

# GEOKEMIJSKE ZNAČAJKE PLEISTOCENSKIH PIJESAKA JUŽNOG JADRANA

---

**Drempetić, Dorotea**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

*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:217:117122>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-13**



*Repository / Repozitorij:*

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

DOROTEJA DREMPETIĆ

GEOKEMIJSKE ZNAČAJKE PLEISTOCENSKIH  
PIJESAKA JUŽNOG JADRANA

Diplomski rad

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOLOŠKI ODSJEK

DOROTEA DREMPETIĆ

GEOKEMIJSKE ZNAČAJKE PLEISTOCENSKIH  
PIJESAKA JUŽNOG JADRANA

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

Mentor:

izv.prof.dr.sc. Marijan Kovačić

Komentor:

dr.sc. Frane Marković, poslijedoktorand

Zagreb, 2019.

Ovaj diplomski rad izrađen je na Mineraloško-petrografskom zavodu Geološkog odsjeka pod vodstvom izvanrednog profesora dr.sc. Marijana Kovačića i poslijedoktoranda dr.sc. Frane Markovića u sklopu Diplomskog studija geologije zaštite okoliša na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Diplomski rad

### **GEOKEMIJSKE ZNAČAJKE PLEISTOCENSKIH PIJESAKA JUŽNOG JADRANA**

Dorotea Drempetić

Rad je izrađen na Mineraloško-petrografskom zavodu Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Horvatovac 95, 10 000 Zagreb, Republika Hrvatska.

**Sažetak:** U diplomskom radu istraživane su geokemijske značajke siliciklastičnog detritusa miješanih karbonatno-siliciklastičnih pijesaka pleistocenske starosti s otoka Hvara, Visa, Mljeta, Korčule, Lastova i Lopuda te poluotoka Pelješca i triju recentnih pijesaka s ušća rijeke Cetine, Neretve i Drima. Prema dijagramima baziranim na sadržaju glavnih elemenata, pleistocenski pijesci s otoka Lopuda, Visa i Korčule te poluotoka Pelješca, kao i oni s ušća Neretve i Drima klasificirani su kao litični areniti. Pijesci s otoka Mljeta, Lastova i Hvara odgovaraju subarkozama, a pijesak s ušća rijeke Cetine sublitoarenitu. Izvorišne stijene siliciklastičnog detritusa najvećim su dijelom bile kvarcne sedimentne stijene, a manjim dijelom neutralne ili mafitne magmatske stijene. Rekonstrukcije geotektonskog položaja izvorišnog područja analiziranih pijesaka nisu se pokazale pouzdanima jer siliciklastični detritus prema sadržaju glavnih elemenata potječe s pasivnog kontinentanskog ruba ili je projiciran izvan polja dijagrama, dok prema sadržaju elemenata u tragovima vuče porijeklo s kontinentanskog ili oceanskog otočnog luka. Na temelju odnosa K/Ba i K/Rb utvrđeno je da rijeka Paleocetina nije bila izvor siliciklastičnog detritusa analiziranih pleistocenskih pijesaka. Paleoneretva je najvjerojatnije donosila detritus istaložen na Hvaru, Visu, Lastovu i Pelješcu, a Paleodrim na Korčuli i Mljetu, dok je detritus s Lopuda mogao biti donesen objema spomenutim paleorijekama.

**Ključne riječi:** Južni Jadran, geokemijske značajke pijesaka, Pleistocen, pleistocenski pijesci

**Rad sadrži:** V + 43 stranice, 16 slika, 4 tablice, 31 literaturni navod

**Jezik izvornika:** Hrvatski

**Rad je pohranjen u:** Središnjoj geološkoj knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb, Republika Hrvatska

**Mentor:** dr. sc. Marijan Kovačić, izv. prof.

**Komentor:** dr.sc. Frane Marković, poslijedoktorand

**Ocjenjivači:** dr. sc. Marijan Kovačić, izv. prof.

dr.sc. Hana Fajković, docent

dr.sc.Maja Martinuš, docent

**Rad prihvaćen:** 20. ožujka 2019. godine

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geology

Master Thesis

### **GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SOUTH ADRIATIC PLEISTOCENE SANDS**

Dorotea Drempetić

Thesis completed at the Division of Mineralogy and Petrology, Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac 95, 10 000 Zagreb, Croatia.

**Abstract:** In master thesis, geochemical characteristics of siliciclastic detritus of mixed carbonate-siliciclastics Pleistocene sands from islands Hvar, Vis, Mljet, Korčula, Lastovo and Lopud, the Pelješac Peninsula and three samples of sands from rivers Cetina, Neretva and Drim had been researched. The diagrams based on the macroelements show that the Pleistocene sands from the islands Lopud, Vis and Korčula, Pelješac Peninsula, as well as those from Neretva and Drim River are classified as lithic arenite. The sands from islands Mljet, Lastovo and Hvar are classified as subarkose and sand from Cetina River matched to sublithic arenite. The main source of siliciclastic detritus according to discriminatory diagrams based on the content of macroelements or on their relations were mostly quartz sedimentary rocks and a small part of the neutral or mafitic magmatic rocks. Based on the K/Ba and K/Rb relations it was established that the Paleocetina River was not a source of siliciclastic detritus of analysed Pleistocene sands. Paleoneretva River probably brought detritus deposited on Hvar, Vis, Lastovo and Pelješac, while Paleodrim on Korčula and Mljet, while detritus from Lopud could have been brought to both Paleorivers.

**Keywords:** South Adriatic, geochemical characteristics of sands, Pleistocene, Pleistocene sands

**Thesis contains:** V + 43 pages, 16 figures, 4 tables, 31 references

**Original in:** Croatian

**Thesis deposited in:** the Central geological library, Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb, Croatia

**Supervisor:** Ph.D. Marijan Kovačić, Associate Professor

**Assistant supervisor:** Ph.D. Frane Marković, Postdoctoral Researcher

**Reviewers:** Ph.D. Marijan Kovačić, Associate Professor

Ph.D. Hana Fajković, Assistant Professor

Ph.D. Maja Martinuš, Assistant Professor

**Thesis accepted:** 20 March 2019

## SADRŽAJ

|  |    |
|--|----|
| 1. UVOD .....  | 1  |
| 2. GEOLOGIJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA .....   | 5  |
| 2.1. Geologija Jadransko – dinaridskog područja.....   | 5  |
| 2.2. Geološka građa istraživanih lokaliteta.....   | 8  |
| 2.3. Geologija slivnog područja rijeke Cetine, Neretve i Drima .....   | 10 |
| 3. METODE ISTRAŽIVANJA.....  | 14 |
| 3.1. Terenske metode.....  | 14 |
| 3.2. Laboratorijske metode .....   | 16 |
| 4. REZULTATI.....  | 17 |
| 5. DISKUSIJA.....  | 19 |
| 5.1. Klasifikacija pijesaka.....   | 19 |
| 5.2. Vrste izvornih stijena.....   | 21 |
| 5.3. Geotektonski smještaj izvornih predjela.....  | 24 |
| 5.3.1. Diskriminacija geotektonskih okruženja na osnovu odnosa $Fe_2O_3+MgO$ prema $TiO_2$ i $Fe_2O_3+MgO$ prema $Al_2O_3/SiO_2$ .....             | 25 |
| 5.3.2. Diskriminacija geotektonskih okruženja na osnovu diskriminantnih funkcija baziranih na sadržaju glavnih elemenata (prema Bhatia, 1983)..... | 27 |
| 5.3.3. Diskriminacija geotektonskih okruženja na osnovu odnosa određenih elemenata u tragovima (prema Bhatia & Crook, 1986) .....                  | 28 |
| 5.4. Usporedba pleistocenskih pijesaka s recentnim pijescima Neretve, Cetine i Drima (prema Muhs, 2017) .....                                      | 32 |
| 6. ZAKLJUČAK .....   | 36 |
| 7. SAŽETAK.....  | 38 |
| 8. SUMMARY .....   | 39 |
| 9. LITERATURA.....   | 40 |

## 1. UVOD

Prostor istočne obale Jadrana i otoka uglavnom je izgrađen od karbonatnih stijena mezozojsko-paleogenske starosti čiji je postanak vezan uz razvoj karbonatne platforme koja se danas u literaturi različito naziva: Jadransko–dinaridska karbonatna platforma (Jelaska, 2003) ili Jadranska karbonatna platforma (Velić i sur., 2002; Vlahović i sur., 2005). Manjim dijelom istočnu obalu Jadrana i otoke izgrađuju paleogenski fliš te Promina naslage (Korbar, 2009). Međutim, na većini južnojadranskih otoka i na poluotoku Pelješcu utvrđene su i manje pojave znatno mlađih klastičnih pjeskovito-siltoznih sedimenata (Slika 1.1) (Raić & Papeš, 1982).

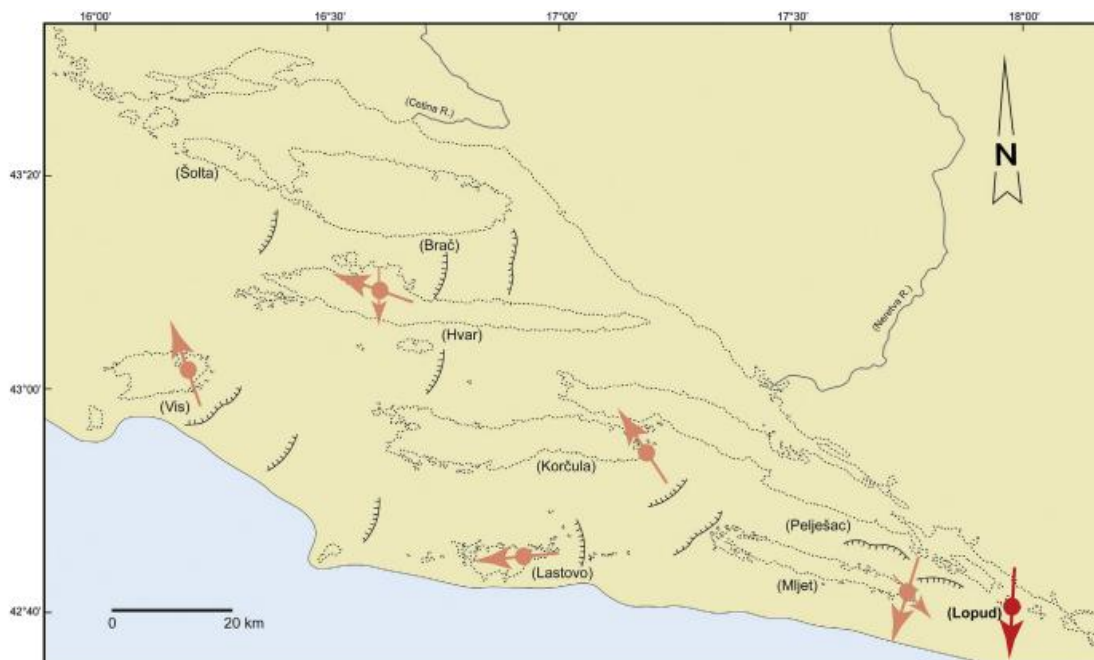


Slika 1.1. Karta jugoistočnog dijela Jadrana i zaleđa. Žutim kružićima istaknute su površinske pojave kvartarnih pjeskovito-siltoznih sedimenata (preuzeto s Google Maps).

O genezi i starosti tih mlađih klastita prva je pisala Marković-Marjanović (1979) koja je, istražujući ih na otoku Mljetu, zaključila da se radi o eolskim pijescima i praporu. Osim toga, istaknula je da je taloženje lesa pokazatelj suhe i hladne klime.



Kasnije su Pavelić i suradnici (2011, 2014) istražujući spomenute sedimente na nizu otoka Južnog Jadrana te na poluotoku Pelješcu izdvojili aluvijalne i eolske naslage i pretpostavili njihovu kasnopleistocensku starost. Njihov postanak povezali su s glacijalnim procesima u Dinaridima koji su uzrokovali mehaničko trošenje različitih tipova stijena te veliku produkciju čestica veličine pijeska i praha. Tadašnje rijeke taj su materijal transportirale do jadranske obale. Tijekom glacijalnog razdoblja i pada razine mora sedimenti poplavnih ravnica i marinski sediment, transportirani su vjetrom što je rezultiralo akumulacijom pijesaka u eolske forme. Rekonstrukcije paleotransporta pokazale su da su smjerovi prijenosa materijala na Jadranu bili dosta različiti od većine obalnih eolskih okoliša u mediteranskom području gdje su vjetrovi uglavnom puhali prema kopnu (Pavelić i sur., 2014). Naime, smjer vjetrova na Jadranu je bio vrlo promjenjiv što je bilo uvjetovano morfologijom otoka i položajem depresija (Slika 1.2).



Slika 1.2. Shematski prikaz kasnopleistocenske paleogeografije istraživanog područja otoka južnog Jadrana koji su u to doba bili dio kopna. Prikazani su dominantni smjerovi vjetrova i migracije dina, a smjerovi odgovaraju S-SZ, Z, J, smjeru prema kopnu, prema moru te paralelno s obalnim pojasom. Preuzeto iz Kovačić i sur. (2017).

Babić i suradnici (2012, 2013) također smatraju da je akumulacija i očuvanje eolskih pijesaka na otocima južnog Jadrana bilo pod utjecajem krške topografije, i da je ovisilo o

deformaciji topografije, karstifikaciji, a lokalno i o utjecaju fluvijalnih procesa. Depresije su bile akumulacijske zamke za očuvanje eolskih pijesaka.

Kovačić i suradnici (2017) su za pijeske otoka Lopuda istaknuli da su aluvijalnog i eolskog podrijetla. Prema njima, aluvijalne naslage predstavljaju reciklirani eolski pijesak akumuliran na poplavnoj ravnici tijekom relativno dugačkog humidnog perioda, dok su eolski pijesci taloženi pod utjecajem južnog vjetra tijekom aridnijeg i vjetrovitijeg perioda.

Do sada je starost tih mlađih klastičnih naslaga utvrđena samo na otoku Hvaru gdje je Wacha sa suradnicima (2016) datiranjem pomoću luminiscencije utvrdila da se ona kreće u rasponu od 179 000 ( $\pm 18 000$ ) do 130 000 godina.

Analize modalnog sastava, kao i smjera prijenosa klastičnog detritusa koji je tijekom pleistocena taložen na području današnjih otoka i priobalja središnjeg i južnog Jadrana pokazale su da je pjeskovito-siltozni detritus najvećim dijelom nastao trošenjem stijena Unutarnjih i Vanjskih Dinarida (Pavelić i sur., 2011, 2014; Babić i sur., 2012, 2013; Kovačić i sur., 2017.). Pavelić i suradnici (2011, 2014) i Kovačić i suradnici (2017) smatraju da je dominantno karbonatno-klastični detritus otoka Hvara i Visa transportiran rijekom Paleocetinom iz izvorišta u Vanjskim Dinaridima, a miješani karbonatno-siliciklastični detritus otoka Korčule, Lastova, Mljeta i Lopuda te poluotoka Pelješca rijekom Paleoneretvom transportiran iz Vanjskih i Unutarnjih Dinarida. Nasuprot tome, Babić i suradnici (2013) govore o marinskom podrijetlu većine klastičnog detritusa koji je snažnim obalnim strujama jugoistočnim vjetrovima transportiran s prostora Albanije gdje je rijeka Drim donijela velike količine klastičnog detritusa iz svog slivnog područja. U svojoj doktorskoj disertaciji Razum (2018) je pretpostavio postojanje manje rijeke sjeverno od Dubrovnika koja je tijekom pleistocena donosila klastični detritus u područje južnog Jadrana.

Osim modalnog sastava, za analizu provenijencije klastičnog detritusa može se koristiti i njegov kemijski sastav. Naime, kemijski sastav klastičnog detritusa odraz je geotektonskog položaja izvorišta (Bhatia, 1983; Bhatia & Crook, 1986), petrografskog sastava izvorišnih stijena (Roser & Korsch, 1988), duljine i načina transporta kao i klimatskog okruženja koje pak ima ključnu ulogu u vrsti i intenzitetu trošenja samog detritusa (Basu, 1985; Morton & Hallsworth, 1994, 1999).

