

# Prirodni procesi i antropogeni utjecaji na taložne okoliše donjeg toka rijeke Mirne

---

**Božić, Ana**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2021**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:395786>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-29**



*Repository / Repozitorij:*

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Ana Božić

**PRIRODNI PROCESI I ANTROPOGENI  
UTJECAJI NA TALOŽNE OKOLIŠE DONJEG  
TOKA RIJEKE MIRNE**

Diplomski rad

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOLOŠKI ODSJEK

Ana Božić

**PRIRODNI PROCESI I ANTROPOGENI  
UTJECAJI NA TALOŽNE OKOLIŠE DONJEG  
TOKA RIJEKE MIRNE**

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

Mentor:  
doc. dr. sc. Kristina Pikelj  
dr.sc. Igor Felja

Zagreb, 2021.

## Zahvale

Prvenstveno zahvaljujem svojim mentorima,

**Doc. dr. sc. Kristini Pikelj** na svim komentarima, prijedlozima, ugodnim razgovorima i pomoći oko izrade laboratorijskih analiza, a posebno hvala na organiziranosti i pedantnosti bez kojih proces izrade rada ne bi bio olakšan

i **Dr. sc. Igoru Felji** na ugodnom i vrlo poučnom terenskom radu, pomoći pri laboratorijskim analizama, jednostavnom i strpljivom objašnjavanju problematike istraživanog područja, uloženom trudu i vremenu, komentarima i prijedlozima, a posebno hvala za svaki razgovor koji me smirivao tijekom ovog stresnog razdoblja.

Hvala **Mr. sc. Draženu Kurtanjeku** na vremenu i pristanku biti dijelom ovog moga važnog životnog trenutka.

Hvala **dipl. inž. Štefci Kampić** i **dipl. ing. Željku Ištuku** na pomoći prilikom laboratorijskih analiza na Mineraloško-petrografskom zavodu.

Veliko hvala **dipl. iur. Mariji Cindro** bez čije topline, spremnosti na rješavanje raznoraznih problema i predanosti studentima, godine moga studiranja ne bi bile iste.

Zahvaljujem i svim svojim kolegicama i kolegama, od srca hvala vama nekoliko s kojima sam zajedno prolazila sve uspone i padove tijekom studiranja, posebno kroz posljednje dvije godine. Bez druženja, međusobnog pomaganja i bodrenja, studiranje bi bilo zamorno, dosadno i dugotrajno. Hvala i ostalim prijateljicama i prijateljima s kojima su teški dani brzo prolazili, a pauze od učenja bile izuzetno korisne.

Mojoj obitelji, roditeljima i sestri čija me neizmjerena ljubav i vjera u mene uvijek tjerala dalje. Bili ste i bit ćete mi podrška kroz svaku stepenicu života. Mami, mojoj snazi, koja me naučila najvažnijim životnim lekcijama kojih nema ni na jednom fakultetu, **HVALA!**

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Diplomski rad

### PRIRODNI PROCESI I ANTROPOGENI UTJECAJI NA TALOŽNE OKOLIŠE DONJEG TOKA RIJEKE MIRNE

Ana Božić

**Rad je izrađen u:** Prirodoslovno-matematički fakultet, Geološko-paleontološki zavod, Horvatovac 102a; Mineraloško-petrografski zavod, Horvatovac 95, 10 000 Zagreb

**Sažetak:** U ovome diplomskom radu određene su granulometrijske karakteristike površinskih sedimenata poplavne ravnice, korita i ušća rijeke Mirne te je u njima određen udio karbonata. Cilj rada je na temelju dobivenih terenskih i laboratorijskih rezultata dovesti u vezu karakteristike sedimenta s prepoznatim prirodnim i antropogenim procesima u donjem toku rijeke Mirne. Površinski uzorci poplavne ravnice pokazali su relativno jednoličan granulometrijski sastav. Dominantno su građeni od sitnozrnatih čestica veličine gline i praha, dok su frakcije pijeska i šljunka prisutne u manjim količinama, uglavnom kao biogena komponenta. Povećani nanos takvog sitnozrnatog sedimenta iz gornjih dijelova toka potječe od stijena podložnih eroziji: uglavnom fliša (lapori i pješčenjaci) i manje karbonatnih stijena, zaslužnih za stvaranje delte unutar estuarija. Količina materijala kojeg rijeka Mirna donosi do svoga ušća je značajna, a tome pridonose i prirodni i antropogeni procesi. Sedimentacija je uzrokovana mehaničkom erozijom kojoj potpomažu intervencije čovjeka, deforestacija tijekom prošlosti, nutrije, periodične poplave; procesi koji u svome međusobnom djelovanju mogu podjednako i pozitivno i negativno utjecati ne samo na prirodu, već i na čovjeka.

**Ključne riječi:** rijeka Mirna, sitnozrnati sediment, fliš, mehanička erozija, antropogeni utjecaj

**Rad sadrži:** 56 + XIX stranica, 31 sliku, 2 tablice, 1 formulu, 86 literaturnih navoda

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Rad je pohranjen u:** Središnja geološka knjižnica, Geološki odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb

**Mentor(i):** Doc. dr. sc. Kristina Pikelj

Dr. sc. Igor Felja

**Ocjenjivači:** Doc. dr. sc. Kristina Pikelj

Dr. sc. Igor Felja

Mr. sc. Dražen Kurtanjek

**Datum završnog ispita:** 4. studenoga 2021.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geology

### Graduate Thesis

## NATURAL PROCESSES AND ANTHROPOGENIC INFLUENCES ON SEDIMENTARY ENVIRONMENTS IN DOWNSTREAM OF THE MIRNA RIVER

Ana Božić

**Thesis completed in:** Faculty of Science, Division of Geology and Paleontology, Horvatovac 102a; Division of Mineralogy and Petrology, Horvatovac 95, Zagreb

**Abstract:** In this graduate thesis, the granulometric characteristics of surface sediments of the floodplain, riverbed and mouth of the Mirna River were determined together with share of carbonates component. The aim of this paper is to link sediment characteristics with the recognized natural and anthropogenic processes in the lower course of the Mirna River, based on the obtained field and laboratory results. Surface floodplain samples showed a relatively uniform granulometric composition. They are predominantly composed of fine-grained (clay and silt) particles, while fractions of sand and gravel are less present, mainly as a biogenic component. The increased deposition of such fine-grained sediment from the upper parts of the stream originates from rocks subjected to erosion: mostly flysch (marls and sandstones) and less carbonate rocks. This deposition led to development of delta within the estuary. The amount of material brought by the Mirna River to its mouth is significant, and both natural and anthropogenic processes contribute to such a deposition. Sedimentation is caused by mechanical erosion aided by human interventions, deforestation during the past, nutria rodents, periodic floods; processes that in their interaction can equally positively and negatively affect not only nature but also a man.

**Keywords:** Mirna River, fine-grained sediment, flysch, mechanical erosion, anthropogenic impact

**Thesis contains:** 56 + XIX pages, 31 figures, 2 tables, 1 formula, 86 references

**Original in:** Croatian

**Thesis deposited in:** Central Geological Library, Department of Geology, Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb

**Supervisor(s):** Kristina Pikelj, Ph.D. Assistant professor

Igor Felja, Ph.D.

**Reviewers:** Kristina Pikelj, Ph.D. Assistant professor

Igor Felja, Ph.D.

Dražen Kurtanjek, M.Sc. Senior lecturer

**Date of the final exam:** November 4, 2021

## Sadržaj

1.	Uvod .....	1
2.	Pregled dosadašnjih istraživanja.....	3
2.1.	Riječna ušća i njihov nastanak .....	3
2.1.1.	Estuarij .....	3
2.1.2.	Krški estuariji u Hrvatskoj .....	5
2.1.3.	Delta.....	7
2.2.	Područje istraživanja .....	10
2.2.1.	Geologija područja.....	12
2.2.2.	Antropogeni utjecaj.....	16
3.	Materijali i metode istraživanja .....	22
3.1.	Terenski rad.....	22
3.1.1.	Uzorkovanje .....	23
3.2.	Laboratorijska obrada uzoraka .....	24
3.2.1.	Granulometrijska analiza – kombinirana metoda mokrog sisanja i sedigrafa 24	
3.2.2.	Statistička obrada rezultata granulometrijskih analiza .....	26
3.2.3.	Analiza udjela karbonata – kalcimetrija .....	28
4.	Rezultati.....	30
4.1.	Rezultati terenskog rada .....	30
4.2.	Rezultati određivanja boje uzoraka .....	36
4.3.	Rezultati granulometrijske analize i analize udjela karbonata .....	37
4.4.	Rezultati određivanja udjela karbonata .....	40
5.	Rasprava .....	41
6.	Zaključci .....	47
7.	Literatura .....	49

8.	Prilog I.....	VIII
8.1.	Klasifikacija po Folk-u uzoraka M1-M11 prema veličini zrna obzirom na udio pijeska, praha i gline.....	VIII
8.2.	Klasifikacija po Folk-u uzoraka M1-M11 prema veličini zrna obzirom na udio šljunka, pijeska i mulja.....	XII
8.3.	Kumulativne krivulje uzorka M1-M11 .....	XVI



## 1. Uvod

Donji tokovi i ušća rijeka, u Hrvatskoj ili širom svijeta, područja su od velike gospodarske i ekološke važnosti te su vrlo osjetljiva u kontekstu zaštite okoliša. Stoga je njihovo istraživanje na interdisciplinarnoj razini neophodno kako bi se otkrili, spriječili i sanirali svi oblici ugroze takvih područja. Na takve dinamične okoliše koji se nalaze na kontaktu kopna i mora utječu promjene morske razine i promjene u taloženju materijala pa iz njih možemo izvući razne geološke zapise, posebno one o promjenama razine mora tijekom prošlosti (SCOTT & MEDIOLI, 1978; GEHRELS, 1994; EDWARDS & HORTON, 2000). Osim prirodnih, vrlo je važno razumijevanje i antropogenih procesa koji utječu na razvoj i evoluciju donjih tokova i ušća rijeka. Iz tih razloga je pri izradi ovog diplomskog rada odabrano takvo – ušće rijeke Mirne.

Riječna ušća (estuariji i delte) diljem Zemlje predstavljaju naseljena područja velike gospodarske važnosti. U tom području se često nalaze luke, brodogradilišta, odlagališta otpada, a vrlo su važna iz aspekta raznih industrija, ribarstva, poljoprivrede i turizma. Riječne delte zauzimaju 5% ukupne površine Zemlje, a u takvim područjima živi čak oko 500 milijuna ljudi (OVEREEM & SYVITSKI, 2009). Deltne ravnice od davnina su prepoznate kao povoljna područja za intenzivni poljoprivredni uzgoj, ponajviše zbog obilnosti plodnog tla, velike bioraznolikosti (močvarna područja) i dostupnosti slatke vode. Primjeri delti koje su područja intenzivnog poljodjelstva i agrarne prenaseljenosti su Nil, Huang i Brahmaputra-Ganges. Predstavljaju i plovne putove prema unutrašnjosti pa su se na obalama i na unutarnjim krajevima estuarija razvila velika lučka središta poput Londona (Temza), Hamburga (Elba) i dr. Potencijal takvog okoliša, geološki gledano, je u značajnim količinama ugljikovodika za koje se pretpostavlja da leže u starijim naslagama, što je potvrđeno otkrićima ležišta fosilnih goriva u sedimentima starijih deltnih sustava (DALRYMPLE et. al, 1994). Posebnost delti je i u tome što je poznato da su njeni sedimenti dobar izvor nafte, ugljena, plina i mogu sadržavati elemente poput urana (BOGGS Jr., 2006). Također, takva područja istražuju se kako bi se odredili paleoklimatski i paleoceanografski uvjeti te kako bi se predvidjele buduće promjene (TESSIER, 2012). S aspekta zaštite okoliša, ove sredine imaju ulogu u biogeokemijskim kruženjima tvari i elemenata te transportu i filtriranju različitih tvari, onečišćivača i zagađivača (metali, mikroplastika), utječući direktno na kakvoću okoliša samog okruženja i voda (FELJA, 2017). Iz svega navedenoga, može se zaključiti kako su ta

područja ekološki vrlo značajna, ali i vrlo osjetljiva. Uz prirodne procese u ovim okolišima i njihovu gustu naseljenost, nedvojbeno je kako antropogeni utjecaj igra ključnu ulogu u njihovom oblikovanju i evoluciji kao i njihove šire okoline, uključujući i donje tokove rijeka. Ne shvaćajući koliku važnost ovi sustavi imaju za ljudsku civilizaciju, ljudske aktivnosti nažalost često ugrožavaju i degradiraju okoliš i resurse koje nudi.

Ovaj diplomski rad napisan je sa željom osvješćivanja utjecaja čovjeka na ova geološki specifična područja koja su izuzetno osjetljiva u kontekstu zaštite okoliša. Ciljevi rada temeljeni na navedenoj problematici su sljedeći:

1. prepoznati prirodne procesi i antropogene utjecaje na istraživanom području
2. dovesti u vezu karakteristike sedimenta s prepoznatim prirodnim procesima i antropogenim utjecajima u donjem toku rijeke Mirne
3. okarakterizirati pojedini proces na određenim dijelovima toka

Kako bi se postavljeni ciljevi postigli, uzorkovat će se sediment iz korita rijeke, s poplavne ravnice i iz mora na ušću rijeke Mirne. Napravit će se granulometrijska analiza sedimenta i odrediti udio karbonata u sedimentu. Korito rijeke i njeno okolno područje zabilježit će se fotografiranjem te će se opsežno pregledati literatura kako bi se utvrdio povijesni, ali i recentni utjecaj čovjeka na promatranom području.

## 2. Pregled dosadašnjih istraživanja

### 2.1. Riječna ušća i njihov nastanak

Mjesto na kojem se rijeka ulijeva u drugu rijeku, jezero ili more naziva se ušće rijeke, a ušća mogu biti delte, estuariji ili njihov prijelazni oblik. Kakav tip ušća će nastati prvenstveno ovisi o litologiji okolnih stijena, količini i vrsti materijala kojeg nosi rijeka, ali i o ljudskom utjecaju, klimi i topografiji terena kojim rijeka teče. Takva područja su od geološke važnosti zbog toga što u njima dolazi do donosa i sedimentacije materijala koji se troši s okolnih kopnenih područja i transportira kao nanos ili u suspenziji do mora. Također, litologija i topografija područja u kojem rijeka utječe u more ili drugo veće vodeno tijelo utjecat će na tip ušća koje će na tom području nastati. Riječna ušća predstavljaju vrlo dinamičan i promjenjiv okoliš. Uz navedeno, to su vrlo osjetljivi okoliši pa čak i male promjene morske razine ili količine donesenog sedimenta značajno utječu na ovakve okoliše. Koliko je važan utjecaj kopna na more, jednako toliko je važan i utjecaj mora na kopno, pa tako tip ušća koji će nastati ovisi i o dubini mora ili drugog vodenog tijela, količini i intenzitetu valova pri obali te o morskim mijenama.

#### 2.1.1. Estuarij

Estuarij je, po definiciji, ljevkastí zaljev na ušću rijeke široko otvoren prema moru. Predstavlja djelomično otvoreno riječno ušće u koje more ulazi i seže u riječnu dolinu do gornje granice dosega plime i oseke (FAIRBRIDGE, 1980). Plimni val prodire kroz ušće duboko u rijeku i prilikom povlačenja za vrijeme oseke, nosi za sobom velike količine materijala. Tim procesom se riječno korito produbljuje i čisti od nanosa čime se otvara put, npr. brodovima, dublje u kopno. Ovi okoliši su vrlo dinamični i njihov vijek traje relativno kratko. Karakteristični su za niske obale gdje je kolebanje plime vrlo veliko (10-20 m). Estuariji su pod velikim utjecajem morskih mijena i zbog toga se u dolinama rijeka mogu stvoriti sustavi kanala za vrijeme plime i oseke. Recentni estuariji prošli su kroz nekoliko faza tijekom svoje evolucije: usijecanje dolinom zbog riječne ili ledenjačke aktivnosti,

poplavljivanje doline zbog porasta razine mora i na kraju zatrpavanje estuarija sedimentom. Generalno, estuariji su nastali naglim porastom razine mora koji je rezultirao poplavljivanjem riječnih dolina nakon posljednjeg glacijala (ALLABY, 2008). Na taj način, rijeke su poplavile svoje ranije usječene, riječne i/ili ledenjačke kanjonske doline (NICHOLS, 2009). Porastom razine mora tijekom holocena nastali su neravnotežni estuariji koji su se vremenom ispunjavali sedimentom, a nasuprot njima i ravnotežni estuariji čiji se izgled tijekom vremena nije znatno promijenio, jer je u njemu uspostavljena ravnoteža između dinamike donosa i odnosa sedimenta te sedimentacije (FAIRBRIDGE, 1980).

Na oblik i promjene estuarija utječu erozija, morfologija korita, hidrodinamički procesi, evolucija, sedimentno taloženje i opskrba te promjene razine mora (PERILLO, 1995; KINSMAN & PRITCHARD, 1965; HAYES, 1975; FAIRBRIDGE, 1980; DALRYMPLE et al., 1992). Za klasifikaciju estuarija bi trebalo uzeti u obzir fiziografiju i niz drugih čimbenika čime bi sveobuhvatna klasifikacija previše uključivala. Iz tog razloga je najkorisnija genetska klasifikacija koju je predložio PERILLO (1995), a ona estuarije dijeli na primarne i sekundarne. Primarni estuariji su oni koji nisu značajno promijenjeni morskim procesima, dok su sekundarni promijenili različite oblike od svog nastanka. COOPER et al. (2011) predložili su klasifikaciju estuarija na „*keep-up*“ (nastavljajući), „*catch-up*“ (nadoknađujući) i „*give up*“ (odustajući). Nastavljajući estuariji su rijetki i nastali su samo pri uvjetima velikog unosa sedimenta u podudarnosti s visokim razinama mora od ranog do srednjeg holocena. Odustajući su nastali pri uvjetima izrazito niske sedimentacije tijekom holocena, kada je usiječena dolina potopljena i očuvana. Nadalje, estuariji se na temelju postojeće geologije ili geološkog porijekla (općenito, načina na koji su nastali) mogu podijeliti u brojne kategorije i unutar njih okarakterizirati. Između ostalih, u vidu ovoga rada, najznačajniji su krški estuariji. Takav oblik estuarija će naknadno biti opisan.

Neovisno o tipu estuarija, sastav sedimenta u njegovom okolišu varira u svim smjerovima. Sastav sedimenta u estuarijima (litologija te sadržaj mikro- i makrofosila) varira ovisno o udaljenosti od ušća i energiji okoliša (KENNISH, 2016). Na sastav utječe litologija sliva, raspon plime i oseke, visina valova u blizini ušća, dostupnost i transport sedimenta te dominantni izvor sedimenta koji može biti riječni ili morski (DALRYMPLE et al., 1992; BIANCHI, 2013). Općenito, količina opskrbe sedimentom kontrolira taloženje u okolišu estuarija. U gornjem dijelu estuarija sastav uključuje prah, gline, biljke i korijenje pa se stupnjevito mijenja prema pijesku i šljunku (FELJA, 2017). U miješanoj zoni mogu se naći velike naslage mulja i gline zajedno s lećama i laminama pijeska. Bliže ušću estuarija, glavni

sedimenti su morski pijesci koji mogu stvarati pješčane obale. Estuarijski sustav u blizini riječnog toka je plitkovodno područje u kojem se sediment nošen riječnim tokom i mijenama sastoji od terigenog mulja, pijeska i šljunka te se transportira duž estuarija. Transport ovisi o veličini čestica, a glina prelazi najveću udaljenost kroz estaurij. Središnji (ili centralni) sustav je plitko do umjereno dubokovodni sustav u kojem se taloži sediment sastavljen od mulja (spikule, dijatomeje, fragmenti algi), pijeska (fragmenti beskrležnjaka i algi, foraminifere), šljunka (skeleti beskrležnjaka) i biogenih struktura, koje se, uz biljne strukture, talože u nešto plićem rubnom dijelu. U dubljem dijelu ovog sustava gdje je niska energija okoliša, talože se gline. Morski sustav je plitkovodni i sediment ovog sustava sastavljen od pijeska i šljunka (fragmenti skeletnog materijala) transportira se pomoću valova, plima i olujnih događaja. Za jačih olujnih događaja, sediment može biti prebačen preko nižih barijera i prekrivati ranije istaložene sedimente u dubljem dijelu estuarija. U literaturi se opisuje i četvrti sustav podjele estuarija prema izvoru, vrsti, načinu transporta i konačnom mjestu taloženja, a to je rubni estuarijski sustav (SEMENIUK & SEMENIUK, 2016). Rubni sustav je plitkovodni, a može biti i iznad razine vode. Sediment je prerađen i transportiran iz okolnih područja ili drugih sustava te se sastoji od zrna različitih veličina, od frakcija praha i gline do frakcija šljunka i može sadržavati treset. Na rubovima estuarija, u ispunjenim riječnim dolinama do razine mora, mogu nastati slane močvare (DALRYMPLE et al., 1992; DALRYMPLE et al., 1994).

### 2.1.2. Krški estuariji u Hrvatskoj

Tektonski, klimatski i geomorfološki uvjeti područja estuarija kroz povijest odredili su oblik i tipove estuarija kakvima ih danas poznajemo. Na nastanak i formiranje obale i riječnih ušća utječe niz morfoloških čimbenika od kojih je najvažnija promjena razine mora. Ona je tijekom geološke prošlosti često varirala i ostavljala tragove na ovim na promjene vrlo osjetljivim okolišima. Najveća takva promjena zabilježena je tijekom kvartara koji predstavlja period intenzivnih klimatskih varijacija i čestih izmjena glacijala i interglacijala. Izmjene su uzrokovale velike oscilacije u razini mora što je utjecalo na položaj riječnih ušća i općenito razvoj obalne linije tijekom epoha pleistocena i holocena (LAMBECK & CHAPPELL, 2001; CLARK et al., 2009).

Za obalni dio istočnog Jadrana karakteristične su karbonatne stijene i dobro razvijeni krš. Zbog recentnih vlažnih klimatskih uvjeta i sazrijevanja krša, unos vode kroz obalne te podzemne i podmorske izvore (vrulje) u Jadran je velik, a tome pridonose i rijeke koje utječu u Jadran duž istočne obale. Kod većine tih rijeka, gornji dio slivnog područja je često formiran od fliša, pa se za njih primjenjuje naziv alogena krška rijeka (JURAČIĆ, 2017). Tijekom kvartara na ovom području okršavanje je bilo dominantno, što je rezultiralo razvojem ograničene površinske riječne mreže i male proizvodnje terigenog (riječnog) materijala zbog izraženijeg kemijskog trošenja, odnosno otapanja karbonata u slivu (JURAČIĆ, 1992). Dodatni razlog ograničenog donosa materijala u more je taj što su ga zarobile sedrene barijere koje su pojedine krške rijeke stvorile (FELJA, 2017).

