

Sastav i provenijencija pješčenjaka iz kredno-paleogenskih naslaga okolice Gackog (Bosna i Hercegovina)

Jozipović, Antonio

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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:217:029856>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-29**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geološki odsjek

Antonio Jozipović

**SASTAV I PROVENIJENCIJA PJEŠČENJAKA
IZ KREDNO-PALEOGENSKIH NASLAGA
OKOLICE GACKOG (BOSNA I
HERCEGOVINA)**

Diplomski rad

Zagreb 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOLOŠKI ODSJEK

Antonio Jozipović

**SASTAV I PROVENIJENCIJA PJEŠČENJAKA
IZ KREDNO-PALEOGENSKIH NASLAGA
OKOLICE GACKOG (BOSNA I
HERCEGOVINA)**

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

Mentor:
Borna Lužar-Oberiter

Zagreb, 2024

Nakon ove preduge, često zamorne i frustrirajuće avanture imena studiranje geologije u mojoj režiji u kojoj sam prošao uspone i padove, mnogostruka produžavanja godina, korona kataklizmu, kašnjenja u izvršavanju obaveza, vrlo rano otkrio da me geologija u stvari niti ne zanima, ipak ću se većinom prisjećati lijepih i ponosnih trenutaka, odličnog društva i upoznavanja prijatelja za cijeli život, druženja, zanimljivih i zabavnih izleta po Hrvatskoj i inozemstvu te učenja novih i često zanimljivih stvari. Možda je najveća pouka na kojoj sam zahvalan, iako sam do nje došao težim putem, je da treba biti uporan jer se njome dolazi do rezultata.

Htio bih se zahvaliti obitelji i djevojci na vjeri u mene, podršci i strpljenju u ovom projektu zvanom završetak faksa i diplomiranje, pogotovo na ohrabrivanju i mudrim riječima u vremenu kada sam htio odustati od studija pa tako pozdravljam Nadicu, Jozu, Zlatka, baku, Tamaru i Melani.

Htio bih se zahvaliti i ekipi iz Zaprešića na podršci pa tako pozdravljam Breku, Vuju i Patu.

Htio bih se zahvaliti najjačem društvu s faksa i cijeloj JaJoDJig ekipi na iskonskim iskustvima i prijateljstvima za život, kojih ću se uvijek rado prisjećati, a nadam se da će se nastaviti, pa tako pozdravljam Pocu, Milkija, Bašića, Juru, Jigga, Pušku, Feksa i sve koje sam zaboravio.

Također bih se htio zahvaliti svom mentoru izv. prof. dr. sc. Borni Lužaru-Oberiteru na pomoći i strpljenju u izradi ovog rada.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geološki odsjek

Diplomski rad

SASTAV I PROVENIJENCIJA PJEŠČENJAKA IZ KREDNO-PALEOGENSKIH NASLAGA OKOLICE GACKOG (BOSNA I HERCEGOVINA)

Antonio Jozipović

Rad je izrađen na: Geološkom odsjeku Sveučilišta u Zagrebu Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Horvátovac 102a, u sklopu diplomskog studija Geologije zaštite okoliša.

Sažetak: Tema ovog rada je odrediti sastav i provenijenciju pješčenjaka uzorkovanih na tri lokaliteta u okolini Gackog u Bosni i Hercegovini. Analizirani pješčenjaci su donjokredne i paleocenske starosti. Korištene su metode petrografska analiza te kvantitativna analiza teške frakcije, obje pomoć polarizacijskog mikroskopa. Metodom petrografske analize određeni su sastav čestica, struktura i tekstura preparata radi sedimentološke klasifikacije uzoraka i određivanja provenijencije klastičnog materijala. Metodom kvantitativne analize teške frakcije determinirani su i prebrojani teški minerali. Petrografskom je analizom utvrđeno sa se radi o arenitima i kalkarenitima. U sva tri uzorka primijećene su frakcije nelistićavih teških minerala: cirkon, turmalin, rutil, granati, Cr-spineli, epidot/zoisit i apatit. Porijeklo detritusa u pješčenjacima vezano je uz procese trošenja ofiolita i jedinica Adria mikroploče.

