenskom procjenom. Međutim, granulometrijski opis/tip analiziranih uzoraka je slabo šljunkoviti mulj s obzirom na laboratorijski dobivene prosječne vrijednosti pijeska 2,75% i šljunka 1,75%.

Devetnaesti sloj 32,10-32,72 m dubine opisan je terenski kao prahovita glina i organska prahovita glina vrlo jake reakcije s HCl, no nije moguće provjeriti točnost terenske procjene s obzirom da nema odgovarajućih analiziranih uzoraka uzetih unutar tog sloja.

Dvadeseti sloj 32,72-33,10 m dubine opisan je terenski kao glinoviti prah s barem 35% gline vrlo jake reakcije s HCl. Dva analizirana uzorka u rasponu od MIR1 32,77 do 33,00 **(Tablica 3)** imaju srednju vrijednost gline 48,95%, praha 46,55% i karbonata 36,35% što je točno ako se gleda odnos praha i gline te procjena reakcije s HCl. Laboratorijski se dobio prosjek pijeska 2,9% i šljunka 1,6% što mijenja granulometrijski opis/tip u slabo šljunkoviti mulj.

Dvadesetprvi sloj 33,10-33,40 m dubine opisan je terenski kao prahovita glina s barem 30% praha bez ikakve reakcije s HCl. Jedini odgovarajući analizirani uzorak MIR1 33,17-33,20 **(Tablica 3)** ima vrijednost gline 65,7%, praha 25,9% i karbonata 8,6% što je uglavnom točno, osim ponovno procjene reakcije s HCl. Terenski nije ustanovljeno, ali je analizama dokazano da je u uzorku još 7,3% pijeska i 1,1% šljunka. Granulometrijski opis/tip analiziranih uzoraka je stoga slabo šljunkoviti mulj.

Dvadesetdrugi sloj 33,40-33,90 m dubine opisan je terenski kao prahovita glina bez ikakve reakcije s HCl. Jedini odgovarajući analizirani uzorak MIR1 33,77-33,80 **(Tablica 3)** ima udio gline 35,8%, praha 46% i karbonata 11,4% što se dosta razlikuje od terenske procjene. Analizama uzorka u laboratoriju je ustanovljeno 16,3% pijeska i 1,9% šljunka pa je granulometrijski opis/tip slabo šljunkovito pjeskoviti mulj.

Dvadesettreći sloj 33,90-34,50 m dubine opisan je terenski kao glinoviti prah s manje od 15% gline, koji u sebi sadrži lamelu/proslojak sitnozrnatog prahovitog pijeska, vrlo jake reakcije s HCl. Dva analizirana uzorka u rasponu od MIR1 34,07 do 34,40 **(Tablica 3)** imaju prosjek/središnju vrijednost gline 22,8%, praha 57,55% i karbonata 39,2% što je uglavnom točno osim kod procjene gline. Terenskom procjenom također nije ustanovljeno prosječnih 19,4% pijeska i 0,25% šljunka. Granulometrijski opis/tip analiziranih uzoraka je između pjeskovitog mulja i slabo šljunkovito pjeskovitog mulja.

Iz svega navedenog može se zaključiti da su terenski opisi i procjene previše nepouzdane i neprecizne da bi se same za sebe koristile kao rezultati znanstvenih istraživanja. No u ovom diplomskom radu su terenski opisi dosta dobro pogodili sastav pojedinih analiziranih uzoraka koji odgovaraju tim slojevima s obzirom na to da se 11 slojeva uglavnom poklapa, a 7 uglavnom ne poklapa s analiziranim uzorcima. Terenska procjena sastava sedimenata nije niti mogla biti bolja s obzirom da je prvih 40 m jezgre jednoliko po sedimentnom sastavu i uglavnom se sastoji od sitnozrnatih sedimenata (prah i glina). Radi svega navedenog bi terenski opis ove specifične jezgre dobio prolaznu ocjenu 3.

7.2.SEDIMENTACIJSKI OKOLIŠI DELTE RIJEKE MIRNE KROZ VRIJEME

Recentni taložni okoliši u ušću rijeke Mirne uglavnom su deltne aluvijalne ravnice, slane/brakične močvare u neposrednoj blizini riječnog ušća te mali dio podmorja kojeg se može definirati kao plitki unutrašnji/središnji estuarijski okoliš. S obzirom da se jezgra uglavnom sastoji od mulja s izmjeničnim slojevima prahovite gline ili glinovitog praha s malim udjelom pijeska (fini pijesak i vrlo fini pijesak) i vrlo malim udjelom šljunka (fragmenti školjkaša slatkovodnih i marinskih bivalvia i gastropoda, karbonatne konkrecije te pokoji biljni ostaci kao fragmenti drva) prema FELJA et al. (2015) mogu se razlikovati sljedeći taložni okoliši:

Aluvijalni/deltni okoliši (aluvijalna ravnica / slatkovodna močvara):

Na površini i u potpovršinskom dijelu doline rijeke Mirne nalaze se aluvijalne/deltne naslage. Naslage čine homogeni prahoviti i glinoviti sedimenti, tj. muljevi bez vidljive laminacije osim horizontalne slojevitosti. Često je bilo prisutno i korijenje promjera 1 do 10 mm dok se makropoaleontološki sadržaj/sastav sastojao od fragmenata slatkovodnih puževa. Ovi sedimenti su uglavnom oksidirani i djelomično pod utjecajem pedogeneze te imaju tragove trošenja od površine sve do početka vodnog lica (2,5 m ispod površine). Kalcij-karbonatne konkrecije su se također mogle pronaći na tim dubinama, čak i dublje, do 7 m ispod površine, a njihova prisutnost se pripisuje otapanjem karbonata iz gornjih horizonata koji su se potom taložili u obliku konkrecija u donjim horizontima. Njihov promjer je relativno mali, između 1 i 10 mm, zbog kratkog vremena taloženja od tek nekoliko stoljeća (RETALLACK, 1990). U istraživanom području su sedimenti interprentirani kao slatkovodni facijes uglavnom bez foraminifera, uz neke iznimke u dubljim dijelovima drugih jezgri iz rada FELJA et al. (2015). Razlikovanje aluvijalnih facijesa povezano je s raznolikosti veličine zrna u sedimentu, posebice prema pojavi krupnijih čestica i sedimenata u riječnom kanalu ili u njegovoj blizini (MIALL, 1996). S obzirom da u jezgri nisu pronađeni sedimenti kanala ili prirodnih rukavaca može se zaključiti da se facijes kanala također sastojao od praha i glinovitih prahova uz rijetku prisutnost grubljih čestica kao npr. pijeska. To se može objasniti, ako se uzme u obzir da su sitno zrnati lapori prevladavali u izloženim sekvencama fliša sliva rijeke Mirne (FELJA, et al., 2015). Naslage kasnog holocena ovog područja okarakterizirane su facijesom poplavne ravnice i facijesom aluvijalne močvare koju obilježava pojava slojeva bogatih organskom

tvari i tresetom. U tim slojevima česti su i obilni makrofosili biljaka te sjemenke i fragmenti lišća.