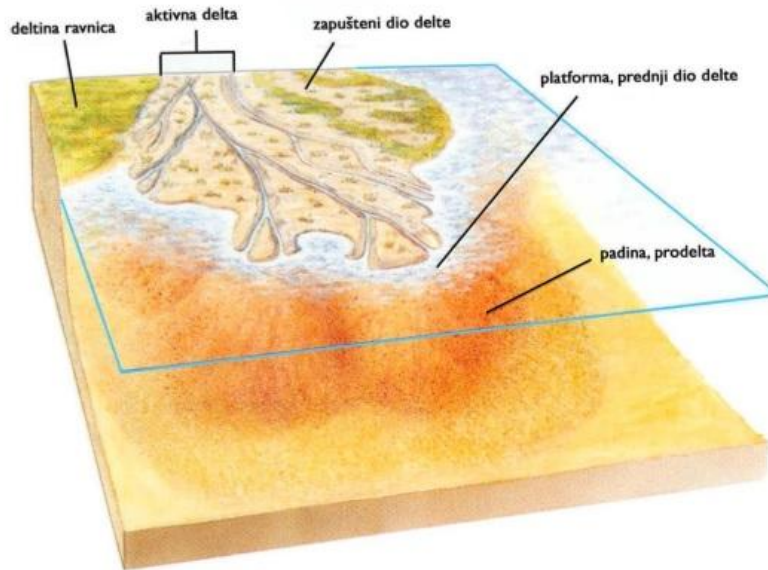
Tijekom posljednjeg glacijalnog maksimuma (*Last Glacial Maximum; LGM*), u pleistocenu, razina mora bila je oko 120 m niža od današnje (FAIRBANKS, 1989; EDWARDS, 2006; CLARK et al., 2009). Tada su rijeke istočne strane Jadranskog bazena svoje kanjonske fluviokrške doline usijecale u karbonatnu podlogu (pretežito kredne i eocenske vapnence) (FELJA, 2017). Nakon posljednjeg glacijalnog maksimuma, 19 000 – 7500 godina prije sadašnjosti, doline su poplavljene zbog naglog podizanja razine mora (otapanje velikih ledenih površina) i globalne transgresije. Na taj način formirani su krški estuariji (JURAČIĆ, 1992; PIKELJ & JURAČIĆ, 2013). Samo nekoliko rijeka duž tektonskih struktura izduženih u smjeru SZ-JI prodire do obale gdje su na svojim ušćima stvorile specifičan tip estuarija. Takvi krški estuariji s niskim unosom sedimenta u Hrvatskoj su tipični na ušćima rijeka Krke i Zrmanje (FELJA, 2017). Ostali krški estuariji poput onih na Dragonji, Raši, Rječini, Neretvi i Mirni okarakterizirani su intra-estuarijskom progradacijom delte (OGORELEC et al., 1981; SONDI et al., 1995; BENAC & ARBANAS, 1990; VRANJEŠ et al., 2007; FELJA et al., 2015). Progradacija intra-estuarijske delte u tim područjima rezultat je obilnije sedimentne ispune koju su rijeke omogućile zbog toka kroz alogene formacije, što je posebno izraženo na primjeru Neretve (planinski sliv sastavljen od različitih sedimentnih, magmatskih i metamorfnih stijena) (FELJA, 2017). Što se tiče rijeke Mirne, njen estuarij je primjer krškog estuarija čija intra-estuarijska delta progradira prema moru, ali još nije u potpunosti ispunila estuarij, a sličan slučaj ima i Raša. Krške estuarije općenito karakteriziraju krška podloga, obalni okoliš niske energije (zaklonjen položaj riječnog ušća i nizak doseg plime i oseke) te nedostatak terigenog materijala (FELJA, 2017).

Prije 7500 godina, nakon što je porast razine mora značajno usporio, počelo je uspostavljanje stabilnijih okolišnih uvjeta sličnih današnjim, i postupno punjenje

alumosilikatnim materijalom koje traje i danas (JURAČIĆ, 2017). Na taj način došlo je do nastanka recentnih obala i riječnih ušća pa samim time i delti i intra-estuarijskih delti (DALRYMPLE et al., 1992; STANLEY & WARNE, 1994; SEMENIUK et al., 2011).

### 2.1.3. Delta

Delta se neprekidnim nanosima riječnog materijala širi u more ili jezero, na način da tok koji sadrži sediment naglo usporava pri čemu se doneseni materijal brzo sedimentira te uzrokuje grananje riječnog toka u obliku lepeze (BHATTACHARYA & WALKER, 1992). Prema BROWN et al. (2006), delta se sastoji od riječnog toka, deltne ravnice, čela delte i prodelte (Slika 1.). Funkcija riječnog toka u sustavu je donos sedimenta. Deltna ravnica predstavlja kontakt iznad razine mora na kojem riječni tok prelazi iz užeg, bočno ograničenog, prostora u širi poplavni prostor. Ovisno o duljini rijeke i nagibu terena, često se na području ravnice riječni tok dijeli u nekoliko manjih kanala i rukavaca između kojih često nastaju močvare. Ti manji kanali, tzv. distribucijski kanali mogu djelovati kao prirodna obrana od poplava tijekom perioda visokih vodostaja te su vrlo važni u procesima sedimentacije iz razloga što raspodjeljuju intenzitet i količinu nanosa iz primarnog toka pa će sediment u deltnim sustavima s većim brojem distribucijskih kanala taložiti bliže obali (SYVITSKI et al., 2005). Deltna ravnica podijeljena je na dva dijela, gornju deltnu ravnicu gdje se tijekom riječnih poplava, olujnih događaja ili izrazito visokih plima taloži aluvijalni sediment (močvarni slatkovodni, jezerski ili sedimenti poplavne ravnice; može se pronaći i treset) te donju deltnu ravnicu pod utjecajem mora, gdje mogu nastati slane močvare, lagune, plaže ili barijerni otoci. Idući dalje prema moru, slijedi čelo delte (prednji dio delte) koje se nalazi ispod razine mora. Sedimentni riječni nanos ovdje naglo usporava i ubrzano se taloži u proširenom morskom prostoru, a ovisno o energiji vode, valovima, morskim priobalnim strujama i morskim mijenama, talože se krupno- do srednjezrnati sedimenti (šljunak, pijesak). Nastavljajući dalje od čela delte prema morskom bazenu, u prodelti će se taložiti sitnozrnati sedimenti (prah, glina). Prodelta ili deltna padina predstavlja prostor morskog bazena u kojem se i dalje osjeća utjecaj kopna kroz riječni tok koji djeluje na prodeltu do određene udaljenosti koja varira ovisno o donosu sedimenta, količini distribucijskih kanala i energiji vode.



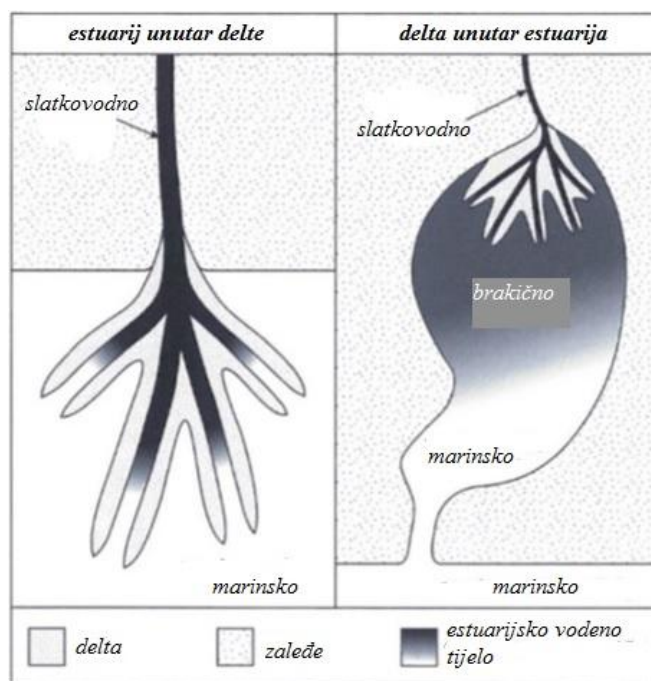
Slika 1. Osnovni geomorfološki dijelovi delte (preuzeto i uređeno prema BROWN et al., 2006).

SYVITSKI et al. (2005) navode kako na strukturu delte djeluju četiri osnovna čimbenika, a to su opskrba vučenim i suspendiranim sedimentom, razlika između gustoća ulaznog toka i stajaćeg vodenog tijela, energetske uvjete u prihvatnom bazenu te morfologija prihvatnog bazena. Osim toga, na oblik delte i njenu formu utječu i drugi faktori poput veličine rijeke, protoka vode, količine i vrste riječnog sedimenta, brzine procesa u riječnom ušću (erozivna snaga rijeke), valova, morskih mijena i klime (ALLABY, 2008). Energetske uvjete i morfologija prihvatnog bazena, preciznije njegova veličina i dubina, su vrlo važni čimbenici strukture delte. Ako je bazen plitak i voda mirna, delta se brže razvija i širi.

Nastanak delte na obalnom području karakteriziran je odnosom između brzine akumulacije i brzine erozije, odnosno kada je brzina akumulacije materijala veća od brzine erozije koja može biti uzrokovana valovima, vodenim strujama ili drugim čimbenicima. Upravo ti utjecaji definirali su standardnu i najčešće korištenu podjelu delti po dominantnoj sili koja na nju utječe pa postoje delte pod dominacijom valova (delta ima tipičan oblik zuba; rijeka Sao Francisco), delte dominirane morskim mijenama (potopljeno ušće u kojem sedimenti tvore otoke; rijeka Fly) i delte dominirane rijekom, odnosno snagom riječnog toka (tipičan oblik ptičjeg stopala: delta rijeke Mississippi) (GALLOWAY, 1975; SEMENIUK & SEMENIUK, 2016).

Postoje i slučajevi koji na poseban način mogu rezultirati nastankom kombinacije delte i estuarija, odnosno estuarijima unutar delti i delti unutar estuarija (Slika 2.).

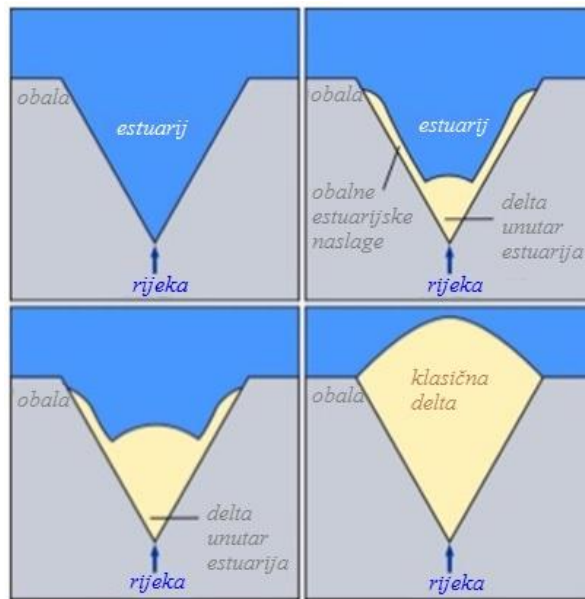




**Slika 2. Idealizirani prikaz razlike između estuarija razvijenog unutar delte i delte u estuariju (intra-estuarijske delte). Legenda: crno = slatka voda; sivo = brakična voda; bijelo = morska voda (preuzeto i uređeno prema KENNISH, 2016).**

U velikom estuarijskom okruženju, delte unutar estuarija su manje akumulacije materijala i različito se nazivaju: „*bayhead delta*“, „*river delta*“ i „*intra-estuarine delta*“ (DALRYMPLE et al., 1992; HAYES, 1975; SEMENIUK et al., 2011). U slučaju rijeke Mirne, naziv „*intra-estuarine delta*“ je prikladniji iz razloga što delta nije vezana isključivo uz uvale ili ušće rijeke već je vremenom progradirala pa se samim time nalazila i na drugim dijelovima estuarija. Stoga će se u ovom radu koji opisuje područje ušća i donjeg toka rijeke Mirne koristiti taj naziv, odnosno intra-estuarijska delta.

Njihov razvoj potiče se uvjetima povećane opskrbe riječnim sedimentom i smanjenom aktivnošću valova (zaklonom) (ALLEN & POSAMENTIER, 1993). Intra-estuarijske delte prisutne se i jasnije se mogu uočiti u estuarijima gdje nije potpuna sedimentna ispuna (Slika 3.), što je slučaj u rijeci Mirni. Smanjenje brzine porasta razine mora pogoduje utjecaju riječne sedimentacije i stvaranju delti unutar estuarija (FELJA, 2017). Progradacija delti unutar estuarija ovisi o količini materijala i razlikuje se od estuarija do estuarija. Glavni čimbenici koji uvjetuju nastanak i progradaciju intra-estuarijskih delti su veličina i stupanj trošnosti nekarbonatnog dijela sliva te formacija i postojanost u riječnom toku (JURAČIĆ, 2017).



**Slika 3. Idealizirani prikaz evolucije relativno uskog otvorenog estuarija u obliku slova „V“ s minimalnom sedimentnom ispunom do potpune progradacije delte unutar estuarija i jače sedimentacije unutar estuarija do obalne delte gdje se sedimentna akumulacija razvila u morski okoliš (preuzeto i uređeno prema KENNISH, 2016).**

Rijeka Mirna ima estuarij gotovo potpuno ispunjen riječnim sedimentom i formira deltnu ravninu. Progradacija njene intra-estuarijske delte pokazala se izrazito brzom u posljednjih 7 500 godina, a iznosi 11 km od ušća. Obzirom na činjenicu da u slivu rijeke Mirne dominira fliš s velikim udjelom lapora, njena intra-estuarijska delta okarakterizirana je sitnozrnatim muljevitim sedimentima (FELJA et al., 2015; FELJA, 2017; JURAČIĆ, 2017).

## 2.2. Područje istraživanja

Rijeka Mirna (lat. *Ningus*; tal. *Quieto*), najdulji je površinski vodotok u Istri, duljine 53 km i s neposrednim hidrološkim slivom od približno 402,9 km<sup>2</sup> (MIČETIĆ & PETROVIĆ, 2001; BOŽIČEVIĆ, 2005). Osim površinskog orografskog porječja, ima i podzemni sliv (zajedno čine ~583,5 km<sup>2</sup>) nastao krškim procesima koji su snažno utjecali na karbonatne formacije Istre te razvili složene i dobro razvijene sustave podzemne vode. Izvorišni dio rijeke nalazi se u JZ dijelu Ćićarijskog pogrđa, a nakon 11 km u smjeru Buzeta, gornji, kanjonski tok usječen u karbonatne stijene blago se spušta u dolinu. Širina kanjonskog toka povećava se prema poplavnoj ravnici, a najširi je u području Motovunske šume (BOŽIČEVIĆ, 2005). Rijeka se u more ulijeva u uvali Tarska vala, kod grada Novigrada (BENAC et al., 2017; KOS et al.,

2021), gdje stvara intra-estuarijsku deltu (Slika 4.). Gornji dio toka uglavnom je suši s visokom razinom podzemne vode, a donji dio biva periodično plavljen (VUKELIĆ et al., 2018).

Područje donjeg dijela doline rijeke Mirne od kraja 19. stoljeća privlači arheologe, povjesničare i geografe zbog posebnih karakteristika okoliša, dok je u kontekstu geomorfologije i geologije području pruženo manje pozornosti (CARRE et al., 2007; D'INCÀ, 2007). Dolina i ušće rijeke Mirne ekološki je značajno i zaštićeno područje, jedno je od rijetkih preostalih močvarnih okoliša Mediterana, a dio je Ekološke mreže Natura 2000.

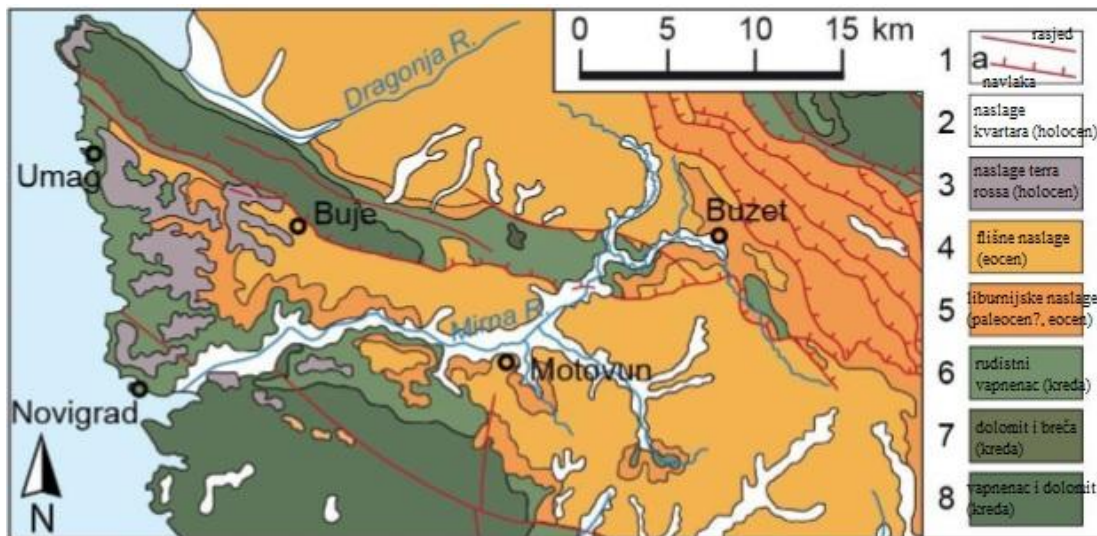


**Slika 4. Pogled na završni dio delte rijeke Mirne.**

### 2.2.1. Geologija područja

Drenažno područje rijeke Mirne sastoji se od karbonata, pretežno vapnenca kredne i eocenske starosti te eocenskih klastičnih naslaga (POLŠAK & ŠIKIĆ, 1963; PLENIČAR et al., 1965) (Slika 5.). Sedimenti lapora i pješčenjaka u izmjeni, odnosno fliša, morfološki su povezani s podlogom (GULAM et al., 2014). Drenažni bazen rijeke Mirne pripada središnjem dijelu istarskog poluotoka, dijelu takozvane „Sive Istre“, zbog rasprostranjenih naslaga sivog eocenskog fliša i holocenskih, kvartarnih naslaga (KOS et al., 2021). Donji tok rijeke Mirne, prema pedološkoj podjeli Istre, pripada „crvenoj Istri“ koju karakteriziraju zemlja crvenica i vapnenačka podloga podložna kemijskom trošenju zbog čega nastaju jame, ponikve, škrape i uvale (LONČAR, 2008). U delti se danas većinom taloži sitnozrnati materijal, mulj i glina, taložen u mirnom okolišu (FELJA, 2017).

Prema POLŠAK & ŠIKIĆ (1963), naslage kvartara su aluvijalne naslage koje ispunjavaju dolinu rijeke Mirne usječenu u klastične naslage Pazinskog paleogenskog bazena. Taj aluvijalni nanos sastavljen je uglavnom od gline i ilovače sive boje, a primjenjuje se u industriji cigle. Glina i ilovača nastale su trošenjem eocenskih lapora s fliških područja i bujičnim nanosom mulja u dolinu. U aluvijalni sastav u manjoj mjeri ulazi i pijesak i šljunak te nanosena zemlja crvenica. Prema PLENIČAR et al. (1965), naslage kvartara prisutne su u donjem toku rijeke. Sivo-plavi, uglavnom masni glinoviti sedimenti ispunili su veći dio doline, a obzirom na biogenu komponentu u njima (rod morskih školjkaša *Cerastoderma* i dr.), može se zaključiti kako je estuarij tijekom geološke prošlosti bio znatno veći. Karakteristika aluvijalnih naslaga je velika razlika u veličini zrna, ali holocenske naslage donjeg toka rijeke Mirne i područja uz njezino korito sastoje se od frakcija gline i mulja. Unutar tog taložnog okoliša, u sivo-zelenkastim naslagama mulja, mogu se pronaći ljuštore školjkaša koje ukazuju na brakični okoliš i morske sedimente te manje količine biogene komponente. Značajna količina sitnozrnatog fliša podložna je mehaničkoj eroziji čime je omogućeno vrlo brzo punjenje krške doline i progradacija delte. Područje rijeke Mirne i njezine doline prikazani su na listovima Trst L33-88 (PLENIČAR et al., 1965) i Rovinj L33-100 (POLŠAK & ŠIKIĆ, 1963) Osnovne geološke karte SFRJ.



Slika 5. Geološka karta Istre i drenažnog područja rijeke Mirne (izmijenjena prema Geološkoj karti Hrvatske 1:300 000, Hrvatski Geološki Institut, 2009), (preuzeto i uređeno prema FELJA et al., 2015).

Prema FELJA et al. (2015) na području rijeke Mirne mogu se opisati sljedeći okoliši:

a) aluvijalni/deltni okoliši; aluvijalna ravnic/slatkovodna močvara: u površinskom i potpovršinskom dijelu doline rijeke Mirne prisutne su aluvijalne/deltne naslage. To su homogeni prahoviti i glinoviti (muljeviti) sedimenti bez vidljive laminacije. Često su bogati biogenom komponentom pa se u njima mogu pronaći fragmenti bilja, lišće i sjemenke. Facijes ovoga područja opisuje se kao poplavna ravnic i facijes aluvijalne močvare bogate organskom tvari i tresetom. Aluvijalni taložni okoliši okarakterizirani su i promjenama veličine zrna u sedimentu u kontekstu pojave krupnijih čestica u području riječnog korita ili u njegovoj blizini, odnosno pojavom sedimenata korita/kanala ili riječnih rukavaca (MIALL, 1996).

b) prijelazni okoliši; slana/brakična močvara/unutarnji estuarij: sedimenti ovoga okoliša prepoznaju se po sadržaju ljuštura mekušaca, najčešće školjkaša iz roda *Cerastoderma*. Između ostalih, navedeni ostaci ukazuju na facijes brakične/slanske močvare i facijes unutarnjeg estuarija. Takvo područje je i dalje pod dominantnim riječnim utjecajem, ali djelomično se osjeti i morski utjecaj. Prijelazne okoliše, posebno brakične/slanske močvare karakteriziraju ostaci foraminifera koji ukazuju na taloženje u brakičnim močvarama na ravnicama do kojih je povremeno dopirala slatka voda tijekom perioda poplavlivanja rijeke Mirne (MURRAY, 1991, 2006; ALBANI et al., 2007; AMOROSI et al., 2004, 2005). Prisutnost drugih određenih

vrsta foraminifera i miliolida u sedimentu ukazuje na taloženje u unutarnjem estuariju te promjenu uvjeta iz riječnih u morske (MURRAY, 2006).

c) okoliš središnjeg/vanjskog estuarija: taložne okoliše karakterizira sediment s prisutnošću ostataka morskih mekušaca, puževa i školjkaša, koji ukazuju na veći salinitet i taloženje u okolišu estuarija. Mogu se pronaći i foraminifere koje predstavljaju dominantno morske uvjete u taložnom okolišu. Muljeve taložene u ovom okolišu karakterizira laminacija nastala riječnim poplavama koje su u kratkom vremenskom periodu do ušća nanijele znatne količine sedimenta bogatog biogenom komponentom. Prema FELJA (2017) podacima stratificirani okoliš središnjeg/vanjskog estuarija, u ovome zaštićenom području zaljeva rijeke Mirne, nastao je riječnim i krškim dotocima slatke vode. Takav stratificirani estuarijski okoliš dopire u more čak i daleko od ušća Mirne.