Ključne riječi: sastav, provenijencija, kvantitativna analiza teške frakcije, petrografska analiza, Gacko, pješčenjaci

Rad sadrži: 42 stranice, 26 slika, 2 tablice, 49 literaturnih navoda

Jezik izvornika: hrvatski

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

Mentor(i): izv. prof. dr. sc. Borna Lužar-Oberiter

Ocjenjivači: izv. prof. dr. sc. Borna Lužar-Oberiter

doc. dr. sc. Igor Felja

mr. sc. Dražen Kurtanjek, v. pred

doc. dr. sc. Zorica Petrinc (zamjena)

Datum završnog ispita: 26.9. 2024.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geology

Graduate Thesis

COMPOSITION AND PROVENANCE OF SANDSTONES FROM CRETACEOUS-PALEOGENE DEPOSITS OF THE GACKO AREA (BOSNIA AND HERZEGOVINA)

Antonio Jožipović

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

Abstract: The topic of this study is to determine the composition and provenance of sandstones sampled at three locations in the vicinity of Gacko, Bosnia and Herzegovina. The analyzed sandstones are of Lower Cretaceous and Paleocene age. Petrographic analysis and quantitative heavy mineral analysis methods were used, both with the aid of a polarizing microscope. The petrographic analysis method was used to determine the composition of particles, structure, and texture of the samples, to classify the sediments and establish the provenance of the clastic material. The quantitative heavy mineral analysis method was used to identify and count heavy minerals. Petrographic analysis established that the samples are arenites and calcarenites. All three samples contained fractions of non-micaceous heavy minerals such as zircon, tourmaline, rutile, garnet, Cr-spinel, epidote/zoisite, and apatite. The origin of the detritus in the sandstones is linked to the weathering processes of ophiolites and units of the Adria microplate.

Keywords: provenance, heavy minerals, petrographic analysis, Gacko, sandstones

Thesis contains: 42 pages, 26 figures, 2 tables, 49 references

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Central Library of Geology, Department of Geology, Faculty of Science

Supervisor: Assoc. prof. dr. sc. Borna Lužar-Oberiter

Reviewers: Assoc. prof. dr. sc. Borna Lužar-Oberiter

doc. dr. sc. Igor Felja

mr. sc. Dražen Kurtanjek

doc. dr. sc. Zorica Petrinec (substitute)

Date of the final exam: 26.9.2024.

Sadržaj

1. Uvod.....	1
1.1. Predgorski bazeni.....	2
1.2. Geološka građa i evolucija Dinarida.....	3
1.3. Bosanski i Durmitorski fliš.....	6
2. Geografski smještaj istraživanog područja.....	10
3. Pregled dosadašnjih istraživanja	10
4. Materijali i metode	12
4.1. Uzorkovanje pješčenjaka	12
4.2. Petrografska analiza.....	14
4.3. Analiza teških minerala.....	14
4.3.1. Priprema uzoraka.....	15
4.3.2. Separacija teških minerala	15
4.3.3. Izrada mikroskopskih preparata	15
4.3.4. Determinacija teških minerala i brojanje zrna	16
5. Rezultati.....	16
5.1. Petrografska analiza.....	16
5.2. Kvantitativna analiza frakcije teških minerala	22
6. Rasprava	31
7. Zaključak	36
8. Literatura	38