Prijelazni okoliši (brakična/slana močvara / unutarnji estuarij):

Sedimenti okoliša vezanih uz brakične vode prepoznaju se u jezgri po prisutnosti ljuštura mekušaca u sedimentu. Posebice pojava *Cerastoderma* sp. u povezanosti s *Loripes* sp. i *Bittium* sp. je karakteristika facijesa brakične/hiposaline močvare kao i facijesa unutarnjeg estuarija koji su pod dominantnim fluvijalnim utjecajem i djelomičnim marinskim utjecajem. Krški okoliši su još dodatno pod utjecajem slatkovodnih izvora. Sedimente taložene u tim facijesima teško je međusobno razlikovati na makroskopskoj skali i litološki s obzirom da se oba sastoje od sivih i zelenkastih muljeva meke konzistencije s promjenjivim stupnjem bioturbacije i prisutnošću milimetarskih biljnih ostataka. Obalne/prijelazne okoliše i brakično/hiposaline močvare može se prepoznati prema fosilima foraminifera *Ammonia* sp. i *Haynesina* sp. (MURRAY, 1991, 2006; ALBANI et al., 2007; AMOROSI et al., 2004, 2005) što ukazuje na to da se sedimentacija odvijala u brakičnim močvarama ili barama na plimnim ravnicama s povremenim priljevom slatke vode tijekom poplavljivanja rijeke Mirne. Prisutnost foraminiferskih vrsta *Elphidium* sp. i miliolida u sedimentu, koje se smatraju pionirskim vrstama (VANIČEK et al., 2000; DEBENAY et al., 2001), ukazuju da se taloženje odvijalo u facijesu unutarnjeg estuarija te ukazuju na promjenu okoliša u marinske uvjete (MURRAY, 2006).

Okoliš središnjeg/vanjskog estuarija:

Duboki dijelovi dviju jezgara M1 i M2 (FELJA, 2017) taloženi u ovom okolišu su sivi do zelenkasto sivi muljevi, meke do normalne konzistencije sa znatnom prisutnošću laminiranih intervala. Lamine su milimetarskih dimenzija i mogu sadržavati organsku tvar u obliku koncentriranih biljnih ostataka te fragmenata drveća. Prisutnost makrofosila *Cerithium* sp., *Nuculana* sp. i *Mytilus* sp. ukazuju na relativno veći salinitet i taloženje u okolišu otvorenog estuarija. Foraminiferske zajednice pronađene u uzorcima iz tih jezgara također ukazuju na okoliš s pojačanim marinskim utjecajem. U dubljim dijelovima jezgre MIR1 do 27 m ispod površine ljušture *Turritella* sp., *Ostrea* sp. i *Dentalium* sp. **(Slika 17c, 18b,c)** ukazuju na stabilne marinske uvjete i na okoliš vanjskog estuarija. Svi podaci jezgara iz FELJA (2017) zajedno s podacima iz jezgre MIR1 ukazuju da se radi o stratificiranom središnjem/vanjskom estuarijskom okolišu u geomorfološkom slijedu doline koji je

nekadašnji zaljev rijeke Mirne štitio od morskih oluja i valova **(Slika 1)**. Ti su facijesi interpretirani kao subtajdalni središnji/vanjski estuarijski okoliši na koje je utjecao dotok slatke vode iz rijeke Mirne. Laminacija je nastala riječnim poplavama koje su u kratkom vremenu nanosile velike količine sedimenata bogatog ostacima biljaka i fragmentima drveća sve do riječnog ušća. U zaštićenom okolišu zaljeva rijeke Mirne su riječni i krški dotoci slatke vode uzrokovali pojavu vrlo stratificiranog estuarijskog okoliša koji seže u more i dalje od samog ušća rijeke Mirne. Da se radi o drugačijem geomorfološkom slijedu s otvorenom obalom, na tom bi području bila prisutna marinska fauna što nije slučaj kod rijeke Mirne s obzirom na nedostatak krupnijeg sedimenta kao npr. pijeska (PERES & PICARD, 1964).

7.3. EVOLUCIJA DOLINE RIJEKE MIRNE OD HOLOCENA DO DANAS

Detaljni opisi i analize prvih 35 metara duboke jezgre MIR1 daju dobar uvid u sastav starijih sedimenata (duboko ispod sadašnje površine) i omogućavaju njihovu interpretaciju te stvaranje pretpostavki o stratigrafiji promatranog područja. Kako se ide u dubinu duž jezgre karbonatni se udio i veličina zrna ne mijenjaju previše što onemogućava jasno razlučivanje taložnih okoliša na temelju tih karakteristika. Stoga je njihova interpretacija uglavnom bazirana na fosilnim ostacima bivalvia i gastropoda te sedimentnim značajkama **(Slika 11, Tablica 2)**.

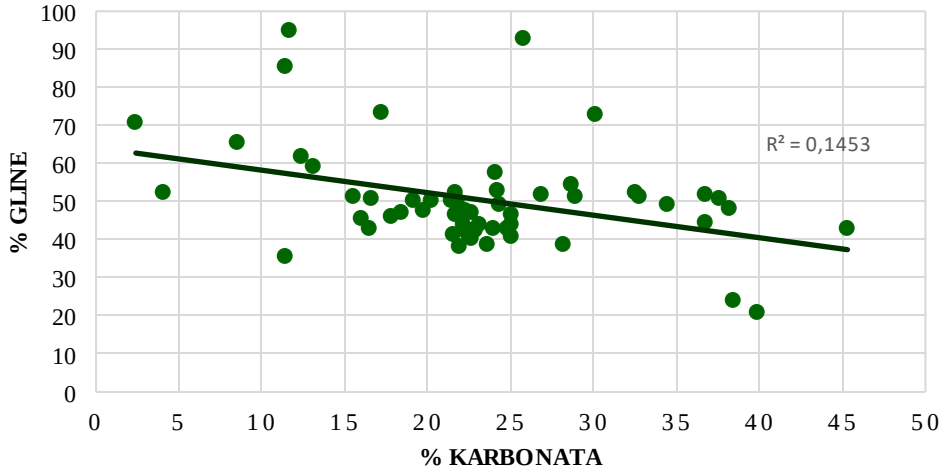
Prema FELJA & FONTANA (2015) na dubini između 40,00 m i 39,90 m ima karbonatnih konkrecija u izobilju kao i dobro razvijenog tla na vrhu što ukazuje na taloženje aluvijalnih sedimenata u kasnom pleistocenu. Prvi lagunski unos sedimenata se vrlo vjerojatno dogodio na dubini od 33,40 m, no prve lagunske školjkaše moglo se pronaći tek na dubini od 33,10 m. S obzirom na fosilni sadržaj, sve do 31,70 m radi se o taložnom okolišu unutarnjeg estuarija. Organski sloj između 31,72 i 30,83 m ukazuje na moguću slanu močvaru/slatinu ili na sedimente slatkovodne/brakične močvare koja je postala slana močvara/slatina. S obzirom na rezultate datiranja radiometrijskom metodom ugljika ^{14}C organskih slojeva jezgre MIR1 iz FELJA (2017) može se zaključiti da je debljina sedimenata istaložena tijekom holocena u krajnjem dijelu deltne ravnice rijeke Mirne (u blizini vijadukta) iznosila 31 m.