Područje strukturno pripada dijelu Vanjskih Dinarida gdje dominira vapnenac koji je od donje jure do eocena taložen na Jadranskoj karbonatnoj platformi (VELIĆ et al., 2002). Morfogenezu reljefa i površinskog rasporeda naslaga na području Istre odredili su tektonski pokreti tijekom pliocena i pleistocena (VLAHOVIĆ et al., 2005). Uslijed slijeganja terena, rijeka do ušća nanosi značajne količine sedimenta i tako ga ispunjava. To zatrpavanje dovelo je do oplićavanja koje je rezultiralo nastankom jezera i močvara u blizini riječnih rukavaca (FELJA et al., 2015). Tektonska aktivnost u dolini rijeke Mirne stvorila je složene strukturne odnose koji su utjecali na tok podzemnih voda (MAGDALENIĆ et al., 1995).

Izrazito erodibilnu glavninu stijenske mase istarskog poluotoka čine globigerinski lapori i naslage fliša. Karakteristike tih sedimenata su tijekom pleistocena i holocena uzrokovale dominantno mehaničku eroziju terena izgrađenog od paleogenskih stijena. Na dijelovima otpornijih pješčenjaka, breča i konglomerata stvorena su uzvišenja, a udubljenja su postepeno ispunjavana erodiranim sedimentom (MIHALJEVIĆ, 1998). Istovremeno se na karbonatnim stijenama odvijao proces okršavanja koji je svojim sporim djelovanjem kršem okarakterizirao stijensku karbonatnu masu. Površinski vodotoci nisu učestali, a podzemna voda cirkulira duboko (BIONDIĆ & BIONDIĆ, 2014). Naslage fliša imaju ograničenu propusnost i zbog toga nastaju mreže površinskih vodenih tokova. Posebno je to izraženo za vrijeme intenzivnih oborina kada dominira površinsko otjecanje često bujičnog karaktera (BENAC et al., 2017). Koliko je Mirna značajna za cijeli istarski poluotok, govori podatak da njezina vodna bilanca čini 30% ukupne vodne bilance Istre (KOS et al., 2021). Tome doprinose i brojni krški izvori,

a neki od njih dokumentirani od 20. st. na topografskim kartama donjeg dijela doline su djelomično nestali nakon provedene melioracije područja. Najjače krško vrelo donjeg toka rijeke Mirne je vrelo Gradole, 3,5 km nizvodno od mosta Ponte Porton, s minimalnim protokom procijenjenim na 500-600 l/s, a čije vode daju značajne količine neposrednom slivu Mirne (MAGDALENIĆ et al., 1995; BENAC et al., 2017; BOŽIČEVIĆ, 2005). Tijekom razdoblja obilnih kiša, precipitacija vode prelazi količinu koju tok može zaprimiti. Tada dolazi do poplava. U svim ostalim uvjetima, podzemna voda cirkulira kroz vapnenca ispod razine fliša. Uobičajeno, kada se razina podzemne vode podigne iznad granice vapnenca i fliša, aktivira se nekoliko manjih izvora smještenih uz dolinu rijeke Mirne. Takvi (krški) izvori uz ostale izvore koji se nalaze uz korito rijeke, prihranjuju krški/karbonatni vodonosnik koji ima veliku ekonomsku važnost zbog toga što sadrži značajne količine podzemne vode tijekom suših razdoblja (VLAHOVIĆ, 2000).

Krška područja karakteriziraju karbonati, koji u njima predstavljaju najvažniju komponentu sedimenata. Karbonati u taložnim okolišima mogu biti autigeni ukoliko se direktno talože iz vodenog stupca bogatog kalcijevim karbonatom (količina ovisi o otapanju vapnenaca u slivu), a mogu biti alogeni i tada se uglavnom transportiraju procesima erozije stijena u slivu (CHAMLEY, 1989). Glavni dio alogenih minerala čine kalcit i dolomit. Tijekom vegetacijskih perioda, postepeno se povećava akumuliranje  $CO_2$  u tlu što ubrzava otapanje karbonatnih minerala unutar litoloških članova u flišu. U ljetnim sušim razdobljima nema infiltracije do razine podzemne vode, no pojava značajnih količina oborina tijekom jeseni ispire otopljene tvari iz tla i gornjeg dijela nesaturirane zone (VLAHOVIĆ, 1999; 2000). Tada se podzemna voda obogaćuje otopljenim tvarima, među kojima je značajan  $Ca^{2+}$ , odnosno karbonatna komponenta. U periodima brze sedimentacije i progradacije ušća rijeke Mirne tijekom geološke prošlosti, taložili su se sitnozrnati sedimenti (prah i glina) koji sadrže nizak udio karbonatnog materijala. U morskim taložnim okolišima u kojima se odvijala sporija sedimentacija, karbonatni udio se povećava zbog organizama koje svoje ljuštore grade od  $CaCO_3$ .



## 2.2.2. Antropogeni utjecaj

Riječna ušća istovremeno predstavljaju ekološki vrlo povoljan i vrlo osjetljiv okoliš. Brzi rast populacije i ubrzana razvijenost u ovim područjima stavljaju donje tokove rijeka i njihova ušća među vodene okoliše koji su u najvećoj mjeri pod utjecajem čovjeka. Antropogeni utjecaj na brzinu progradacije i na sedimentaciju u krškim riječnim ušćima je velik.

### 2.2.2.1. Regulacije kroz prošlost

Antropogeni utjecaj na donji tok i ušće rijeke Mirne traje još od 6. tisućljeća pr. Kr. kada su ljudi počeli naseljavati područje te se od tada povećava i utječe na evoluciju cjelokupne obale. Istru su naselili ljudi mlađeg kamenog doba već u neolitik (oko 6500 g. pr. Kr.) i tada su se, posebice duž obale, razvila prva ruralna naselja pa i zemljoradničke i stočarske aktivnosti (FORENBAHER et al., 2013). Kasnije, tijekom ranog i kasnog brončanog doba (2000 – 750 g. pr. Kr.), naseljavanje prostora tadašnjim stanovnicima grupirano je u nekoliko velikih središta koji su kasnije vjerojatno postali veliki rimski gradovi (FELJA, 2017). Rimljani su tijekom 2. i 1. st. pr. Kr. prvi u većoj mjeri utjecali na okoliš kada su gradili kompleksne mreže cesta i sustave polja u kršu. Arheološki nalazi potvrđuju ostatke cesta, naselja, mozaika i rimskih predmeta poput kovanica. U to vrijeme, rijeka Mirna je vjerojatno imala naziv *Ningus*, a imala je i važnu zaštićenu luku Baštiju koja je u blizini mosta Ponte Porton (PARENTIN, 1974; CARRE et al., 2007; D'INCÀ, 2007), te je postojala sve do 1500 AD. Arheološki nalazi također svjedoče o postojanju luke u blizini crkve Sv. BDM od Baštije (1582. g.). Bila je plovna sve do mjesta gdje njen tok siječe drevnu carsku cestu, Via Flavia, odnosno do mosta Ponte Porton. Od tada je na toj lokaciji dno doline do 1857. g. naraslo za oko 4,6 m (MILOTIĆ & PRODAN, 2014). Nakon ispunjenja dna rijeke sedimentom i njegovog porasta, rijekom su mogle ploviti isključivo brodice ravnog dna. Tijekom Bizantskog razdoblja Novigrad postaje glavni grad ovog područja, a tijekom Mletačke vladavine u 13. st. rijeka mijenja naziv u *Quieto*, što opisuje njen miran tok (FELJA et al., 2015). Tijekom i nakon srednjeg vijeka, povijesne karte prikazuju izrazitu progradaciju ušća rijeke Mirne: pred kraj srednjeg vijeka, ušće rijeke bilo je puno udaljenije od današnje morske obale. Venecija svojedobno uređuje korito rijeke kako bi se ponovno uspostavila plovna mogućnost za prijevoz drva iz Motovunske šume. Razdoblje od 12. do 19. st. predstavlja



razdoblje intenziviranog iskorištavanja područja, što je rezultiralo degradacijom okoliša i daljnjom progradacijom delte (FELJA, 2017). Aktivnosti koje su se nastavile sve do danas bile su poljoprivreda, deforestacija, korištenje rijeke za plovidbu i gradnju luka, melioracija i bonifikacija riječne doline. Nakon propasti Mletačke vladavine, prestaje korištenje područja, korito i kanali prestali su se održavati, te su nastale močvare i područjem je zavladao malarija koja je vremenom postala ozbiljan zdravstveni i gospodarski problem. Područje Istre izgubilo je gospodarski značaj, smanjio se broj stanovnika te su se zapustile obradive i šumske površine. Nastupilo je teško doba ratovanja, neimaštine i bolesti koje je utjecalo na degradaciju okoliša. U doba Austrougarske vladavine počinje obnova područja Istre, provodi se melioracija područja te tradicionalno liječenje stanovništva, tzv. „melioracija ljudskog tijela“. Prioritetni ciljevi, osim melioracije, bili su vodoopskrba i izgradnja cesta. Sljedeći pothvati na području Mirne događali su se u 19. i 20. st. kada je Kraljevina Italija započela melioraciju područja reguliranjem rijeke umjetnim meandrima, intenzivnim pošumljavanjem i cjelovitom vodoopskrbom istarskog poluotoka čije je stanovništvo do tada crpilo zagađenu vodu. Melioracijom doline rijeke Mirne isušene su močvare što je iskorijenilo malariju te su tim procesima omogućena obrađivanja plodnih površina. Antropogeni utjecaj je ipak, uz velik broj radnji koje su oporavile narušeno stanje okoliša, prouzročio ponovni nastanak epidemije u 30-im godinama 20. st., jer su zbog prevelikog zatrpavanja donjeg toka rijeke Mirne i vađenja velikih količina tla u njoj nastajale udubine koje su se punile vodom te vremenom postale malarične močvare. Također, intenzivna eksploatacija boksita degradirala je brojna poljoprivredna područja. Bonifikacija doline rijeke Mirne napravljena tijekom vladavine Kraljevine Italije kada je od Buzeta do mora napravljen vodovod i uvedena električna energija. U skladu s projektom talijanskih inženjera 1928. g. predviđena je regulacija toka rijeke Mirne, uređenje područja od Sv. Stjepana do mora i uređenje brdskih slivova svih pritoka, a koja je uključivala izgradnju vodovoda zbog pristupa pitkoj vodi, što je bio osnovni uvjet razvitka poljoprivrede. Navedeni radovi trajno su izmijenili okoliš i na njemu ostavili značajne tragove (Slika 6.) (KRMAC ur., 2013). Donji tok rijeke Mirne tada je izgradnjom umjetnih rukavaca i mreže jaraka povezanih s vodo-crpilišnim stanicama pretvoren u poljoprivredno zemljište (FELJA, 2017). Nedugo zatim, nakon izgradnje prve dionice istarskog vodovoda regulirala su se i iskorijenila područja zaraze čime je dovršena melioracija i sanacija doline rijeke Mirne, a uredili su se i kanali i ceste. Time je regulirano korito rijeke Mirne duž cijelog dolinskog toka tijekom posljednjih stotinjak godina i završavaju procesi melioracije. Razvitkom cestovne infrastrukture riječni plovibeni promet prestaje.



Slika 6. Opis stanja melioracije područja doline rijeke Mirne iz 1930. g. (preuzeto iz KRMAC ur., 2013.).

Velika poplava 1964. g. potiče dodatne velike izmjene regulacije toka Mirne i njenih pritoka. Godine 1988. završen je posljednji veliki građevinski pothvat poduzet posljedično nakon velike poplave, a to je izgradnja rezervoara vode za opskrbu vodnog sustava južne Istre uz rijeku Butonigu, glavnu pritoku rijeke Mirne (BRAGATO et al., 2004). Funkcija tog umjetno stvorenog akumulacijskog jezera bila je zaštita od velikih voda i osiguravanje vode za potrebe vodoopskrbe i navodnjavanja (RUBINIĆ et al., 1998). Na ovaj način, ljudski pothvat je na pozitivan način utjecao na okoliš radi toga što se akumulacija pokazala vrlo korisnom zaštitom za vrijeme druge najveće zabilježene poplave rijeke Mirne koja se dogodila 1993. g., a korisnom se pokazala i tijekom 2012., godine obilježene velikom sušom te je tada akumulacija služila kao izvor pitke vode (SANTIN, 2013).

#### 2.2.2.2. Erozijska i taložnja

Na eroziju obalnog područja tijekom pleistocena su značajno utjecale česte oscilacije razine Jadranskog mora (BENAC & JURAČIĆ, 1998). Prema LAMBECK & PURCELL (2005), pretpostavljena razina mora sjevernog dijela Jadrana prije 10 000 godina bila je 40 m niža, a prije 4000 godina svega 2-2,5 m niža nego danas. Tijekom holocena je more poplavilo duboko usječene riječne doline Mirne i drugih istarskih rijeka te stvorilo estuarije. Usporavanjem porasta morske razine i njenom stagnacijom, započelo je postupno

ispunjavanje dolina sedimentom. Na temelju dosadašnjih istraživanja i povijesnih podataka može se zaključiti kako se ušće rijeke Mirne nalazilo u estuariju koje je vremenom zatrpavano. Analizirane su uzročno-posljedične veze između produkcije nanosa i pronosa te progradacija riječnih ušća zbog sedimentacije (BENAC et al., 2007; BENAC et al., 2017; FELJA et al., 2015). Sedimentacija velikih količina materijala donesenih vodenim tokom dovela je do oplicavanja estuarija i njegovog zatrpavanja (BENAC et al., 1991).

Područje tzv. „Sive Istre“, zbog energije reljefa, nagiba i orijentacije kosina, litološkog sastava, vrste i gustoće vegetacijskog pokrova te mikroklimatskih značajki, karakterizira erozija prouzročena djelovanjem vode (ZORN, 2009; GULAM, 2012). Siliciklastične stijene ovoga područja sastoje se od sitnozrnatih naslaga (glinci, siltiti, lapor) u kojima se intenzivno odvijaju procesi fizičke i posebno kemijske razgradnje. Nasuprot njima, kalcitni pješčenjaci i brečokonglomerati znatno su postojaniji (BENAC et al., 2017). Ono što je posebno značajno za istraživano područje je prahovito-glinovita zona raspadanja uzrokovana postepenim fizičko-kemijskim trošenjem sitnozrnatih litoloških sastavnica stijene. Taj materijal podložan je izrazitoj eroziji. Erozija i nastanak nanosa najizraženiji su u slivu Butonige, glavne pritoke rijeke Mirne, zbog ogoljelih površina na flišu i laporima kojih je u ovome području najviše u odnosu na cijeli sliv Mirne (GULAM, 2012). Erozija je prouzročena ispiranjem izrazito sezonskog karaktera. Posebno visoka produkcija i pronos nanosa izražena je u toplijim dijelovima godine, prilikom velikih količina oborina nakon duljih sušnih razdoblja. Erozija uzrokuje povećanu koncentraciju suspendiranog nanosa u površinskim vodama (BENAC et al., 2017).

Erodibilnost fliških sedimenata i nagib padine odgovorni su za veliku produkciju sitnozrnatog sedimenta koji se poplavama koncentriraju pri dnu doline stvarajući aluvijalne naslage. Zbog kontinuirane erozije mineralnih čestica s padina i taloženja u dnu doline, tla donjeg toka su debela, slabo razvijena i bogata kalcijevim karbonatom (BRAGATO et al., 2004). Reljef kojega karakterizira fliš opisuju gusta hidrografska mreža, osiromašenje vegetacijskim pokrovom, strmi nagib te materijal koji je uglavnom nekonsolidiran i glinom bogat sediment. Lapor i recentni aluvijalni materijal brzo erodiraju i imaju jaku denudaciju (GULAM et al., 2014). Padinska denudacija i erozija fliša prvenstveno su zaslužni za karakterizaciju porijekla sedimenta (BABIĆ, 1968). Uz fliš su povezane i ogoline koje čine oko 2% Sive Istre: područja izrazite erozije koja dostiže tip erozije brazdanjem i jaružanjem, a jaruge mogu proizvesti i do 8000 puta više nanosa nego što je to slučaj na područjima pod vegetacijom i s debljom zonom pedosfere (BENAC et al., 2017; JURAK & FABIĆ, 2000).

Oko 72% materijala transportiranog rijekom predstavljaju čestice u suspenziji (SYVITSKI et al., 2003). Deltni sustavi vrlo su složeni pa se različiti procesi taloženja mogu istovremeno odvijati pod utjecajem niza čimbenika. Jedan dio čestica u suspenziji pod utjecajem je koagulacije, procesa nastanka agregata prilikom ulaska čestica iz slatkovodnog u morski okoliš zbog prelaska iz otopine manje ionske jakosti u otopinu veće ionske jakosti. Drugi dio stvorit će agregate procesom flokulacije, odnosno spajanjem organskih ovojnica čestica i anorganskih čestica u flokule (LEPPARD & DROPPA, 2005; FOX et al., 2004). Taloženje nakupljenog, flokuliranog materijala puno je brže od taloženja individualnih čestica, stoga je prisutnost organske tvari u riječnim okolišima vrlo važno prilikom promatranja procesa taloženja sitnozrnatog materijala (SONDI et al., 1995). Brza sedimentacija velike količine riječnog materijala rezultat je nekoliko faktora u međusobnom djelovanju, a to su niska energija okoliša (zaštićeno riječno ušće i mali raspon plime i oseke), stratificirana cirkulacija vode unutar estuarija (površinski brakični sloj prema moru i pridneni slani sloj prema kopnu) te izražena flokulacija na kontaktu slatke i slane vode.

Granulometrijske karakteristike sedimenata pri dnu doline pod utjecajem su dinamike rijeke. Energija poplavlivanja područja utječe na taloženje frakcija gline koja se taloži u područjima gdje voda dulje stagnira, odnosno u nižim dijelovima poplavne ravnice (BRAGATO et al., 2004).

### 2.2.2.3. Deforestacija

Najizraženije promjene u istraživanom području bile su rezultat deforestacije, odnosno sječe Motovunske šume za potrebe brodogradilišne industrije u Veneciji (PARENTIN, 1974; D'INCÀ, 2007). Tijekom šezdesetih godina 20. st., pokrenuti su radovi nove regulacije toka što je uključivalo iskop i sječu ostataka stabala Motovunske šume. Starost panjeva provedenom laboratorijskom analizom poluraspada izotopa ugljika  $^{14}\text{C}$  i prema srednjoj vrijednosti dendrokronološke korekcije datira u 1505. +/- 70 g., što označava vrijeme deforestacije. Temeljem podataka tadašnje i recentne razine doline, procijenjeno je prosječno podizanje dna doline Mirne za područje oko Motovuna za oko 0,9 – 1,0 cm/god (RUBINIĆ et al., 1998).

Motovunska šuma smještena na istarskom poluotoku u donjem toku rijeke Mirne predstavlja jednu od najbolje očuvanih mediteranskih šuma listopadnog drveća koje su danas

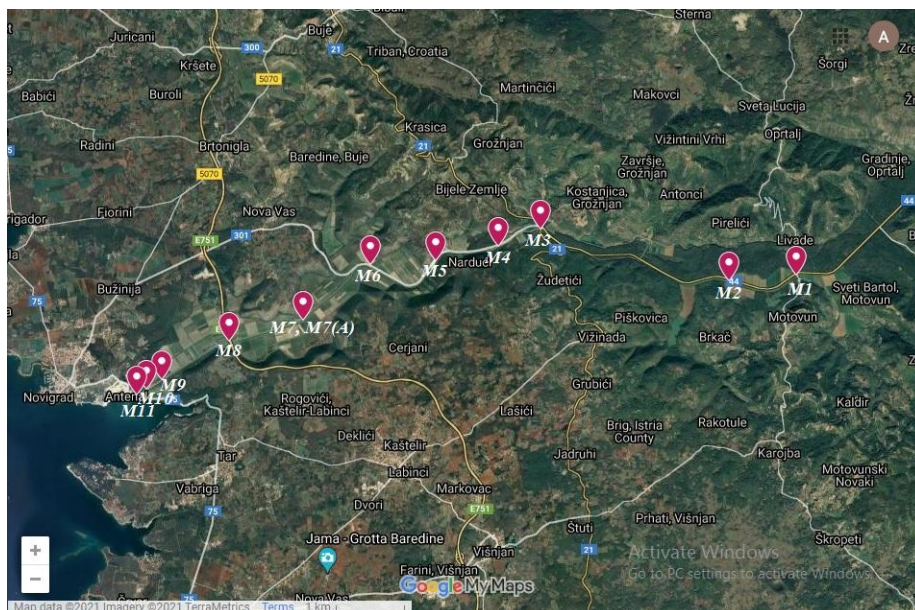
vrlo rijetke. Ona je zapravo ostatak drevnih šuma hrasta i jasena koje su tisućama godina prekrivale riječne ravnice na području sjevernog Jadrana. Periodično poplavljanje, kontinentalni utjecaj i visina podzemne vode su glavni ekološki faktori sastava i rasta šume. Sastav šumskog pokrova pod snažnim je antropogenim utjecajem, zatim pod utjecajem šumarstva i neznatno poljoprivrede. U Europi je Motovunska šuma poznata kao stanište cijjenjenih bijelih i crnih tartufa, a zbog poduzetih javnih radova koji su promijenili vodni režim područja i uzrokovali isušivanje šumskog tla, došlo je do pada njihove proizvodnje. Dio je ekološke mreže Natura 2000, a od 1963. g. 300 ha stare šume zaštićeno je kao „posebni rezervat šumske vegetacije“. Problem s kojim se šuma suočava je nedostatak brojnih vrsta koje pripadaju području kontinentalnih poplavnih i vlažnih šuma južne Europe, a glavni razlozi su biogeografska pozicija, ekološki uvjeti i antropogeni utjecaj (VUKELIĆ et al., 2018). Na primjeru Motovunske šume jasno se uočava utjecaj i problematika deforestacije (BRAGATO et al., 2004). Kao što je već navedeno, razdoblje od 15. do 19. st. kada se područje koristilo za proizvodnju broskog drva, predstavlja najranjiviji period i u kontekstu deforestacije. Intenzitet deforestacije najbolje se uočava u podacima da je do prve polovice 19. st. obični hrast tvorio više od 90% šumskog pokrova, a danas je smanjen na 45%. Također, tijekom 19. st. se pošumljenost snizila sa 1800 ha na 900 ha, a promijenjen je i sastav vegetacije. Deforestacija nije u svim dijelovima bila jednako izražena, a razlog tome su česte periodične poplave rijeke Mirne koje su ograničavale područja eksploatacije drva. Uz industriju brodogradnje, na šumu, kao i na okoliš rijeke Mirne, utjecali su radovi iskopa novog korita i izgradnje ceste duž desne strane obale te izgradnje akumulacije uz rijeku Butonigu. Tim postupcima promijenila se hidrografska mreža i količina vode u donjem toku uzrokujući isušivanje tla Motovunske šume. Uz antropogene procese, prisutni su i oni prirodni. Prirodni procesi nastoje dovesti u ravnotežu stanje okoliša pa se tako kosine koje su obrađivane u prošlosti, danas re-neutraliziraju. Osim antropogenih procesa koji degradiraju okoliš, važno je napomenuti kako oni mogu uz prirodne procese utjecati na djelomičnu obnovu okoliša. Sukladno tome, u području rijeke Mirne se usmjerava voda u šumu što pogoduje zaustavljanju pada razvitka i proizvodnje šumske vegetacije te obnovi hidrološkog stanja područja. Problematika takvih međusobnih odnosa u okolišu je ta što pojedini procesi mogu povoljno utjecati u jednom kontekstu, ali će, nažalost, u drugome djelovati nepovoljno. Takav slučaj može se opisati i u istraživanom području zbog toga što usmjeravanje vode povoljno djeluje na šumu i šumsku vegetaciju, ali nepovoljno djeluje na riječni okoliš.