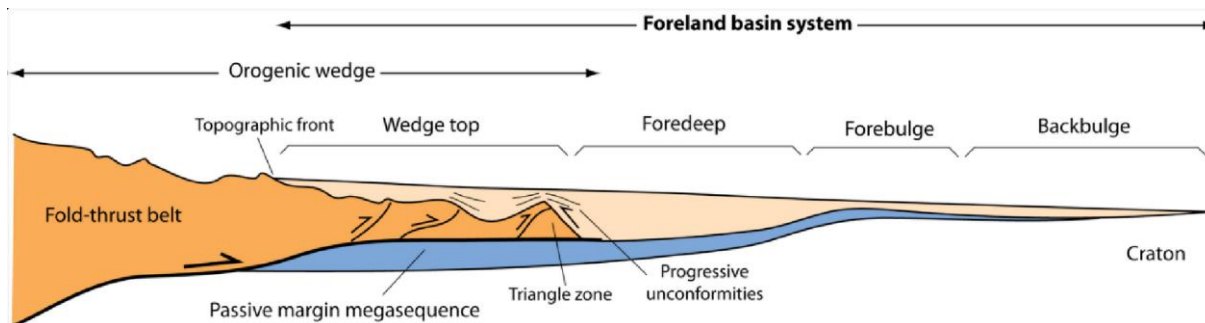
1. Uvod

Cilj ovog rada bilo je određivanje provenijencije kredno – paleogenskih pješčenjaka šire okolice mjesta Gackog u Bosni i Hercegovini. Provenijencija sedimenata predstavlja rekonstrukciju povijesti sedimenta i određivanje karakteristika njegova izvorišta (WELTJE i VON EYNATTEN, 2004) čime se dobije jasnija slika paleogeografskih zbivanja na istražnom prostoru. Ona se može proučavati na nekoliko načina, a u ovom radu korištena je kvantitativna analiza teške mineralne frakcije te petrografska analiza uzoraka pješčenjaka. Iako zauzimaju samo manji postotak ukupne stijenske mase, obično oko 1 %, teški minerali imaju vrlo specifičnu petrogenezu te mogu biti vrlo dobri indikatori matične stijene iz koje su potekli. S druge strane, petrografska analiza uzoraka služi kako bi se odredio cijelostijenski mineralni sastav, pri čemu se pri određivanju provenijencije u obzir uzimaju i post taložni procesi poput erozije, kemijskih aliteracija ili transporta. Iz tog razloga kombinacija ove dvije metode često se koristi upravo u ovu svrhu.

Ukupno je uzeto tri uzorka, dva u gornjokrednim i jedan u paleogenskim naslagama koji su zatim promatrani i analizirani na polarizacijskom mikroskopu pri Geološko – paleontološkom zavodu Prirodoslovno – matematičkog fakulteta u Zagrebu. Proučavane naslage pripadaju jedinici Bosanskog fliša koji se taložio na području nekadašnjeg predgorskog bazena, odnosno izduženog sedimentacijskog bazena koji nastaje zbog aktivnih procesa orogeneze između jurskog ofiolitnog melanža s istoka i Jadranske karbonatne platforme sa zapada (NIRTA i sur., 2022). Određivanje njihove provenijencije, pomoću odabranih metoda, poslužit će kako bi se što jasnije interpretirali tektonski i paleogeografski procesi glede interpretacije orogenetskog razvoja Dinarskog gorja.

1.1. Predgorski bazeni

Prema DECELLES i GILES (1996) predgorski bazeni (eng. „*foreland*“) su sedimentacijski bazeni izduženog oblika koji se, kao posljedica konvergencije aktivnog orogena i nedeformiranog *foreland*-a, formiraju na kontinentalnoj kori. Ovisno o udaljenosti orogenetske fronte i o strukturno-tektonskom položaju, predgorski bazenski sustav može se podijeliti na četiri sedimentacijske zone: *Wedge top*, *Foredeep*, *Forebulge* i *Backbulge* zona (Slika 1). Zona najbliža planinskom pojasu je *Wedge top* zona koja se formira iznad *decollement*-a. Druga zona je *Foredeep* zona koja se formira ispred fronte glavnog rasjeda, te predstavlja područje najizrazitije subsidencije. Zbog toga, često ju karakterizira taloženje debelih sekvencija gravitacijskih tokova, koje dodatno opterećuju litosferu i uzrokuju njeno savijanje. Ono pak ima za posljedicu nastanak treće, *Forebulge* zone, koja tvori relativna uzvišenja s plitkovodnodnim taloženjem ili emerzijama. Konačno, posljednja, *Backbulge* zona predstavlja relativno dublje okoliše taloženja, ali pliće u odnosu na *Foredeep* zonu i bez debele klastične ispune.



Slika 1. Shematski prikaz sustava predgorskog bazena sa sedimentacijskim zonama (prema DECELLIES i GILES, 1996)

Ovisno o vrsti sedimenta koji ih ispunjava, predgorski bazeni mogu biti sačinjeni od klastičnih ili karbonatnih naslaga. Uz njihove rubove dolazi do formiranja različitih vrsta padina i padinskih facijesa zavisno o mehanizmu taloženja i izvoristu istaloženog materijala – karbonatne i siliciklastične padine (PLAYTON i sur., 2010).