Dosadašnja istraživanja provenijencije klastičnog detritusa koji je tijekom pleistocena istaložen na prostoru današnjeg južnog Jadrana, bazirana na modalnom sastavu detritusa i

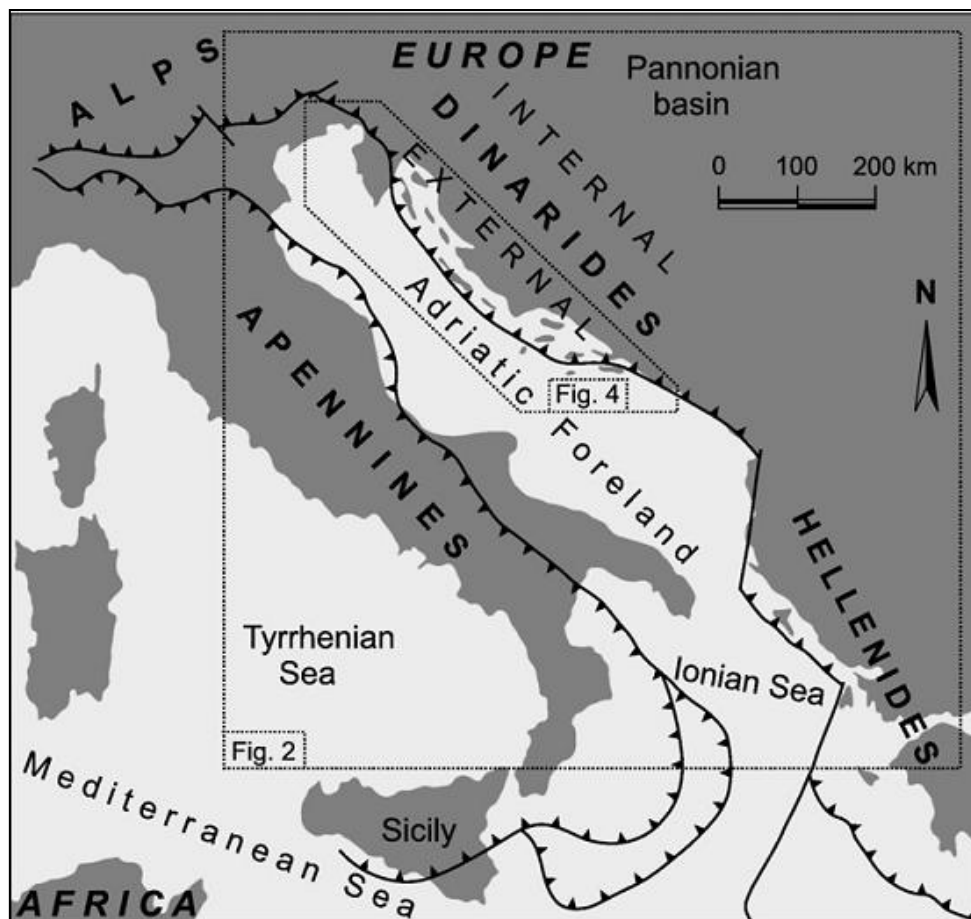
smjeru prijenosa materijala, nisu dala jednoznačno rješenje o izvorištu materijala kao ni odgovor na pitanje koja je rijeka imala ključnu ulogu u donosu materijala do obale za svaki pojedini lokalitet.

Cilj ovog rada bio je utvrditi kemijski sastav pleistocenskih pijesaka otoka Hvara, Visa, Mljeta, Lastova, Korčule i Lopuda te poluotoka Pelješca te na temelju njega utvrditi petrografski sastav i geotektonski položaj izvorišta. Nadalje, cilj je bio utvrditi sličnosti i razlike između pojedinih lokaliteta te na temelju usporedbe s kemijskim sastavom recentnih pijesaka Cetine, Neretve i Drima pokušati utvrditi koja od rijeka imala ključnu ulogu u donosu materijala od izvorišta do tadašnje obale. Također, željelo se testirati metodu koju je predložio Muhs (2017), a prema kojoj se analizom sastava pojedinih elemenata u tragovima može diskriminirati detritus pleistocenskih i recentnih pijesaka. On je naime, temeljem tih analiza uspio povezati recentne pijeske današnjih rijeka u Sjevernoj Americi s pleistocenskim pijescima i na taj način riješio problem izvorišta pleistocenskih pijesaka.

## 2. GEOLOGIJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

### 2.1. Geologija Jadransko – dinaridskog područja

Područje istraživanja ovog rada pripada geotektonskoj cjelini Dinarida, i u manjoj mjeri Albanida. Dinaridi se dijele na Unutarnje i Vanjske Dinaride, gdje Vanjski Dinaridi obuhvaćaju prostor jadranskih otoka i planina kopnenog zaleđa Jadrana, dok Unutarnji Dinaridi zauzimaju prostor sjeveroistočno od Vanjskih Dinarida (Slika 2.1, Korbar i sur., 2009). Albanidi formiraju južni ogranak mediteranskog alpskog pojasa zajedno s Dinaridima na sjeveru i Helenidima na jugu. Oni se također dijele na Unutarnje i Vanjske Albanide (Slika 2.5, Kallanxhi i sur., 2016).



Slika 2.1. Prikaz tektonske građe Jadranske regije na kojoj je naznačeno područje Unutarnjih i Vanjskih Dinarida (preuzeto iz Korbar et al., 2009).

Razvoj jadransko-dinaridskog područja pregledno su opisali Vlahović i suradnici (2005) i Korbar i suradnici (2009). Prema njima, do početka srednjeg trijasa na šelfnom području sjevernog dijela Gondwane većinom su taloženi siliciklastiti te manjim dijelom karbonati na plitkovodnom platformnom prostoru epiiričkog tipa. U srednjem trijasu dolazi do riftovanja, gdje se odvaja veliki šelfni fragment – mikrokontinent, koji se naziva Jadranska mikroploča. Time se unutar šelfnog prostora Tethysa formirao izolirani prostor bivšeg šelfa na kojem su se većinom akumulirali karbonati. Taložni okoliši na Jadranskoj mikroploči diferencirali su se tijekom starije jure te je nastalo nekoliko manjih platformnih prostora koji su međusobno bili odvojeni dubokomorskim koritima. Jedna od novonastalih karbonatnih platforma je i Jadranska karbonatna platforma (Vlahović i sur., 2005). Početkom mlađeg dijela starije jure počelo je i spuštanje rubnog prostora duž sjeveroistočnog rubnog dijela Jadranske karbonatne platforme. Ono je nastalo kao posljedica rasjedanja uslijed regionalnog riftovanja koje se odvijalo u ovom dijelu Tethysa. Platformni elementi prijašnje Jadranske mikroploče tijekom starije i srednje jure te krede kretali su se ispred Gondwane prema Lauraziji. Plitkovodni platformni prostor Jadranske karbonatne platforme (Adriatic Carbonate Platform – AdCP) polako je tonuo i približavao se subdukcijskom jarku ispred Laurazije. Istovremeno se u plitkovodnim platformnim uvjetima odvijala se akumulacija karbonatnog materijala iz kojeg je na AdCP nastao oko 3,5–5 km debeo slijed plitkovodnih platformnih vapnenaca. Početkom mlađe krede (u cenomanu) dolazi do približavanja AdCP Lauraziji što dovodi do diferencijacije taložnog prostora. Neki dijelovi zadržavaju plitkovodne značajke, neki su okopnjeli, a ponegdje se formiraju dubokomorski jarci u kojima su akumulirani dubokomorski vapnenački talozi. Krajem krede najveći dio AdCP je u potpunosti okopnio, dok se sedimentacija u stariji paleogen nastavila samo ponegdje (npr. SZ Brač). Zbog nastavka subdukcijskih procesa u jarku ispred obala Euroazije, izdignuti prostor bivše AdCP postupno tone, dolazi do preplavlivanja i obnavljanja plitkovodnih taložnih uvjeta. Napredovanjem subdukcije, tijekom eocena taložni prostor se diferencira. Kolizijom struktura bivše AdCP i struktura Euroazije, počevši od mlađeg eocena, izdižu se Krški ili Vanjski Dinaridi. Njihovim postupnim trošenjem tijekom eocena i oligocena nastaje materijal koji djelomice zapunjava rubni marinski prostor ondašnjeg Jadranskog bazena koji se prostirao ispred dinarskih planina. Na ovaj je način od trijasa do kraja paleogena formiran današnji strukturno – tektonski sklop Krških, odnosno Vanjskih Dinarida.

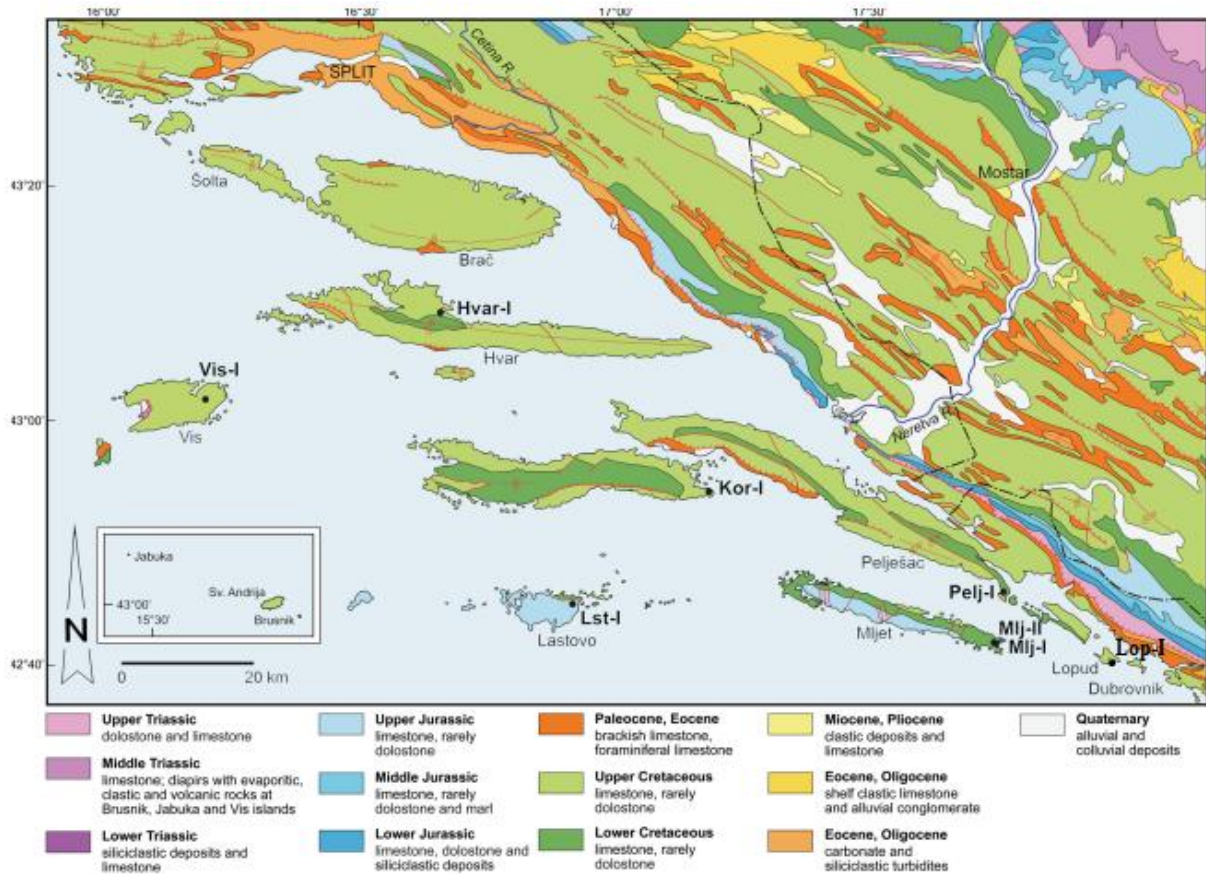
Naslage nastale u dubokovodnom prostoru potopljene platforme i oceanskom prostoru dinarskog dijela Tethysa danas predstavljaju Unutarnje Dinaride. Oni su izgrađeni od

dubokovodnih vapnenaca, ofiolita, radiolarita i šejlova s bazaltima. Platformni prostor koji je tijekom starije jure riftovanjem spušten i poprimio dubljevodne značajke, danas predstavljaju naslage samo jednog facijesa, facijesa vapnenaca i dolomitičnih vapnenaca. Krajem starije jure dolazi do izrazitijeg produbljivanja taložnog prostora na sjeveroistočnom dijelu Jadranske karbonatne platforme. Istovremeno dolazi do vulkanske aktivnosti u oceanskom prostoru dinarskog dijela Tethysa. Time se stvara vulkanogeno-sedimentni (ofiolitni) facijes naslaga, koji svoj maksimum doseže u mlađoj juri. Duž sjeveroistočnog ruba Jadranske karbonatne platforme i na nekim podvodnim uzvišenjima tijekom mlađe jure formirali su se grebeni, dok su se u dubljevodnim dijelovima akumuliraju dubokovodni vapnenački sedimenti. Ispred tog dubokovodnog prostora potopljene platforme nalazio se otvarajući oceanski prostor dinarskog dijela Tethysa. Od naslaga starije krede na području Unutarnjih Dinarida valja spomenuti nekoliko različitih facijesa. Na dubokovodne vapnence mlađe jure talože se flišne naslage; sivi pješčenjaci, grauvake, radiolariti, lapori te vapnenačke breče. Facijes vapnenaca obuhvaća tankopločaste dubokovodne vapnence i laporovite vapnence koji odgovaraju podinskim naslagama vapnenaca mlađe jure. Vulkanogeno-sedimentna serija istovrsne je građe kao i ona taložena tijekom jure.

Pleistocen je epoha neogena koja je trajala od 2,59–0,0115 milijuna godina. Danas na prostoru Vanjskih Dinarida ima glacijalnog i fluvioglacijalnog materijala iz pleistocena. Na otocima Korčuli, Lastovu, Mljetu, Hvaru, Visu, Lopudu i Susku ima eolskih sedimenata iz pleistocena. U Jadranskom bazenu se također odvijalo taloženje tijekom pleistocena, a to su danas još nevezani pijesci.

## 2.2. Geološka građa istraživanih lokaliteta

Svi uzorci prikupljeni za ovaj diplomski rad dolaze sa šest južnojadranskih otoka (Vis, Hvar, Mljet, Korčula, Lastovo, Lopud) i poluotoka Pelješca. Ovdje je ukratko opisana geološka građa svih lokaliteta.



Slika 2.2. Prikaz geološke građe otoka južnog Jadrana i poluotoka Pelješca. Lokacije istraživanih lokaliteta označene su crnim točkama i slovima. Modificirano prema Pavelić (2014) i Kovačić i sur. (2017).

Otoci Hvar i Vis najvećim su dijelom izgrađeni od donjokrednih vapnenaca i dolomita te gornjokrednih rudistnih vapnenaca. Na otoku Visu se na zapadnoj strani otoka pojavljuju stijene srednjotrijaske starosti, a to su uglavnom evaporiti, magmatske i siliciklastične stijene (Slika 2.2). Eocenski vapnenci i siliciklastične naslage javljaju se na otoku Hvaru i poluotoku Pelješcu. Područje istraživanja većinom je vezano uz strmiji reljef, gdje je sama morfologija terena povezana s geološkim strukturama, što znači da antiklinale odgovaraju uzdignućima na terenu, a sinklinale odgovaraju dolinama ispunjenim paleogenskim naslagama (Pavelić i sur., 2011, 2014). Pleistocenske naslage otoka Hvara pokrivaju velika područja u središnjem dijelu

otoka, između Starog Grada, Jelse i Vrboske, dok se na otoku Visu nalaze na istočnoj strani otoka u plitkoj udolini (Slika 2.2).

Poluotok Pelješac je izgrađen od sličnih naslaga kao i otok Hvar, donjokrednih vapnenaca i dolomita te gornjokrednih rudistnih vapnenaca. Na jugozapadnom dijelu poluotoka, u smjeru pružanja, mogu se naći naslage paleocena i eocena. Mali dijelovi vrlo dobro sortiranih pijesaka pokrivaju najniže dijelove padine na najjužnijem dijelu poluotoka Pelješca, a pripadaju pleistocenskim naslagama (Slika 2.2).

Na otoku Korčuli najstarije naslage čine slojeviti i masivni dolomiti koji stratigrafski pripadaju mlađoj juri do starijoj kredi. Zatim ih slijede donjokredni vapnenci i dolomiti te gornjokredni rudistni vapnenci. Može se naći i nešto dolomita i postsedimentacijskih dijagenetskih breča starosti gornji alb – donji cenoman, ali i naslaga crvenice holocenske starosti te deluvijalno – proluvijalnih naslaga (Pavelić i sur., 2014). Pleistocenske naslage pojavljuju se na istočnoj strani otoka Korčule, kao samostalna pješčana jedinica, interpretirana kao eolska dina (Slika 2.2).

Otok Lastovo najvećim je dijelom izgrađen od gornjojurskih foraminifersko-algalnih vapnenaca te dolomita. Manjim dijelom mogu se naći donjokredni vapnenci i dolomiti te gornjokredni rudistni vapnenci na sjeveroistočnoj strani otoka. Pleistocenske se naslage nalaze u plitkoj izduženoj dolini pružanja istok-zapad na sjeveroistočnoj strani otoka Lastova (Slika 2.2).

Otok Mljet slične je geološke građe kao i Lastovo. Gornjojurske naslage protežu se smjerom sjeverozapad – jugoistok, paralelno pružanju samog otoka (Slika 2.2). Većinom su to foraminiferski i algalni vapnenci te dolomiti. Dalje prema sjeveroistoku, prostiru se donjokredni vapnenci i dolomiti te gornjokredni rudistni vapnenaci. Pleistocenski eolski pijesci česti su na istočnoj strani otoka Mljeta gdje se javljaju kao izolirana područja koja prekrivaju nepravilnu topografiju krških krednih karbonata, uključujući i strmije padine (Babić i sur., 2012).