### 3. Materijali i metode istraživanja

Ostvarenje postavljenih ciljeva na početku izrade diplomskog rada ne bi bilo moguće bez prve faze istraživanja, a to je terenski rad. Nakon terenskog istraživanja i uzorkovanja sedimenata bilo je potrebno različitim metodama i tehnikama okarakterizirati kako bih prikupila dovoljno podataka i informacija o sedimentu i taložnim okolišima za dokazivanje utjecaja prirodnih procesa i antropogenih aktivnosti u promatranom području.

#### 3.1. Terenski rad

Sediment je uzorkovan iz korita rijeke, s poplavne ravnice, slane močvare i iz mora na ušću rijeke Mirne. S različitih lokacija duž toka prikupljeno je 11 uzoraka od kojih je svaki terenski opisan, označen i zatvoren u plastičnu vrećicu kako bi se sačuvale njegove karakteristike za daljnje laboratorijske analize. Svaka terenska točka dokumentirana je fotografiranjem uzoraka, procesa uzorkovanja te korita rijeke i njenog okolnog prostora. Za izradu precizne lokacijske karte istraživanog područja (Slika 7.), koordinate na pojedinim točkama određivale su se pomoću GPS „Coordinates“ aplikacije.



Slika 7. Lokacijska karta donjeg toka rijeke Mirne s označenim terenskim točkama (Google Maps).

### 3.1.1. Uzorkovanje

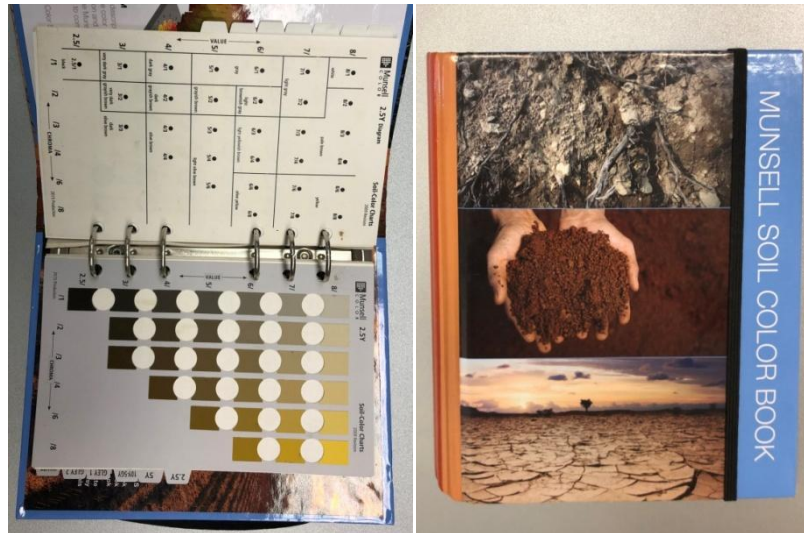
Uzorkovanje sedimenta M1, M2, M3, M5, M6, M7(A), M8 i M9 s poplavne ravnice te M10 na ušću i M11 ispred ušća, napravljeno je pomoću jezgrila, a sediment M7 iz korita rijeke uzorkovan je pomoću Van Veen-ovog grabila (Slika 8.). Grabilo se s određene visine spušta prema dnu i prikuplja površinske uzorke. Predstavlja sklop dvaju spremnika i dviju poluga koje su povezane sajlom čija napetost drži poluge tako da sprječava zatvaranje spremnika prilikom spuštanja. Pri kontaktu s dnom, napetost sajle popusti, težina grabilice omogućuje zadiranje u sediment te se spremnici čvrsto zatvore, a u njima ostanu prikupljeni sediment. Tijekom podizanja, manja količina sedimenta ispere se zajedno s vodom koja se cijedi, ali u pravilu, gubitak sedimenta je neznatan. Nakon otvaranja grabila, uzorak je pomoću nožića prebačen u označenu plastičnu vrećicu. Sedimenti poplavne ravnice bušeni su jezgrilom. Dugačko udubljenje na vrhu daje mogućnost prikupljanja duboke jezgre koja prilikom izvlačenja ostaje neometana te se dobro očuvaju njene karakteristike, osobito u praškastim i glinovitim naslagama u kojima se čak mogu očuvati unutarnja svojstva taloženja poput laminacija milimetarskih dimenzija. Pomoću nožića, uzorci površinskog dijela, dubine 20 – 30 cm, sastrugani su s udubljenja i prebačeni u označene plastične vrećice.



**Slika 8. Korištena terenska oprema, lijevo je prikazano Van Veen-ovo grabilo, u sredini nožić i desno jezgrilo s udubljenjem na vrhu.**



Nakon odrađenog terenskog istraživanja, uzorci su ostavljeni na sušenju nekoliko tjedana do daljnje laboratorijske obrade. Boja uzoraka određena je usporedbom uzorka s Munsell-ovim tablicama boja tla, (*The Munsell Color System*) (Slika 9.).



Slika 9. Munsell-ova tablica boja tla (*The Munsell Color System*).

## 3.2. Laboratorijska obrada uzoraka

### 3.2.1. Granulometrijska analiza – kombinirana metoda mokrog sijanja i sedigrafa

Osnovna metoda za izradu rada, kojom su se određivale granulometrijske karakteristike sedimenata je kombinirana metoda mokrog sijanja i sedigrafa. Kombinirana metoda odrađena je u laboratoriju Geološko-Paleotološkog zavoda Geološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu. Za čestice veće od 0,063 mm granulometrijski sastav određen je mokrim sijanjem, a za čestice manje od 0,063 mm sedigrafom. Prije početka analiza, izvagane su mase suhih uzoraka. Od svakog uzorka je pomoću analitičke vage izdvojen poduzorak mase 20 g za sitnozrnate uzorke te jedan mase 100 g za krupnozrnati uzorak. Poduzorci su stavljeni u označene staklenke u koje se dodala destilirana voda. Pomiješani su staklenim štapićem te dodatno pomoću ultrazvučne kade (Slika 10.). Nakon provedene pripreme poduzoraka, započeo je proces mokrog sijanja koji je po uzorku trajao 20



– 30 minuta, ovisno o karakteristikama sedimenta. Poduzroci su prosijani kroz set od sedam standardnih sita (Slika 10.) od nehrđajućeg čelika Retsch®ASTM raspona promjera otvora od 4 mm do 0,063 mm (4, 2, 1, 0,5, 0,25, 0,125 i 0,063 mm s jednim  $\phi$  intervalom); prema WENTWORTH (1922) klasifikaciji granica od sitnog šljunka do vrlo sitnog pijeska. Sita rade uz pomoć tresilice Fritsch Analysette®, a uzorak u svakom situ ispire se destiliranom vodom. Frakcije zaostale na svakom situ su izdvojene i stavljene u označene staklene zdjelice i ostavljene da se suše dok sva voda ne ispari. Nakon nekoliko dana, precizno pomoću kista, izvagane su mase frakcija te su spremljene u vrećice označene odgovarajućom veličinom frakcija od 4 mm do 0,063 mm. Frakcija koja je destiliranom vodom isprana kroz posljednje sito (promjer otvora 0,063 mm) je putem cijevi spojene na veliku označenu staklenku sakupljena u suspenziji iz koje je, nakon što se nekoliko tjedana taložila, uzet poduzorak za analizu sedigrafa. Priprema uzoraka za rad na sedigrafu „Micromeritics 5100“ (Slika 11.) zahtijevala je proces dekantiranja. Nakon što se suspenzija istaložila, višak vode je dekantiran do omjera debljine istaloženog sedimenta i vode otprilike 1:1. Dobivena gušća suspenzija je homogenizirana miješanjem staklenim štapićem. Prije početka analize uzoraka na sedigrafu, analizirana je čista tekućina 0,5%-tne koncentracije koja se sastoji od suspenzijske tekućine (destilirane vode) i antikoagulansa natrij heksametafosfata koji omogućuje bolje raspršenje čestica i sprječava njihovo sljepljivanje. Time je dobivena bazna linija prolaznosti (apsorpcije) rtg zraka unutar suspenzije. Suspenzija je zatim prelivena u posudu za miješanje iz koje je sustavom pumpi dovedena u ćeliju u kojoj se vrši analiza uzorka. U trenutku početka taloženja čestica, zaustavlja se miješanje te započinje analiza koja po uzorku traje oko 25 minuta. Krivulja prolaznosti rtg zraka analiziranog uzorka treba biti 50 – 70% bazne linije prolaznosti da bi se analiza smatrala ispravnom. Ukoliko dođe do greške prilikom analize, analiza se ponavlja na drugom poduzorku, sve dok se ne dobije adekvatan rezultat. Analiza sedigrafa završava u trenutku kada se linija prolaznosti rtg zraka uzorka preklopi s baznom linijom, kada završava i taloženje. Postupak kombinirane metode mokrog sijanja i sedigrafa odrađen je za svih 11 uzoraka. Podaci dobiveni objema tehnikama spojeni su kako bi se dobio ukupan raspon veličine zrna, a ti podaci su statistički obrađeni i sedimenti su klasificirani prema FOLK (1954) podjeli temeljnoj na omjeru šljunak-pijesak-mulj i pijesak-prah-glina.



Slika 10. Znanstvena oprema korištena za metodu mokrog sijanja: ultrazvučna kada (lijevo); Fritsch Analysette® tresilica sa setom od sedam Retsch®ASTM sita (desno); Geološko-paleontološki zavod PMF-a.

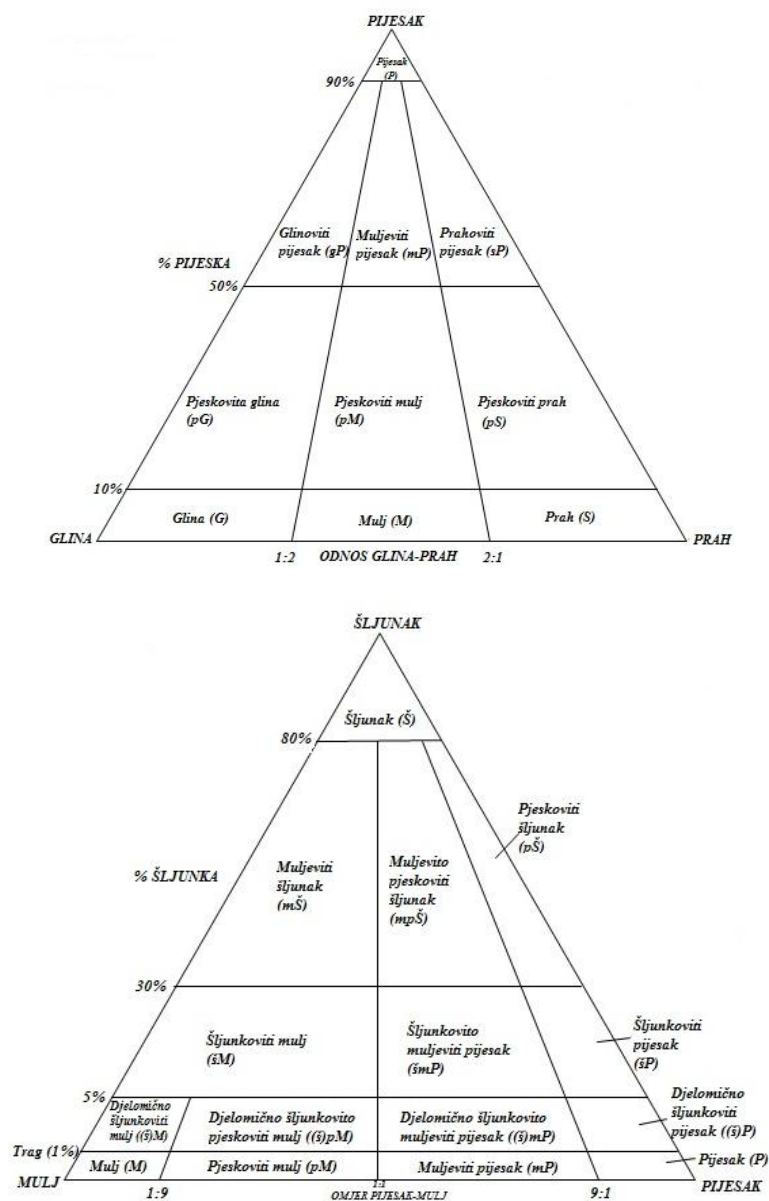


Slika 11. Suspenzija uzorka M5 prije pripreme (lijevo) korištena za rad na sedigrafu „Micromeritics 5100“ (Micromeritics Instrument Corporation) (desno); Geološko-paleontološki zavod PMF-a.

### 3.2.2. Statistička obrada rezultata granulometrijskih analiza

Kako bi se odredile granulometrijske karakteristike uzoraka, rezultati raspodjele veličine zrna dobiveni kombiniranom metodom mokrog sijanja i sedigrafa složeni su u jedan niz. Statistička obrada tih podataka napravljena je pomoću programa GRADISTAT Version 6,0 – statističkog paketa raspodjele veličine zrna za analizu nekonsolidiranih sedimenata sijanjem (BLOTT, 2008). Program je dostupan u Microsoft Excel formatu kako bi omogućio proračunske tablice i grafike. Uz mnoge korisne podatke, program pruža i fizički opis strukturne grupe kojoj uzorak pripada i naziv sedimenta (poput „sitno šljunkovitog krupnog

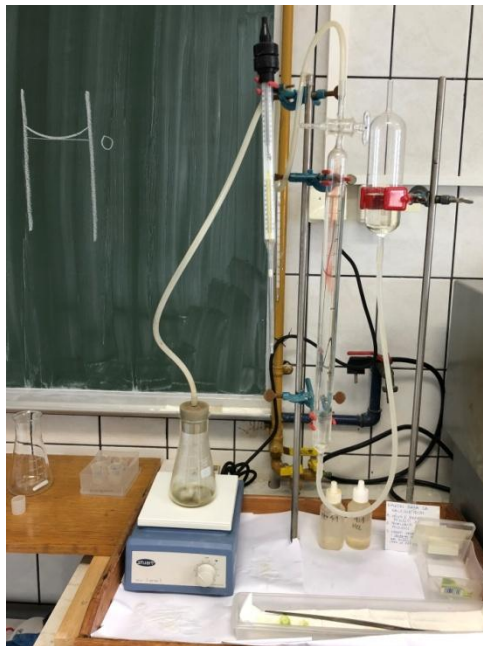
pijeska“) prema FOLK (1954) klasifikaciji, grafikone raspodjele veličine zrna i kumulativne raspodjele podataka u metričkim i  $\phi$  jedinicama te prikazuje veličinu zrna uzorka na trokomponentnim dijagramima. Za početak računalne obrade, potrebno je unijeti maseni udio svake pojedine frakcije izračunat preko omjera mase frakcije i ukupne mase poduzorka u tablicu programa. Očitavanjem vrijednosti kumulativnih postotaka na granicama između frakcija, šljunak i pijesak (2 mm), pijesak i prah (0,063 mm) te prah i glina (0,004 mm), dobiveni su postoci frakcija u uzorku. Iz udjela navedenih frakcija određen je tip sedimenta prema Folkovim klasifikacijama, u trokomponentnim dijagramima ovisno o tome sadrži li uzorak šljunak ili ne (Slika 12.).



Slika 12. Klasifikacija sedimenata prema veličini zrna obzirom na udio pijeska, praha i gline (iznad) te obzirom na udio šljunka, pijeska i mulja (ispod) (prema FOLK, 1954; uređeno).

### 3.2.3. Analiza udjela karbonata – kalcimetrija

Udio karbonata u svih jedanaest uzoraka određen je volumetrijom plina na Scheiblerovoj aparaturi (Slika 13.) u laboratoriju Mineraloško-petrografskog zavoda Geološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu. Metoda kalcimetrije temelji se na određivanju volumnog udjela ugljikovog dioksida ( $CO_2$ ) koji nastaje pri reakciji otapanja karbonata u klorovodičnoj kiselinu ( $HCl$ ).



Slika 13. Scheiblerova aparatura za kalcimetriju; Mineraloško-petrografski zavod PMF-a.

Iz početne mase uzoraka (*bulk*) pomoću analitičke vage izvagane su mase poduzoraka do 5 g. Svaki poduzorak je u ahatnom tarioniku zdrobljen u prah, osim uzorka M11 (litoklasti) koji je zdrobljen u prah u drobilici Fritsch Pulverisette® (Slika 14.) na Mineraloško-petrografskom zavodu Geološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu. Prije određivanja udjela karbonata u uzorcima sedimenta, mjeri se standard. Najprije je po dva puta izvagano 300 mg standarda čistog  $CaCO_3$  i stavljeno u posudice. Svaka od posudica pojedinačno je stavljena u Erlenmeyerovu tikvicu zajedno s 5 ml 10%-tne klorovodične kiseline razrijeđene destiliranom vodom (1:1) i magnetom te se tikvica zatvorila gumenim čepom kako bismo postigli zatvoreni sustav. Uz pomoć magnetne miješalice tijekom 5 minuta

došlo je do reakcije kojom se razvio plin  $CO_2$  čiji je volumen izmjeren i očitao. Maseni udio karbonata je izračunat prema formuli:

$$\% CaCO_3 = \frac{ml\ CO_2 \times F_{T,P} \times 2,274 \times 100}{mg\ standarda} \quad [1]$$

gdje se  $F_{T,P}$  vrijednost koja ovisi o temperaturi i tlaku u trenutku i prostoru mjerenja očitava iz tablice svaki put prije novog mjerenja. Prema formuli [1] određeni su udjeli karbonata u svim uzorcima sedimenata, a za standard i svaki uzorak mjerenje je napravljeno dva puta. Za konačnu vrijednost uzeta je aritmetička sredina dobivenih rezultata.



Slika 14. Znanstvena oprema korištena za pripremu uzoraka za kalcimetriju; ahadni tarionik (lijevo), ahadni mlin Fritsch Pulverisette® (sredina), analitička vaga Mettler Toledo AT261 DeltaRange® (desno); Mineraloško-petrografski zavod PMF-a.



## 4. Rezultati

Nakon napravljenih terenskih i laboratorijskih opisa i analiza sedimenata donjeg toka i ušća rijeke Mirne dobiveni su rezultati o karakteristikama jedanaest uzoraka površinskog dijela sedimenta (20 - 30 cm dubine) te će isti biti opisani u nastavku rada.

### 4.1. Rezultati terenskog rada

#### Točka M1

Jezgra M1 površinskog dijela izvađena je s lokacije najdalje od ušća Mirne. Uzorkovanje je odrađeno uz korito rijeke na poplavnoj ravnici donjeg toka rijeke Mirne (Slika 15.). Jezgra sivkaste boje uglavnom je sitnozrnata i sadrži dosta biogene komponente (korijenje, grančice). Terenska točka nalazi se blizu ceste i blizu visokog mosta koji prelazi preko rijeke. Uz korito rijeke uočene su erozijske terase.



Slika 15. Uzorak M1 i područje uzorkovanja.

### Točka M2

Na udaljenosti od otprilike 2 km od prethodne točke, površinski dio jezgre M2 je izvađen iz područja poplavne ravnice uz korito (Slika 16.). Sitnozrnata, poprilično muljevita jezgra sivkaste boje također sadrži biogenu komponentu, u manjoj količini.



**Slika 16. Uzorak M2 i područje uzorkovanja.**

### Točka M3

Točka se nalazi u blizini mosta Ponte Porton koji prelazi preko rijeke Mirne, malo udaljena od prometnice. Na nešto strmijem koritu s jedne strane uočava se značajna erozija, a s druge strane antropogena intervencija, odnosno obala obložena agregatom koju je čovjek napravio kako bi regulirao tok. Površinski uzorak je uzet s poplavne ravnice uz korito rijeke (Slika 17.). Jezgra M3 smečkaste je boje, sitnozrnata i poprilično muljevita te sadrži ponešto biogene komponente.



**Slika 17. Uzorak M3 i područje uzorkovanja.**

#### Točka M4

Oko 1 km nizvodno od mosta Ponte Porton (Slika 18.), uz rijeku Mirnu, smještena je mala crkvice Majke Božje od Baštije s koje se pruža pogled na područje intenzivne erozije i antropogenu intervenciju. Strmi teren nije omogućavao uzorkovanje.



**Slika 18. Područje točke M4.**

#### Točka M5

Jezgra M5 je uzorkovana s poplavne ravnice blizu korita rijeke (slika 19.). Površinska jezgra smečkaste boje je sitnozrnata i sadrži neznatne količine biogene komponente. Područje s kojeg je uzet sediment karakteriziran je sušim uvjetima i vidljivim desikacijskim pukotinama. S druge strane korita uočavaju se erozijski procesi na obali rijeke i intervencija čovjeka u obliku učvršćivanja erodibilne obale stjenovitim agregatom kojim je erozija umanjena i tok reguliran.



**Slika 19. Uzorkovanje M5 i područje uzorkovanja.**



## Točka M6

Sa široko rasprostranjene poplavne ravnice (Slika 20.), na osjetno teži način uzorkovan je površinski dio sedimenta koji je suh, kompaktn, čvrst i okarakteriziran brojnim površinskim desikacijskim pukotinama. Jezgra M6 smečkaste boje uglavnom je glinovita, sitnozrnata.



Slika 20. Uzorak M6 i područje uzorkovanja.

## Točka M7 i M7(A)

Uzorkovanje sedimenta ove točke razlikuje se od prethodne tehnike uzorkovanja ručnim svrdlom. Jedini je uzorak koji je uzet pomoću grabila s mosta koji prelazi preko rijeke Mirne čija je dubina korita procijenjena na 4 – 5 m (Slika 21.). Jezgra M7 tamnije sive boje sadržava makroskopski uočljivi ostaci školjkaša većih dimenzija. Sediment je uglavnom je sitnozrnat i muljevit.



Slika 21. Uzorak M7 i proces uzorkovanja.

Na istoj lokaciji, s poplavne ravnice ispod mosta, uzorkovano je i jezgrilom (Slika 22.). Jezgra M7(A) sivkaste boje je uglavnom sitnozrnata.



**Slika 22. Uzorak M7(A) i uzorkovanje.**

#### Točka M8

Lokacija uzorkovanja sedimenta na ovoj točki bila je ispod vijadukta koji se pregledno vidi s područja na kojem je fotografirana Slika 4. Jezgra M8 s poplavne ravnice (Slika 23.) smečkaste je boje i sadrži veliku količinu biogene komponente. U suhom i čvrstom sedimentu koji je pretežno prekriven suhom florom, mjestimice se mogu pronaći ostaci ljuštura morskih školjkaša po čemu se može zaključiti da je tu nekada dopiralo more.



**Slika 23. Uzorak M8.**

### Točka M9

Uz obilje vegetacije koja se rasprostire sve do ušća i mora, područje je ekološki vrlo bogato. Jezgra M9 je uzeta iz područja slane močvare (slika 24.), a karakterizirana je izmjenom suhog tla s vrlo izraženim desikacijskim pukotinama i vlažnog močvarnog tla uz obilje močvarne vegetacije. Sivkaste je boje i sitnoznata.



**Slika 24. Uzorak M9 i područje uzorkovanja.**

### Točka M10

Na samom ulazu rijeke Mirne u more, gdje se već osjeti utjecaj morske vode, jezgra M10 je uzorkovana iz plitkovodnog močvarnog okoliša (Slika 25.), sivkaste je boje i pretežno sitnoznata. Veći utjecaj mora pretpostavljen je po pronalasku brojnih ostataka ljuštura morskih školjkaša roda *Cerastoderma*, kao što je to bio slučaj, ali u manjim količinama, na lokaciji točke M8.