1.2. Geološka građa i evolucija Dinarida

Dinaridi su planinski lanac koji se proteže u jugozapadnoj Europi smjerom sjeverozapad-jugoistok, od Slovenije pa sve do Albanije. Na njegovom južnom kraju na njega se nastavljaju planinski lanci Albanida i Helenida (SCHMID i sur., 2020). Nastao je u geološkom periodu paleogenu kada je mikroploča Adrija, na kojoj se nalazila Jadranska karbonatna platforma, kolidirala s kontinentalnom masom Europe (VLAHOVIĆ i sur., 2012). Kao posljedica tektonskih promjena tijekom kolizije, koji su započele već u gornjoj kredi, a vrhunac doživjele u neogenu i kvartaru, Dinaridi su danas strukturno-geološki i tektonski vrlo složeni (DRAGIČEVIĆ i VELIĆ, 2002).

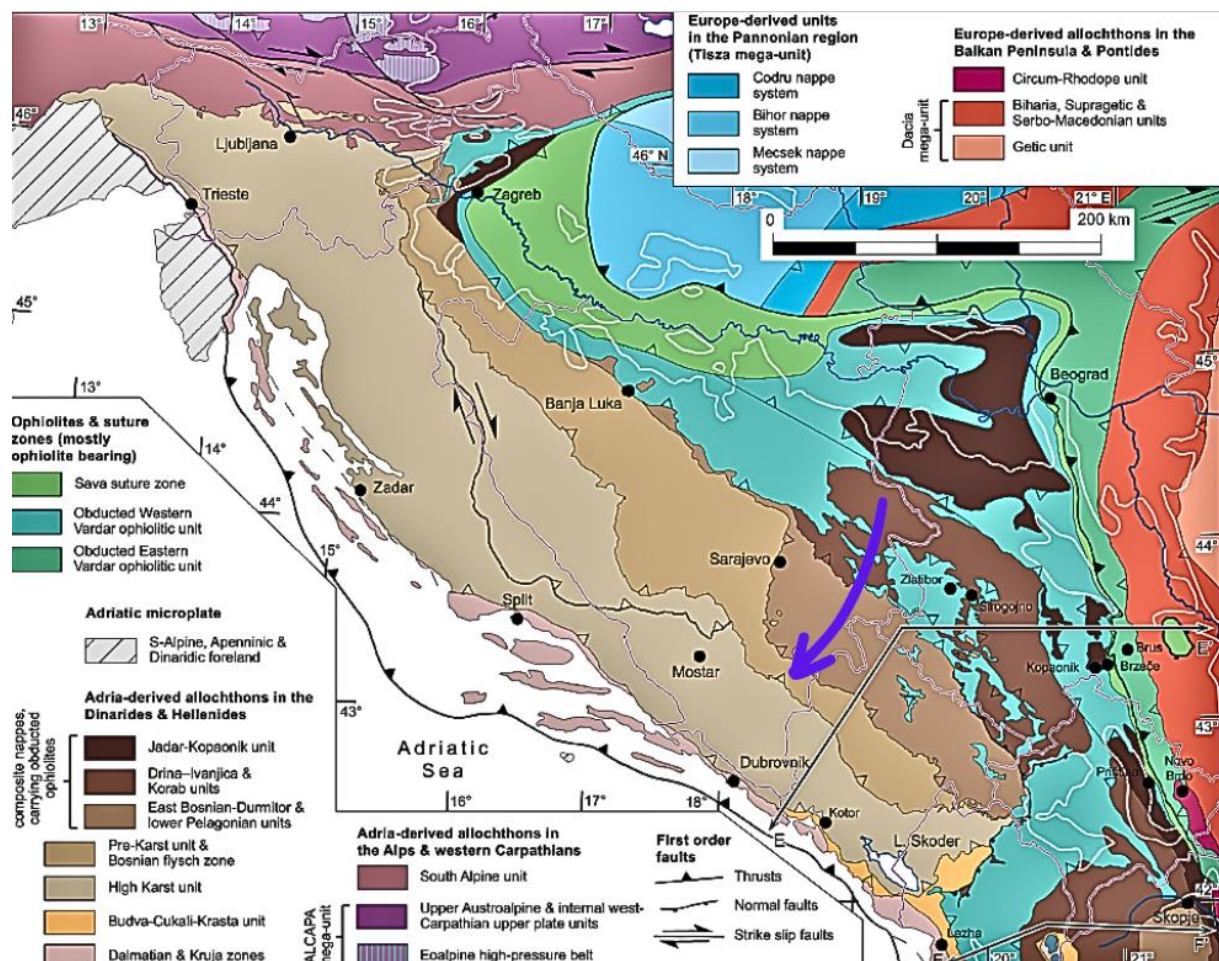
Klasično, Dinaridi se mogu podijeliti na Unutarnje i Vanjske Dinaride. Unutarnji Dinaridi predstavljaju veliki broj tektonskih navlaka sastavljenih od naslaga udaljenijih dijelova pasivnog kontinentalnog ruba Adrije i Zapadnovardarske ofiolitne zone. Te navlake nastale su tektonskim procesima tijekom gornje krede, paleogena i neogena nakon gornjojurske obdukcije ofiolitnog melanža nekadašnjeg Neotetis oceana. S druge strane, Vanjski Dinaridi izgrađeni su od vrlo debelih naslaga većinom plitkomorskih paleozojskih i mezozojskih karbonatna nekadašnjih karbonatnih platformi koje su bile okružene dubokomorskim prostorima (VLAHOVIĆ i sur. 2005, SCHMID i sur., 2020).