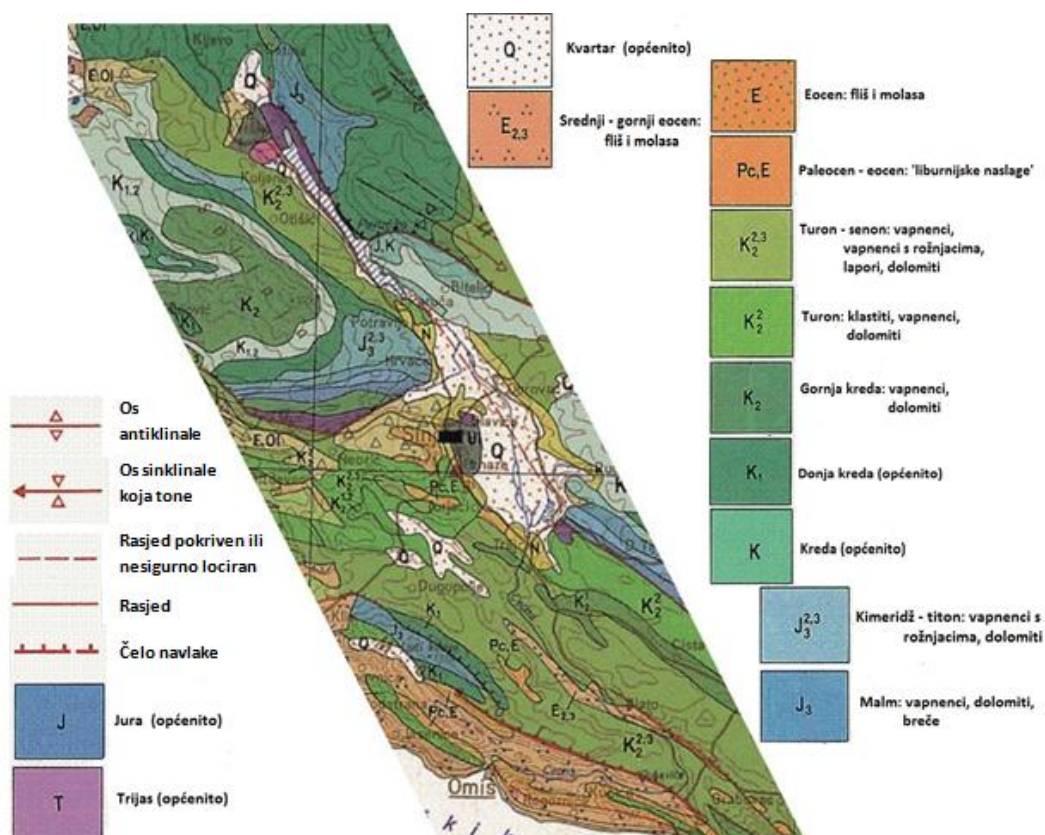
Jugozapadni dio otoka Lopuda izgrađen je od donjokrednih naslaga koje se na širem području sastoje od vapnenaca i dolomita, od madstona do radstona i pravih biolitita. Sjeveroistočni dio otoka sastoji se od gornjokrednih stijena. Najčešće su to rudistni vapnenci, unutar čijeg slijeda se nalaze horizonti i deblji paketi vapnenaca s pelagičkim obilježjima. Južni dio otoka izgrađen je od mlađih, pleistocenskih pjeskovito-pelitnih sedimenata.



Njihovim trošenjem nastala je i stotinjak metara široka pješčana plaža iznad koje se nalazi zasjek sastavljen od crvenkasto-smeđih pijesaka i pjeskovitih pelita, a u gornjem dijelu i slojeva koso uslojenog pješčenjaka (Raić & Papeš, 1982).

### 2.3. Geologija slivnog područja rijeke Cetine, Neretve i Drima

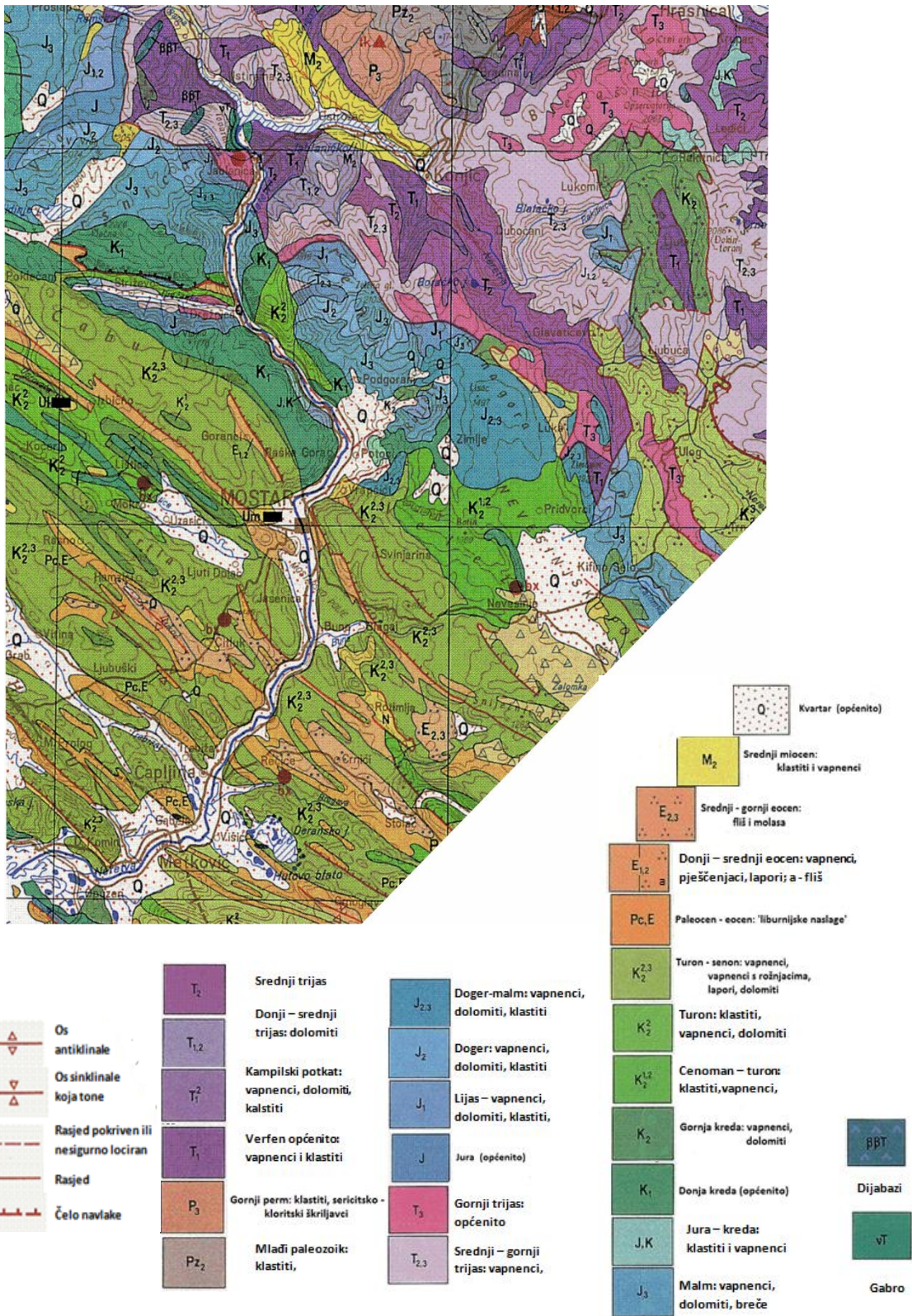
Rijeka Cetina pripada jadranskom slivu, a duljina toka joj iznosi 104 km. Prosječni protok rijeke iznosi 100 m<sup>3</sup>/s. Tipična je krška rijeka koja teče krškim terenom te pretežno nosi otopljene tvari. Relativno je kratka rijeka, a visina izvora joj se nalazi na 385 m nadmorske visine. visina izvora joj je niska (Sikora i sur., 2014). Prema tumačima OGK SFRJ 1:100 000 listovima Omiš (Marinčić i sur., 1977) i Sinj (Raić i sur., 1974), geološku građu sliva rijeke Cetine većinom čine vapnenci i nešto manje dolomiti, pretežno kredne i manjim dijelom jurske i trijaske starosti (Slika 2.3). U donjem dijelu sliva prevladavaju gornjoeocenske flišne naslage, pješčenjaci i detritični vapnenci u izmjeni s laporima. U Sinjskome polju rijeka Cetina drenira miocenske i kvartarne sedimente i piroklastite. Ušće joj se nalazi na kontaktu karbonata, fliša i kvartarnih aluvijalnih naslaga (Meglič, 1997).



Slika 2.3. Geološka karta sliva rijeke Cetine. Isječak Geološke karte Jugoslavije 1:500 000 (FGI,1970).

Rijeka Neretva je dužine 225 km, a izvire na nadmorskoj visini od 1095 m u podnožju planina Zelengore i Lebršnik u Bosni i Hercegovini. Završava deltom površine 170 km<sup>2</sup> u blizini luke Ploče, koja je također smatrana i estuarijem zbog velikog utjecaja plime (Balić & Malvić, 2011). Teče kroz klastične naslage te nosi određenu količinu klastičnih, suspendiranih čestica (naročito prije nego su izgrađene brane) (Sikora i sur., 2014). Porječje Neretve izgrađeno je od raznovrsnih stijena.

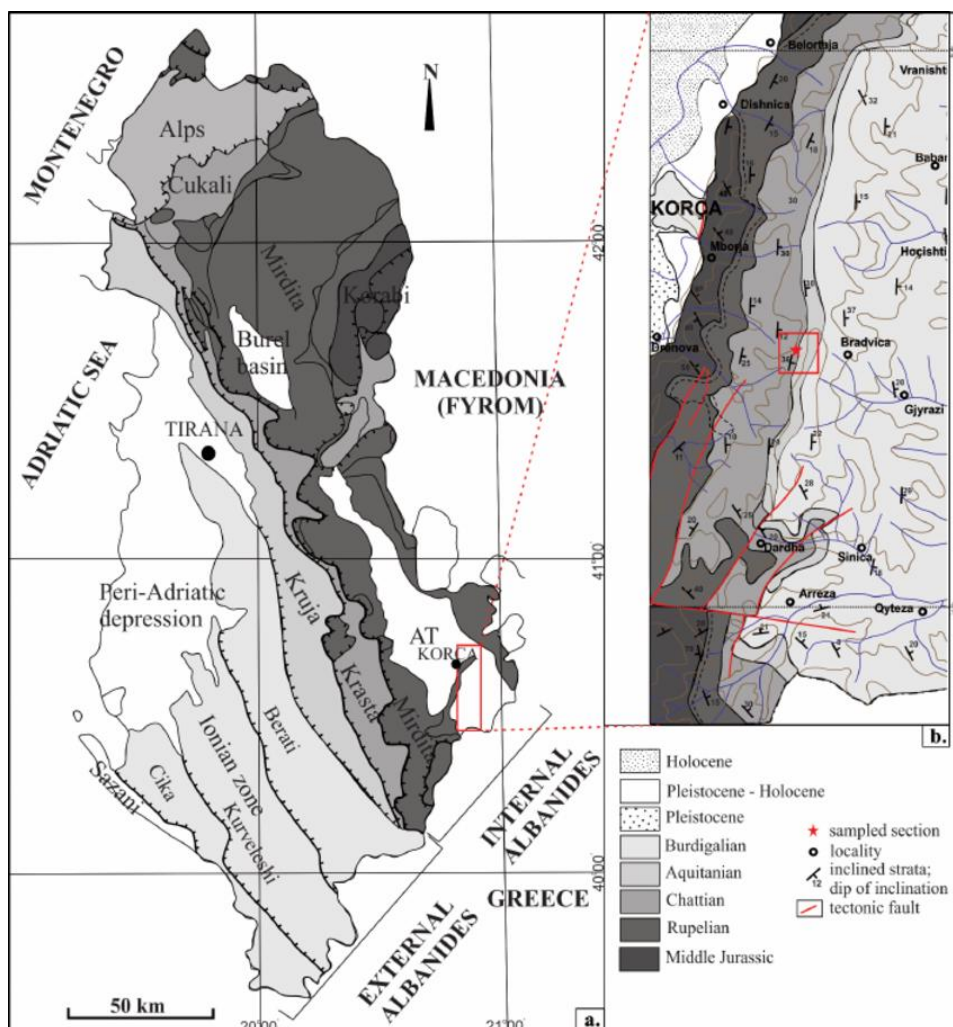
Prema geološkoj karti Jugoslavije 1:500 000, u svom gornjem toku rijeka Neretva prolazi kroz terene koji su izgrađeni od paleozojskih klastita i škriljavaca te trijaskih i jurskih karbonata i klastita. U svom donjem toku većinom prolazi kroz karbonatne stijene, a najzastupljeniji su vapnenci kredne starosti. Osim toga u donjem dijelu toka ona prolazi kroz paleocenske liburnijske naslage, foraminiferske vapnence srednjeg eocena i eocenski fliš. Najmlađe su kvartarne riječne naslage delte Neretve (Raić i sur., 1971.; Marinčić i sur., 1972).



Slika 2.4. Geološka karta sliva rijeke Neretve. Isječak Geološke karte Jugoslavije 1:500 000 (FGI,1970).



Rijeka Drim najveća je albanska rijeka i treća po redu u europskom Mediteranu po donosu materijala. Dužine je 285 km i sastoji se od dva ogranka, Bijelog i Crnog Drima. Crni Drim izvire iz jezera Prespa i Ohrid te teče u smjeru SSZ–JJI duž riftne doline. Prije ulijevanja u Jadransko more spaja se s rijekom Bunom, koja izvire iz Skadarskog jezera između Albanije i Crne Gore (Adhami i sur., 2004). Drenažno područje Crnog Drima uključuje bazične i ultrabazične stijene (Mirdita ofiolitni pojas s važnim Cr, Fe i Ni rudama), granite, vulkanske i vulkansko-sedimentne serije (Tockner i sur., 2009). Bijeli Drim većinom drenira neogenske lakustrične i marine naslage Kosovske zaravni te prolazi karbonatnom podlogom i sastaje se s glavnim ogrankom Drima u Albaniji. Donji dio drenažnog bazena, u nizvodnom toku, građen je od trijasko–krednih vapnenaca, fliša, molase i recentnih kvartarnih naslaga. Na svom ušću, rijeka formira deltu s obalnim lagunama (Tockner i sur., 2009).



Slika 2.5. Tektonska karta Vanjskih i Unutarnjih Albanida. Preuzeto iz Kallanxhi i sur. (2016).

### 3. METODE ISTRAŽIVANJA

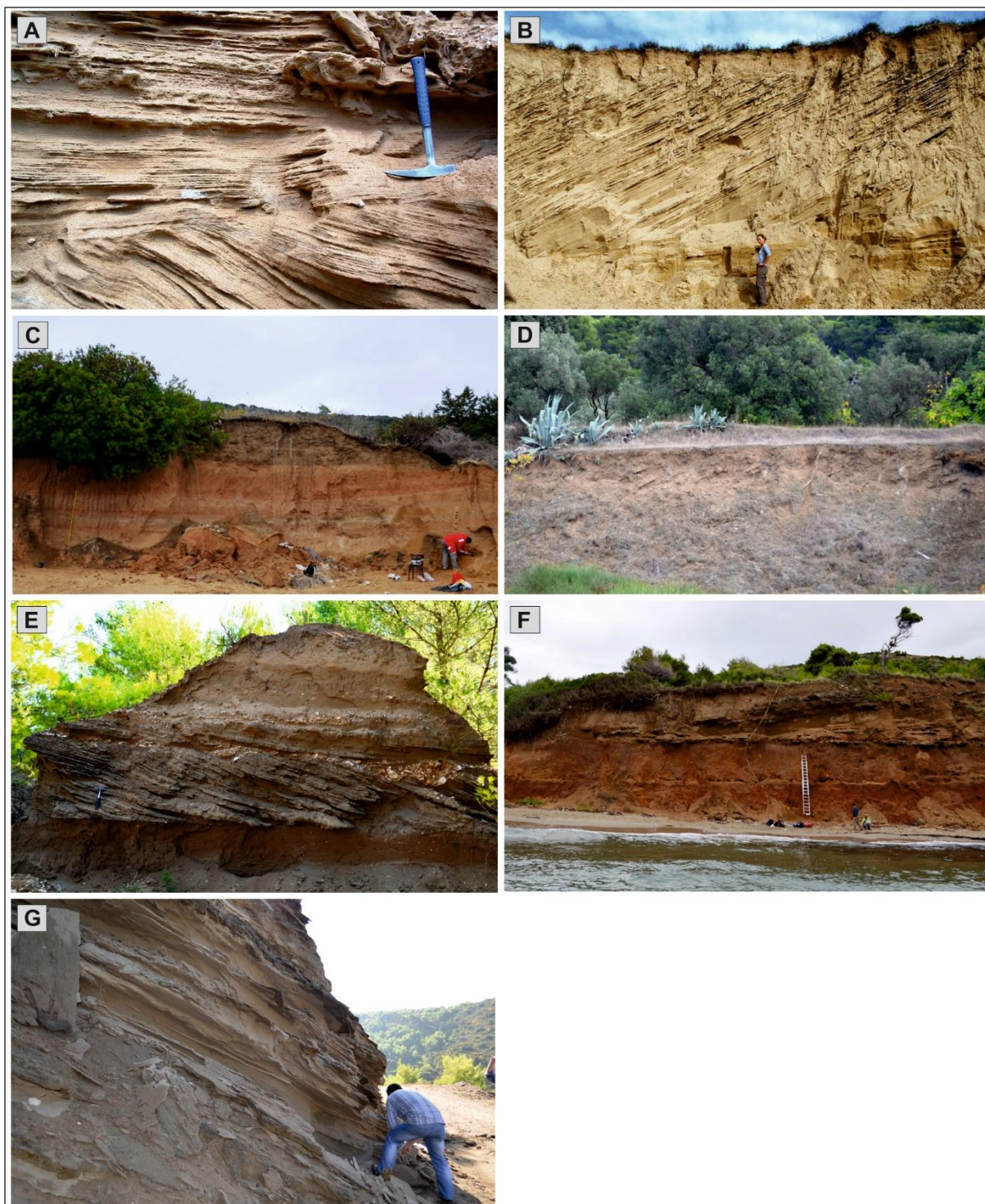
Ovaj diplomski rad obuhvaća uzorke prikupljene na terenskim istraživanjima, laboratorijske analize te interpretaciju dobivenih rezultata.