**Slika 25. Proces uzorkovanja.**

## Točka M11

Uzorak je prikupljen iz mora na ušću rijeke Mirne, s plaže nedaleko mosta Antenal (Slika 26.). Naočigled krupnozrnati sediment sastoji se od litoklasta i razlikuje se od preostalih uglavnom sitnozrnatih uzoraka.



Slika 26. Područje uzorkovanja.

## 4.2. Rezultati određivanja boje uzoraka

Tablica 1. Određivanje boje sedimenta prema *Munsell Color System* knjižici.

<i>Uzorak</i>	<i>Oznaka boje</i>	<i>Boja po Munsell-u</i>
<i>M1</i>	5Y 4/2	maslinasto siva
<i>M2</i>	5Y 5/2	maslinasto siva
<i>M3</i>	2,5Y 5/3	svijetlo maslinasto smeđa
<i>M5</i>	2,5Y 5/3	svijetlo maslinasto smeđa
<i>M6</i>	2,5Y 4/3	maslinasto smeđa
<i>M7</i>	GLE Y1 4/10Y	tamno zelenkasto siva
<i>M7(A)</i>	5Y 5/1	siva
<i>M8</i>	2,5Y 3/3	tamno maslinasto smeđa
<i>M9</i>	GLE Y1 5/10Y	zelenkasto siva
<i>M10</i>	5Y 5/2	maslinasto siva

#### 4.3. Rezultati granulometrijske analize i analize udjela karbonata

Granulometrijske karakteristike svakog uzorka zasebno prikazane su tablično (Tablica 2.) i u Prilogu I., a u dijelu koji slijedi prikazani su sumirani podaci.

Tablica 2. Raspodjela veličine zrna i udio karbonata u uzorcima (poplavna ravnica, korito, močvara, ušće i plaža rijeke Mirne).

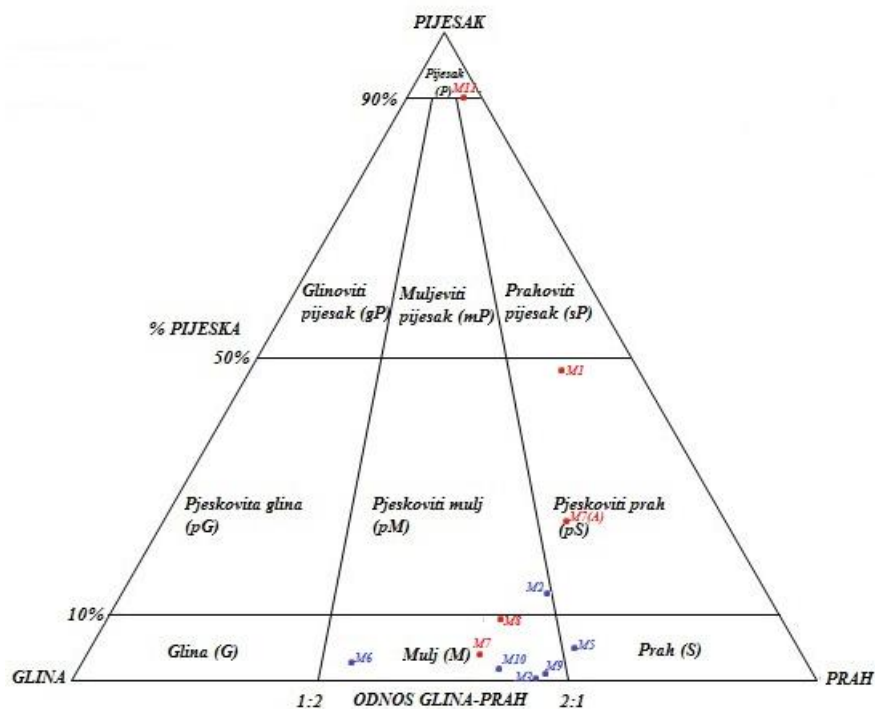
UZORAK	GLINA (%)	PRAH (%)	PIJESAK (%)	ŠLJUNAK (%)	TEKSTURALNA GRUPA	UDIO KARBONATA (%)
M1	10,3	39,3	48,8	1,6	djelomično-šljunkovito-pjeskoviti mulj	52,83
M2	29,9	55,5	14,6	0	pjeskoviti mulj	26,89
M3	38,5	60,1	1,4	0	mulj	25,47
M5	30,4	63,8	5,8	0	mulj	31,13
M6	58,5	37,1	4,4	0	mulj	25,94
M7	42,6	49,8	5,8	1,8	djelomično-šljunkoviti mulj	27,64
M7(A)	20,2	51,3	27,2	1,3	djelomično-šljunkovito-pjeskoviti mulj	32,16
M8	28,9	39	7,9	24,2	šljunkoviti mulj	29,65
M9	36,9	60,4	2,7	0	mulj	34,67
M10	39,3	56,2	3,7	0,8	djelomično-šljunkoviti mulj	34,17
M11	0,8	1,8	30,4	67	pjeskoviti šljunak	100

Zastupljenost i udjeli muljeva, pijesaka i šljunaka prikazani su pomoću trokomponentnih dijagrama (FOLK, 1954) koji sadrže prikaz svih 11 uzoraka (Slike 27. i 28.). Plavom bojom prikazani su sedimenti koji u svom sastavu sadrže manje od 1% šljunka, a crvenom bojom sedimenti koji imaju više od 1% šljunka u svome sastavu. Granulometrijski sastav sedimenta sastoji se od više granulometrijskih frakcija. Sastav sedimenta obzirom na udio pijeska, praha i gline, uzoraka koji sadrže manje od 1% šljunka, pokazuje koncentraciju tih uzoraka (plava boja) u/oko područja mulja (M). Tako su najzastupljeniji muljevi među kojima su određena četiri uzorka: M3 i M6 s poplavne ravnice te M9, M10 s močvarnog područja. Među muljevima su prisutni pjeskoviti mulj (pM), uzorak poplavne ravnice M2. Zatim uzorak s više od 1% šljunka u svome sastavu, djelomično-šljunkovito-pjeskoviti mulj ((š)pM) odnosno uzorak s poplavne ravnice M7(A). Uzorak s iste lokacije uzorkovan iz korita, M7, klasificiran je kao djelomično-šljunkoviti mulj ((š)M). Uzorak morskog sedimenta M8 s poplavne

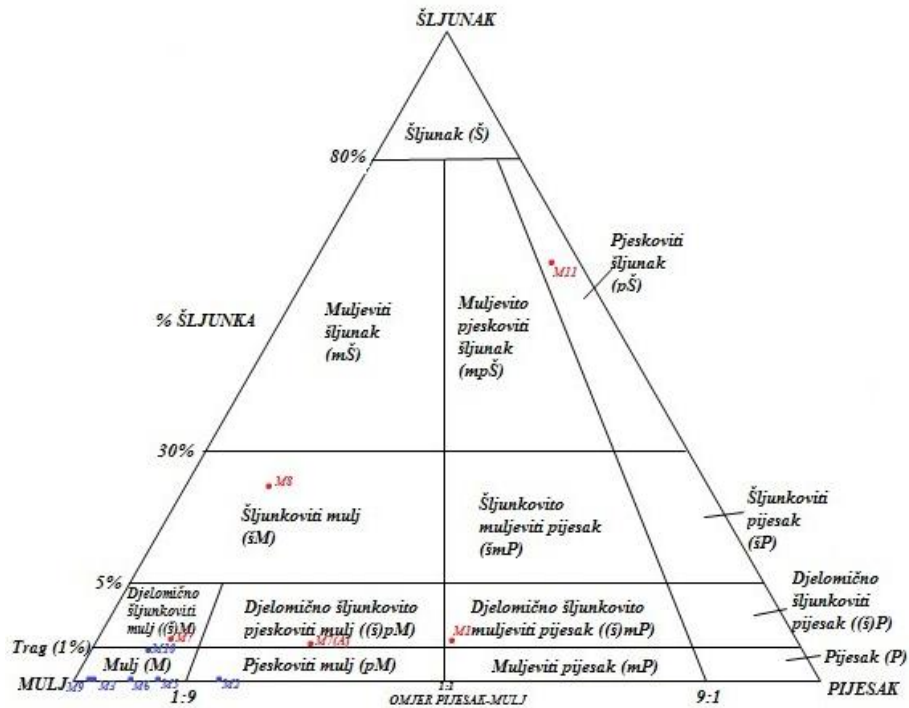


ravnice rijeke određen je kao šljunkoviti mulj (šM). Uz pretežito muljevite sedimente, sastav pokazuje podjednaku zastupljenost frakcija praha, pijeska i šljunka među kojima su prisutni: prah (S) kao uzorak poplavne ravnice M5, djelomično-šljunkovito-muljeviti pijesak ((š)mP) kao uzorak M1 te pjeskoviti šljunak (pŠ), odnosno uzorak iz mora na ušću, M11.

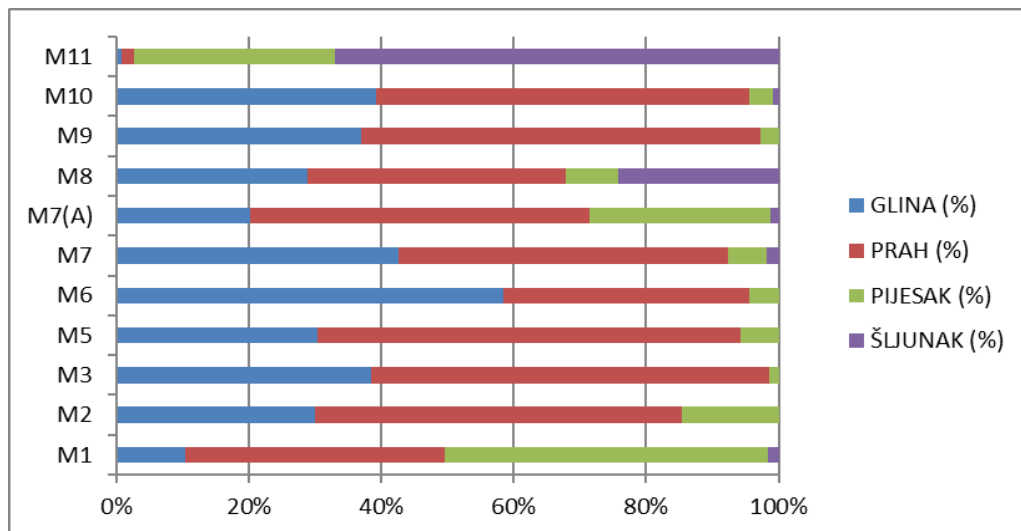
Među analiziranim uzorcima najviše gline, 58,5%, u svome sastavu ima uzorak M6, mulj uzorkovan s poplavne ravnice, dok uzorak M11 iz mora na ušću sadrži najmanje gline (0,8%). Krupnozrnati M11 sadrži i najmanje praha (1,8%), a najviše praha ima u muljevitom uzorku M5. Djelomično-šljunkovito-pjeskoviti uzorak mulja M1 sadrži najviše pijeska (48,8%), dok ga muljevi imaju najmanje, mulj M3 s 1,4% u svome sastavu. Šljunka u pojedinim uzorcima nedostaje u potpunosti, tek se s 0,8% pojavljuje u djelomično-šljunkovitom močvarnome mulju (M10), a najviše ga ima u pjeskovitom šljunku M11 (67%) (Slika 29.).



Slika 27. Granulometrijski sastav sedimenata na temelju udjela pijeska, praha i gline (prema FOLK, 1954; uredeno); uzorci s <1% šljunka označeni su plavom bojom, ostali crvenom.



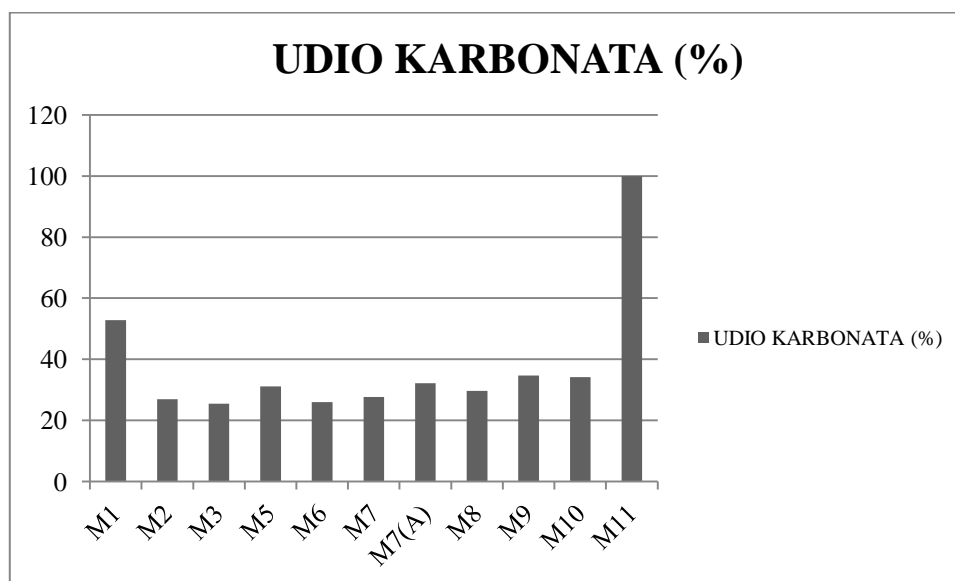
Slika 28. Granulometrijski sastav sedimenata na temelju udjela šljunka, pijeska i mulja (prema Folk, 1954; uređeno); uzorci s >1% šljunka označeni su crvenom bojom, ostali plavom.



Slika 29. Raspodjela veličine zrna u uzorcima.

#### 4.4. Rezultati određivanja udjela karbonata

Uzorci s poplavne ravnice, iz korita te s močvarnog područja rijeke Mirne (M2-M10) pokazuju podjednak udio karbonata u sedimentima (Slika 30.). Među navedenim muljevima, najniži udio karbonata (25,47%) prisutan je u uzorku M3, a najviši (34,67%) u uzorku M9. Nešto veće odstupanje (52,83%) ima uzorak M1. Značajno povećanje udjela karbonata prisutno je u uzorku M11.



Slika 30. Udio karbonata u uzorcima.



## 5. Rasprava

Riječna ušća su područja velike geološke važnosti, u njima dolazi do donosa, transporta i taloženja materijala trošenog s okolnih kopnenih područja do mora. Istovremeno predstavljaju ekološki vrlo povoljan, dinamičan i osjetljiv okoliš. Brzi rast populacije i ubrzana razvijenost u ovim područjima stavljaju donje tokove rijeka i njihova ušća među vodene okoliše koji su u najvećoj mjeri pod utjecajem čovjeka. Antropogeni utjecaj na brzinu progradacije i na sedimentaciju u krškim riječnim ušćima je velik, a djeluje u kombinaciji s prirodnim procesima.

Drenažno područje rijeke Mirne izgrađeno je od karbonata kredne i eocenske starosti i eocenskog fliša; lapora i pješčenjaka. Istočni dio obale Jadrana uglavnom je izgrađen od karbonatnih stijena vapnenaca i dolomita. Karakteristika takvih stijena je dominantno kemijsko trošenje koje je tijekom kvartara rezultiralo intenzivnim procesima okršavanja. Takvi uvjeti uz obalni okoliš mirne energije (zaštićeno ušće i mali raspon plime i oseke) omogućili su rijekama da na svojim ušćima formiraju takozvane krške estuarije (JURAČIĆ, 1992; PIKELJ & JURAČIĆ, 2013). Kod većine takvih rijeka, gornji dio slivnog područja je od fliša pa se nazivaju alogenim krškim rijekama (JURAČIĆ, 2017). Krški estuarij karakterizira smanjeni donos aluvijalnih (riječnih) sedimenata zbog topljenja karbonata u riječnom ušću (JURAČIĆ, 1992). Na raspodjelu sedimenata u estuarijima prvenstveno utječe energija okoliša i udaljenost od ušća (KENNISH, 2016). Sastav sedimenata estuarija čine sve frakcije, prah i glina te korijenje i dijelovi biljaka, a prema ušću dolazi do promjene prema frakcijama pijeska (morski pijesci) i šljunka. Tijekom izrade ovog diplomskog rada, naglasak je stavljen, između brojnih ostalih, samo na par čimbenika koji utječu na oblik i evoluciju estuarija. To su litološke značajke, odnosno granulometrijske karakteristike sedimenata, erozija i antropogeni utjecaj. Najvažniji prirodni proces koji utječe na izgled riječnih ušća općenito je promjena morske razine. Oscilacije morske razine su tijekom kvartara oblikovale obalno područje izmjenama razdoblja glacijala i interglacijala. Tijekom posljednjeg glacijalnog maksimuma, morska razina bila je oko 120 m niža od današnje, a rijeke su usijecale krške doline u karbonatnoj podlozi erodirajući starije naslage. Prema FELJA (2017), moguće da su doline usječene i ranije što se zaključuje po većoj dubini (160 m) sedimenata doline rijeke Mirne na lokaciji kod vijadukta. Nakon perioda glacijalnog maksimuma, počele su se otapati velike količine ledenih površina pa se morska razina vrlo brzo podizala, a kao

rezultat započela je globalna transgresija i taloženje transgresivnih naslaga, a prethodno nastale krške doline su poplavljene. Upravo na taj način, poplavlivanjem krških riječnih dolina, formiran je specifični krški estuarij kakvim se odlikuje i rijeka Mirna. Rijeka Mirna, uz Rašu i Neretvu, donosi značajniju količinu materijala u odnosu na ostale hrvatske jadranske rijeke pa su te rijeke na svojim estuarijima formirale intra-estuarijske delte tijekom holocena koje su progradirale. Stabiliziranje okolišnih uvjeta traje posljednjih 7500 godina zbog smanjenja brzine porasta razine mora. Rijeka Mirna ima estuarij gotovo potpuno ispunjen riječnim sedimentom i formira deltnu ravnice, ali delta još nije u potpunosti ispunila estuarij do ušća (Slika 3.). Takva posljednja faza progradacije svrstava ovakav estuarij, prema COOPER et al. (2011) klasifikaciji, u neravnotežne „*catch-up*“ estuarije. Prema FELJA (2017) progradacija intra-estuarijske delte rijeke Mirne u posljednjih 6500 godina pokazala se izrazito brzo. Smanjenje brzine porasta razine mora razlog je veće ispunjevanja estuarija Mirne riječnim materijalom i formiranja intra-estuarijske delte i deltne ravnice. Obzirom na činjenicu da u slivu rijeke Mirne dominira fliš s velikim udjelom lapora, njena intra-estuarijska delta karakteristična je po sitnozrnatim muljevitim sedimentima (FELJA et al., 2015; FELJA, 2017; JURAČIĆ, 2017).

Zajedničko obilježje površinskih uzoraka uzetih s poplavne aluvijalne ravnice, iz korita rijeke i s područja slane močvare u blizini ušća rijeke Mirne (M1-M10; Slika 7.) je sitnozrnata komponenta te su oni sastavljeni od mulja, odnosno nejednolike izmjene gline i praha (Slika 29.). Uzorak uzet s plaže na ušću (M11; Slika 7.) krupnozrnatog je karaktera, sastavljen od šljunka (Slika 29.). Udio karbonata u uzorcima M2-M10 pokazuje jednoličan udio karbonata, njegovo značajno povećanje očituje se u uzorku M1, dok je uzorak M11 karbonatni (Slika 30.).

Aluvijalne/deltne naslage zauzimaju veliki dio površine donjeg dijela doline rijeke Mirne. Sastoje se od glinovitih i prahovitih sedimenata (muljeva). Uzorci prikupljeni s poplavne, aluvijalne ravnice (M1-M10) su muljevi u kojima dominira frakcija veličine praha. Samo jedan uzorak (M6) ima veći udio gline nego praha, uzorkovan s najvećom upotrebom sile s izrazito suhog područja poplavne ravnice prekrivenog desikacijskim pukotinama. Osim gline i praha, u manjoj mjeri prisutne su i veličine frakcija pijeska i šljunka, no one su biogenog porijekla. Korijenje, grančice i ostaci bilja bili su prilično uobičajeni. Biogene komponente za koje se pretpostavlja da su ostaci morskih školjakaša roda *Cerastoderma* ukazuju na to da je estuarij tijekom geološke prošlosti zauzimao veće područje te da su morski sedimenti dopirali dublje u kopno. U radu FELJA et al. (2015), istraživane su jezgre određenih dubina iz kojih je

zaključeno da je more dopiralo i do 11 km u kopno te se nalazilo ispod mosta Ponte Porton, što odgovara lokaciji uzorkovanja M3. Pojava morskih školjakaša uz obilje ostalih biogenih komponenti (puno trave i bilja) unutar suhog sedimenta prikupljenog ispod vijadukta značajno je utjecala na udio šljunka unutar uzorka M8. Raznolikost veličina zrna unutar aluvijalnog facijesa potvrđuje i pojava krupnozrnatijeg sedimenta u koritu rijeke (M7; uzorkovan grabilom) gdje su uočeni ostaci školjakaša manjih dimenzija, kao i u području uz korito. Ipak, naslage donjeg toka rijeke Mirne dominantno se sastoje od gline i praha.

U odnosu na druge krške estuarije, do ušća rijeke Mirne dolazi veći donos riječnog/terigenog materijala zbog toga što materijal potječe iz alogenih izvora u drenažnom području. Ta karakteristika omogućila je stvaranje delte unutar estuarija koja je tijekom holocena progradirala. Sediment istraživanog područja sitnozrnatog je karaktera, a uzrok tome je trošenje fliša, odnosno lapora unutar fliša s drenažnog područja rijeke Mirne. Osim toka kroz fliš (lapore i pješčenjake), rijeka prolazi i kroz karbonate. Zbog toga uzorak M1, koji se nalazi najbliže izvorištu, odnosno drenažnom području, ima povećani udio karbonata (Slika 30.). Unutar sitnozrnatih sedimenata poplavne ravnice udio karbonata je manji, čine ga ostaci karbonata, kvarc unutar pješčenjaka zbog trošenja fliša i ostaci biogenog porijekla. Zaobljeni ostaci stijena, zrna kvarca, karbonata i biogeni ostaci transportirani do ušća, opisani makroskopski unutar uzorka M11, sastoje se u potpunosti od karbonata, što se podudara s litološkim sastavom cijelog područja koju čine kredni vapnenci i dolomiti.