Od dubine 30,30 m prema površini okoliš se, nakon porasta razine mora uzrokovane taloženjem sedimenata, promijenio u otvorenu lagunu/središnji estuarij sve dok se konačno nije razvio u okoliš otvorenog estuarija tijekom transgresivnog sistemskog trakta (TST). Dva sloja jezgre MIR1 između 20,60 m i 29,30 m dubine sadrže mnogo ljuštura gastropoda *Turritella* sp. i jako su bioturbirani. Znatna zastupljenost tog gastropoda u slojevima ukazuje na to da je tada bilo maksimalno holocensko poplavljivanje, tj. da je marinski utjecaj tada bio najveći. Nakon tog perioda uslijedila je progradacija delte unutar estuarija rijeke Mirne (FELJA & FONTANA, 2015).

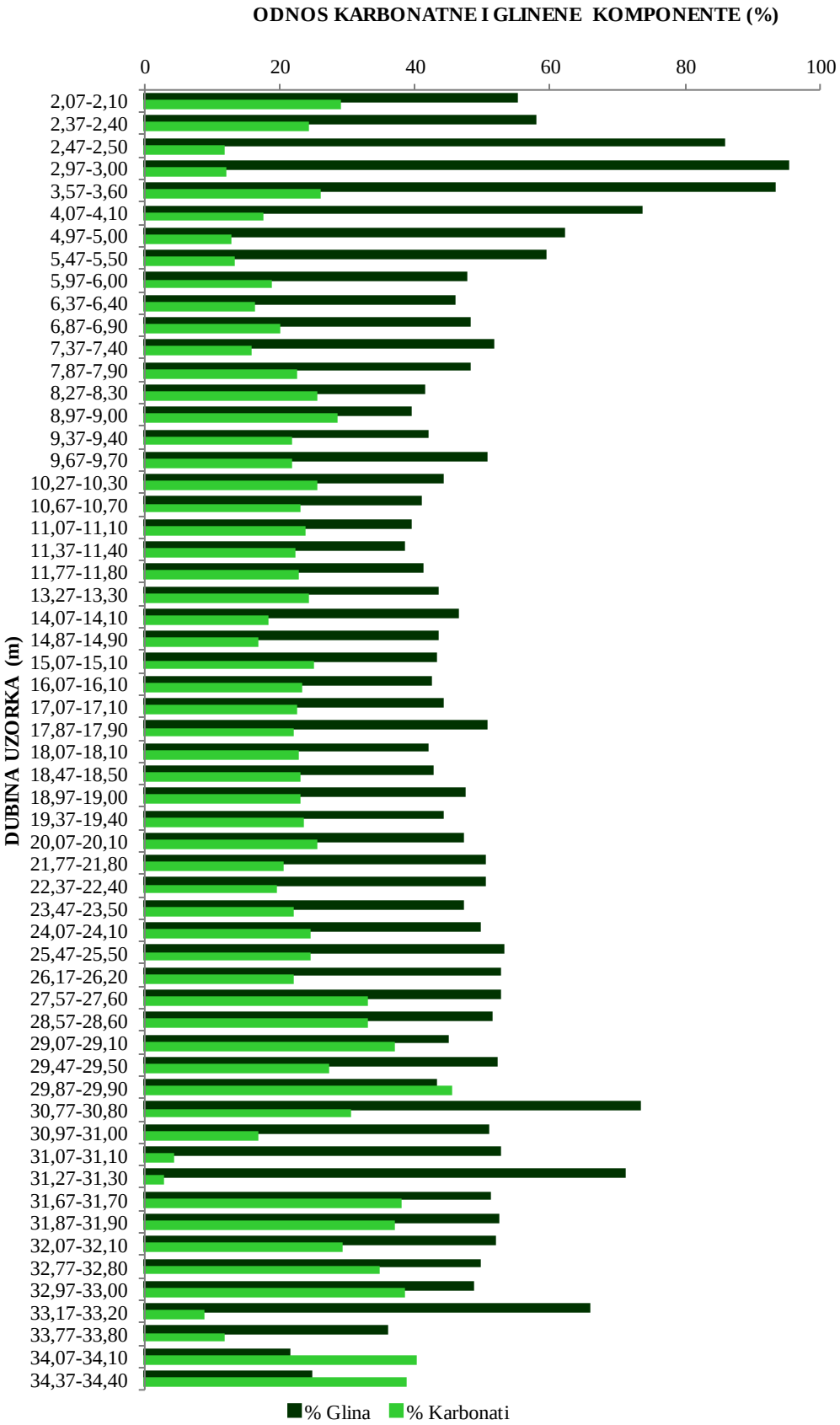
Promjene u zajednicama bivalvia i gastropoda u intervalu između 20,60 m i 5,86 m ukazuju na to da je došlo do oplićavanja estuarija te da je delta unutar estuarija progradirala prema okolišu srednjeg/vanjskog estuarija tijekom sistemskog trakta visoke razine (HST). Rijetka prisutnost školjkaša i izobilje uslojenih milimetarskih biljnih ostataka ukazuje na deltni/estuarijski unos slatke vode iz Mirne što je imalo za posljedicu brzu sedimentaciju i značajne oscilacije u salinitetu vode. U FELJA (2017) datiranjem radiometrijskom metodom ugljika ^{14}C otkriveno je da se u intervalu od 19,46 m do 5,95 m dubine sedimentacija odvijala

toliko brzo da se u manje od 1200 godina istaložilo čak 14 m sedimenta. S obzirom da u slojevima u tom rasponu nije pronađen gastropod *Turritella* sp. može se zaključiti da su uvjeti tada bili uvelike drugačiji od uvjeta taloženja zabilježenim u dubljim slojevima. Slojevi u rasponu od 5,6 m do 2,98 m mogu se usporediti s facijesom unutarnjeg estuarija s unosom sedimenta iz rijeke što se da zaključiti po količini biljnih ostataka u sedimentu. Sloj od 2,98 m do 1,72 m sadrži sedimente brakičnih okoliša dok se od površine do dubine od 1,72 m nalaze sedimenti aluvijalne ravnice, oksidirani zbog pedogeneze i fluktuacije vodnog lica (FELJA & FONTANA, 2015).