Nakon početka taloženja u karbonu, naslage budućih Dinarida su u permu i trijasu bili dio prostranog šelfnog prostora uz sjeveroistočni rub prakontinenta Gondwane. Taj se šelfni prostor pružao od današnje sjeverne Afrike na zapadu preko Arapskog poluotoka, sjeverne Indije pa sve do današnje Nove Gvineje i Australije na samom istoku (BARRIER i sur., 2018; DER COURT i sur., 2000). Prema SCHMID i sur., (2008) tektonski razvoj Dinarida započinje u srednjem trijasu kada dolazi do gornjoanizičkog riftovanja uslijed otvaranja novog oceanskog prostora Neotetisa. To riftovanje vezano je za bazični i neutralni magmatizam te formiranje pasivnog kontinentalnog ruba Adrija mikroploče. Dalji dijelovi tog pasivnog kontinentalnog ruba bivaju potopljeni i okoliš taloženja mijenja se iz plitkomorskog u dubokomorsko s taloženjem pelagičkih sedimenata i radiolarita. S druge strane, u unutarnjim dijelovima Adrije, poput naslaga današnje Istre, dolazi do taloženja ponegdje vrlo debelih, plitkomorskih karbonata što će potrajati sve do eocena. U srednjoj juri dolazi do obdukcije novoformirane oceanske kore na pasivni kontinentalni rub Adrije uspostavljanjem kompresijskog

(konvergentnog) tektonskog režima i ofiolitni melanz poznatiji kao Zapadnovardarska ofiolitna zona (SCHMID i sur., 2008; 2020; VAN UNEN i sur., 2019). Obdukcija Zapadnovardarske ofiolitne zone uzrokovala je složene tektonske promjene i pojave poput boranja, navlačenja i/ili metamorfoze zapaženih u sedimentima distalnog dijela Adrija mikroploče.

Jadranska karbonatna platforma na podlozi Adrija mikroploče egzistirala je od starije jure (malm) do kraja krede (VLAHOVIĆ i sur., 2005) kada konvergencijom jedinica Adrija mikroploče i europskih jedinica, uz postupnu subdukciju i kontinentalnu koliziju, nastaje planinski lanac Dinarida. Tijekom najgornje krede započinje kontinentalna kolizija taloženjem dubokovodnih turbiditnih sekvenci na prijelazu kampan-maastricht i formira se Sava zona kao konačna sutura oceana Neotethys (SCHMID i sur., 2008; VAN UNEN i sur., 2019). Kolizija se nastavlja u paleogenu i neogenu kada se odvija faza kompresije uzrokovane podvlačenjem Adrije te uslijed toga jedinice Vanjskih Dinarida bivaju tektonski uzdignute i erodirane, odnosno volumno sve manje i manje što traje i dan danas. Vrhunac ekshumacije jedinica nekadašnje Jadranske karbonatne platforme odvio se tijekom eocena i oligocena uslijed intenzivnog navlačenja u smjeru jugozapada i taloženja krupnozrnatih konglomerata koji su taloženi kao molasa blizu navlačnog kontakta, a poznati su po nazivu Promina naslage. Istovremeno s navlačnim tektonskim procesima talože se turbiditne naslage od kojih je u Dinaridima najdeblja zona Bosanskog fliša koji se često nalazi u podini obduciranih ofiolita. Taloženje Bosanskog fliša započinje u gornjoj juri (kimeridž), a s prekidima nastavlja u kredu kada mu je i debljina najveća. Prekid taloženja vidljiv je na nekoliko lokalnih diskomformiteta koji predstavljaju nekoliko faza navlačenja. U unutrašnjim Dinaridima, tijekom oligocena i miocena započinje proces ekstenzijskog riftovanja i listričkog rasjedanja praćen formiranjem zalučnog, Panonskog bazena i niza drugih poput Sarajevo-Zenica i Gatačkog bazena. Ti bazeni bivaju zapunjeni vodom te se stvara Dinaridski jezerski sustav. Krajem miocena ekstenzijski sustav se mijenja u kompresijski koji je na snazi i dan danas (VAN UNEN i sur., 2019).