Evolucija područja doline rijeke Mirne je od ranog srednjeg vijeka intenzivno pod antropogenim utjecajem. Aktivnosti iskorištavanja šuma koje je čovjek provodio od vremena zauzimanja područja utjecale su na slijeganje terena i povećanu eroziju područja. U slučaju donjeg toka i estuarija rijeke Mirne, zabilježena je ubrzana progradacija intra-estuarijske delte u razdoblju od 12. do 19. stoljeća najvećim dijelom zbog deforestacije i poljoprivrednih aktivnosti u njenom slivnom području, što je rezultiralo degradacijom okoliša i ubrzanom erozijom fliških terena (FELJA, 2017). Takav utjecaj ugrožava ekološku cjelovitost i dugoročnu ekološku održivost i može uzrokovati izmjenu ili gubitak staništa, probleme zbog invazivnih vrsta, eutrofikaciju, kemijsko onečišćenje, zagađenje voda, promjenu hidrološke ravnoteže, porast razine mora ili slijeganje terena. Iskorištavanje ovih područja za ljudske aktivnosti je u posljednjih nekoliko stoljeća uzrokovalo značajne promjene u količini prijenosa sedimenta i brzini sedimentacije. Taloženje sitnozrnatog materijala povezano je s povećanom erozijom tla kojoj pogoduju deforestacija i poljoprivredne djelatnosti. Intenziviranje navedenih aktivnosti predstavlja pokretački mehanizam za rast delti unutar

estuarija (FELJA, 2017). U dolini rijeke Mirne istaložene su velike količine aluvijalnog materijala, što zbog prirodnih procesa, što zbog deforestacije koju je čovjek intenzivno na ovome području provodio od 15. do 19. stoljeća. Intenzivna sedimentacija stvorila je debele nanose koji su ubrzali kompakciju holocenskih naslaga i slijeganje terena. Posljednji pothvat čovjeka napravljen na ovome području, izgradnja rezervoara vode uz njenu pritoku, dokaz je kako antropogeni utjecaj ipak može biti i pozitivan. Takav utjecaj zaštitio je okoliš od velikih šteta koje su mogle nastati tijekom druge najveće poplave zabilježene na ovome području i korisnim se pokazao tijekom sušnih razdoblja kada je rezervoar služio kao izvor pitke vode.

Najizraženije promjene u taložnim okolišima rijeke Mirne rezultat su sječe Motovunske šume. Deforestacija je rezultirala ogoljenjem velikih površina fliša koje su zatim ostale podložne intenzivnoj eroziji, što se uočava duž korita rijeke. Na Slici 31. jasno se vidi bočna erozija i odroni uz korito rijeke, ali i intervencija čovjeka da učvrsti nasip i spriječi dodatnu eroziju. Riječno korito ispresijecano je brojnim tunelima koje radi invazivna vrsta ovoga područja, a to su nutrije. Zbog njihove iznimno velike brojnosti nasipi se čak i urušavaju, a oslabljena je i njihova obrana od poplava. Može se reći kako je ta invazivna vrsta također rezultat antropogenog utjecaja iz razloga što ih je čovjek iz kontroliranog uzgoja pustio u prirodu i sada ih je izuzetno teško iskorijeniti. Velike količine takvog nanosa ispunile su tok rijeke Mirne što je uzrokovalo progradaciju intra-estuarijske delte rijeke Mirne i značajne promjene u topografiji doline (FELJA et al., 2015). Dobar primjer suprotstavljanja prirodnih procesa onim antropogenim je taj što su česte poplave rijeke Mirne ograničavale dostupnost područja koje bi čovjek iskoristio za eksploataciju te tako smanjile površinu koja bi bila ogoljena. Prirodni procesi i dalje dovode narušeno stanje u ravnotežu ponovnim neutraliziranjem obrađenih površina.

Naseljeni gradovi uz porječja mogu uzrokovati onečišćenje samih rijeka zbog kanalizacijskih voda. Obzirom da je donji tok rijeke Mirne bogat plodnim tlom i potrebnom količinom vode, na tom se području uzgajaju brojne kulture za čiju se proizvodnju koriste različite kemikalije koje na kraju završavaju u vodi ili se tokom prenesu do ušća i mora. Ljudi aktivnostima poljoprivrede i turizma (posebno stočarstva u dolini i ljetnih većih količina otpadnih kanalizacijskih voda koje se ulijevaju u Mirnu) mogu utjecati na kakvoću vode, tla, rijeke i samog mora u uvali.



**Slika 31. Primjer erozije u koritu rijeke Mirne i ljudska intervencija s ciljem sprječavanja erozije.**

Nakon završetka radova na regulaciji njenog toka, djelomično je zaustavljeno plavljenje doline. Tijekom prošlosti, rijeka Mirna često se izlivala preko korita pa su erozija i sedimentacija duž njene doline bili intenzivni procesi. Tome su pridonosile i poplave koje su nastajale nakon obilnih oborina, a potpomognute su činjenicom da rijeka Mirna ima izdašan podzemni tok. Iako bi vodostaj rijeke porastao, glavni uzrok velikih poplavljanja područja ipak je neodržavanje kanala, što je negativni antropogeni utjecaj. Erodibilnost fliških sedimenata i nagib padine područja najvažniji su uzroci velike produkcije sitnozrnatih sedimenata koji se pomoću čestih poplava koncentriraju pri dnu doline te tako stvaraju aluvijalne naslage. Antropogeni utjecaj u pojedinim trenucima ubrzavao je ili usporavao erozijske procese u slivu i produkciju nanosa što je utjecalo na geomorfološke promjene i procese taloženja u poplavnoj ravnici, donjem toku i ušću rijeke Mirne. Nakon radova na regulaciji nizvodnih dijelova dolina, sedimenti doneseni riječnim tokom talože se oko ušća čime se smanjuje dubina morskog dna. Od kraja 20. st. primjećuje se smanjenje nanosa zbog smanjene obrade poljoprivrednog i šumskog zemljišta te širenja šuma. Promjena korita u aluviju tijekom vremena je prirodan proces.

Dolina i ušće rijeke Mirne ekološki je značajno i zaštićeno područje koje je dio ekološke mreže Natura 2000. Iskorištavana šuma danas je zaštićena kao „posebni rezervat šumske vegetacije“. Općenito u prirodi vrijedi kako odnos između čovjeka i prirode treba biti takav da

je koristan za obje strane. Određena područja rijeke Mirne koja su uvrštena u ekološku mrežu Natura 2000, uključena su zbog toga što je krajolik pod antropogenim utjecajem. Tako da se može zaključiti kako antropogeni utjecaj na određene ekološke aspekte nije u potpunosti negativan, dok bi se pojedini utjecaji na poljoprivredu i samu rijeku Mirnu i njeno korito trebali kontrolirati i održavati na način da bude okolišu prilagođeno. Na istraživanom području potrebno je obnoviti drenažni sustav i sustav navodnjavanja, urediti površine na način da se ispune depresije koje uzrokuju uništavanje kultura zbog stagnacije vode, riješiti problem nutrija te urediti kanale čije neodržavanje u kombinaciji s ekstremnim padalinama, uzrokuje poplavne štete. Također, uz prirodu koja to čini sama, potrebna je akcija pošumljivanja. Suvremene tehnike današnjice omogućavaju kvalitetno i brzo prikupljanje podataka o promjenama tokova od morfoloških promjena korita do promjena hidrogeoloških parametara. Uz sve suvremeniju laboratorijsku, računalnu i ostalu opremu i mogućnosti, dinamika promjena tokova precizno se može odrediti te u skladu s rezultatima pristupiti saniranju potencijalnih problema.

## 6. Zaključci

Nakon dobivenih rezultata i pregleda podataka, iz ovog rada može se zaključiti sljedeće:

- ❖ Taloženje većih količina sitnozrnatog materijala rezultat je erozije fliških terena koju ubrzavaju antropogeni procesi deforestacije u prošlosti i poljoprivrednih aktivnosti danas. Poljoprivreda i turizam djeluju negativno u kontekstu očuvanja vode, mora i tla. Prirodni procesi poput čestih poplava opisani su i kao pozitivni, bez obzira što intenziviraju eroziju duž doline, jer su u prošlosti onemogućile cjelokupnu dostupnost područja za deforestaciju. Uz to, danas se deforestacijom obrađivana područja u prošlosti, prirodno re-neutraliziraju. Plavljenje doline postepeno se zaustavlja završetkom melioracijskih radova, poljoprivrednih aktivnosti i obrade šumskih površina od kraja 20. st. kada se smanjuje i sedimentni nanos.
- ❖ Povećana sedimentacija koja uzrokuje ispunjenje nekadašnjeg estuarija u donjem toku rijeke Mirne posljedica je prirodnih i antropogenih procesa. Tijekom posljednjeg stoljeća, antropogeni utjecaj povećavao je količine i brzine riječnog donosa sedimenta do obalne zone, a zatim umanjio donos sedimenta. Sediment u taložnim okolišima donjeg toka rijeke Mirne dominantno se sastoji od mulja, a u znatno manjem postotku od pijeska i šljunka koji su biogenog i organskog porijekla. Takve karakteristike imaju aluvijalne kvartarne naslage. Udio karbonata u rasponu je 25-35%, što odgovara nižem udjelu karbonata unutar sitnozrnatih muljevitih sedimenata. Određene karakteristike sedimenta posljedica su trošenja fliša (lapora) koji se nalazi u drenažnom području ove alogene krške rijeke, a koji je izvorišni materijal. Drenažno flišno područje jednim dijelom čini lapor koji vrlo lako erodira i daje materijal koji rijeka prenosi u vučenom i suspendiranom bujičnom nanosu.
- ❖ Progradacija intra-estuarijske delte u posljednjih 7500 godina nakon usporenja porasta razine mora odredila je sadašnju raspodjelu taložnih okoliša donjeg toka rijeke Mirne, a to su poplavna ravnica, deltna ravnica, slana močvara, ušće.

Promjene korita tijekom vremena su prirodan proces, ali erozija korita ubrzana je antropogenim regulacijama toka i deforestacijom kroz prošlost. Deforestacijom uzrokovano ogoljenje flišnih površina rezultiralo je intenzivnom erozijom duž donjeg toka rijeke Mirne. Čovjekov unos invazivnih vrsta u područje dodatno je narušilo stabilnost nasipa. Ušće je ekološko najosjetljiviji okoliš zbog obalnog naseljavanja i korištenja pogotovo tijekom ljetnih mjeseci. Slana močvara područje je izrazitih izmjena između suhih uvjeta s brojnim desikacijskim pukotinama i razdoblja poplavlivanja morem. Na poplavnu ravnicu u najvećoj je mjeri utjecala deforestacija, a poljoprivredne aktivnosti i regulacija toka procesi su koji su značajno promijenili krajolik.



## 7. Literatura

- ALBANI, A.D., SERANDREI-BARBERO, R. & DONNICI, S. (2007): Foraminifera as ecological indicators in the Lagoon of Venice, Italy.– *Ecological Indicators*, 7, 239–253.
- ALLABY, M. (2008): *A Dictionary of Earth Sciences*. Oxford University Press Inc., Oxford, 1647.
- ALLEN, G.P. & POSAMENTIER, H.W. (1993): Sequence stratigraphy and facies model of an incised valley fill: the Gironde estuary, France. *Journal of Sedimentary Petrology*, 63 (3), 378-391.
- 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.
- 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.
- BABIĆ, Ž. (1968): Prilog poznavanja hidrogeoloških odnosa južne i srednje Istre. *Geološki vjesnik*, 21, 295 – 305.
- BENAC, Č. & ARBANAS, Ž. (1990): Sedimentacija u području ušća Rječine (The sedimentation in the area of the mouth of Rječina River), *Pomorski zbornik*, 28, 593-609.
- BENAC, Č. & JURAČIĆ, M. (1998): Geomorphological indicators of the sea level changes during Upper Pleistocene (Wurm) and Holocene in the Kvarner region. *Acta Geographica Croatica* 33, 27-45.
- BENAC, Č., ARBANAS, Ž. & PAVLOVEC, E. (1991): Postanak i geotehničke osobitosti doline i zaljeva Raše. *Pomorski zbornik*, 29, 475-492.
- BENAC, Č., RUBINIĆ, J., RUŽIĆ, I. & CELIJA, I. (2007): Geomorfološka evolucija riječnih ušća na istarskom poluotoku. *Zbornik radova 4. Hrvatske konferencije o vodama* (ur. Gereš, D), *Hrvatske vode*, Zagreb, 273-280.
- BENAC, Č., RUBINIĆ, J., RUŽIĆ, I. & RADIŠIĆ, M. (2017): Geomorfološka evolucija riječnih dolina i ušća na istarskom poluotoku. *Hrvatske vode*, 25, 71-80.

- BHATTACHARYA, J.P. & WALKER, R.G. (1992): Deltas. U: Facies Models. Response to Sea Level Change (ur.: R. G. Walker & N. P. James). Geological Association of Canada, Ontario, 157-178.
- BIANCHI, T.S. (2013): Estuaries: where the river meets the sea. Nature Education Knowledge, 4(4), 12.
- BIONDIĆ, B. & BIONDIĆ, R. (2014): Hidrogeologija dinarskog krša u Hrvatskoj. Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Varaždin.
- BLOTT, S. (2008): GradistatVersion 6.0, a Grain Size Distribution and Statistics Package of Unconsolidated Sediments by Sieving or Laser Granulometer, Egham.
- BOGGS, Jr., S. (2006): Principles of Sedimentology and Stratigraphy, 4th edition. Pearson Education, Upper Saddle River, USA, 1-662.
- BOŽIČEVIĆ, S. (2005): Mirna. U: BERTOŠA, M. & MATIJAŠIĆ, R. (eds.): Istarska enciklopedija. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 493-494.
- BRAGATO, G., SLADONJA, B. & PERŠURIĆ, D. (2004): The soil environment for *Tuber magnatum* growth in Motovun Forest, Istria. 13. 171-185.
- 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.
- CARRE M.B., KOVAČIĆ V. & TASSAUX F. (2007): Quatre ans de recherche sur le littoral parentin. U: AURIEMMA R., KARINJA S. (eds.): Terre di Mare. L'archeologia dei paesaggi costiere e le variazioni climatiche. Atti del Convegno Internazionale di Studi Trieste, 8-10 novembre 2007, Trieste, 310-315.
- CHAMLEY, H. (1989): Clay sedimentology, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 623.
- CLARK, P.U., DYKE, A.S., SHAKUN, J.D., CARLSON, A.E., CLARK, J., WOHLFARTH, B., MITROVICA, J.X., HOSTETLER, S.W. & MCCABE, A.M. (2009): The last Glacial Maximum. Science 324, 720-714.
- COOPER, J.A.G., GREEN, A.N. & WRIGHT, C.I. (2011): Evolution of an incised-valley coastal plain estuary under low sediment supply: a "give-up" estuary. Sedimentology, 59 (3), 899-916.

D'INCÀ C. (2007): Il Porto Quietto e il fiume: un mutare di funzioni e di paesaggi tra l'Istria costiera e l'interno. U: AURIEMMA R., KARINJA S. (eds.): Terre di Mare. L'archeologia dei paesaggi costierei e le variazioni climatiche. Atti del Convegno Internazionale di Studi Trieste, Trieste, 400-406.

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

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.

EDWARDS, R.J. & HORTON, B.P. (2000): Reconstructing relative sea-level change using UK salt-marsh foraminifera. *Marine Geology* 169, 41-56.

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

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

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

FELJA, I. (2017): Karstic estuaries along the eastern Adriatic coast: Late-Quaternary evolution of the Mirna and Neretva River mouths (Doctoral dissertation, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu), 169.

FELJA, I., FONTANA, A., FURLANI, S., BAJRAKTAREVIĆ, Z., PARADŽIK, A., TOPALOVIĆ, E., ROSSATO, S., ĆOSOVIĆ, V. & JURAČIĆ, M. (2015): Environmental changes in the lower Mirna River valley (Istria, Croatia) during the Middle and Late Holocene. *Geologia Croatica*. 68, 3; 209-224.

FOLK, R.L. (1954): The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. *J. Geol.* 62, 4; 344-359.

FORENBAHER S., KAISER T. & MIRACLE P. (2013): Dating the East Adriatic Neolithic. *European Journal of Archaeology*, 16 (4), 589-609.

FOX, J.M., HILL, P.S., MILLIGAN, T.G., BOLDRIN, A. (2004): Flocculation and sedimentation on the Po River Delta. *Marine Geology*, 203, 95-107.

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

GEHRELS, W.R. (1994): Determining Relative Sea-level Change from Salt-marsh Foraminifera and Plant Zones on the Coast of Maine, U.S.A. *Journal of Coastal Research*, 10/4, 990-1009.

GULAM, V. (2012): Erozija ogolina u flišu središnje Istre. Doktorski rad. Sveučilište u Zagrebu Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

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

HAYES, M.D. (1975): Morphology of sand accumulation in estuaries: an introduction to the symposium. U: Cronin, L.E. (ed.), *Estuarine research, Vol. II: Geology and Engineering*. New York: Academic, 3-22.

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.

JURAČIĆ, M. (2017): Adriatic karstic estuaries, their characteristics and evolution, University of Zagreb, Faculty of Science, Department of Geology, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb, Croatia. *Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime, Edition 4, Split, Croatia*, 45-50.

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

KENNISH, M.J. (2016): Encyclopedia of estuaries. Springer Dordrecht, Heidelberg, New York, London, 760.

KINSMAN, B. & PRITCHARD, D.W. (1965): Lectures on Estuarine Oceanography, delivered by D.W. Pritchard, 1960. Baltimore, Md: Chesapeake Bay Institute and Dept. of Oceanography, Johns Hopkins University.

KOS, Ž., ĐURIN, B., DOGANČIĆ, D. & KRANJČIĆ, N. (2021): Hydro-Energy Suitability of Rivers Regarding Their Hydrological and Hydrogeological Characteristics. *Water* 2021, 13, 1777.

KRMAC, D. (ur.) (2013): Na izvorima Istarskog vodovoda. Pula – Buzet: Istarska kulturna agencija – Istarski vodovod d.o.o.

LAMBECK, K. & CHAPPELL, H. (2001): Sea-Level Change Through Last Glacial Cycle. *Science* 292, 679686.

LAMBECK, K. & PURCELL, A. (2005): Sea-level change in the Mediterranean Sea since the LGM: model predictions for tectonically stable areas. *Quaternary Science Reviews*, 24, 1969–1988.

LEPPARD, G.G. & DROPPA, I.G. (2005): Overview of flocculation processes in freshwater ecosystems. U: I.G. Droppo, G.G. Leppard, S.N. Liss, T.G. Milligan (ur.), *Flocculation in natural and engineered environmental systems*. Boca Raton: CRC press, 25-46.

LONČAR, N. (2008): Geomorfologija, Istarska enciklopedija. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 85-87.

MAGDALENIĆ, A., VAZDAR, T. & HLEVNJAK, B. (1995): Hydrogeology of the Gradole Spring Draining Area in Central Istria. *Geologia Croatica*, 48(1), 97-106.

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

MIČETIĆ, G. & PETROVIĆ, G. (2001): *Vodnogospodarska osnova Hrvatske – I. faza. Postojeće stanje – karta hidrografske mreže i neposrednih slivova*. Hrvatske vode VGO Rijeka.

- MIHALJEVIĆ, D. (1998): Reljef strukturnog podrijetla i strukturno-geomorfološke regije Istre i Kvarnera. Prirodoslovna istraživanja riječkog područja. Prirodoslovna biblioteka 1. (ur. Arko-Pijevac, M., Kovačić, M., Crnković, D.), Rijeka, 277-302.
- 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.
- MURRAY, J. (1991): Ecology and paleoecology of benthic foraminifera. Longman Scientific and Technical, London, 397.
- MURRAY, J. W. (2006): Ecology and Applications of Benthic Foraminifera.– Cambridge University Press, Cambridge, New York, 426.
- NICHOLS, G. (2009): Sedimentology and Stratigraphy, 2nd edition. Wiley-Blackwell, UK, 1419.
- OGORELEC, B., MIŠIĆ, M., ŠERCELJ, A., CIMERMAN, F., FAGANELI, J. & STEGNAR, P. (1981): Sediment sečoveljske soline [Sediment of the salt marsh of Sečovlje]. Geologija 24/2, 179-216.
- OVEREEM, I. & SYVITSKI, J.P.M. (2009): Dynamics and vulnerability of delta systems. LOICZ Reports & Studies 35. Geesthacht: GKSS Research Center, 56.
- PARENTIN, L. (1974): Cittanova d'Istria. Trieste, 303.
- PERILLO, G.M.E. (1995): Definition and geomorphological classification of estuaries. U: Perillo, G.M.E. (ed), Geomorphology and Sedimentology of Estuaries. Amsterdam: Elsevier Science BV. Developments in Sedimentology 53, 17-47.
- 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, List Trst, Tumač za list Trst, L33-88. [Basic Geological Map of SFRY 1:100 000, Explanation notes for Trst sheet, L33-88], Geološki zavod Ljubljana i Institut za geološka istraživanja Zagreb, 64.

- POLŠAK, A. & ŠIKIĆ, D. (1963): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Rovinj, L33–100. Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 47.
- POLŠAK, A. & ŠIKIĆ, D. (1963): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Rovinj, L33–100. [Basic Geological Map of SFRY 1:100000, Explanation notes for Rovinj sheet, L33-100]. Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 47.
- RUBINIĆ, J., BUŠELIĆ, G., KUKULJAN, I. & KOSOVIC, M. (1998): Hidrološka analiza suspendiranog nanosa u istarskim vodama. *Hrvatske vode* 7 (27), 127-131.
- SANTIN, G. (2013): Fiumi e Torrenti della Penisola Istriana. D.i.g. Vodoprivreda d.o.o. Buzet, 1-11.
- SCOTT, D.B. & MEDIOLI, F.S. (1978): Vertical zonations of marsh foraminifera as accurate indicators of former sea-levels. *Nature*, 272, 528-531.
- SEMENIUK, V. & SEMENIUK, C. (2016): Deltas. U: *Encyclopedia of Estuaries* (ur.: M. J. Kennish). Springer Dordrecht, New York, London, 177-187.
- 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.
- SONDI, I., JURAIĆ, M. & PRAVDIĆ, V. (1995): Sedimentation in a disequilibrium river-dominated estuary. The Raša River Estuary (Adriatic Sea–Croatia). *Sedimentology*, 42, 769-78.
- STANLEY, J.D. & WARNE, A.G. (1994): Worldwide initiation of Holocene marine deltas by deceleration of sea-level rise. *Science* 265, 228-231.
- SYVITSKI, J.P.M., KETTNER, A.J., CORREGIARRI, A. & NELSON, B.W. (2005): Distributary channels and their impact on sediment dispersal. *Marine Geology*, 222-223, 75-94.
- SYVITSKI, J.P.M., PECKHAM, S.D., HILBERMAN, R.D., & MULDER, T. (2003): Predicting the terrestrial flux of sediment to the global ocean: a planetary perspective. *Sedimentary Geology*, 162, 5-24.

TESSIER, B. (2012): Stratigraphy of tide-dominated estuaries. U: Davis, R.A.Jr., and Dalrymple, R.W. (eds.), Principles of Tidal Sedimentology. Dordrecht: Springer. 109-128.

VELIĆ, I., VLAHOVIĆ, I. & MATIČEC, D. (2002): Depositional sequences and Palaeography of the Adriatic Carbonate Platform. *Memorie Della Società Geologica Italiana*, 57, 141-151.

VLAHOVIĆ, I., TIŠLJAR, J., MATIČEC, D. & VELIĆ, I. (2005): Geologija. Istarska enciklopedija, (ur. Bertoša, M., Matijašić, R.), 246249. Leksikografski zavod Miroslava Krleža, Zagreb.

VLAHOVIĆ, T. (1999): Environmental impact on the groundwater of Istria. PhD Thesis, University of Zagreb.

VLAHOVIĆ, T. (2000): Kemizam voda kao indikator regionalnog kretanja podzemne vode u krškim vodonosnicima: izvor Sv. Ivan, Istra. Proceedings of Second Croatian Geol. Congr., Zagreb, 827-832.

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

VUKELIĆ, J., KORIJAN, P., ŠAPIĆ, I., ALEGRO, A., ŠEGOTA, V. & POLJAK, I. (2018): Forest Vegetation of Hardwood Tree Species along the Mirna River in Istria (Croatia). *South-east European forestry* 9(1).