Posebna karakteristika doline rijeke Mirne je nedostatak krupnih sedimenata tijekom srednjeg i kasnog holocena pa se zato i facijesi predobalja i obalnog lica (delta unutar estuarija i prodelta) sastoje od sitno zrnatog sedimenta tj. od gline i praha. Gledano kroz geološku prošlost progradacije rijeke Mirne, u periodima u kojima se odvijala brza sedimentacija sitno zrnatog sedimenta (gline i praha), karbonatni udio je manji. Samo u okolišima u kojima je sedimentacija spora morska fauna s ljušturama građenim od $CaCO_3$ može obitavati pa zato i karbonatni udio u takvim slojevima raste. Stoga nije čudno što je na terenu primijećeno da je odnos količine gline u uzorcima i jačina reakcije s HCl obrnuto proporcionalan s obzirom da vrlo glinoviti sedimenti slabo reagiraju s HCl **(Tablica 1)**. Prema laboratorijskim rezultatima napravljena su dva grafikona **(Slika 19 & Slika 20)** iz kojih se takav odnos glinene i karbonatne komponente lijepo može prepoznati. Faktor korelacije **(Slika 19)** između vrijednosti tih dviju varijabli (glina i karbonata) izračunat je u računalnom programu Microsoft® Office Excel i iznosi r = - 0,3812.



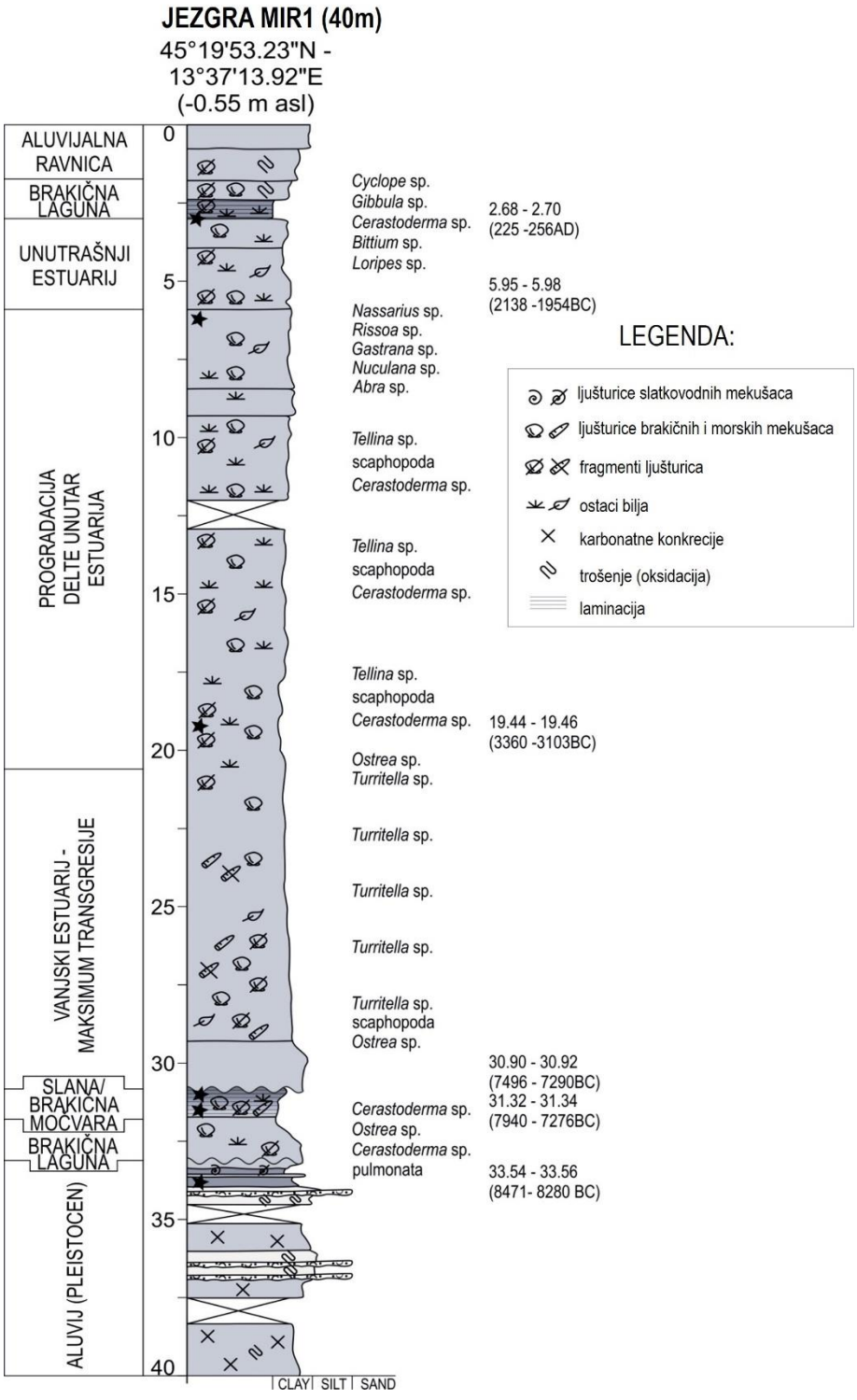
Slika 19 Grafikon obrnuto proporcionalnog odnosa karbonatne i glinene komponente u 58 analiziranih uzoraka sedimenata duboke jezgre iz delte rijeke Mirne



Slika 20 Grafikon odnosa karbonatne i glinene komponente u 58 analiziranih uzoraka sedimenata duboke jezgre iz delte rijeke Mirne

U radu FELJA et al. (2015) radioaktivnim datiranjima su prikupljeni podaci koje vode do korisnih spoznaja o relativnim razinama mora kroz geološku prošlost. Za datiranje posebno su pogodni slojevi koji su se razvijali u okolišima blizu tadašnje razine mora tijekom kasne Antike (počinje u 3. – 4. stoljeću). U središnjem dijelu doline rijeke Mirne datirani sloj ukazuje da je relativna razina mora u rimsko doba bila 2,9 m ispod današnje srednje razine mora dok je na drugim mjestima u Istri razina mora ustanovljena između 1,9 m i 1,6 m (ANTONIOLI et al, 2007) što znači da je došlo do jakog slijeganja nakon kasne Antike. U delti rijeke Po i u venecijanskoj ravnici (BRAMBATI et al., 2003; STEFANI & VINCENZI, 2005) taj proces je u skladu sa sedimentacijskom kompakcijom s obzirom da se tijekom proteklog tisućljeća na području doline rijeke Mirne istaložilo preko 5 m prahovitog i glinenog sedimenta donjeg estuarija i lagune. Međutim, moguće je da je u proteklom stoljeću došlo do dodatnog antropogenog slijeganja uslijed osvajanja tla. S obzirom da je tijekom ranog srednjeg vijeka evolucija doline bila pod velikim utjecajem ljudske aktivnosti, kao što je iskorištavanje šuma u slivu rijeke, ogoljene su velike površine fliša koje su se potom brzo erodirale. Tako velika količina sitno zrnatog sedimenta zapunila je tok rijeke Mirne te je došlo do brze progradacije delte unutar estuarija što je dramatično promijenilo topografiju same doline (FELJA et al., 2015).