SCHMID i sur. (2008) u platformske naslage unutarnjih Dinarida ubrajaju jedinice Bosanskog fliša i jedinicu predkrša (*eng. Pre – Karst unit & Bosnian flysch Zone*) dok većinom platformske naslage vanjskih Dinarida čine jedinica visokog krša, Dalmatinska zona i Budva-Cukali zona (Slika 2). Jedinica visokog krša i Dalmatinska zona predstavljaju plitkomorske karbonatne naslage odvojene dubokovodnom Budva – Cukali zonom. Budući da je tema ovog diplomskog rada vezana više za naslage unutarnjih Dinarida, jedinice vanjskih Dinarida neće se detaljnije opisivati.



Slika 2. Tektonske jedinice vanjskih i unutarnjih Dinarida kao i šireg prostora; plava strijelica prikazuje istražno područje koje pripada „Pre-Karst unit & Bosnian flysch zone“ tektonskoj jedinici, modificirano prema SCHMID i sur 2008

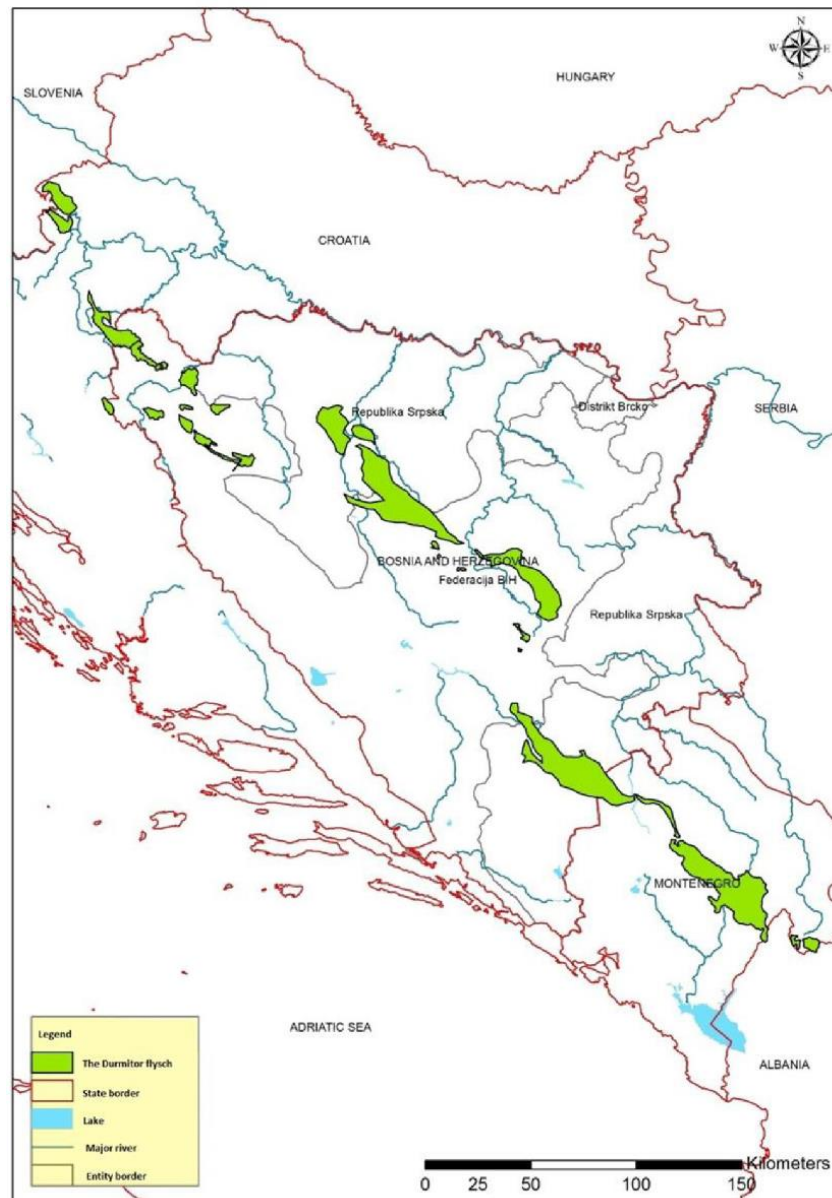
Isti autori navode kako je jedinica predkrša smatrana kao prijelazna između platformnih karbonata jedinice visokog krša na zapadu i više unutarnje tektonsko – stratigrafske jedinice distalnijeg ruba Adrija mikroploče, gornjojursko – krednog fliša „Zone Bosniaque“ (BLANCHET i sur., 1969, 1970, AUBOUIN i sur., 1970). Također, navode kako se jedinice predkrša i Bosanski fliš mogu smatrati kao jedna tektonska cjelina. Izdanci najstarijih naslaga Pred - krša rijetko izdanjuju, a predstavljaju ih paleozojske metamorfne stijene niskog stupnja. Mogu se naći u Sava – Una paleozojskoj seriji zapadne Bosne i djelu Hrvatske. Idući sve bliže prema vanjskim Dinaridima i jedinicama nekadašnje Jadranske karbonatne platforme naslage predkrša počinju predstavljati prijelazne naslage nekadašnje karbonatne rampe.