WENTWORTH, C.K.A.. (1922): A Scale of Grade and Class Terms of Clastic Sediments. *The Journal of Geology*. 30. 377-392. 10.1086/622910.

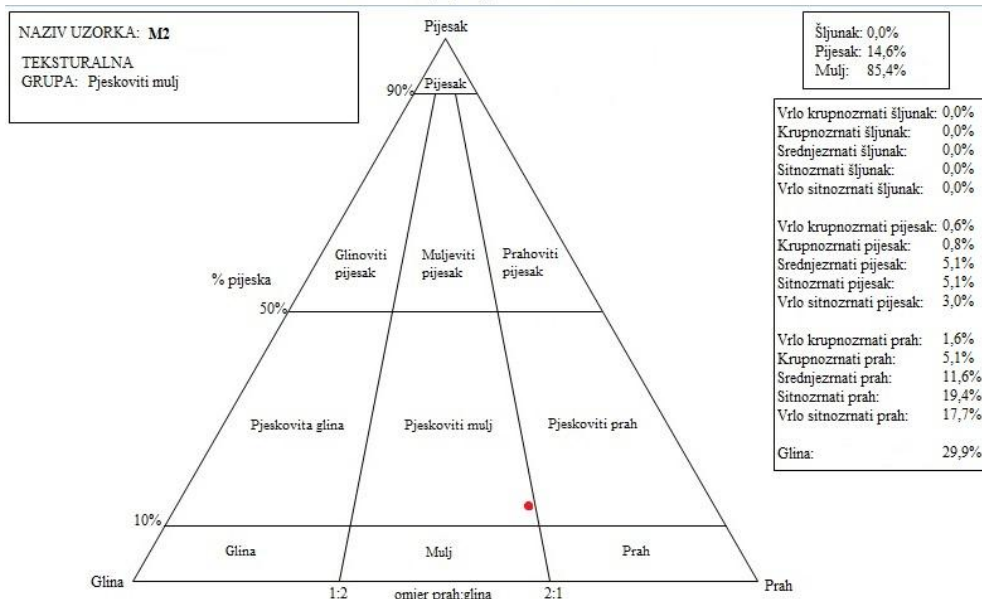
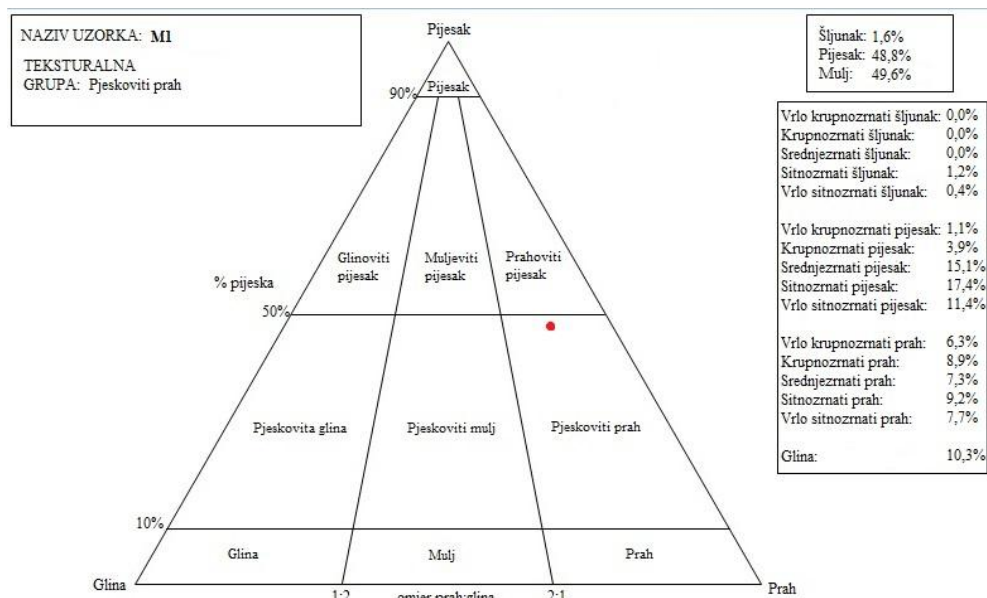
ZORN, M. (2009 a): Erosion processes in Slovene Istria. Part 1, Soil erosion. *Acta geographica Slovenica*, 49(1), 39–87.

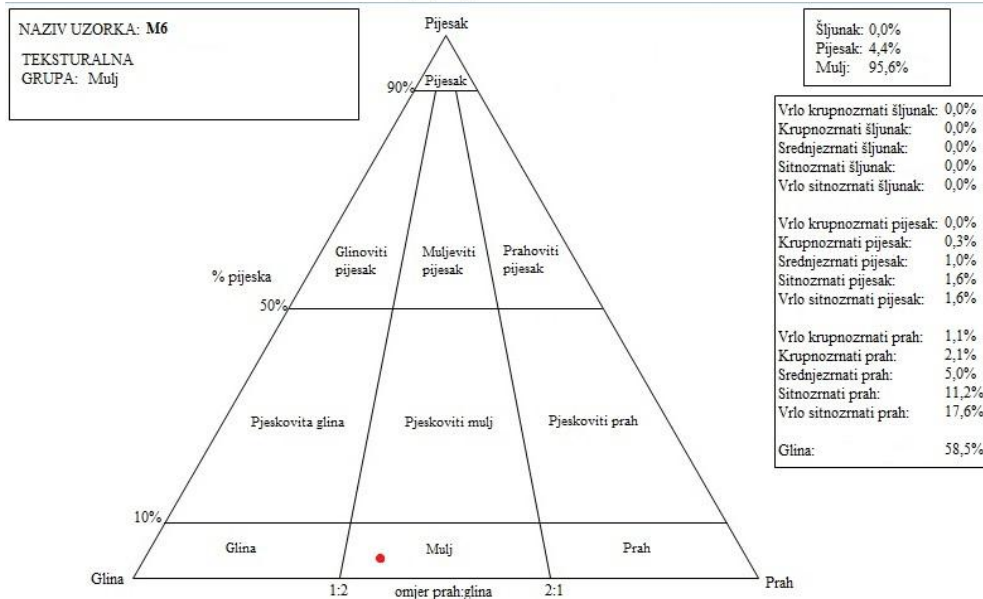
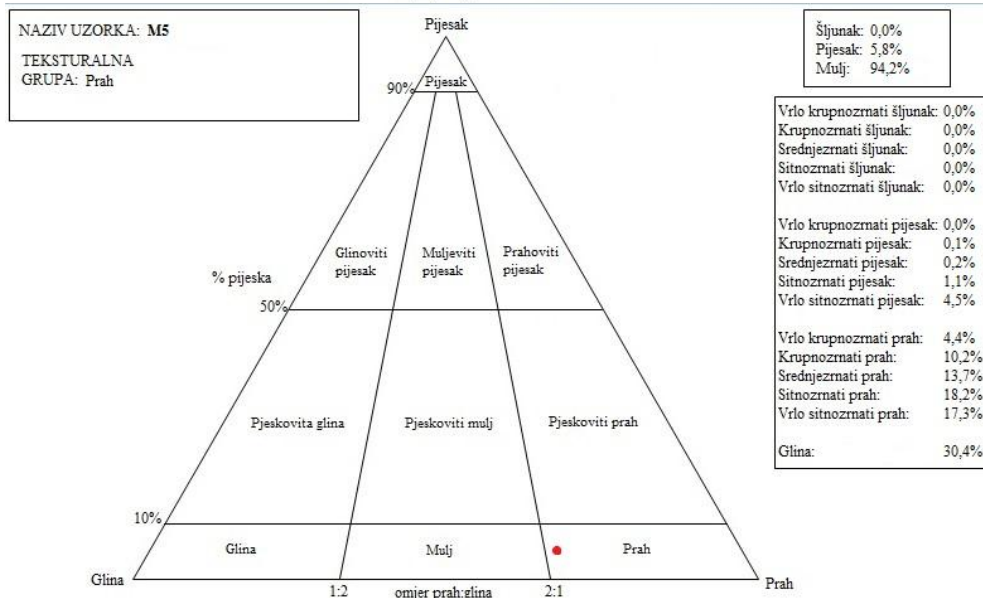
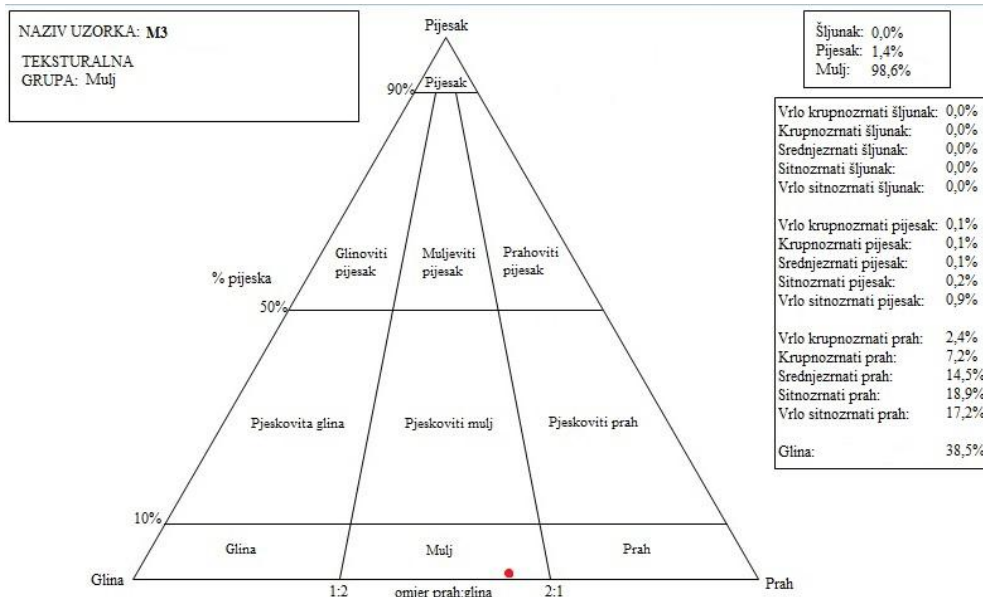
ZORN, M. (2009 b): Erosion processes in Slovene Istria. Part 2, Badlands. *Acta geographica Slovenica*, 49(2), 291–341.

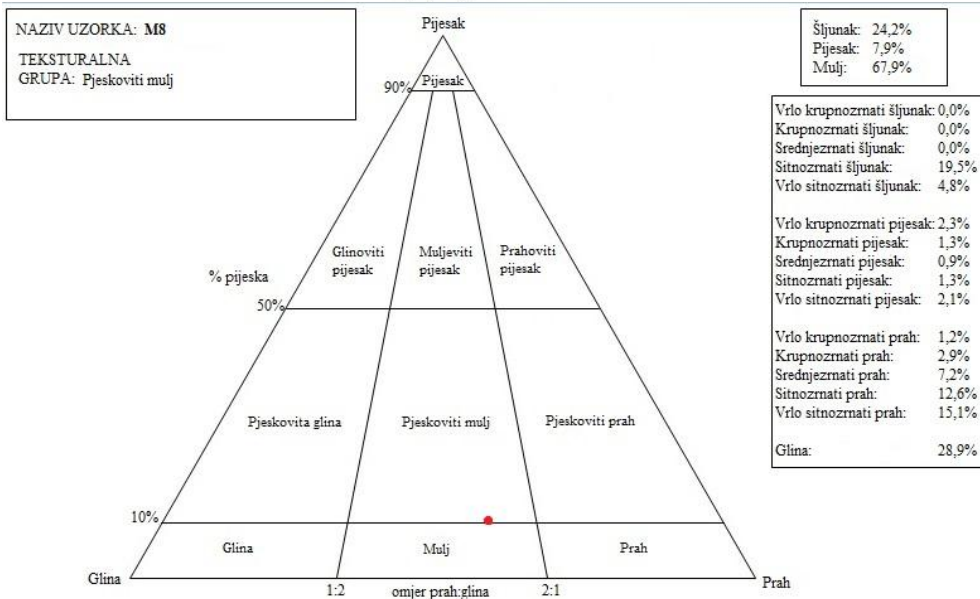
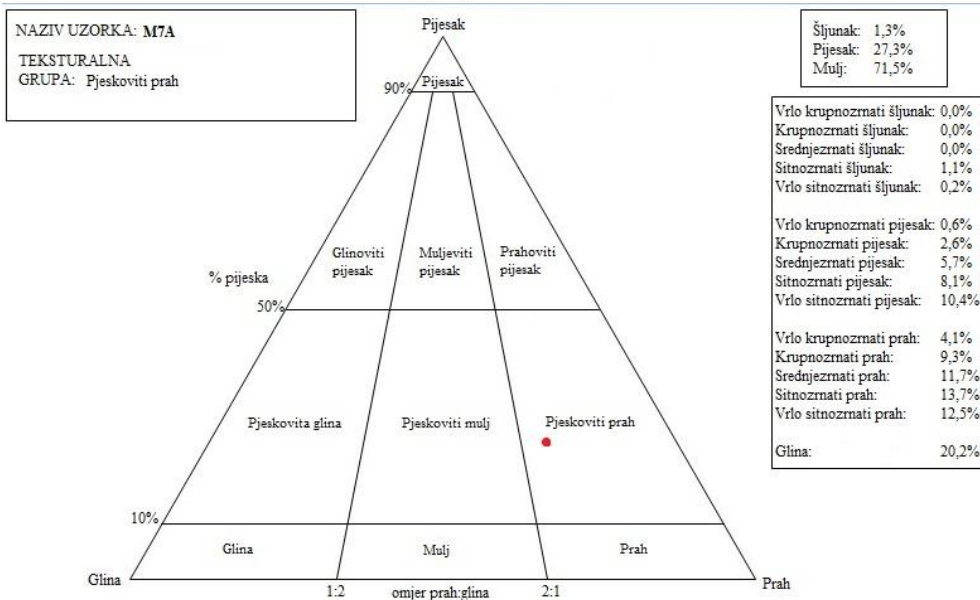
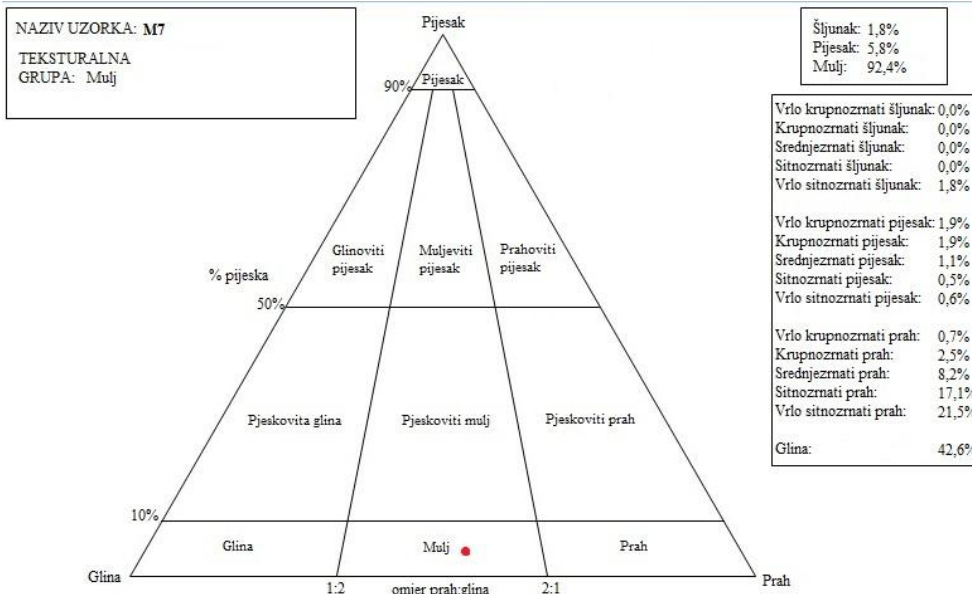


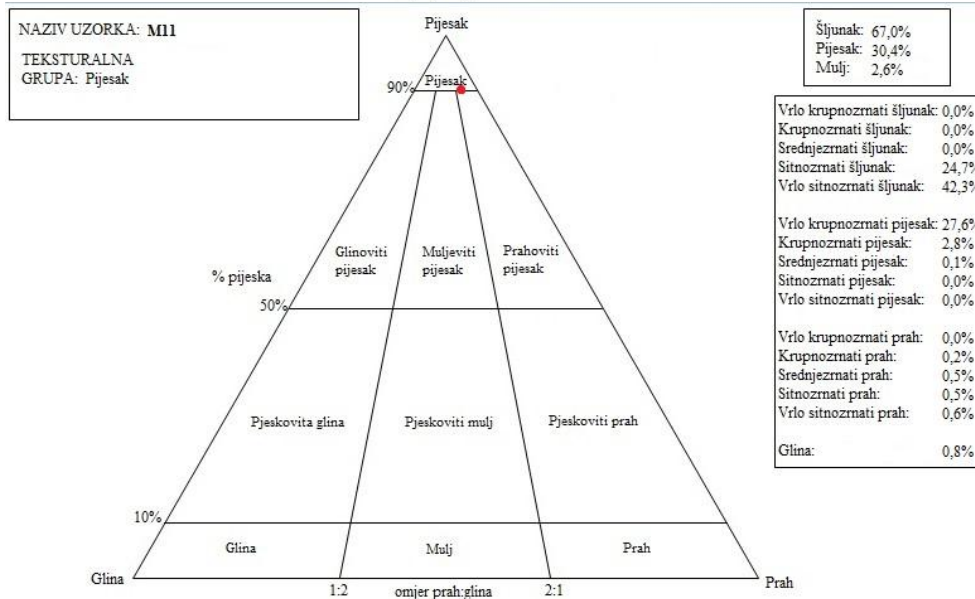
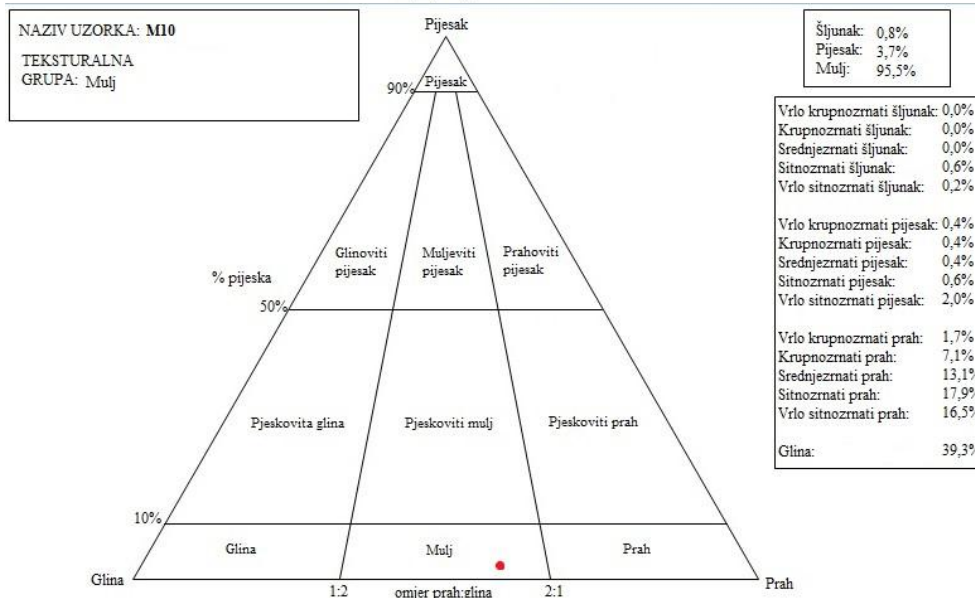
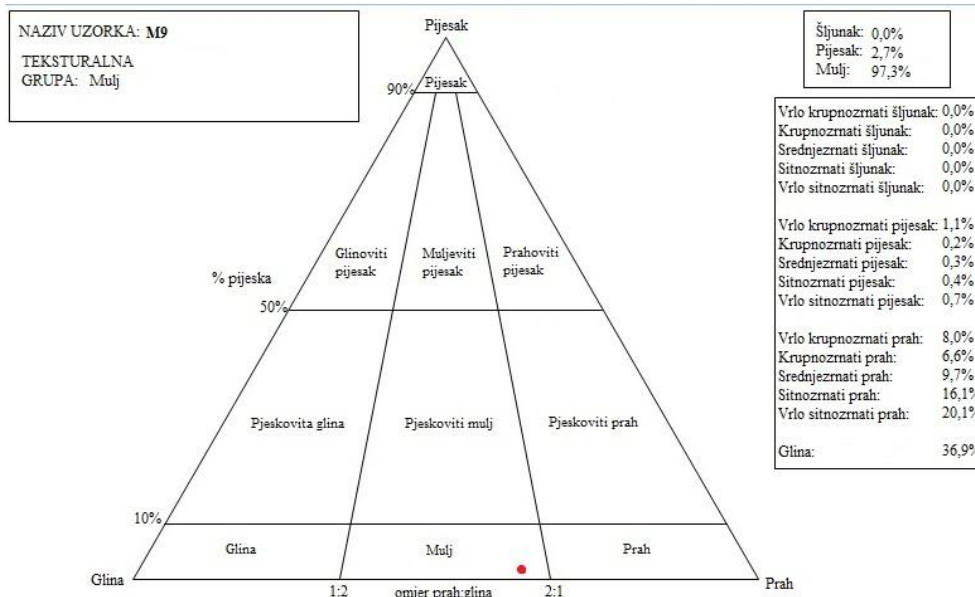
## 8. Prilog I.