#### 3.1. Terenske metode

Terenska istraživanja i uzorkovanje izvršili su izv.prof.dr.sc. Marijan Kovačić s PMF-a, prof.dr.sc. Davor Pavelić, prof.dr.sc. Igor Vlahović s RGNF-a i dr.sc. Lara Wacha s HGI-a. Prilikom terenskih istraživanja svakog od lokaliteta, snimljeni su detaljni geološki stupovi izdanaka, mjereni su položaji slojeva, napravljene su detaljne skice izdanaka te uzeti uzorci za laboratorijske analize. Za ovaj su rad odabrani uzorci pleistocenskih pijesaka sa šest jadranskih otoka te poluotoka Pelješca (Slika 3.1). U Tablici 3.1 je prikazan popis uzoraka s pojedinih otoka. Također, uzeta su i tri uzorka recentnih pijesaka s ušća rijeke Cetine, Neretve i Drima.

Tablica 3.1 Popis odabranih uzoraka korištenih u ovome radu s otoka južnog Jadrana te poluotoka Pelješca. Dane su i koordinate izdanaka za pojedine lokalitete, preuzete iz Pavelić (2011) i Kovačić i sur. (2017).

| Lokalitet | Oznake uzoraka | Koordinate izdanaka                    |
|-----------|----------------|--|
| Hvar      | SvM-I 1A/2     | 43°11'N<br>16°38'E                     |
|           | SvM-II 1       |  |
|           | SvM-III 2      |  |
| Vis       | Vis/11 1       | 43°3'8,8"N<br>16°12'59,1"E<br>117 mnv  |
|           | Vis/11 3       |  |
| Mljet     | Mljet-I 1      | 42°42'12,9"N<br>17°44'18,8"E 16 mnv    |
|           | Mljet-II 2     |  |
| Korčula   | Kor-I 1        | 42°55'10,4"N<br>17°11'19,6"E<br>22 mnv |
|           | Kor-I 2        |  |
| Lastovo   | Lst-I 1        | 42°45'29,6"N<br>16°55'27,1"E<br>38 mnv |
|           | Lst-I 3        |  |
| Pelješac  | Pelj-I 1       | 42°46'28,8"N<br>17°45'18,5"E<br>18 mnv |
| Lopud     | Lop-I 1/2      | 42°40'N<br>18°00'E                     |
|           | Lop-II 5/2     |  |



Slika 3.1. Izdanci analiziranih pleistocenskih pijesaka: A – Hvar; B – Vis; C – Lastovo; D – Korčula; E – Mljet; F – Lopud; G – Pelješac.



### 3.2. Laboratorijske metode

Od laboratorijskih metoda, svi uzorci su podvrgnuti metodama suhog sijanja i otapanja karbonata te su uzorci poslani na analizu kemijskog sastava metodom induktivno spregnute plazme s masenom spektroskopijom (ICP-MS).

Metoda sijanja korištena je kako bi svi uzorci s otoka južnog Jadrana odgovarali veličini čestica recentnog sedimenta triju rijeka s kojima su uspoređivani. Budući da su najvećim dijelom pijesci Cetine, Neretve i Drima u rasponu 0,500–0,125 mm, svi su uzorci ostalih pijesaka prosijani na standardnim sitima od nehrđajućeg čelika. Raspon promjera otvora sita iznosi od 0,500 do 0,125 mm, odnosno prema granicama definiranim Wentworth-ovom (1922) klasifikacijom. Zatim su svi uzorci stavljeni u 5%-tnu otopinu octene kiseline kako bi se otopili prisutni karbonati. Sadržaj karbonata kod pojedinih uzoraka preuzet je iz Pavelić i sur. (2014) te Kovačić i sur. (2017). Samo otapanje vršilo se postupkom laganog miješanja otopine sve dok ona ne prestane reagirati s uzorkom. Nakon toga su uzorci isprani destiliranom vodom preko sita od 90 $\mu$ m, kako bi se eventualne sitnije čestice maknule iz uzorka. Svi su uzorci stavljeni na sušenje te su nakon toga spremni za daljnju obradu. Uzorci su stavljeni na usitnjavanje u mlin u trajanju od 20 minuta te su nakon toga dodatno usitnjavani u ahatnom tarioniku sve dok veličina čestica nije manja od 0,125 mm, tj. sve dok cijeli uzorak nije prošao kroz sito promjera 0,125 mm. Zatim je provedena metoda četvrtanja kako bi uzorak bio reprezentativan te je pri tome izdvojeno oko 12 g uzorka za kemijsku analizu.

Kemijske analize pleistocenskih i recentnih pijesaka provedene su u Bureau Veritas Commodities Canada Ltd., Vancouver, Kanada. U svim uzorcima utvrđen je sadržaj glavnih elemenata i elemenata u tragovima. Određivani su sljedeći elementi: Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P, Cr, Ba, Be, Co, Cs, Ga, Hf, Nb, Ni, Rb, Sc, Sn, Sr, Ta, Th, U, V, W, Y, Zr, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb i Lu.

Ukupne količine oksida glavnih elemenata i nekolicine elemenata u tragovima dobivene su metodom induktivno spregnute plazme s emisijskom spektroskopijom (ICP-ES). Udio preostalih elemenata u tragovima određen je metodom induktivno spregnute plazme s masenom spektroskopijom (ICP-MS). Priprema uzoraka za ove metode obuhvaćala je taljenje 0,2 g uzorka s litijevim metaboratom/tetraboratom ( $\text{LiBO}_2/\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) i otapanje u razrijeđenoj dušičnoj kiselinu ( $\text{HNO}_3$ ). Određen je i gubitak žarenja (Loss on ignition – LOI) za svaki uzorak, razlikom masa nakon žarenja na 100°C u trajanju od četiri sata.

## 4. REZULTATI

Sadržaj glavnih elemenata i elemenata u tragovima analiziran je u tri uzorka recentnih pijesaka rijeka Neretve, Cetine i Drima te u 14 uzoraka pijesaka sa otoka Hvara, Visa, Mljeta, Korčule, Lastova, Lopuda i poluotoka Pelješca. Treba naglasiti da dobiveni rezultati predstavljaju kemijski sastav frakcije 0,125–500  $\mu\text{m}$ , ali nakon što je iz uzoraka prethodno otopljen  $\text{CaCO}_3$ . Dobiveni rezultati prikazani su u Tablici 4.1.

Tablica 4.1. Sadržaj glavnih elemenata (u %) recentnih pijesaka rijeke Neretve, Cetine i Drima te pleistocenskih pijesaka otoka južnog Jadrana te poluotoka Pelješca.

| Oznaka uzorka | $\text{SiO}_2$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\text{MgO}$ | $\text{CaO}$ | $\text{Na}_2\text{O}$ | $\text{K}_2\text{O}$ | $\text{TiO}_2$ | $\text{P}_2\text{O}_5$ | $\text{MnO}$ | $\text{Cr}_2\text{O}_3$ | LOI  | Sum   |
|---------------|----------------|-------------------------|-------------------------|--------------|--------------|-----------------------|----------------------|----------------|------------------------|--------------|-------------------------|------|-------|
| Neretva       | 80,83          | 8,99                    | 2,80                    | 1,07         | 0,66         | 1,54                  | 1,51                 | 0,39           | 0,09                   | 0,02         | 0,01                    | 2    | 99,92 |
| Cetina        | 93,23          | 2,18                    | 1,05                    | 0,51         | 0,44         | 0,21                  | 0,87                 | 0,08           | 0,11                   | 0,01         | 0,04                    | 1,2  | 99,98 |
| Drim          | 69,63          | 8,35                    | 5,53                    | 7,20         | 1,88         | 1,43                  | 0,93                 | 0,48           | 0,07                   | 0,07         | 0,06                    | 4,1  | 99,83 |
| SvM-I 1A/2    | 87,78          | 5,55                    | 1,78                    | 0,58         | 0,55         | 0,93                  | 0,88                 | 0,23           | 0,07                   | 0,02         | 0,01                    | 1,6  | 99,97 |
| SvM-II 1      | 88,14          | 5,38                    | 1,69                    | 0,54         | 0,54         | 0,94                  | 0,84                 | 0,24           | 0,06                   | 0,01         | 0,01                    | 1,6  | 99,97 |
| SvM-III 2     | 88,34          | 5,22                    | 1,72                    | 0,58         | 0,59         | 0,94                  | 0,80                 | 0,26           | 0,07                   | 0,01         | 0,01                    | 1,4  | 99,96 |
| Vis/11 1      | 80,65          | 6,53                    | 2,52                    | 1,74         | 2,22         | 1,28                  | 0,99                 | 0,38           | 0,08                   | 0,02         | 0,01                    | 3,5  | 99,93 |
| Vis/11 3      | 66,24          | 5,45                    | 2,72                    | 5,19         | 7,07         | 1,05                  | 0,82                 | 0,50           | 0,07                   | 0,03         | 0,02                    | 10,7 | 99,88 |
| Mljet-I 1     | 81,13          | 5,49                    | 3,40                    | 3,85         | 0,94         | 1,12                  | 0,62                 | 0,24           | 0,04                   | 0,05         | 0,03                    | 3    | 99,90 |
| Mljet-II 2    | 83,52          | 4,93                    | 2,93                    | 3,21         | 1,09         | 1,09                  | 0,52                 | 0,24           | 0,04                   | 0,04         | 0,03                    | 2,3  | 99,92 |
| Kor-I 1       | 74,09          | 7,40                    | 4,75                    | 5,85         | 1,30         | 1,41                  | 0,86                 | 0,34           | 0,06                   | 0,06         | 0,04                    | 3,7  | 99,86 |
| Kor-I 2       | 75,89          | 6,90                    | 4,38                    | 5,27         | 1,14         | 1,35                  | 0,82                 | 0,31           | 0,05                   | 0,06         | 0,04                    | 3,6  | 99,87 |
| Lst-I 1       | 85,35          | 4,89                    | 2,37                    | 2,08         | 1,45         | 1,12                  | 0,56                 | 0,25           | 0,05                   | 0,03         | 0,05                    | 1,7  | 99,94 |
| Lst-I 3       | 81,22          | 5,39                    | 3,25                    | 4,13         | 0,83         | 1,18                  | 0,68                 | 0,23           | 0,05                   | 0,05         | 0,03                    | 2,8  | 99,91 |
| Pelj-I 1      | 76,50          | 5,82                    | 4,29                    | 5,87         | 1,90         | 1,04                  | 0,59                 | 0,32           | 0,06                   | 0,06         | 0,06                    | 3,3  | 99,86 |
| Lop-I 1/2     | 79,15          | 6,96                    | 4,54                    | 2,16         | 1,15         | 1,17                  | 0,76                 | 0,39           | 0,03                   | 0,07         | 0,04                    | 3,5  | 99,91 |
| Lop-II 5/2    | 76,51          | 5,80                    | 4,54                    | 5,63         | 2,51         | 0,99                  | 0,54                 | 0,39           | 0,06                   | 0,06         | 0,10                    | 2,7  | 99,87 |

Rezultati ukazuju na donekle sličan kemijski sastav pjeskovitih sedimenata. Značajnije varijacije u sastavu uočavaju se u sadržaju  $\text{MgO}$ , koje su vjerojatno posljedica izostanka ili prisustva dolomita u sastavu sedimenta. Kod uzorka recentnog sedimenta rijeke Drim uočava se povišeni sadržaj  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  i  $\text{MgO}$ . Suprotno tome, uzorak rijeke Cetine ima povišeni sadržaj  $\text{SiO}_2$ , ali i sniženi sadržaj  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  i  $\text{TiO}_2$  (Tablica 4.1).



Od uzoraka pleistocenskih pijesaka ističu se uzorci s otoka Korčule, kod kojih se uočava povišeni sadržaj  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  i  $\text{MgO}$  i uzorci s otoka Hvara (SvM-I 1A/2, SvM-II 1, SvM-III 2) koji imaju sniženi sadržaj  $\text{MgO}$ .

Sadržaj elemenata u tragovima analiziran je u istim uzorcima kao i sadržaj glavnih elemenata, a dobiveni rezultati su prikazani u Tablici 4.2. U njoj su također prikazane i izračunate vrijednosti odnosa koncentracija pojedinih elemenata koje su kasnije korištene u interpretaciji.

Tablica 4.2. Sadržaj elemenata u tragovima (u ppm) i odabranih omjera elemenata recentnih pijesaka Neretve, Cetine i Drima te pleistocenskih pijesaka otoka južnog Jadrana te poluotoka Pelješca. Sadržaj Ti je iskazan u %.

| Oznaka uzorka | Co   | Cr  | La   | Th  | Sc   | Ti  | Zr    | Y    | Ti/Zr | La/Sc | La/Y | Sc/Cr | Zr/10 |
|---------------|------|-----|------|-----|------|-----|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|
| Neretva       | 5,4  | 0,3 | 17,8 | 5,1 | 7,0  | 0,2 | 111,8 | 13,0 | 20,37 | 2,54  | 1,37 | 23,64 | 11,18 |
| Cetina        | 2,4  | 3,3 | 4,9  | 1,3 | 1,0  | 0,2 | 35,5  | 4,3  | 65,84 | 4,90  | 1,14 | 0,30  | 3,55  |
| Drim          | 22,8 | 0,3 | 10,3 | 2,9 | 13,0 | 0,2 | 73,9  | 13,2 | 31,63 | 0,79  | 0,78 | 49,40 | 7,39  |
| SvM-I 1A/2    | 4,0  | 0,5 | 10,1 | 2,8 | 3,0  | 0,3 | 63,6  | 8,0  | 47,12 | 3,37  | 1,26 | 6,08  | 6,36  |
| SvM-II 1      | 3,1  | 1,0 | 9,8  | 2,6 | 3,0  | 0,1 | 65,8  | 7,5  | 21,86 | 3,27  | 1,31 | 2,94  | 6,58  |
| SvM-III 2     | 3,5  | 1,0 | 10,1 | 2,8 | 3,0  | 0,1 | 67,3  | 8,1  | 21,37 | 3,37  | 1,25 | 2,94  | 6,73  |
| Vis/11 1      | 5,5  | 2,0 | 12,6 | 3,2 | 6,0  | 0,2 | 78,4  | 10,3 | 24,46 | 2,10  | 1,22 | 2,94  | 7,84  |
| Vis/11 3      | 6,6  | 1,4 | 12,8 | 3,2 | 6,0  | 0,2 | 70,5  | 10,5 | 33,16 | 2,13  | 1,22 | 4,24  | 7,05  |
| Mljet-I 1     | 14,7 | 1,3 | 7,5  | 2,1 | 7,0  | 0,0 | 47,0  | 8,3  | 10,20 | 1,07  | 0,90 | 5,32  | 4,70  |
| Mljet-II 2    | 11,3 | 2,1 | 6,8  | 1,9 | 6,0  | 0,3 | 45,2  | 7,7  | 63,65 | 1,13  | 0,88 | 2,90  | 4,52  |
| Kor-I 1       | 20,8 | 0,2 | 9,4  | 2,7 | 10,0 | 0,1 | 57,3  | 10,4 | 25,10 | 0,94  | 0,90 | 60,80 | 5,73  |
| Kor-I 2       | 18,2 | 0,2 | 8,4  | 2,4 | 9,0  | 0,2 | 56,4  | 9,0  | 27,63 | 0,93  | 0,93 | 45,60 | 5,64  |
| Lst-I 1       | 8,4  | 1,5 | 6,6  | 1,9 | 7,0  | 0,1 | 50,5  | 7,6  | 29,67 | 0,94  | 0,87 | 4,73  | 5,05  |
| Lst-I 3       | 15,6 | 1,0 | 7,5  | 2,2 | 6,0  | 0,1 | 47,3  | 7,6  | 29,14 | 1,25  | 0,99 | 5,88  | 4,73  |
| Pelj-I 1      | 18,8 | 0,2 | 8,5  | 2,0 | 10,0 | 0,1 | 49,1  | 9,2  | 28,08 | 0,85  | 0,92 | 60,80 | 4,91  |
| Lop-I 1/2     | 16,7 | 1,3 | 15,4 | 3,6 | 10,0 | 0,2 | 71,3  | 16,9 | 28,58 | 1,54  | 0,91 | 7,60  | 7,13  |
| Lop-II 5/2    | 17,6 | 1,2 | 8,8  | 2,2 | 13,0 | 0,2 | 50,0  | 11,3 | 37,16 | 0,68  | 0,78 | 10,68 | 5,00  |

## 5. DISKUSIJA

### 5.1. Klasifikacija pijesaka

Na temelju izračunatih rezultata kemijske analize (Tablica 4.1), izračunate su vrijednosti  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ ,  $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$  i  $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$  (Tablica 5.1). Dobiveni rezultati prikazani su dijagramima  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$  prema  $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$  i  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$  prema  $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$  (Slika 5.1).