U razdoblju ranog holocena (7000 – 8000 pr. Kr.) je okoliš brakične/slane močvare zadirao dublje u kopno u odnosu na recentne slane močvare/slàtine što i dokazuje jezgra MIR1 na dubini od 31,32 m (FELJA, 2017). U tadašnje doba more je bilo 30 m ispod današnje srednje razine mora i dolazilo je do poplavljivanja usječene doline rijeke Mirne koju su tijekom glacijalnog perioda ispunjavali sedimenti riječnih kanala i aluvijalnih ravnica. Prema FELJA et al. (2015) se poplavljivanje doline nastavilo sve dok porast razine mora nije usporio (oko 4500 prije Krista) te je more vjerojatno ulazilo za 11 km više u dolinu rijeke Mirne sve do današnjeg mosta Ponte Portona, što je zaključeno prema središnjim/vanjskim estuarijskim okolišima. U razdoblju između 200. i 350. godine n.e. progradacija delte unutar estuarija vrlo je uznapredovala što se i vidi u jezgri MIR1 na dubini od 2,13 m ispod srednje razine mora po prijelaznim okolišima (brakična močvara/unutarnji estuarij). Nastavak progradacije delte unutar estuarija rijeke Mirne doveo je do sadašnjeg položaja taložnih okoliša. U svrhu boljeg prikaza podataka iz tablica (**Tablica 1** & **2)** te boljeg razumijevanja geomorfološkog slijeda, taložnih okoliša i fosilnog sastava flore i faune nađenog u prvih 40 m jezgre MIR1 napravljen je stratigrafski stup **(Slika 21)**.



Slika 21 Stratigrafski stup prvih 40 m jezgre MIR1 s oznakama fosilnih ostataka i taložnih okoliša. Preuzeto i preuređeno iz doktorske disertacije (FELJA, 2017).

Na stratigrafskom stupu prikazan je slijed taložnih okoliša/facijesa koji su se izmjenjivali kroz vrijeme (od prije 10000 godina do danas) kako je delta unutar estuarija rijeke Mirne progradirala.

Iz svih podataka dobivenim sedimentološkim i paleontološkim analizama 58 uzoraka duboke jezgre rijeke Mirne te uz pomoć interpretacija i informacija iz drugih radova koji se bave sličnom tematikom (FELJA et al. 2015; FELJA, 2017, FELJA & FONTANA, 2015) moguće je s određenom točnošću odrediti slijed facijesa koji su se izmjenjivali od prije 10.000 godina (donji dio jezgre) do danas (gornji dio jezgre). Kako se ide duž jezgre od 40 m dubine prema površini prvi je aluvijalni facijes pleistocenske starosti. Njemu odgovara 23. sloj terenskog opisa **(Tablica 1)**. Nakon toga je počela trangresija mora i nastao je facijes brakične lagune, kojem odgovaraju slojevi 18 – 22 terenskog opisa **(Tablica 1)**, nakon čega slijedi facijes brakične močvare kojem odgovaraju slojevi 16 i 17 terenskog opisa **(Tablica 1)**. Nakon toga dolazi do maksimalnog poplavljivanja, tj. maksimalne transgresije gdje nastaje facijes vanjskog estuarija kojem odgovaraju slojevi 12, 13, 14 i 15 **(Tablica 1)**. U sloju 13 fosili gastropoda *Turritella* sp. i bivalvia *Ostrea* sp. **(Slika 18b,c)** također ukazuju na dubokomorske marinske uvjete. Nakon toga je slijedila progradacija delte unutar estuarija i tome odgovaraju slojevi 10 i 11 **(Tablica 1)**. Fosil sloja 10 gastropoda *Nassarius* sp. **(Slika 17b)** i fosili sloja 11 scaphopoda *Dentalium* sp. i gastropoda *Rissoa* sp. **(Slika 17c i 18a)** ukazuju na početak pojačavanja marinskog utjecaja na okoliš. S vremenom je došlo do zapunjavanja estuarija i oplićavanja uslijed čega nastaje facijes unutrašnjeg estuarija, kojem odgovaraju slojevi 6 i 7 **(Tablica 1)**, tj. facijes brakične lagune. Brakičnoj laguni odgovara sloj 5 **(Tablica 1)** u kojem je nađen fosil gastropoda *Bittium* sp. **(Slika 17a)**. Laguna je zatrpana recentnim sedimentima poplavne ravnice koji su ujedno i sami vrh jezgre tj. površinski sediment i odgovaraju slojevima 1,2,3,4 **(Tablica 1)**.

Ovaj diplomski rad samo je jedan od mnogih radova kojima je svrha pomoći rekonstruirati klimatske promjene i razine mora istočnog Jadrana i Sredozemlja tijekom mlađeg pleistocena i holocena. Svi podaci dobiveni laboratorijskim analizama 58 uzoraka **(Slika 11, Tablica 2)** napravljeni u ovom diplomskom radu slažu se u potpunosti i dokazuju točnost dosad postavljenih hipoteza o razvoju obala i delta/estuarija sjevernog Jadrana nakon posljednje velike glacijacije kao što je opisano u FELJA (2017), FELJA et al. (2015) itd.

8. ZAKLJUČAK

Usklađenim korištenjem rezultata sedimentoloških i makropaleontoloških istraživanja omogućeno je prepoznavanje različitih taložnih okoliša i rekonstrukcija njihove longitudinalne i vertikalne raspodjele kroz vrijeme.