### 8.1. Klasifikacija po Folk-u uzoraka M1-M11 prema veličini zrna obzirom na udio pijeska, praha i gline

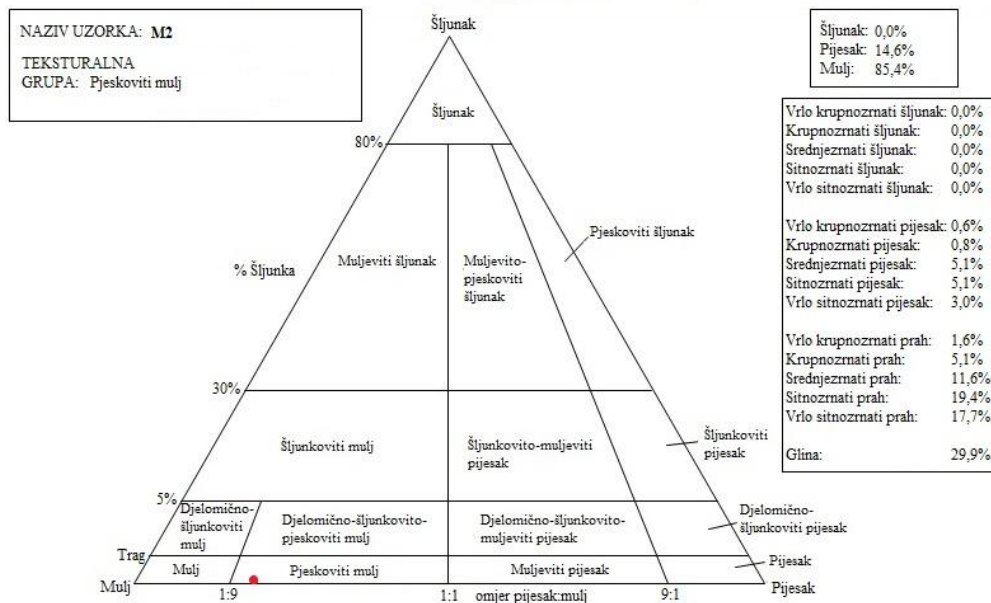
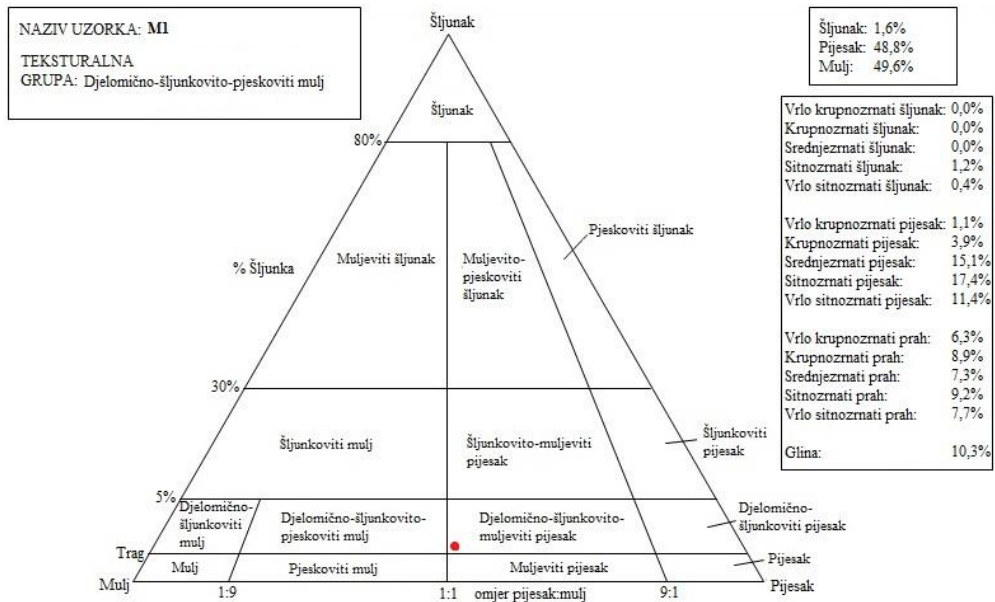






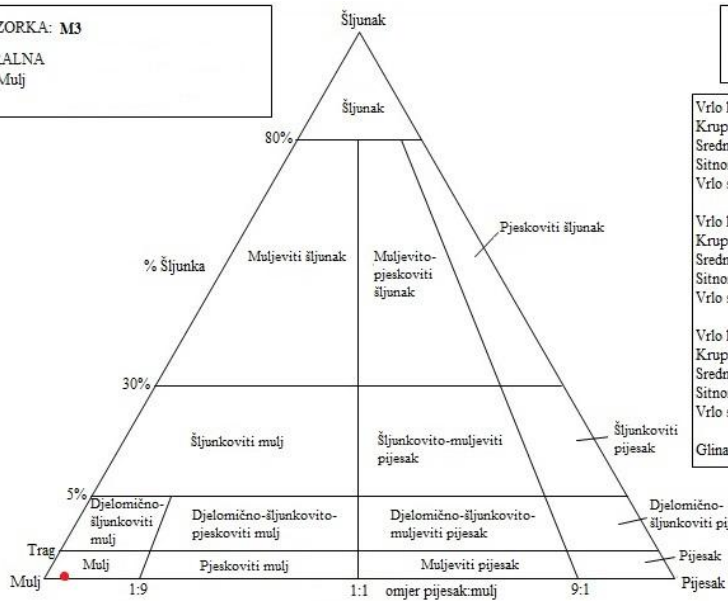


## 8.2. Klasifikacija po Folk-u uzoraka M1-M11 prema veličini zrna obzirom na udio šljunka, pijeska i mulja





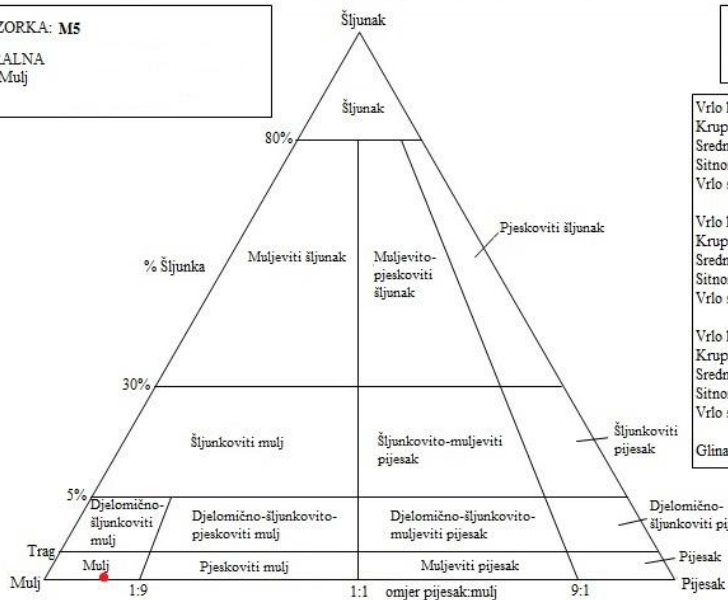
NAZIV UZORKA: M3  
 TEKSTURALNA  
 GRUPA: Mulj



Šljunak: 0,0%  
 Pijesak: 1,4%  
 Mulj: 98,6%

Vrlo krupnozrnati šljunak:	0,0%
Krupnozrnati šljunak:	0,0%
Srednjezrnati šljunak:	0,0%
Sitnozrnati šljunak:	0,0%
Vrlo sitnozrnati šljunak:	0,0%
Vrlo krupnozrnati pijesak:	0,1%
Krupnozrnati pijesak:	0,1%
Srednjezrnati pijesak:	0,1%
Sitnozrnati pijesak:	0,2%
Vrlo sitnozrnati pijesak:	0,9%
Vrlo krupnozrnati prah:	2,4%
Krupnozrnati prah:	7,2%
Srednjezrnati prah:	14,5%
Sitnozrnati prah:	18,9%
Vrlo sitnozrnati prah:	17,2%
Glina:	38,5%

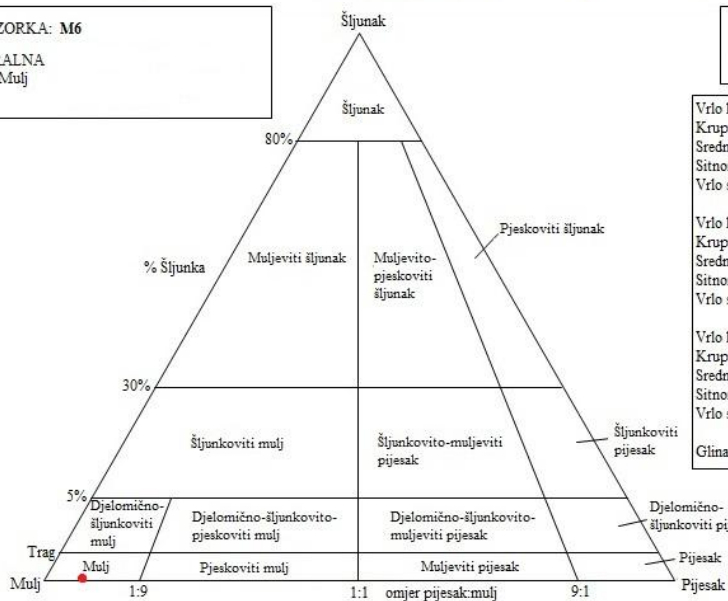
NAZIV UZORKA: M5  
 TEKSTURALNA  
 GRUPA: Mulj



Šljunak: 0,0%  
 Pijesak: 5,8%  
 Mulj: 94,2%

Vrlo krupnozrnati šljunak:	0,0%
Krupnozrnati šljunak:	0,0%
Srednjezrnati šljunak:	0,0%
Sitnozrnati šljunak:	0,0%
Vrlo sitnozrnati šljunak:	0,0%
Vrlo krupnozrnati pijesak:	0,0%
Krupnozrnati pijesak:	0,1%
Srednjezrnati pijesak:	0,2%
Sitnozrnati pijesak:	1,1%
Vrlo sitnozrnati pijesak:	4,5%
Vrlo krupnozrnati prah:	4,4%
Krupnozrnati prah:	10,2%
Srednjezrnati prah:	13,7%
Sitnozrnati prah:	18,2%
Vrlo sitnozrnati prah:	17,3%
Glina:	30,4%

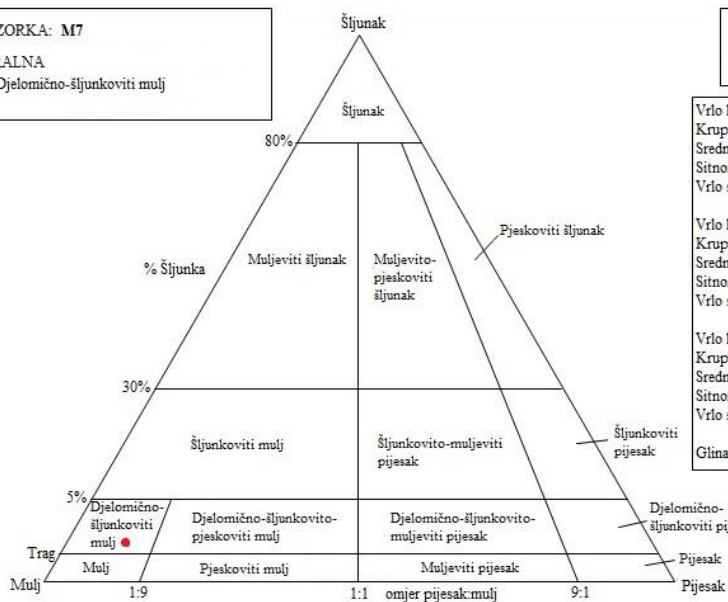
NAZIV UZORKA: M6  
 TEKSTURALNA  
 GRUPA: Mulj



Šljunak: 0,0%  
 Pijesak: 4,4%  
 Mulj: 95,6%

Vrlo krupnozrnati šljunak:	0,0%
Krupnozrnati šljunak:	0,0%
Srednjezrnati šljunak:	0,0%
Sitnozrnati šljunak:	0,0%
Vrlo sitnozrnati šljunak:	0,0%
Vrlo krupnozrnati pijesak:	0,0%
Krupnozrnati pijesak:	0,3%
Srednjezrnati pijesak:	1,0%
Sitnozrnati pijesak:	1,6%
Vrlo sitnozrnati pijesak:	1,6%
Vrlo krupnozrnati prah:	1,1%
Krupnozrnati prah:	2,1%
Srednjezrnati prah:	5,0%
Sitnozrnati prah:	11,2%
Vrlo sitnozrnati prah:	17,6%
Glina:	58,3%

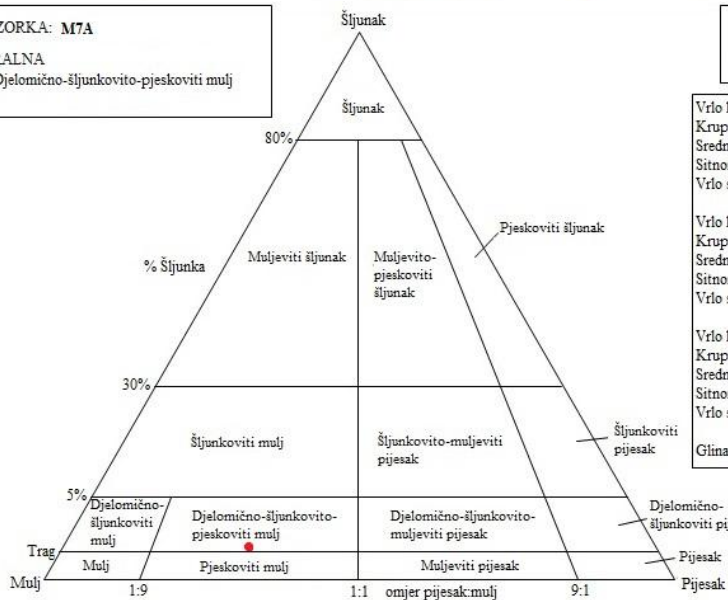
NAZIV UZORKA: M7  
 TEKSTURALNA  
 GRUPA: Djelomično-šljunkoviti mulj



Šljunak: 1,8%  
 Pijesak: 5,8%  
 Mulj: 92,4%

Vrlo krupnozrnati šljunak:	0,0%
Krupnozrnati šljunak:	0,0%
Srednjezrnati šljunak:	0,0%
Sitnozrnati šljunak:	0,0%
Vrlo sitnozrnati šljunak:	1,8%
Vrlo krupnozrnati pijesak:	1,9%
Krupnozrnati pijesak:	1,9%
Srednjezrnati pijesak:	1,1%
Sitnozrnati pijesak:	0,5%
Vrlo sitnozrnati pijesak:	0,6%
Vrlo krupnozrnati prah:	0,7%
Krupnozrnati prah:	2,5%
Srednjezrnati prah:	8,2%
Sitnozrnati prah:	17,1%
Vrlo sitnozrnati prah:	21,5%
Glina:	42,6%

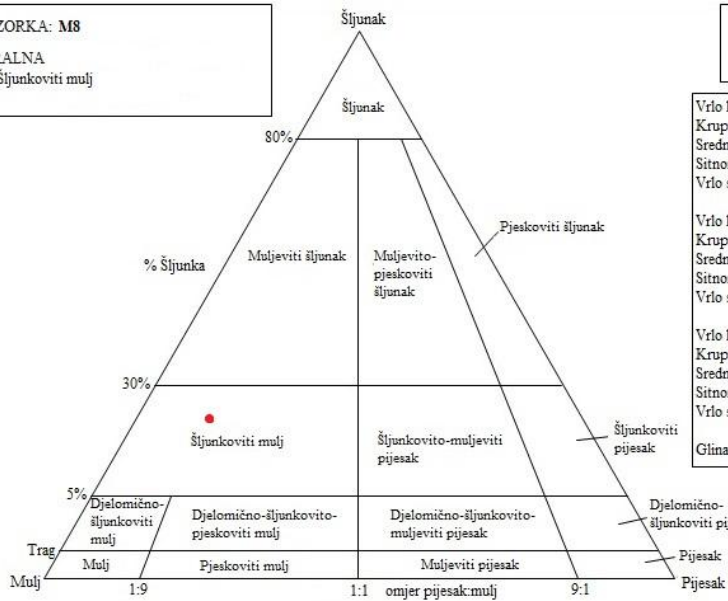
NAZIV UZORKA: M7A  
 TEKSTURALNA  
 GRUPA: Djelomično-šljunkovito-pjescoviti mulj



Šljunak: 1,3%  
 Pijesak: 27,3%  
 Mulj: 71,5%

Vrlo krupnozrnati šljunak:	0,0%
Krupnozrnati šljunak:	0,0%
Srednjezrnati šljunak:	0,0%
Sitnozrnati šljunak:	1,1%
Vrlo sitnozrnati šljunak:	0,2%
Vrlo krupnozrnati pijesak:	0,6%
Krupnozrnati pijesak:	2,6%
Srednjezrnati pijesak:	5,7%
Sitnozrnati pijesak:	8,1%
Vrlo sitnozrnati pijesak:	10,4%
Vrlo krupnozrnati prah:	4,1%
Krupnozrnati prah:	9,3%
Srednjezrnati prah:	11,7%
Sitnozrnati prah:	13,7%
Vrlo sitnozrnati prah:	12,5%
Glina:	20,2%

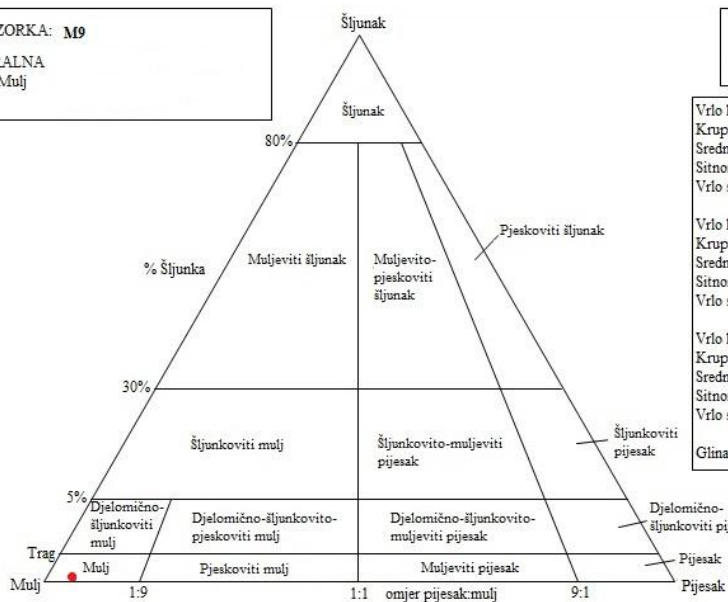
NAZIV UZORKA: M8  
 TEKSTURALNA  
 GRUPA: Šljunkoviti mulj



Šljunak: 24,2%  
 Pijesak: 7,9%  
 Mulj: 67,9%

Vrlo krupnozrnati šljunak:	0,0%
Krupnozrnati šljunak:	0,0%
Srednjezrnati šljunak:	0,0%
Sitnozrnati šljunak:	19,5%
Vrlo sitnozrnati šljunak:	4,8%
Vrlo krupnozrnati pijesak:	2,3%
Krupnozrnati pijesak:	1,3%
Srednjezrnati pijesak:	0,9%
Sitnozrnati pijesak:	1,3%
Vrlo sitnozrnati pijesak:	2,1%
Vrlo krupnozrnati prah:	1,2%
Krupnozrnati prah:	2,9%
Srednjezrnati prah:	7,2%
Sitnozrnati prah:	12,6%
Vrlo sitnozrnati prah:	15,1%
Glina:	28,9%

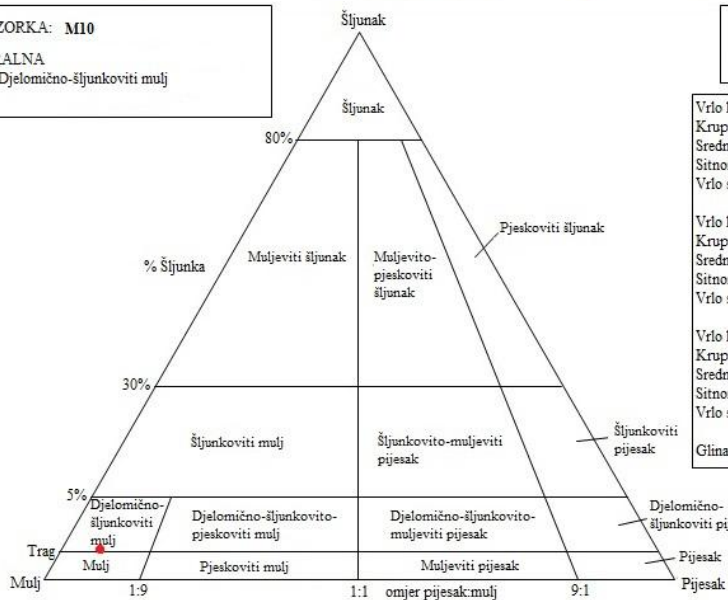
NAZIV UZORKA: M9  
 TEKSTURALNA  
 GRUPA: Mulj



Šljunak: 0,0%  
 Pijesak: 2,7%  
 Mulj: 97,3%

Vrlo krupnozrnati šljunak:	0,0%
Krupnozrnati šljunak:	0,0%
Srednjezrnati šljunak:	0,0%
Sitnozrnati šljunak:	0,0%
Vrlo sitnozrnati šljunak:	0,0%
Vrlo krupnozrnati pijesak:	1,1%
Krupnozrnati pijesak:	0,2%
Srednjezrnati pijesak:	0,3%
Sitnozrnati pijesak:	0,4%
Vrlo sitnozrnati pijesak:	0,7%
Vrlo krupnozrnati prah:	8,0%
Krupnozrnati prah:	6,6%
Srednjezrnati prah:	9,7%
Sitnozrnati prah:	16,1%
Vrlo sitnozrnati prah:	20,1%
Glina:	36,9%

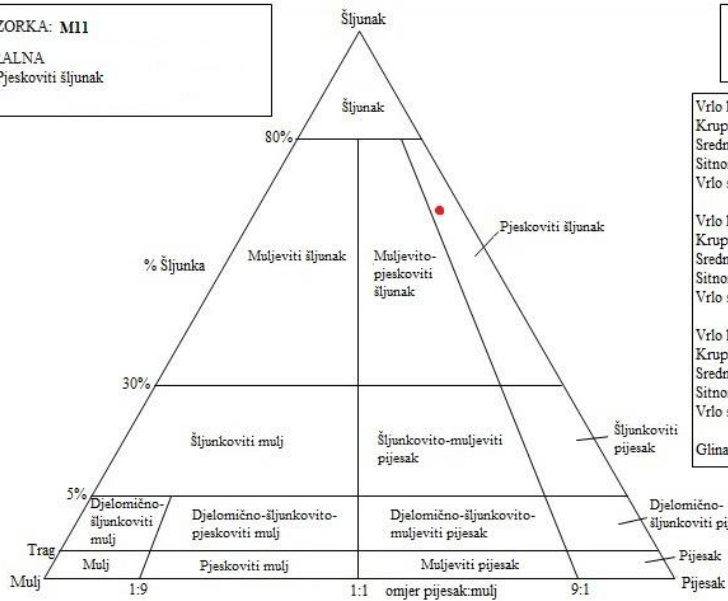
NAZIV UZORKA: M10  
 TEKSTURALNA  
 GRUPA: Djelomično-šljunkoviti mulj



Šljunak: 0,8%  
 Pijesak: 3,7%  
 Mulj: 95,3%

Vrlo krupnozrnati šljunak:	0,0%
Krupnozrnati šljunak:	0,0%
Srednjezrnati šljunak:	0,0%
Sitnozrnati šljunak:	0,6%
Vrlo sitnozrnati šljunak:	0,2%
Vrlo krupnozrnati pijesak:	0,4%
Krupnozrnati pijesak:	0,4%
Srednjezrnati pijesak:	0,4%
Sitnozrnati pijesak:	0,6%
Vrlo sitnozrnati pijesak:	2,0%
Vrlo krupnozrnati prah:	1,7%
Krupnozrnati prah:	7,1%
Srednjezrnati prah:	13,1%
Sitnozrnati prah:	17,9%
Vrlo sitnozrnati prah:	16,5%
Glina:	39,3%

NAZIV UZORKA: M11  
 TEKSTURALNA  
 GRUPA: Pjescoviti šljunak



Šljunak: 67,0%  
 Pijesak: 30,4%  
 Mulj: 2,6%

Vrlo krupnozrnati šljunak:	0,0%
Krupnozrnati šljunak:	0,0%
Srednjezrnati šljunak:	0,0%
Sitnozrnati šljunak:	24,7%
Vrlo sitnozrnati šljunak:	42,3%
Vrlo krupnozrnati pijesak:	27,6%
Krupnozrnati pijesak:	2,8%
Srednjezrnati pijesak:	0,1%
Sitnozrnati pijesak:	0,0%
Vrlo sitnozrnati pijesak:	0,0%
Vrlo krupnozrnati prah:	0,0%
Krupnozrnati prah:	0,2%
Srednjezrnati prah:	0,5%
Sitnozrnati prah:	0,5%
Vrlo sitnozrnati prah:	0,6%
Glina:	0,8%



### 8.3. Kumulativne krivulje uzorka M1-M11