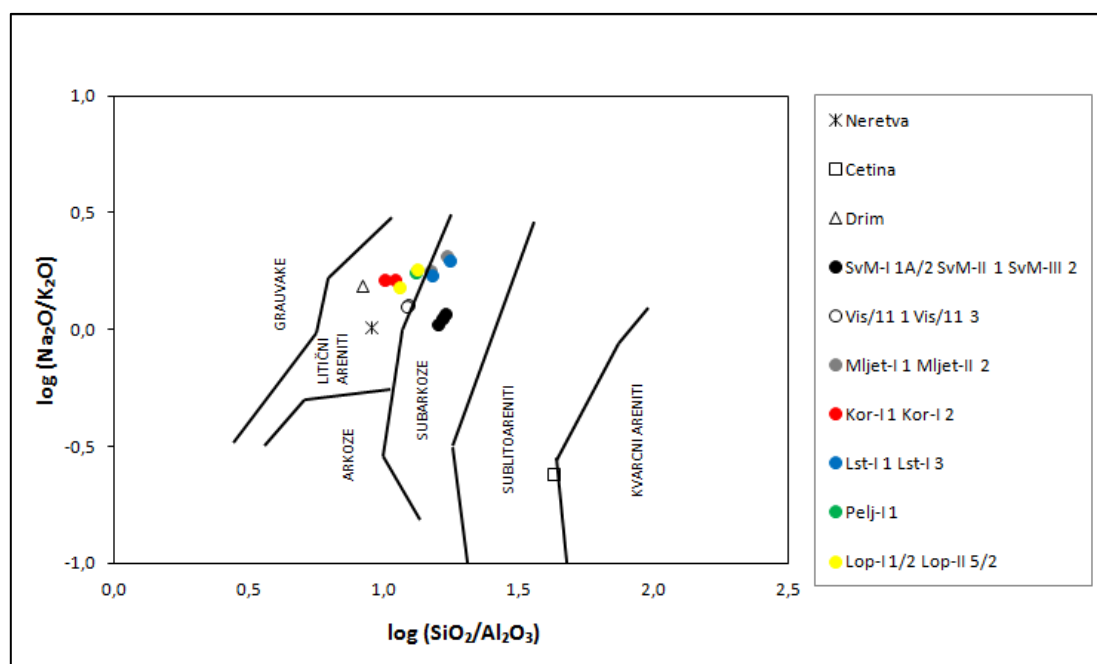
Tablica 5.1. Izračunate vrijednosti odnosa pojedinih elemenata u recentnim pijescima rijeka te pleistocenskim pijescima otoka južnog Jadrana i poluotoka Pelješca.

| Oznaka uzorka | $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ | $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ | $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ | $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ |
|---------------|--|--|--|------------------------------------|--------------------------------------|
| Neretva       | 0,95                                       | 0,01   | 0,27   | 3,87                               | 0,11                                 |
| Cetina        | 1,63                                       | -0,62  | 0,08   | 1,56                               | 0,02                                 |
| Drim          | 0,92                                       | 0,19   | 0,77   | 12,73                              | 0,12                                 |
| SvM-I 1A/2    | 1,20                                       | 0,02   | 0,31   | 2,36                               | 0,06                                 |
| SvM-II 1      | 1,21                                       | 0,05   | 0,30   | 2,23                               | 0,06                                 |
| SvM-III 2     | 1,23                                       | 0,07   | 0,33   | 2,30                               | 0,06                                 |
| Vis/11 1      | 1,09                                       | 0,11   | 0,41   | 4,26                               | 0,08                                 |
| Vis/11 3      | 1,08                                       | 0,11   | 0,52   | 7,91                               | 0,08                                 |
| Mljet-I 1     | 1,17                                       | 0,26   | 0,74   | 7,25                               | 0,07                                 |
| Mljet-II 2    | 1,23                                       | 0,32   | 0,75   | 6,14                               | 0,06                                 |
| Kor-I 1       | 1,00                                       | 0,21   | 0,74   | 10,60                              | 0,10                                 |
| Kor-I 2       | 1,04                                       | 0,22   | 0,73   | 9,65                               | 0,09                                 |
| Lst-I 1       | 1,24                                       | 0,30   | 0,63   | 4,45                               | 0,06                                 |
| Lst-I 3       | 1,18                                       | 0,24   | 0,68   | 7,38                               | 0,07                                 |
| Pelj-I 1      | 1,12                                       | 0,25   | 0,86   | 10,16                              | 0,08                                 |
| Lop-I 1/2     | 1,06                                       | 0,19   | 0,78   | 6,70                               | 0,09                                 |
| Lop-II 5/2    | 1,12                                       | 0,26   | 0,92   | 10,17                              | 0,08                                 |

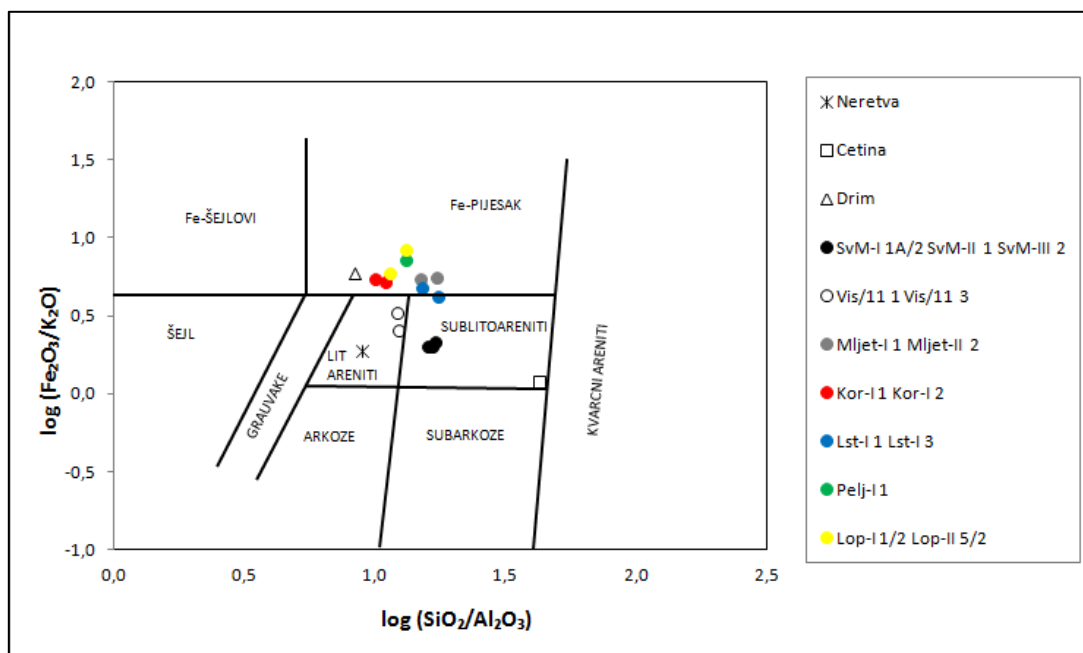
Iz dijagrama je vidljivo da su na temelju odnosa  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$  prema  $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$  analizirani uzorci s Pelješca, Lopuda, Visa i Korčule klasificirani kao litični areniti, a uzorci s Mljeta, Lastova i Hvara kao subarkoze. Od uzoraka recentnih pijesaka kao litični areniti definirani su pijesci Drima i Neretve, a kao sublitoarenit pijesak s ušća Cetine. Pri tome sastav pijeska s Cetine znatno odstupa od sastava ostalih pijesaka, a od pleistocenskih pijesaka najbliži po kemijskom sastavu su mu pijesci s Hvara i Visa (Slika 5.1A).

Na temelju dijagrama  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$  prema  $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$  uzorci s Lopuda, Mljeta, Korčule i Lastova, te recentni pijesak s ušća Drima klasificirani su kao Fe-pijesak, uzorci s Visa i iz Neretve kao litični areniti, a uzorci s Hvara i iz Cetine kao sublitoareniti (Slika 5.1B). Razlog da su pijesci s Lopuda, Mljeta, Korčule i Lastova klasificirani kao Fe-pijesci vjerojatno leži u činjenici što oni prema Paveliću i sur. (2011, 2014) i Kovačiću i sur. (2017) imaju ekstremno visok udio minerala iz teške mineralne frakcije koji sadrže visoke koncentracije željeza poput piroksena i amfibola.

A)



B)



Slika 5.1. Klasifikacija recentnih pijesaka rijeka Neretve, Cetine i Drima te pleistocenskih pijesaka otoka južnog Jadrana te poluotoka Pelješca na temelju: A) odnosa  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$  prema  $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$  (Pettijohn i sur., 1972) s modificiranim granicama (Herron, 1988); B) odnosa  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$  prema  $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$  (Herron, 1988).

## 5.2. Vrste izvornih stijena

Diskriminantna analiza je statistička metoda koja se koristi kod klasifikacije uzoraka u prethodno definiranim grupama na temelju većeg broja varijabli. Može se primjenjivati u raznim istraživanjima odnosa između kemije glavnih elemenata i elemenata u tragovima te tektonskih uvjeta nastanka sedimentnih i magmatskih stijena. Dijagrami se koriste za grupe uzoraka, a nekoliko faktora ovisi o samoj procjeni kvalitete diskriminantnih dijagrama: broj uzoraka koji je korišten pri konstrukciji dijagrama i definiranju granica, stupanj preklapanja među predloženim poljima, utjecaj mobilnosti elemenata na iskoristivost dijagrama te raspon prikazanih tektonskih okoliša (Rollinson, 1993).

Na temelju dobivenih rezultata geokemijskih analiza, određena je vrsta izvornih stijena prema Roser & Korsch (1988). Naime, oni su predložili model geokemijskog razlikovanja vrsta izvornih stijena pomoću diskriminacijskih funkcija koje su bazirane na sadržaju određenih glavnih elemenata i njihovih odnosa. U ovom radu su korištene funkcije DF1, DF2, DF3 i DF4 definirane na sljedeći način:

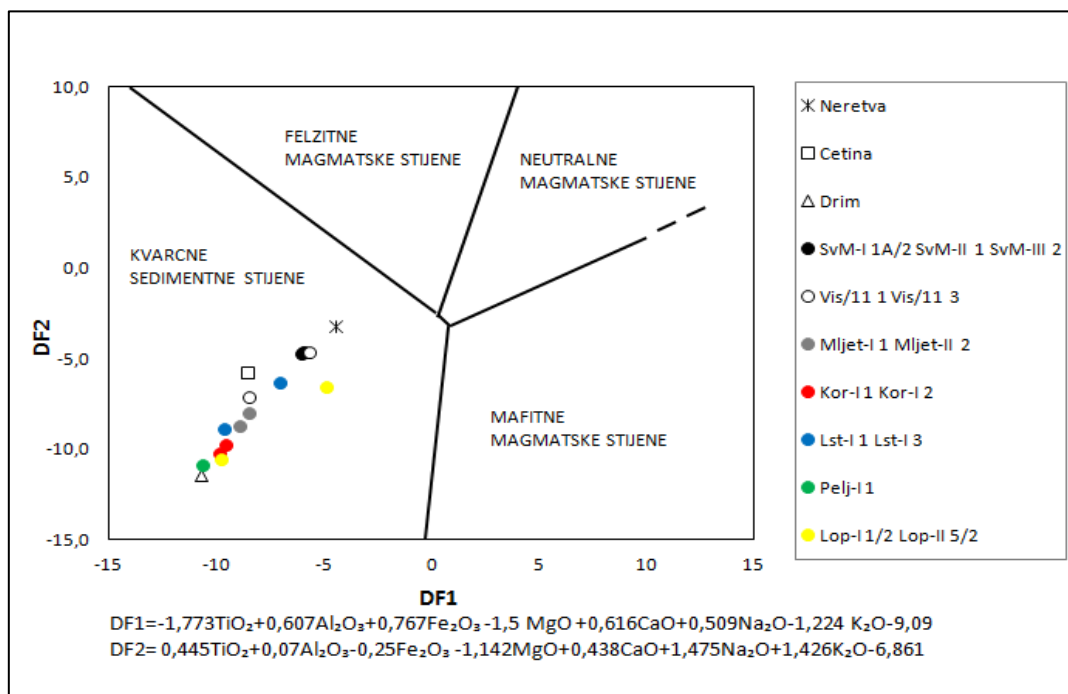
$$DF1 = -1,773TiO_2 + 0,607Al_2O_3 + 0,767Fe_2O_3 - 1,5 MgO + 0,616CaO + 0,509Na_2O - 1,224K_2O - 9,09$$

$$DF2 = 0,445TiO_2 + 0,07Al_2O_3 - 0,25Fe_2O_3 - 1,142MgO + 0,438CaO + 1,475Na_2O + 1,426K_2O - 6,861$$

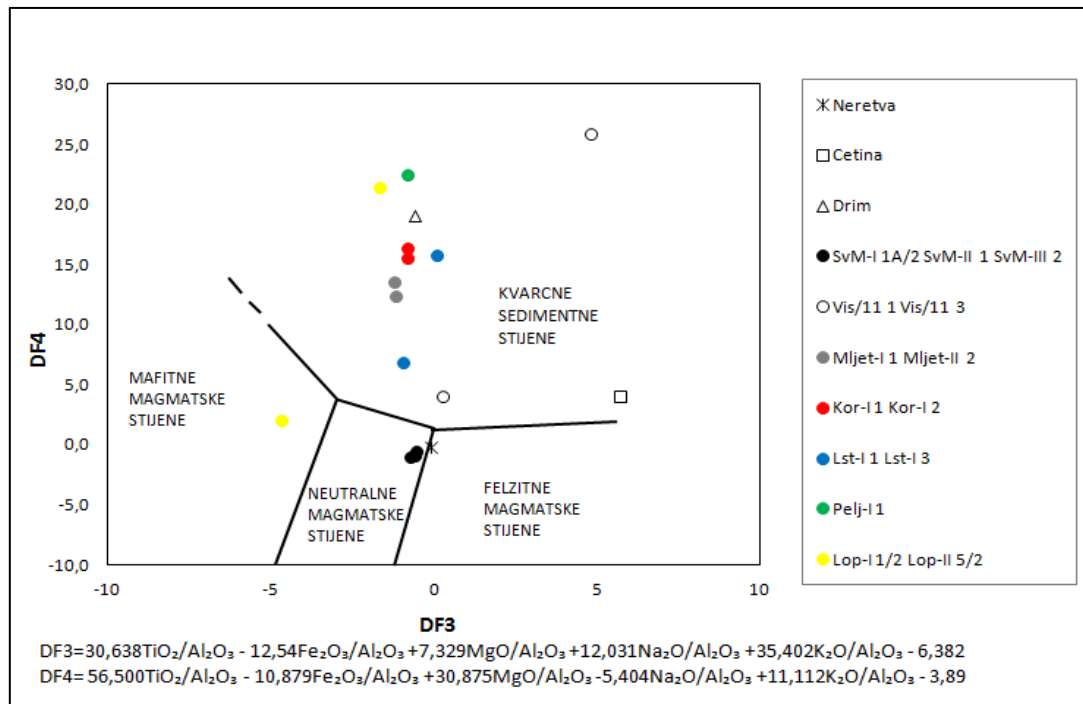
$$DF3 = 30,638TiO_2/Al_2O_3 - 12,54Fe_2O_3/Al_2O_3 + 7,329MgO/Al_2O_3 + 12,031Na_2O/Al_2O_3 + 35,402 K_2O/Al_2O_3 - 6,382$$

$$DF4 = 56,500TiO_2/Al_2O_3 - 10,879Fe_2O_3/Al_2O_3 + 30,875MgO/Al_2O_3 - 5,404Na_2O/Al_2O_3 + 11,112K_2O/Al_2O_3 - 3,89.$$

A)



B)



Slika 5.2. Diskriminantni dijagrami za razlikovanje vrsta izvornih stijena recentnih pijesaka rijeka Neretve, Cetine i Drima te pleistocenskih pijesaka otoka južnog Jadrana i poluotoka Pelješca (dijagram i diskriminacijske funkcije iz Roser & Korsch, 1988) na temelju: A) sadržaja pojedinih glavnih elemenata; B) odnosa sadržaja pojedinih glavnih elemenata. Sadržaji glavnih elemenata su dani u Tablici 4.1.

Sedimenti mafitne provenijencije vezani su uz oceanski otočni luk kojeg karakterizira bazaltni i nešto manje zastupljeni, andezitni detritus. Neutralna provenijencija je vezana uz zreli otočni luk karakteriziran dominantno andezitnim detritusom dok su sedimenti felzitne provenijencije vezani uz aktivni kontinentski rub koji je karakteriziran kiselim plutonskim i vulkanskim detritusom. Oni sadrže više kvarca i znatno manje litičnih komponenata od stijena mafitne i neutralne provenijencije. Reciklirani granitno-gnajsni ili sedimentni tip provenijencije karakteriziran je zrelim kvarcnim detritusom gdje su sedimenti siromašni feldspatima i stijenskim fragmentima.

U dijagramu baziranom na sadržaju glavnih elemenata (Slika 5.2A) svi uzorci padaju u polje kvarcnih sedimentnih stijena. Kod dijagrama baziranog na odnosu sadržaja pojedinih glavnih elemenata (Slika 5.2B), većina uzoraka pada u polje kvarcnih sedimentnih stijena, dok jedan uzorak s otoka Lopuda pada u polje mafitnih magmatskih stijena. Tri uzorka s

otoka Hvara padaju u polje neutralnih magmatskih stijena i jedan uzorak s ušća rijeke Neretve pada u polje felzitnih magmatskih stijena.

### **5.3. Geotektonski smještaj izvornih predjela**

Tektonika ploča i njeni procesi ostavljaju karakteristične petrološke i geokemijske potpise u sedimentima. Tektonski okoliši obilježeni su karakterističnim sedimentacijskim procesima te imaju karakteristična obilježja provenijencije. Izdvojena su četiri tipa tektonskih okruženja u kojima mogu doći određeni tipovi taložnih bazena (Bhatia, 1983; Bhatia & Crook, 1986).

Prvi tip je oceanski otočni luk (oceanic island-arc – OIA). Taložni bazeni vezani uz ovaj tip nastali su na oceanskoj kori ili na djelomično tankoj kontinentskoj kori te u ovom slučaju otočni luk razdvaja predlučni od zalučnog bazena.