S obzirom da se sedimenti kasnog holocena na području doline rijeke Mirne sastoje uglavnom od gline i praha, razlikovanje pojedinih taložnih okoliša bilo bi nemoguće bez dodatnih paleontoloških analiza. Iz ovog diplomskog rada se može zaključiti da su na evoluciju i razvoj različitih okoliša u području riječnog ušća Mirne najviše utjecale promjene razine mora tijekom pleistocena i holocena. Proučavana sedimentna jezgra sadrži zapise o tim promjenama u okolišu budući da svaki okoliš sadrži karakteristične fosilne zajednice i sedimentne značajke koje odražavaju uvjete života u njima i sedimentacije materijala kako je ušće rijeke progradiralo s vremenom. U posljednjih 6500 godina, delta unutar estuarija rijeke Mirne je progradirala za oko 7 km i napunila dolinu sedimentima debljine do 13 m. Kako se ide duž jezgre od površine do prvih 40 m duboke jezgre MIR1, prema FELJA et al. (2015) mogu se razlikovati sljedeći taložni okoliši: površinski aluvijalni facijes, facijesa brakične lagune/močvare ispod kojega su facijesi unutarnjeg estuarija/lagune i vanjskog estuarija. Facijes vanjskog estuarija nastao je zbog postojanog dotoka slatke vode iz rijeke što je smanjilo salinitet i omogućilo da umjesto marinske faune na ušću rijeke ima i brakične faune. Također se može reći da se antropogeni utjecaj na evoluciju riječne doline Mirne od antičkog doba sve do danas konstantno povećavao s obzirom da je krčenje šuma potpomognulo eroziji velikih područja sastavljenih od fliša i brzom zapunjavanju krške doline i progradacije delte unutar estuarija.

Ovaj diplomski rad samo je dio istraživanja koje je pomoglo u rekonstrukciji klimatskih promjena i relativnih razina mora na području istočnog Jadrana i na Sredozemlju tijekom mlađeg pleistocena i holocena, budući da su do sada relativno slabo istraženi. Rezultati tog istraživanja doprinose boljem razumijevanju estuarijskih delti, njihovom razvoju i zaštiti. Ovim diplomskim radom također je dokazano da su terenske metode procjene sastava sedimenta još uvelike neprecizne u detaljima da bi se zasebno koristile bez laboratorijske provjere, koje ih samo nadopunjavaju. Može se reći da je terenski opis jezgre MIR1 bio dosta točan u usporedbi s konkretnim rezultatima laboratorijskih analiza s obzirom na jednoliki sedimentološki sastav analiziranog dijela jezgre.

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–key 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.

ANTONIOLI, F., ANZIDEI, M., AURIEMMA, R., GADDI, D., FURLANI, S., LAMBECK, K., ORRU', P., SOLINAS, E., GASPARI, A., KARINJA, S., KOVAČIĆ, V. & SURACE, L. (2007): Sea level change during Holocene from Sardinia and Northeastern Adriatic from archaeological and geomorphological data.– Quaternary Science Review, 26, 2463–2486.

ANTONIOLI, F., AMOROSI, A., BONDESAN, A, BRAITENBERG, C., DUTTON, A., FERRANTI, L., FONTANA, A., FONTOLAN, G., FURLANI, S., LAMBECK, K., MASTRONUZZI, G., MONACO, C. & ORRU', P. (2009): A review of the Holocene sea–level changes and tectonic movements along the Italian coastline. Quaternary International, 206, 102-133.

BABIĆ, Ž. (1968): Prilog poznavanja hidrogeoloških odnosa južne i srednje Istre. Geološki vjesnik, 21, 295 – 305

BARBER, D. C., A. DYKE, C. HILLAIRE-MARCEL, A.E. JENNINGS, J.T. ANDREWS, M.W. KERWIN, G. BILODEAU, R. MCNEELY, J. SOUTHON, M.D. MOREHEAD & J.-M. GAGNON (1999): Forcing of the cold event of 8,200 years ago by catastrophic drainage of Laurentide lakes, *Science*, 400, 344-348.

BENAC, Č. (1991): Postanak i geotehničke osobnosti doline i zaljeva Raše, Pomorski zbornik, 29, 475-492.

BIRD, E. C. F. (2008): Coastal Geomorphology: an introduction, second edition, John Wiley & Sons Ltd. England.

BLOTT, S.J. & PYE, K. (2001): GRADISTAT: a grain size distribution and satatistics package for the analysis of unconsolidated sediments. Earth Surface Processes and Landforms 26, 1237-1248.

BONACCI, O. (1996): Nov pristup reguliranja rijeka. Hrvatska vodoprivreda, 5, 40 - 46

BOŽIČEVIĆ, S. (2005): Mirna. U: BERTOŠA, M. & MATIJAŠIĆ, R. (editori): Istarska enciklopedija. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 493–494.

BOWDEN, K.F. (1980): Physical factors: salinity, temperature, circulation and mixing processes. U: Olausson, E. & Cato, I. (ed.): Chemistry and biochemistry of estuaries. Willey, New York, 37-70.

BRAMBATI, A., CARBOGNIN, L., QUAIA, T., TEATINI, P. & TOSI, L. (2003): The Lagoon of Venice: geological setting, evolution and land subsidence.– Episodes, 26, 263–268.

BROWN, E., COLLING, A., PARK, D., PHILLIPS, J., ROTHERY, D. & WRIGHT, J., (2006): Delta morphology. U: Bearman, G., Waves, tides and shallow-water processes. Open University, England. 2. izdanje, 180.

CAMERON, W. M. & PRITCHARD, D. W. (1963): Estuaries. In Hill, M. N. (ed.), The Sea. New York: John Wiley & Sons, Vol. 2, 306-324.

CARRE, M.B., KOVAČIĆ, V. & TASSAUX, F. (2007): Quatre ans de recherche sur le littoral parentin.– 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, 310–315.

CASTELLARIN, A., CANTELLI, L., FESCE, A.M., MERCIER, J.L., PICOTTI, V., PINI, G.A., PROSSER, G. & SELLI, L. (1992): Alpine compressional tectonics in the Southern Alps. Relationship with the N Apennines.– Annales Tectonicae, 6 (1), 62–94.

CHAPPELLAZ, J., BARNOLA, J.M., RAYNAUD, D., KOROTKEVITCH, Y.S. & LORIUS, C. (1990): Ice-core record of atmospheric methane over the past 160 000 years. Nature, 345, 127-131.

CLARK, P.U., PISIAS N.G., STOCKER T.F. i WEAVER A.J. (2002): The role of the thermohaline circulation in abrupt climate change, *Nature*, 415, 863-869.

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.

CLOETINGH, S. (1986): Intraplate stresses: A new tectonic mechanism for fluctuations of relative sea level, *Geology*, 14, 617-620.

COOPER, J. A. G. (1993): Sedimentation in a river dominated estuary. Sedimentology, 40, 979-1017.

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.

D'AMBROSI, C. (1969): L' Adriatico nel Quaternario. Atti del Museo Civico di Storia Naturale, 26(5), 129-175.