Uslijed tektonskih pokreta (riftovanja) i supsidencije zbog otvaranja Neotetisa sredinom trijasa dolazi do dubokovodne sedimentacije (SCHMID i sur. 2008, 2020) kada se

javljaju crveni, dubokovodni vapnenci (DRAGIČEVIĆ i VELIĆ 2002). Na prijelazu iz trijasa u juru obnavljaju se plitkomorski taložni uvjeti (AUBOUIN i sur., 1970, CADET 1978) s debelim naslagama vapnenaca i dolomita. Pelagička sedimentacija u jedinici predkrša i Bosanskog fliša započela je na nekim dijelovima već početkom jure, puno prije taloženja fliša koje započinje u najgornjoj juri i traje sve u paleogen (SCHMID i sur. 2008). Mjestimično su u gornjoj juri obnovljeni i plitkomorski okoliši taloženja na koje naliježu klastiti poznati kao Ugar formacija (MIKES i sur. 2008). Na Ugar formaciju prema jugoistoku nastavlja se Durmitorski fliš (MIRKOVIĆ i sur. 1979). SCHMID i sur. (2008) sugeriraju kako su fliške naslage ustvari sinorogenetske naslage, nastale istovremeno s tektonskim izdizanjem prvotnih Dinarida i njihovom erozijom, potkrepljujući tu tvrdnju s brojnim ofiolitnim detritusom nađenim unutar fliša, osobito onog starijeg, Vrandučkog fliša u dolini rijeke Bosne sjeverno od Sarajeva. Završetkom flišnog taloženja u eocenu jedinica predkrša je navučena na jedinicu visokog krša tijekom srednjeg eocena – oligocena i onda ponovno sredinom miocena pa sve do recentnog vremena (SCHMIDT i sur., 2020).