Drugi tip je kontinentski otočni luk (continental island-arc – CIA) gdje su taložni bazeni nastali na dobro razvijenoj kontinentskoj kori ili na tankom kontinentskom rubu. Lukovi su ustvari kontinentski fragmenti odvojeni od glavnog kopna te se sedimenti talože u predlučnom i zalučnom bazenu i bazenu između lukova.

Treći je tip tektonskog okruženja aktivni kontinentski rub (active continental margin – ACM) koji uključuje taložne bazene debelog kontinentskog ruba andskog tipa i „strike-slip“ bazene. Ti bazeni nastali su na debeloj kontinentskoj kori ili uz nju, izgrađenoj od stijena starijih boranih pojaseva. Sedimentacija se odvija u rubnim bazenima i „retro-arc“ bazenima u čijoj se podlozi nalazi kontinentska kora.

Četvrti tip tektonskog okruženja je pasivni kontinentski rub (passive continental margin – PCM) u koji se ubrajaju kontinentski rubovi atlantskog tipa razvijeni uz rubove kontinenata, zaostali oceanski bazeni vezani uz kolizijske orogene te neaktivni kontinentski rubovi. Ovdje se također svrstavaju i intrakratonski grabeni i oni vezani uz riftove nastali na debeloj kontinentskoj kori. Jedan od načina razlikovanja ovih tipova tektonskih okruženja je korištenje diskriminacijskih dijagrama utemeljenih na kemiji glavnih elemenata te onih utemeljenih na kemiji elemenata u tragovima.

Glavni elementi i elementi u tragovima iz pijesaka otoka južnog Jadrana te poluotoka Pelješca, kao i recentnih pijesaka rijeke Neretve, Cetine i Drima uvršteni su u dijagrame za određivanje geotektonskog smještaja izvornih predjela (Slika 5.3). Oni nam ukazuju na orogeno područje kao izvor samog sedimenta.

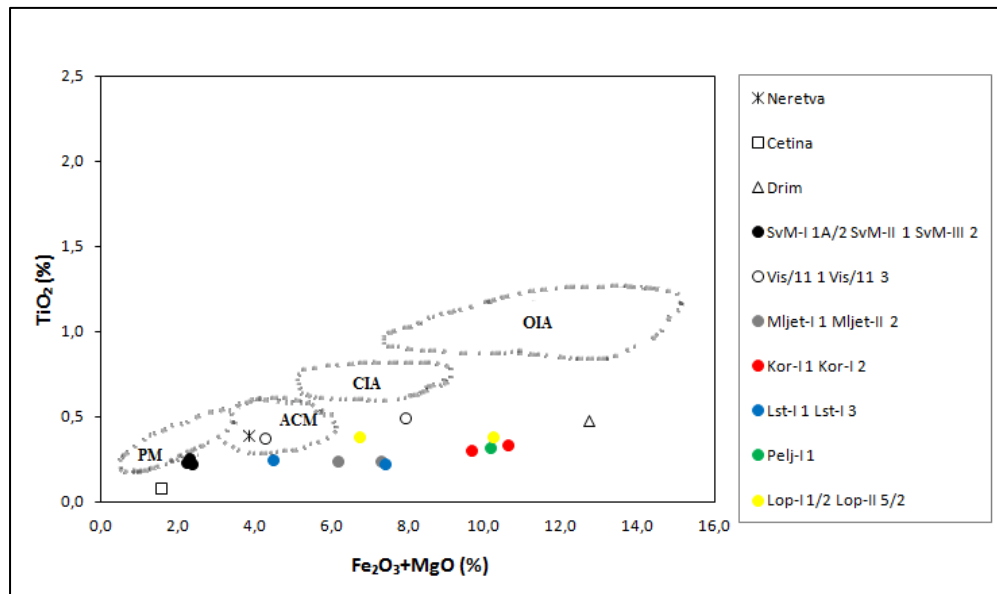
### **5.3.1. Diskriminacija geotektonskih okruženja na osnovu odnosa $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ prema $\text{TiO}_2$ i $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ prema $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$**

Dvokomponentni dijagrami bazirani na sadržaju pojedinih glavnih elemenata (Bhatia, 1983) pokazuju da su u sastavu izvornih stijena istraživanih pijesaka s otoka Visa i rijeke Neretve zastupljene stijene aktivnog kontinentskog ruba (Slika 5.3A). Svi ostali uzorci padaju izvan polja izvornih predjela. Na dijagramu ovisnosti odnosa  $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$  prema  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  vidljivo je da samo uzorci sedimenta s otoka Hvara i rijeke Neretve padaju u polje pasivnog kontinentskog ruba (Slika 5.3B). Ostali uzorci, kao i na dijagramu odnosa  $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$  prema  $\text{TiO}_2$ , padaju izvan označenih polja.

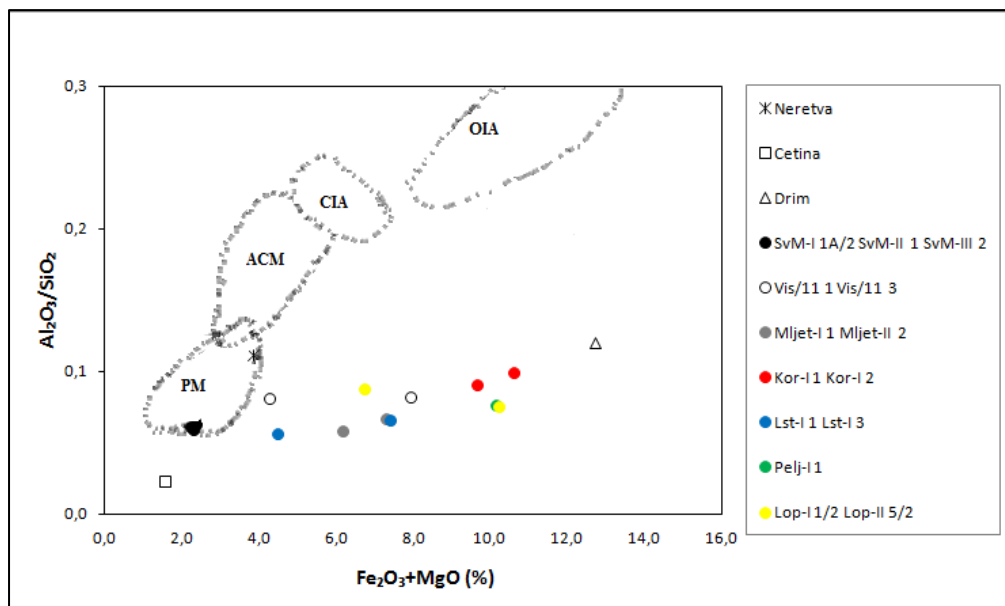
Dobiveni rezultati mogli bi ukazivati da je izvorišni materijal za određene lokalitete transportiran iz različitih geotektonskih područja. Sljedeće što se može pretpostaviti je da se radi o složenom izvorišnom području u kojem se dovedene u kontakt izdignute i erodirane stijene koje su prvobitno bile na različitim pozicijama. Budući da se većina točaka na oba dijagrama nalazi izvan izdvojenih polja, ne može se isključiti mogućnost da je kemijski sastav pijesaka modificiran u tolikoj mjeri da ne daje pouzdanu informaciju o samom geotektonskom položaju izvorišnih stijena. Isto tako, može se pretpostaviti da primjenjivost ovih dijagrama nije korisna za analizirane sedimente.



A)



B)



Slika 5.3. Dvokomponentni dijagrami za određivanje geotektonskog smještaja izvornih predjela pjeskovitih sedimenata primijenjeni na pleistocenske pijeske otoka južnog Jadrana te poluotoka Pelješca i recentne pijeske Neretve, Cetine i Drima (prema Bhatia, 1983): A) na temelju odnosa  $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$  prema  $\text{TiO}_2$ , B) na temelju odnosa  $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$  prema  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ . Sadržaj elemenata je prikazan u Tablici 5.1. Legenda: PM – pasivni rub, ACM – aktivni kontinentski rub, CIA – kontinentalni otočni luk, OIA – oceanski otočni luk.

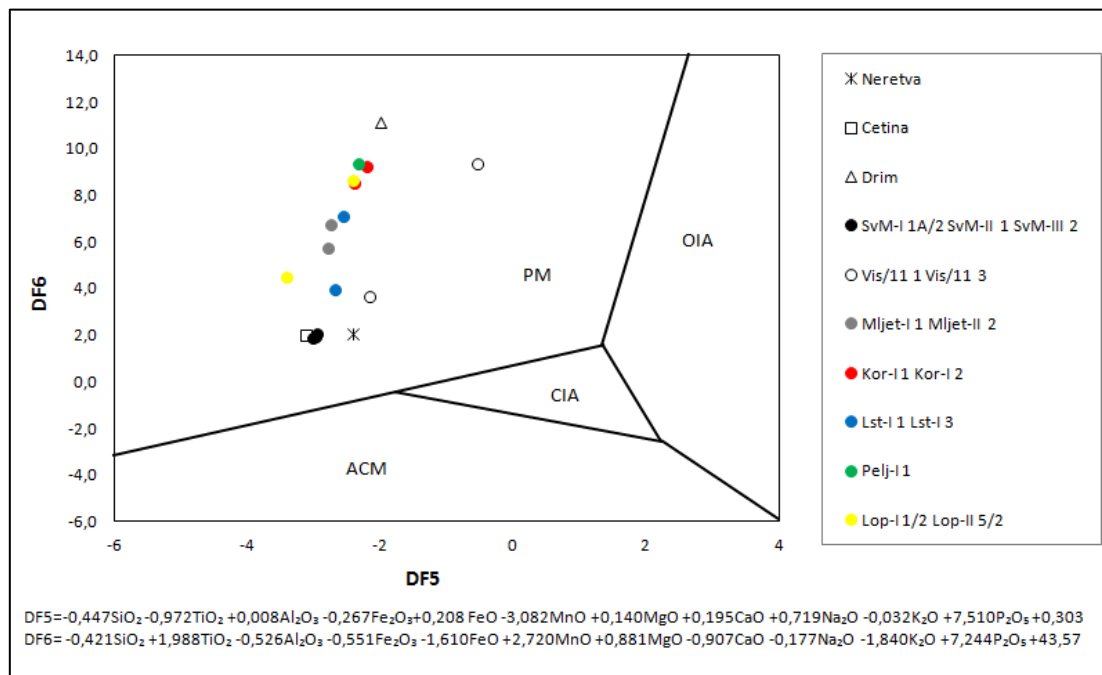
### 5.3.2. Diskriminacija geotektonskih okruženja na osnovu diskriminantnih funkcija baziranih na sadržaju glavnih elemenata (prema Bhatia, 1983)

Geotektonski smještaj izvornih predjela može se odrediti i na osnovu diskriminacijskih funkcija baziranih na sadržaju glavnih elemenata u istraživanim sedimentima. Bhatia (1983) je predložio funkcije koje su definirane:

$$DF5 = -0,447SiO_2 - 0,972TiO_2 + 0,008Al_2O_3 - 0,267Fe_2O_3 + 0,208 FeO - 3,082MnO + 0,140MgO + 0,195CaO + 0,719Na_2O - 0,032K_2O + 7,510P_2O_5 + 0,303$$

$$DF6 = -0,421SiO_2 + 1,988TiO_2 - 0,526Al_2O_3 - 0,551Fe_2O_3 - 1,610FeO + 2,720MnO + 0,881MgO - 0,907CaO - 0,177Na_2O - 1,840K_2O + 7,244P_2O_5 + 43,57.$$

Na temelju diskriminacijskog dijagrama, jasno je vidljivo da su izvorne stijene vezane uz pasivni rub za sve istraživane lokalitete (Slika 5.4), dok jedan uzorak s otoka Visa pokazuje i malo odstupanje od ostalih uzoraka.



Slika 5.4. Dijagram za određivanje geotektonskog smještaja izvornih predjela pjeskovitih sedimenta na osnovu diskriminantnih funkcija baziranih na sadržaju glavnih elemenata primijenjenih na pleistocenske pijeske otoka južnog Jadrana te poluotoka Pelješca i recentne pijeske Neretve, Cetine i Drima (prema Bhatia, 1983). Legenda za skraćenice dana je na Slici 5.3.

### **5.3.3. Diskriminacija geotektonskih okruženja na osnovu odnosa određenih elemenata u tragovima (prema Bhatia & Crook, 1986)**

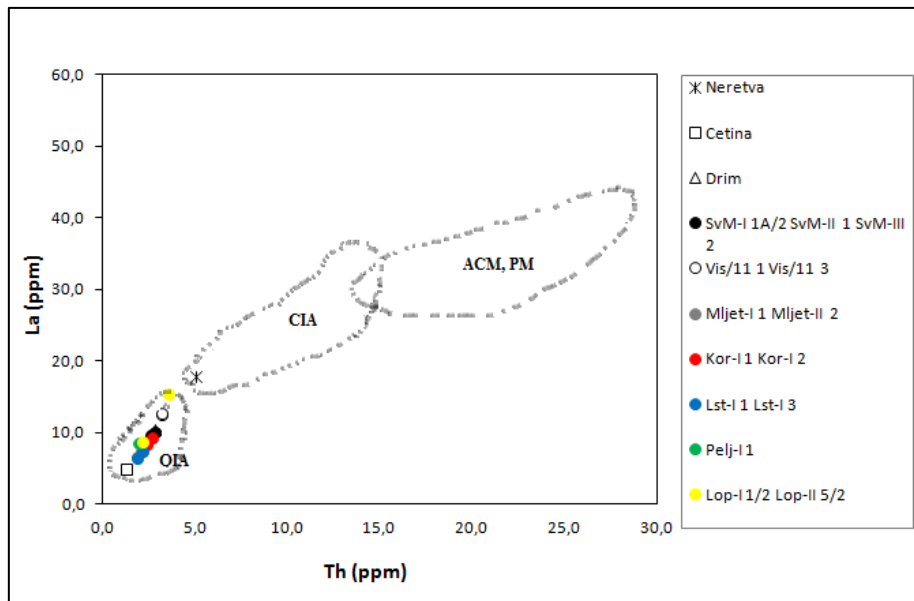
Osim sadržaja glavnih elemenata, za rekonstrukciju geotektonskog smještaja izvornih predjela može se koristiti i sadržaj određenih elemenata u tragovima. Oni zbog svoje slabe mobilnosti u sedimentima mogu dobro odraziti značajke same provenijencije (Bhatia & Crook, 1986). Ovdje su prikazani odnosi La-Th, Ti/Zr-La/Sc, La/Y-Sc/Cr, La-Th-Sc, Th-Co-Zr/10 i Th-Sc-Zr/10.

Dvokomponentni dijagrami pokazuju slabiju usklađenost dok se kod trokomponentnih dijagrama može jasnije vidjeti porijeklo materijala iz područja oceanskog otočnog luka i kontinentskog otočnog luka. Na temelju odnosa La-Th, s dijagrama je jasno vidljivo da skoro svi uzorci padaju u polje oceanskog otočnog luka, dok uzorak rijeke Neretve pada u polje kontinentskog otočnog luka (Slika 5.5A).

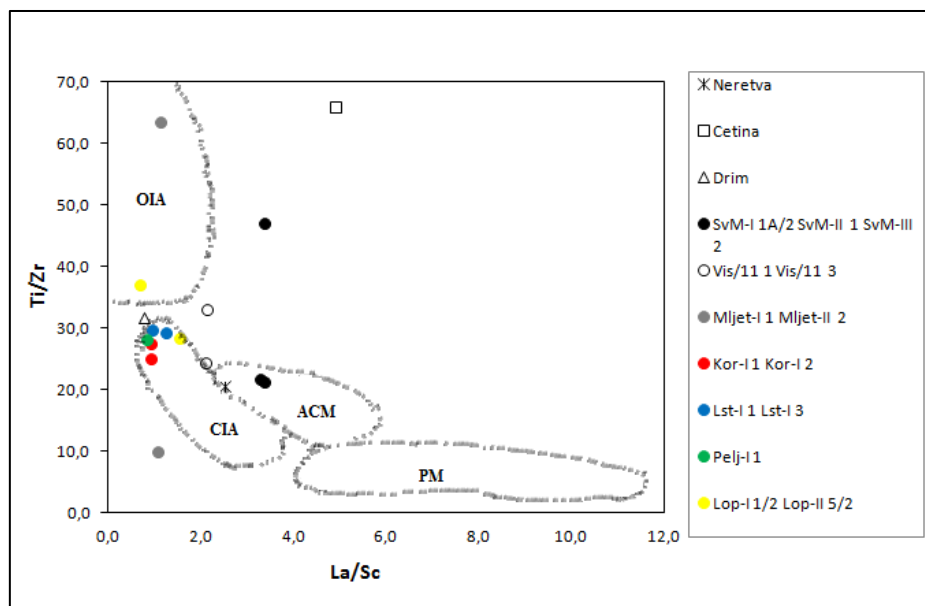
Dijagram na temelju odnosa Ti/Zr-La/Sc ukazuje na nešto drugačiju situaciju. Uzorak recentnog sedimenta rijeke Neretve pada na granicu između polja kontinentskog otočnog luka i aktivnog kontinentskog ruba. Uzorci s otoka Lastova i Korčule, poluotoka Pelješca te po jedan uzorak s otoka Visa i Lopuda padaju u polje kontinentskog otočnog luka. Jedan uzorak s otoka Lopuda i Mljeta nalaze se u polju oceanskog otočnog luka, dok po jedan uzorak s otoka Hvara, Visa i Mljeta te uzorci rijeke Cetine i Drima odskaču od ostalih uzoraka i ne padaju u ni u jedno polje (Slika 5.5B).