DALRYMPLE, R.W. (1992): Tidal depositional systems. In: Walker, R.G., and James, N.P. (eds) Facies models; response to sea level change. Geological Associations of Canada. 195-218.

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.

DAY, J. H. (1981): Estuarine Ecology – with Particular Reference to Southern Africa. Rotterdam: A. A. Balkema.

DEBENAY, J-P., TSAKIRIDIS, E., SOULARD, R. & GROSSEL, H. (2001): Factors determining the distribution of foraminiferal assemblages in Port Joinville (Ile d'Yeu, France): the influence of pollution.– Marine Micropaleontology, 43, 75–118.

D'INCA, C. (2007): Il Porto Quieto 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.

FAIRBRIDGE, R.W. (1980): The estuary: its definition and geodynamic cycle. U: Olausson, E. & Cato, I. (ed.): Chemistry and biochemistry of estuaries. Willey, New York, 1-35.

FAO–ISRIC (2006): Guidelines for soil description, 4rd edition.– International Soil Reference Information Centre, Rome, 97 p.

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. Geologica Croatica, 68/3, 209-224.

FILIPČIĆ, A. (1999): Klimatska regionalizacija Hrvatske po Köppenu za razdoblje 1961. – 1990. Zbornik radova 2. Hrvatskog geografskog kongresa, Lovran, 93 - 98

FOLK, R. L. (1954): The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. Journal of Geology and Geophysics, 62 (4), 344-59.

FOLK, R. L.& WARD, W. C. (1957): Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. Journal of Sedimentary Petrology 27, 3-26.

GALLOWAY, W. E. (1975): Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic sediments. In Broussard, M. L. (ed.), Deltas – Models for Exploration. Houston: Houston Geological Society.

GUILCHER, A. (1967): Origin of sediments in estuaries. In: Lauff, G.F. Estuaries, American Associations for the Advancement of Science, Scientific Publication 83, pp. 149-157.

GULAM, V., POLLAK, D. & PODOLSZKI, L. (2014): The analysis of the flysch badlands inventory in central Istria, Croatia.– Geologia Croatica, 67/1, 1–15.

HAQ, B.U., J. HARDENBOL & P.R. VAIL (1988): Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea level change, In: Wilgus, C.K., B.S. Hastings, H. Posamentier, J. Van Wagoner, C.A. Ross and C.G.C. Kendall (Eds.), Sea-Level change, *SEPM Spec. Publ. Soc. Sediment. Geol.*, 42, 71-108, Tulsa, Oklahoma.

HRVATSKI GEOLOŠKI INSTITUT (2009): Geološka karta Republike Hrvatske 1:300.000. Hrvatski Geološki Institut, Zagreb

IMBRIE, J., J.D. HAYS, D.G. MARTINSON, A. MCINTYRE, A.C. MIX, J.J. MORLEY, N.G. PISIAS, W.L. PRELL & N.J. SHACKLETON (1984): The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of the marine $\delta^{18}O$ record, In: Berger, A., J. Imbrie, H. Hays, G. Kukla and B. Saltzman (Eds.), Milankovitch and Climate – Part 1, *Reidel Publishing*, 269-306, Dordrecht, Holland.

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, 9 p.

JURAK, V. & FABIĆ, Z. (2000): Erozija kišom u slivu bujičnog vodotoka u središnjoj Istri [Torrential Catchment Raindrop Erosion in the Cetnral Istria].– U: VLAHOVIĆ, I. & BIONDIĆ, R. (editori): Zbornik radova 2. Hrvatskog geološkog kongresa, Cavtat – Dubrovnik, 603–612.

KOS, Z. (2001): Vodoprivreda gornjeg Jadrana. Povijest razvoja vodnog graditeljstva na vodnom području Primorsko-istarskih slivova. 1-304., Adamić, Rijeka

LAMBECK, K., C. SMITHER & P. JOHNSTON (1998): Sea-level change, glacial rebound and mantle viscosity for northern Europe, *Geophysical Journal International*, 134, 102-144.

LAMBECK, K. & J. CHAPPELL (2001): Sea level change through the Last Glacial cycle, *Science*, 292, 679-686.

LEA, D.W., MARTIN P.A., PAK D.K. & SPERO H.J. (2002): Reconstructing a 350 kyr history of sea level using planktonic Mg/Ca and oxygen isotopic records from Cocos Ridge core, Quaternary Science Reviews, 21, 283-293.

MAGDALENIĆ, A., VAZDAR, T. & HLEVNJAK, B. (1995): Hydrogeology of the Gradole Spring Draining Area in Central Istria. Geologia Croatica, 48, 97–106.

MAGDALENIĆ, A. & VAZDAR, T. (1999): Hidrogeološka interpretacija trasiranja podzemnih voda u središnjoj Istri, Hrvatske vode 4, 188-238.

MIALL, A.D. (1996): The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology.– Springer, Berlin, 582 p.

MICROMERITICS (2002): SediGraph 5100 Particle size analysis system operator' manual. Micromeritics Instrument Corporation, Norcross, Georgia.

MIHLJEVIĆ, D. (1995): Procesi prekomjerne denudacije i njihove posljedice istarskom pobrđu. Zbornik radova, 1. hrvatski geografski kongres, Zagreb, 188-204.

MILANKOVITCH, M. (1941): Kanon der Erdbestrahlung und seine Andwendung auf das Eiszeitenproblem, *Spec. Pub*., 133, pp. 633, Royal Serbian Academy.

MILOTIĆ, I. & PRODAN, L. (2014): Stoljeće i pol organizirane vodoprivrede u Istri [One and a Half Century of the Organized Water Management in Istria].– Vodoprivreda d.o.o., Buzet, 370 p.

MOORE, R.C. (1960): Treatise on Invertebrate Paleontology; part I; Mollusca 1, Mollusca – general features: scaphopoda, amphineura, monoplacophora; Gastropoda – general features:archaeogastropoda and some (mainly Paleozoic) caenogastropodaand opisthobranchia. Geological Society of America and University of Kansas Press, Lawrence, Kansas.

MOORE, R.C. (1971): Treatise on Invertebrate Paleontology; part N; Mollusca 6, Bivalvia. Geological Society of America and University of Kansas Press, New York City.

MURRAY, J. (1991): Ecology and paleoecology of benthic foraminifera. Longman Scientific and Technical, London, 397 p.

MURRAY, J. W. (2006): Ecology and Applications of Benthic Foraminifera.– Cambridge University Press, Cambridge, New York, 426 p.

ÖNORM L 1084, (1989): Chemical Analyses of Soils – Determination of Carbonate. Österreichisches Normungsinstitut, Beč.

PARENTIN, L. (1974): Cittanova d'Istria.– Trieste, 303 p.

PENLAND, S. & KULP, M. A. (2005): Deltas. U: M.L. Schwartz (ur.), Encyclopedia of coastal science. Dordrecht: Springer, 362-368.

PÉRES, J. M. & PICARD, J. (1964): Nouveau manuel de bionomiebenthique de la mer Méditerranée.– Rec. Trav. Stat. Mar. Endoume, 31, 137 p.

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 1:100.000, Tumač za list Trst, L33–88.– Geološki zavod Ljubljana i Institut za geološka istraživanja Zagreb, 64 str.

PLENIČAR, M., POLŠAK, A. & ŠIKIĆ, D. (1969): Osnovna geološka karta SFRJ M 1:100.000, List Trst, L33–88.– Savezni geološki zavod, Beograd

POLŠAK, A.& ŠIKIĆ, D. (1963): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Rovinj, L33–100. – Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 47 str.

POLŠAK, A.& ŠIKIĆ, D. (1969): Osnovna geološka karta SFRJ M 1:100.000, List Rovinj, L33–100.– Savezni geološki zavod, Beograd

POSTMA, G. (1990): Depositional architecture and facies of river and fan deltas: a synthesis. In Corella, A. & Prior, D. B. (eds.), Coarse – grained deltas. Oxford: International Association of Sedimentologists Special Publication, Vol. 10, 13-27.

PRITCHARD, D. W. (1967): What is an estuary: physical viewpoint. In Lauf, G. H. (ed.), Estuaires. Washington, DC: American Association for the Advancment of Science Publication, Vol. 83, 3-5.

RETALLACK, G. J. (1990): Soils of the Past: An Introduction to Paleopedology. – Unwin Hyman, London, 520 p.

SANTIN, G. A. (2013): Fiumi e torrenti dell'Istria: caratteristiche e problematiche attuali.– D.i.g. Vodoprivreda d.o.o. Buzet, 12 p.

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. 584 p. ISBN 978-1-920843-37-3

SHACKLETON, N. J., HALL, M. A., LINE, J. & CANG, S. (1983): Carbon isotope data in core V19-30 confirm reduced carbon dioxide concentration in the ice-age atmosphere. Nature, 306, 319-322.

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

STEFANI, M. & VINCENZI, S. (2005): The interplay of eustasy, climate and human activity in the late Quaternary depositional evolution and sedimentary architecture of the Po Delta system.– Marine Geology, 222–223, 19–48.

SYVITSKI, J.P.M., KETTNER, A.J., CORREGGIARI, A. & NELSON, B.W. (2005): Distributary channels and their impact on sediment dispersal. Marine Geology, 222-223, 75-94.

SYVITSKI, J.P.M., VÖRÖSMARTY, C.V., KETTNER, A.J. & GREEN, P. (2005): Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. Science, 308, 376–380.

VACCHI, M., GHILARDI, M., SPADA, G., CURRÁS, A. & ROBRESCO, S. (2016a): New insights into the sea-level evolution in Corsica (NW Mediterranean) since the late Neolithic. Journal of Archaeological Science: Reports. doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.07.006

VACCHI, M., MARRINER, N., MORHANGE, C., SPADA, G., FONTANA, A. & ROVERE, A. (2016b): 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.

VANIČEK, V., JURAČIĆ, M., BAJRAKTAREVIĆ, Z. & ĆOSOVIĆ, 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., VLAHOVIĆ, I. & MATIČEC, D. (2002): Depositional sequences and Palaeography of the Adriatic Carbonate Platform.– Memorie Della Societŕ Geologica Italiana, 57, 141–151.

VITTURI, L. M. & RABITTI, S. (1980): Automatic particle-size analysis of sediment fine fraction by SediGraph 5000D. Geologia Applicata e Idrogeologia 15, 101-108.

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.

WENTWORTH, C. K. (1922): A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. The Journal of Geology, Vol. 30., No. 5., 377-392.

WOODROFFE, C.D. (1996): Late Quaternary infill of macrotidal estuaries in northern Australia. In: Nordstrom, K.F. & Roman, C.T. Estuarine shores, Wiley, Chichester, pp. 89-114.

NEOBJAVLJENI IZVORI:

FELJA, I. (2017): Krški estuariji duž istočne jadranske obale: evolucija ušća rijeka Mirne i Neretve u mlađem kvartaru (Karstic estuaries along the eastern Adriatic coast: Late-Quaternary evolution of the Mirna and Neretva River mouths). Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 1-169, Zagreb.

FELJA, I. & FONTANA, A. (2015): Terenski opis jezgre MIR1. Core MIR1 (Mirna Valley, 120 meters deep).

JURAČIĆ, M. (2008a): »07. Morska razina, obale i njihove promjene«, Geologija mora, predavanje, Geološko-paleontološki zavod, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 28.08.2017.

JURAČIĆ, M. (2008b): »12. Paleooceanografija« Geologija mora, predavanje, Geološko-paleontološki zavod, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 28.08.2017.

PIKELJ, K. (2010): Sastav i porijeklo površinskih sedimenata dna istočne strane Jadranskog mora. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 1-239, Zagreb.

OREŠIĆ, D. (2016): »02. Razina mora«, predavanje, SuZ, Geografski odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 28.08.2017.

SREMAC, J. (1999): Opća paleontologija, skripta, Prirodoslovno matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

PEZELJ, Đ. (2011a): »3A. Mekušci općenito« Sistematska paleontologija, predavanje, Geološko-paleontološki zavod, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 12.09.2017.

PEZELJ, Đ. (2011b): »3B. Puževi« Sistematska paleontologija, predavanje, Geološko-paleontološki zavod, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 12.09.2017.

PEZELJ, Đ. (2011c): »4A. Školjkaši« Sistematska paleontologija, predavanje, Geološko-paleontološki zavod, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 12.09.2017.

PEZELJ, Đ. (2011d): »4B. Školjkaši sistematika« Sistematska paleontologija, predavanje, Geološko-paleontološki zavod, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 12.09.2017.

INTERNET IZVORI:

TURISTIČKA ZAJEDNICA OPĆINE GROŽNJAN (2016): Dolina rijeke Mirne. Nakladnik: Turistička zajednica općine Grožnjan. Dostupno na: http://www.tz-groznjan.hr/index.php/mjesta/dolina-rijeke-mirne [31. siječnja 2017.]

http://gulfcoastcommentary.blogspot.hr/2013/11/what-causes-ice-ages.html

http://www.indiana.edu/~geol105/images/gaia_chapter_4/milankovitch.htm

http://slideplayer.com/slide/6857046/

http://www.marinespecies.org/foraminifera/aphia.php?p=searh

http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=search