Na temelju odnosa La/Y-Sc/Cr vidljivo je da uzorak rijeke Neretve pada u polje pasivnog kontinentskog ruba, dok jedan uzorak s otoka Korčule i poluotoka Pelješca padaju u polje oceanskog otočnog luka (Slika 5.5C). Kod uzoraka s otoka Hvara, Lastova, Visa, Mljeta i Lopuda te rijeke Cetine omjer Sc i Cr je vrlo malen, što proizlazi iz činjenice da njihovi uzorci sadrže značajnije količine kroma.

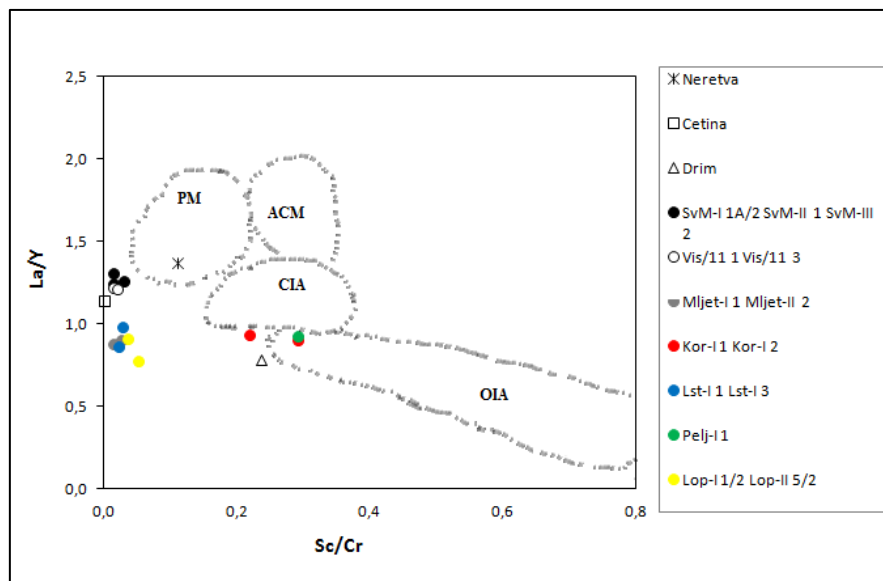
A)



B)



C)



Slika 5.5. Dvokomponentni dijagrami za određivanje geotektonskog smještaja izvornih predjela pješkovitih sedimenata primijenjeni na pleistocenske pijeske otoka južnog Jadrana te poluotoka Pelješca i recentnih pijesaka Neretve, Cetine i Drima (prema Bhatia & Crook, 1986): A) na temelju odnosa La-Th, B) na temelju odnosa Ti/Zr-La/Sc, C) na temelju odnosa La/Y-Sc/Cr. Legenda za skraćenice dana je na Slici 5.3.

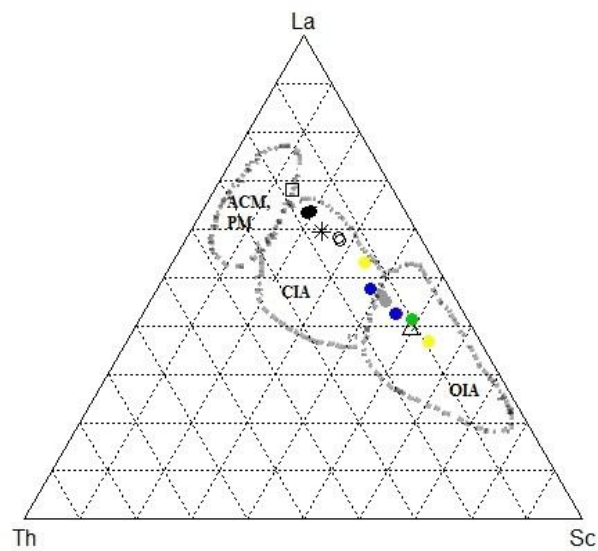
Trokomponentni dijagram La-Th-Sc koji su u istraživanjima koristili Bhatia & Crook (1986) pokazao se učinkovitim u diskriminaciji tektonskih okruženja oceanskog otočnog luka i kontinentnog otočnog luka, dok uzorke aktivnog kontinentnog ruba i pasivnog ruba nije mogao razlikovati. Uzorci pijesaka s otoka Hvara i Visa, jedan uzorak s otoka Lopuda i Lastova te uzorak rijeke Neretve padaju u polje kontinentnog otočnog luka. U polje oceanskog otočnog luka padaju uzorci s otoka Lastova, Mljeta i Lopuda, poluotoka Pelješca te rijeke Drim, dok se uzorak rijeke Cetine nalazi na samoj granici polja koje odgovara aktivnom kontinentnom rubu, tj. pasivnom rubu (Slika 5.6A).

Kod trokomponentnog dijagrama na temelju odnosa Th-Co-Zr/10, uzorci s otoka Hvara i jedan uzorak s otoka Visa te uzorci rijeke Cetine i Neretve padaju u polje kontinentnog otočnog luka. Ostali uzorci, s otoka Lopuda, Korčule, Lastova, Mljeta, jedan uzorak otoka Visa, poluotoka Pelješca te rijeke Drim padaju u polje oceanskog otočnog luka (Slika 5.6B). Trokomponentni dijagram na temelju odnosa Th-Sc-Zr/10 pokazuje sličnosti s prethodnim dijagramom, gdje je vidljivo da u polje kontinentnog otočnog luka padaju uzorci otoka Visa i

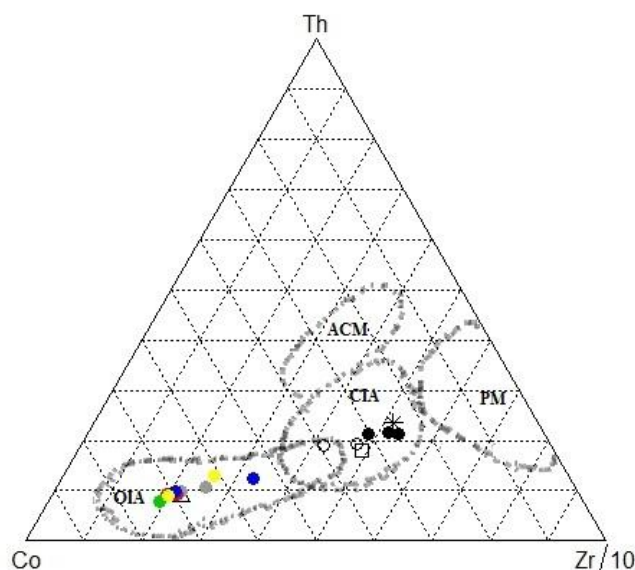
Hvara te rijeke Neretve i Cetine. Uzorci s otoka Korčule i Mljeta te poluotoka Pelješca i rijeke Drim padaju u polje oceanskog otočnog luka. Po jedan uzorak s otoka Lopuda i Lastova padaju u granično područje između kontinentskog i oceanskog otočnog luka (Slika 5.6C).

Budući da sva tri trokomponentna dijagrama ne ukazuju na jednoznačne rezultate, za zaključiti je da se ovi dijagrami bazirani na elementima u tragovima nisu pokazali korisnima za određivanje geotektonskog smještaja izvornih predjela. Oni naime ukazuju na rezultate koji ne podupiru činjenicu da je porijeklo detritusa iz dinarskog orogena, čiji geotektonski smještaj spada u aktivni kontinentski rub.

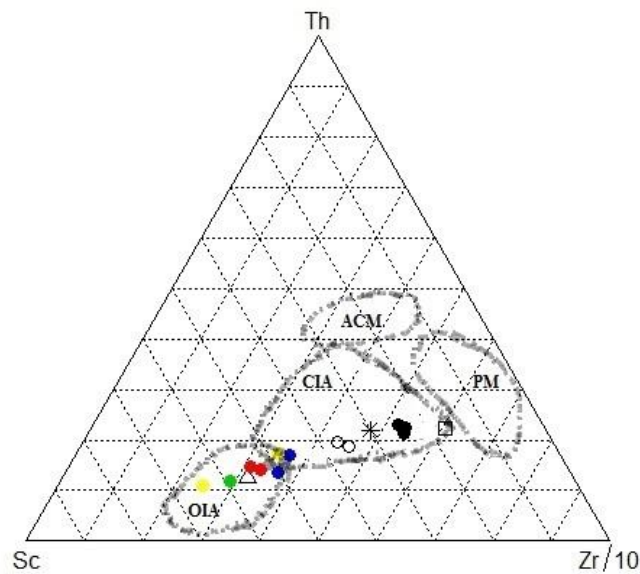
A)



B)



C)



Slika 5.6. Trokomponentni dijagrami za određivanje geotektonskog smještaja izvornih predjela pješkovitih sedimenata primijenjeni na pleistocenske pijeske otoka južnog Jadrana te poluotoka Pelješca i recentnih pijesaka Neretve, Cetine i Drima (prema Bhatia & Crook, 1986): A) na temelju odnosa La-Th-Sc, B) na temelju odnosa Th-Co-Zr/10, C) na temelju odnosa Th-Sc-Zr/10.

#### 5.4. Usporedba pleistocenskih pijesaka s recentnim pijescima Neretve, Cetine i Drima (prema Muhs, 2017)

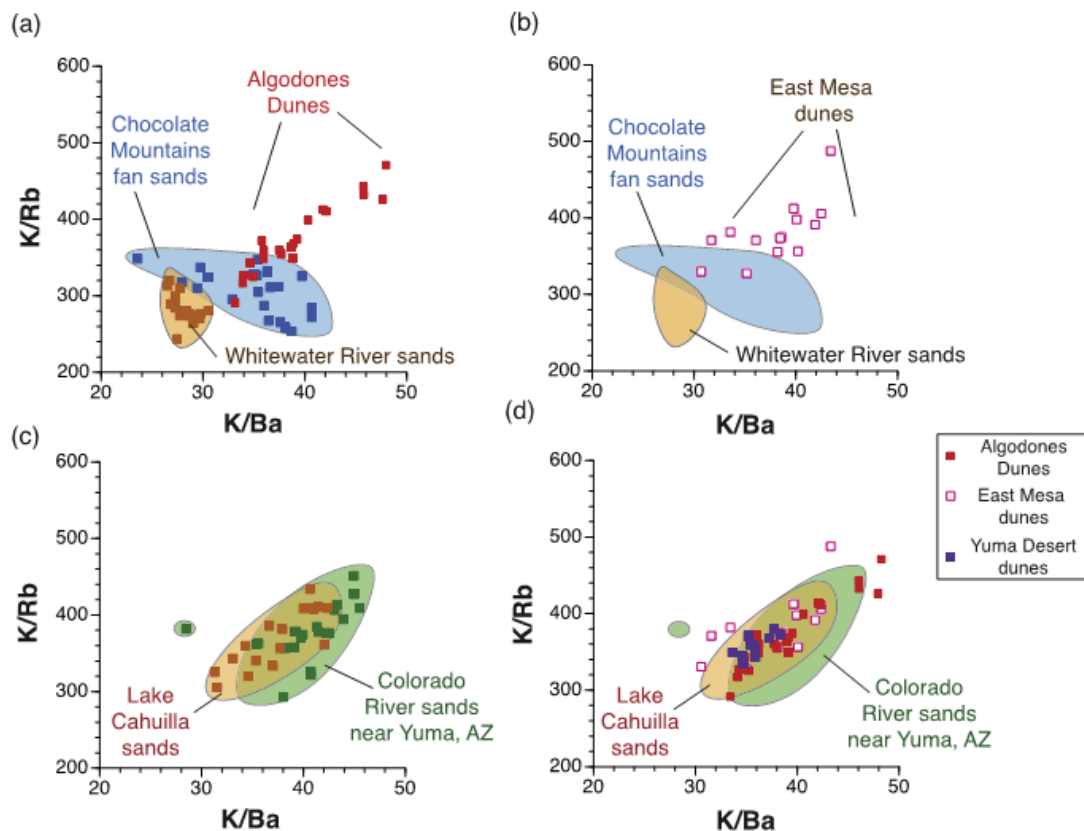
U dosadašnjim istraživanjima o porijeklu sedimenta pješčanih dina usporedbom glavnih elemenata i elemenata u tragovima između eolskih pijesaka i kandidata za izvor sedimenta javlja se problem zbog toga što, mineraloški gledano, dine nisu statički entiteti. Budući da tijekom perioda stabilnosti imamo vegetaciju i povoljne klimatske uvjete, nestabilni minerali, kao što su feldspati i karbonati, mogu biti istrošeni kemijskim trošenjem i pedogenezom. Tijekom perioda aktivnosti, pijesak koji je izgubio minerale tijekom razdoblja stabilnosti, može biti prerađen vjetrom miješajući pijeske s malom koncentracijom feldspata i karbonatima sa onim bogatijim u aridnim i semiaridnim područjima. Čestice također mogu biti reducirane do veličine silta procesima abrazije te kao rezultat toga mogu biti potpuno uklonjene iz pješčanih dina eolskim putem. Time pijesak ima veću koncentraciju kremena, budući da je on puno rezistentniji na mehaničko trošenje. Zbog toga je Muhs sa suradnicima

(2017) želio pomoću jednostavne geokemijske metode procijeniti izvorište sedimenta dina, koristeći alkaliske feldspate kao jedne od najčešćih minerala u pješćanim dinama.

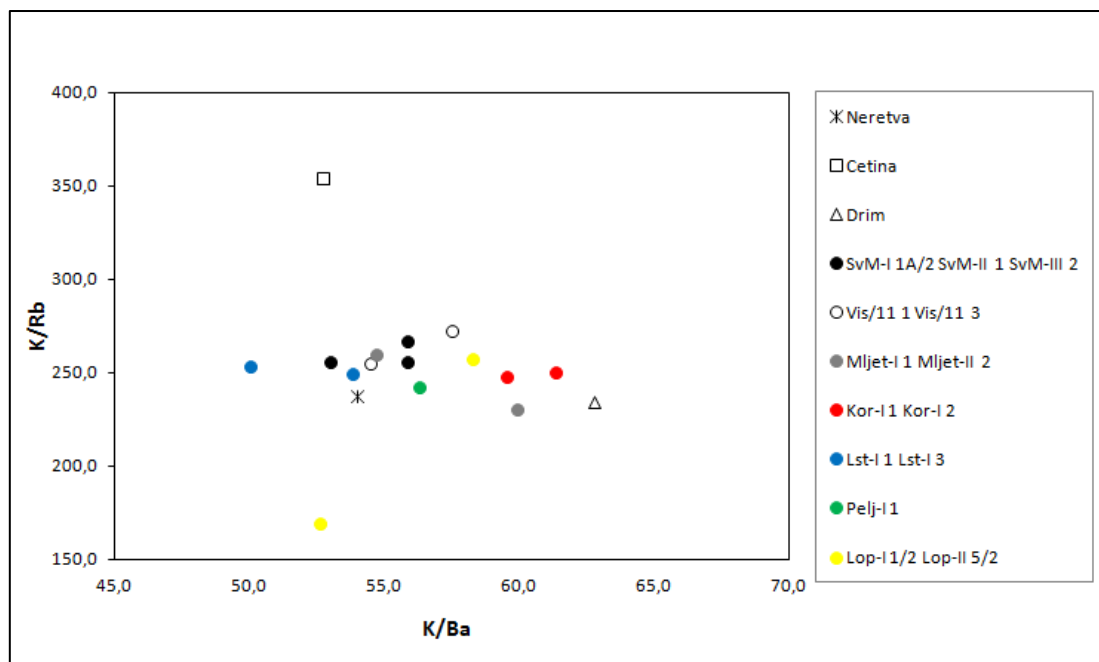
Sama metoda koja je korištena temelji se na usporedbi dva omjera glavnog elementa i elementa u tragovima, kalija i barija (K/Ba) te kalija i rubidija (K/Rb). Princip na kojem se temelji metoda proizlazi iz Goldschmitovih pravila supstitucije elemenata u glavnim mineralima koji formiraju stijene, a bazira se na ionskom radijusu i naboju. Jedan je način kada element u tragovima u strukturu ulazi preferirano, zbog većeg ionskog radijusa. K-feldspati mogu uklopiti u strukturu  $Ba^{2+}$  zbog sličnog ionskog radijusa, ali većeg naboja. Element u tragovima može ulaziti u strukturu zbog sličnog ionskog radijusa, ali manjeg naboja nego glavni element ili ako ima isti naboj, ali veći ionski radijus. To se događa u kalijским feldspatima kada  $Rb^{+}$  zamjenjuje  $K^{+}$  zbog većeg ionskog radijusa. Minerali koji nose kalij uklapaju barij zbog njegovog većeg naboja te tako raniformirani minerali magme imaju povećanu koncentraciju barija. S druge strane, rubidij može biti „primljen“ u kalijske minerale te tako oni mogu imati relativno veće koncentracije rubidija u više različitih minerala. U plutonskim će stijenama kalijški feldspati imati više kalija i manje rubidija; biotit će imati manje kalija i više rubidija. Zbog toga će biti varijabilnosti u omjeru K/Rb u istome mineralu iz različitih tipova stijena.

Ova je metoda korištena na pješćanim područjima Sjeverne Amerike (Slika 5.7). Budući da su to najveća područja koja većinom potječu od sedimentata građenih mješavinom različitih tipova stijena, od plutonskih stijena različitog sadržaja, metamorfnih stijena različitog stupnja metamorfizma te manjih količina fragmenata vulkanskih stijena i fragmenata sedimentnih stijena, koje pak potječu od magmatskih i metamorfnih. Zbog varijabilnosti K/Ba i K/Rb vrijednosti u različitim mineralima i tipovima stijena, očekuje se da će i ostaci stijena, aluvijalne i lakustričke naslage, glacijalne naslage te ostali sedimenti koji su potencijal za izvorište sedimenta, imati varijabilne vrijednosti K/Ba i K/Rb od mjesta do mjesta, ovisno o samome izvorištu stijene (Slika 5.7).





Slika 5.7. Dijagrami odnosa K/Ba i K/Rb za (a) Algodones dine, Chocolate Mountains pijeske aluvijalne lepeze i pijeske rijeke Whitewater; (b) Istočne Mesa dine, Chocolate Mountains pijeske aluvijalne lepeze i pijeske rijeke Whitewater; (c) obalne pijeske jezera Cahuilla i pijeske rijeke Colorado; i (d) Algodones dine, Istočne Mesa dine, dine pustinje Yuma, obalne pijeske jezera Cahuilla i pijeske rijeke Colorado. Preuzeto iz Muhs (2017).



Slika 5.8. Dijagram ovisnosti K/Rb i K/Ba vrijednosti pleistocenskih pijesaka otoka Južnog Jadrana te recentnih pijesaka rijeke Neretve, Cetine i Drima.

Dijagram ovisnosti K/Rb i K/B pokazuje nam odstupanje uzorka rijeke Cetine te jednog uzorka s otoka Lopuda. Rijeka Neretva je najbliža po vrijednostima ovih dvaju omjera elemenata te najbliže odgovara po jednome uzorku s otoka Lastova, Hvara i Visa. Budući da nam s dijagrama nisu vidljive grupacije uzoraka, kao što je to napravio Muhs (2017) u svome radu, za zaključiti je da ta jednostavna geokemijska metoda ovdje nije naročito korisna.

## 6. ZAKLJUČAK

U ovome su diplomskom radu uspoređivani pleistocenski pijesci otoka južnog Jadrana s recentnim pijescima Cetine, Neretve i Drima. Prema dobivenim rezultatima geokemijske analize, uzorci pijeska rijeke Cetine pokazuju povišeni sadržaj  $\text{SiO}_2$  i sniženi sadržaj  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  i  $\text{TiO}_2$  u odnosu na ostale uzorke, te je sadržaj  $\text{MgO}$  sličan uzorcima s otoka Hvara. Pijesci rijeke Drim pokazuju visoki udio  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  i  $\text{MgO}$  u odnosu na ostale istraživane uzorke, a takva je situacija slična i kod uzoraka s otoka Korčule.

Modalni sastav pleistocenskih pijesaka sa istraživanih otoka vrlo je sličan. Otoci Mljet, Korčula, Lastovo i Lopud te poluotok Pelješac u svom sastavu imaju visok udio teške mineralne frakcije, od koje su to većinom minerali piroksena i amfibola. Sličan sastav je kod uzoraka s otoka Hvara i Visa, samo što je kod njih teška mineralna frakcija malo manje zastupljena.

Pijesci rijeke Cetine su dominantno karbonatni, dok Neretva sadrži podjednaki udio karbonatne i siliciklastične komponente. Kod rijeke Drim, karbonatni udio ne prelazi 15%. Razlike u karbonatnoj komponenti i modalnom sastavu posljedica su razlike u samoj geološkoj građi slivnih područja ovih rijeka. Cetina drenira većinom karbonatne stijene Vanjskih Dinarida, dok Neretva prenosi materijal koji je nastao trošenjem različitih vrsta stijena Vanjskih i Unutarnjih Dinarida, od magmatskih, metamorfnih do karbonatnih stijena. Rijeka Drim donosi sediment iz Mirdita zone, područja magmatskih i metamorfnih stijena, a nešto karbonatnih čestica pokupi u svojem donjem toku gdje prolazi kroz područje nekadašnje karbonatne platforme.

Na temelju odnosa  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$  prema  $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$  pijesci s otoka Korčule, Visa i Lopuda, poluotoka Pelješca te pijesci rijeke Neretve i Drima, klasificirani su kao litični areniti. Pijesci s otoka Mljeta, Lastova i Hvara klasificirani su kao subarkoze. Rijeka Cetina spada u sublitoarenite, čiji sastav znatno odstupa od ostalih pijesaka, ali je najbliži sastavu pijesaka s otoka Hvara i Visa. Na temelju odnosa  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$  prema  $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ , pijesci s otoka Korčule, Lastova, Lopuda, Mljeta i rijeke Drim su klasificirani kao Fe-pijesci, što se može potvrditi i činjenicom da kod tih uzoraka u modalnom sastavu prevladavaju minerali teške mineralne frakcije koji su bogati željezom. Pijesci s otoka Visa i rijeke Neretve klasificirani su kao litični areniti, dok pijesci otoka Hvara i rijeke Cetine spadaju u sublitoarenite.

Određivane su vrste izvornih stijena na osnovu diskriminantnih dijagrama prema kojima prema sadržaju glavnih elemenata svi uzorci padaju u polje kvarcnih sedimentnih stijena koje su karakterizirane zrelim kvarcnim detritusom te imaju male koncentracije feldspata i litičnih fragmenata. Prema odnosu sadržaja glavnih elemenata, uzorak rijeke Neretve odgovara felzitoj magmatskoj stijeni, uzorci s otoka Hvara odgovaraju neutralnoj magmatskoj stijeni te jedan uzorak s otoka Lopuda pada u polje mafitne magmatske stijene.

Koristeći nekoliko različitih dijagrama vezanih za sadržaj glavnih elemenata i elemenata u tragovima te koristeći diskriminantne funkcije, nije se došlo do jednoznačnog rezultata koji bi odgovorio na pitanje o geotektonskom smještaju izvornih predjela. Dvokomponentni dijagrami nisu se pokazali kao najbolje rješenje za odredbu izvornih predjela. Kod trokomponentnih dijagrama za neke se uzorke može odrediti geotektonski smještaj izvornih predjela. Pa tako za pijeske s otoka Hvara i Visa te pijeske rijeke Neretve i Cetine možemo reći da pripadaju području kontinentnog otočnog luka. Taložni bazeni u ovom tektonskom okruženju nastali su na dobro razvijenoj kontinentnoj kori ili na njezinom tankom rubu.

Prema dijagramu na temelju odnosa K/Ba i K/Rb vidljivo je da rijeka Paleocetina nije bila izvor siliciklastičnog detritusa za analizirane pleistocenske pijeske. Rijeka Paleoneretva je najvjerojatniji izvor detritusa za pleistocenske pijeske istaložene na otocima Hvaru, Visu, Lastovu i poluotoku Pelješcu, dok je Paleodrim izvor detritusa za pijeske na Korčuli i Mljetu. Detritus s otoka Lopuda mogao je biti donesen objema spomenutim paleorijekama.

## 7. SAŽETAK

U diplomskom radu istraživane su geokemijske značajke siliciklastičnog detritusa miješanih karbonatno-siliciklastičnih pijesaka pleistocenske starosti s otoka Hvara, Visa, Mljeta, Korčule, Lastova i Lopuda te poluotoka Pelješca i triju recentnih pijesaka s ušća rijeke Cetine, Neretve i Drima. Sadržaj glavnih elemenata određen je ICP-ES metodom, a elemenata u tragovima ICP-MS metodom.

Prema dijagramima baziranim na sadržaju glavnih elemenata, pleistocenski pijesci s otoka Lopuda, Visa i Korčule te poluotoka Pelješca, kao i oni s ušća Neretve i Drima klasificirani su kao litični areniti. Pijesci s otoka Mljeta, Lastova i Hvara odgovaraju subarkozama, a pijesak s ušća rijeke Cetine sublitoarenitu. Izvorišne stijene siliciklastičnog detritusa, prema diskriminacijskim dijagramima baziranim na sadržaju glavnih elemenata odnosno njihovim odnosima, najvećim dijelom su bile kvarcne sedimentne stijene, a manjim dijelom neutralne ili mafitne magmatske stijene.

Rekonstrukcije geotektonskog položaja izvorišnog područja analiziranih pijesaka nisu se pokazale pouzdanima jer siliciklastični detritus prema sadržaju glavnih elemenata potječe s pasivnog kontinentnog ruba ili je projiciran izvan polja dijagrama, dok prema sadržaju elemenata u tragovima vuče porijeklo s kontinentnog ili oceanskog otočnog luka.

Na temelju odnosa K/Ba i K/Rb utvrđeno je da rijeka Paleocetina nije bila izvor siliciklastičnog detritusa analiziranih pleistocenskih pijesaka. Paleoneretva je najvjerojatnije donosila detritus istaložen na Hvaru, Visu, Lastovu i Pelješcu, a Paleodrim na Korčuli i Mljetu, dok je detritus s Lopuda mogao biti donesen objema spomenutim paleorijekama.

## 8. SUMMARY

In master thesis, geochemical characteristics of siliciclastic detritus of mixed carbonate-siliciclastic Pleistocene sands from islands Hvar, Vis, Mljet, Korčula, Lastovo and Lopud, the Pelješac Peninsula and three samples of sands from rivers Cetina, Neretva and Drim had been researched. Content of macroelements has been determined with ICP-ES method and microelements with ICP-MS method.

The diagrams based on the macroelements show that the Pleistocene sands from the islands Lopud, Vis and Korčula, Pelješac Peninsula, as well as those from Neretva and Drim River are classified as lithic arenite. The sands from islands Mljet, Lastovo and Hvar are classified as subarkose and sand from Cetina River matched to sublithic arenite. The main source of siliciclastic detritus according to discriminatory diagrams based on the content of macroelements or on their relations were mostly quartz sedimentary rocks and a small part of the neutral or mafitic magmatic rocks.

Reconstruction of the geotectonic position of the source area of the analyzed sands did not prove reliable because the siliciclastic detritus based upon the content of macroelements originates from the passive continental margin or is projected out of the field diagram, while the content of trace elements originates from the continental or oceanic island arc.

Based on the K/Ba and K/Rb relations it was established that the Paleocetina River was not the source of siliciclastic detritus of analyzed Pleistocene sands. Paleoneretva River probably brought detritus precipitated on Hvar, Vis, Lastovo and Pelješac, while Paleodrim on Korčula and Mljet, while detritus from Lopud could have been brought by both Paleorivers.

## 9. LITERATURA

- BABIĆ, LJ., ZUPANIČ, J., VIDOVIĆ, J., RAZUM, I. & CRNJAKOVIĆ, M. (2012): Succession of pleistocene non-marine sediments containing marine fossils, Mljet Island, eastern Adriatic (Croatia), *Nat. Croat.*, 21, 269–299, Zagreb.
- BABIĆ, LJ., ZUPANIČ, J., VIDOVIĆ, J., RAZUM, I., LUŽAR-OBERITER, B. & CRNJAKOVIĆ, M. (2013): Preservation of hanging aeolian deposits in insular karst depressions: Sediment sources and implications for the Pleistocene paleogeography of the SE Adriatic archipelago, *Aeolian Research*, 11, 171–189.
- BALIĆ, D., MALVIĆ, T. (2011): Prve spoznaje o pliocensko – kvartarnom taloženju u paleodelti rijeke Neretve, Međunarodna konferencija i izložba o naftno – plinskom gospodarstvu u središnjoj i istočnoj Europi, Mađarska, 2011.
- BHATIA, M.R. (1983): Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. – *J. Geol.*, 91, 611–627.
- BHATIA, M.R. & CROOK, K.A.W. (1986): Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. – *Contrib. Mineral. Petrol.*, 92, 181–193.
- FEDERAL GEOLOGICAL INSTITUTE, BELGRADE – FGI (1970): Geološka karta SFR Jugoslavije 1:500.000 (Geological Map of SFR Yugoslavia, 1:500.000 scale).
- HERRON, M. M. (1988): Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. – *Journal of Sedimentary Petrology*, 58, 820–829.
- KALLANAXHI, M.-E., ĆORIĆ, S. & KOČIU, A. (2016): Late Oligocene calcareous nannofossils from Albanian-Thessalian intramontane basin (Bozdovec Section, Albania) – a quantitative approach. *Studia UBB Geologia*, 60 (1), 5–20.
- KORBAR, T. (2009): Orogenic evolution of the External Dinarides in the NE Adriatic region: a model constrained by tectonostratigraphy of Upper Cretaceous to Paleogene carbonates. *Earth-Science Reviews* 96, 296–312.



- KOVAČIĆ, M., PAVELIĆ, D., VLAHOVIĆ, I., MARKOVIĆ, F., WACHA, L., KAMPIĆ, Š., RONČEVIĆ, S. & DREMPETIĆ, D. (2017): Pleistocene alluvial and eolian deposits with tephra on the island of Lopud (eastern mid-Adriatic, Croatia): Provenance, wind regime, and climate controls. *Quaternary International*, 1–13.
- JELASKA, V. (2003): Carbonate platforms of the External Dinarides. U: Vlahović, I. & Tišljar, J. (ur.), *Evolution of depositional environments from the Palaeozoic to the Quaternary in the Karst Dinarides and the Pannonian Basin. Field-trip Guidebook. IAS – Geological Institute, Zagreb*, 67–71.
- MARINČIĆ, S., KOROLIJA, B. & MAJCEN, Ž. (1977): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Omiš, K 33–22, Institut za geološka istraživanja, Zagreb 1969, Savezni geološki zavod Beograd, 45 str.
- MARINČIĆ, S., MAGAŠ, N. & BENČEK, D. (1979): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Ploče, K 33–35, Institut za geološka istraživanja, Zagreb 1972, Savezni geološki zavod Beograd, 48 str.
- MARKOVIĆ-MARJANOVIĆ, J. (1979): Kvartarna istorija ostrva Mljeta. *Glasnik prirodnjačkog muzeja, Serija A* 34:179–200.
- MEGLIĆ, B. (1997): Sličnosti i razlike riječnih ušća u krškom dijelu jadranskog sliva, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu (PMF).
- MORTON, A.C. & HALLSWORTH, C.R. (1999): Processes Controlling the Composition of Detrital Heavy Mineral Assemblages in Sandstones. *Sedimentary Geology*, 124, 3–29.
- MUHS, D.R. (2017): Evaluation of simple geochemical indicators of eolian sand provenance: Late Quaternary dune fields of North America revisited. *Quaternary Science Reviews* 171, 260–296.
- PAVELIĆ, D., KOVAČIĆ, M., VLAHOVIĆ, I. & WACHA, L. (2011): Pleistocene calcareous aeolian – alluvial deposition in a steep karstic coastal belt (island Hvar, eastern Adriatic, Croatia), *Sedimentary Geology*, 239, 64–79.
- PAVELIĆ, D., KOVAČIĆ, M., VLAHOVIĆ, I., WACHA, L., MANDIĆ, O. & MARKOVIĆ, F. (2014): Topography controlling the wind regime on the karstic coast: late Pleistocene coastal calcareous sands of eastern mid – Adriatic, Croatia. *Facies*, 60, 4, 842–863.

- PETTIJOHN, F. J., POTTER, P. E. & SIEVER, R. (1972): Sand and Sandstone – Springer-Verlag, New York – Heidelberg – Berlin, 615 str.
- RAIĆ, V. & PAPEŠ, J. (1982): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Ston K33–48. „Geoinženjering“ – Sarajevo, OOUR Institut za geologiju i Geološki zavod – Zagreb OOUR za geologiju i paleontologiju 1980; Savezni geološki zavod Beograd, 35 str.
- ROLLINSON, H. (1993): Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. Longman. 352 str.
- RAZUM, I. (2018): Paleookolišni i terfostratigrafski sedimentni zapisi kasnopleistocenskih i holocenskih okoliša otoka Mljeta, Sveučilište u Zagrebu, Doktorska disertacija, 210 str., Zagreb.
- ROSER, B. P. & KORSCH, R. J. (1988): Provenance signatures in sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chem. Geol.*, 67, 119–139.
- SIKORA, M., MIHANOVIĆ, H. & VILIBIĆ, I. (2014): Paleo-coastline of the Central Eastern Adriatic Sea, and Paleo-Channels of the Cetina and Neretva rivers during the last glacial maximum. *Acta Adriat.* 55(1), 3–18.
- TOCKNER, K., UEHLINGER, U., T. ROBINSON, C. (2009): Rivers of Europe, Elsevier ISBN: 978-0-12-369449-2.
- VELIĆ I., VLAHOVIĆ, I., MATIČEC, D. (2002): Depositional sequences and palaeogeography of the Adriatic Carbonate Platform. *Mem Soc Geol It* 57, 141–151.
- VLAHOVIĆ, I., TIŠLJAR, J., VELIĆ, I. & MATIČEC, D. (2005): Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: Palaeogeography, main events and depositional dynamics. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 220, 333–360.
- WACHA, L., VLAHOVIĆ, I., TSUKAMOTO, S., KOVAČIĆ, M., HASAN, O. & PAVELIĆ, D. (2015): The chronostratigraphy of the latest Middle Pleistocene aeolian and alluvial activity on the Island of Hvar, eastern Adriatic, Croatia. *Boreas*, 10.1111/bor.12141, 1–13.

Internet izvori:

ADHAMI, E., LJUBISAVLJEVIĆ, D., POPOVSKA, C. (2004):  
[http://www.inweb.gr/workshops2/sub\\_basins/8\\_Drin.html](http://www.inweb.gr/workshops2/sub_basins/8_Drin.html); Internationally Shared  
Surface Water Bodies in the Balkan Region, UNESCO, Aristotle University of  
Thessaloniki, Greece (<http://www.inweb.gr>) (18. prosinca 2018.)

Google Maps (<https://maps.google.com>) (30. siječnja 2019.)