1.3. Bosanski i Durmitorski fliš

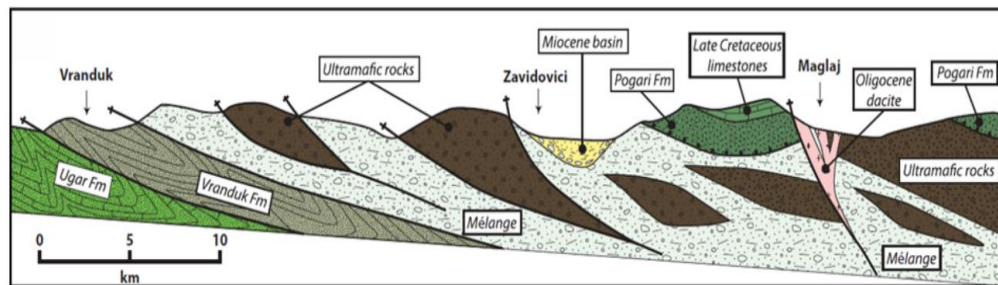
Srednjotrijaskom subsidencijom je na području današnjih Unutarnjih Dinarida Bosne i Hercegovine nastao tzv. Bosanski bazen koji bilježi kontinuirano taloženje dubokomorskih karbonata i rožnjaka od srednjeg trijasa pa tijekom čitave jure (GORIČAN i sur. 2022). Termini Bosanski fliš i Durmitorski fliš većinom se koristi za sve fliške naslage između jedinice Pred-Krša, i preostalih, distalnih jedinica Unutarnjih Dinarida koje koje tijekom krede i paleogena bivaju uključene u navlačne procese uslijed kompresijskog tektonskog režima (AUBOUIN i sur., 1970). MIKES i sur. (2008) razlikuju ova dva pojma te tako Bosanski fliš predstavlja pojas pretežito krednih naslaga koje izdanjuju na području zapadnog dijela centralne Bosne i Hercegovine, a na njih se jugoistočno nastavlja pretežito mlađi, Durmitorski fliš. Prema GOLIJANIN i MALBAŠIĆ (2019) Durmitorski fliš predstavlja gornjo kredno – paleogensku formaciju koja se prostire od Sjevernoalbanskog platoa i Budva-Cukali zone na jugu preko centralnog dijela Crne Gore, sjeveroistočne Hercegovine pa sve do planine Vlašića i centralnog dijela Bosne (Slika 3). Ime je dobila po planini Durmitor na čijim jugozapadnim obroncima izdanjuju.



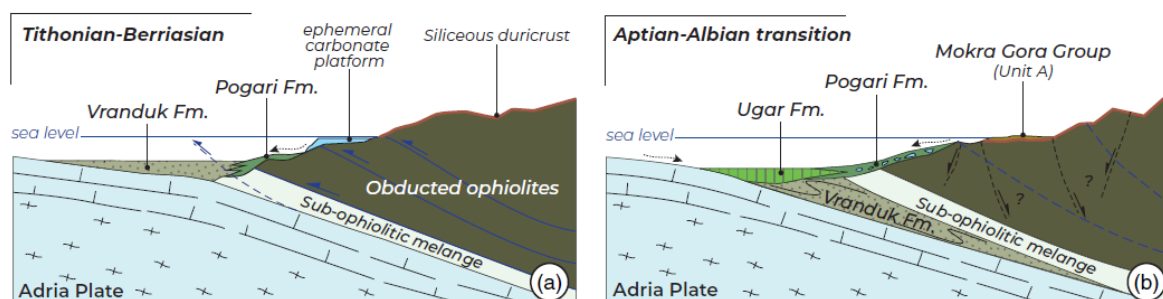
Slika 3. Prostorno rasprostriranje Durmitorskog fliša - označeno zelenom bojom (modificirano prema GOLIJANIN i MALBAŠIĆ, 2018)

JOLOVIĆ i sur. (2016) određuju starost flišnih naslaga u okolini Gackog na gornjojursku, krednu i paleocensku. U užem smislu, Bosansku fliš sastoji se od dva dijela (BLANCHET i sur., 1969) Prvi, stratigrafski donji, turbiditni do pelagički dio nazvan i Vrandučka formacija ili Vrandučki fliš (Slika 4), debljine je preko 1000 metara i sastavljen je od siliciklastičnih pješčenjaka, lapora, šejlova, vapnenaca s rožnjacima i radiolaritima. Ime je dobiveno po mjestu Vranduk sjeverno od Zenice. Vrandučka formacija nalazi se bliže navlačnom kontaktu sa Zapadnovardarskim ofiolitnim melanžom (Slika 4), a njena starost određena je prema fosilima kalpionelida i foraminifera – datirana je od najgornje jure (titona) do berijasa/valangija u donjoj

kredi. Točnije, taloženje se odvijalo nakon navlačenja Zapadnovardarske ofiolitne zone na istočni rub Jadranske karbonatne platforme (Slika 5a, CADET i SIGAL 1968, NIRTA i sur, 2020). Glavno izvorište detritusa Vrandučkog fliša jesu obducirane naslage Zapadnovardarskog ofiolitnog melanža (MIKES i sur., 2008). Drugi, stratigrafski gornji dio, naziva se Ugar formacija (Slika 5b) i ona se proteže više prema jugozapadu te je dominantno karbonatna, sastavljena od tankoslojenih laporovito – mikritnih vapnenaca, crvenih ili sivih šejlova, te krupnozrnatih, katastrofičnih karbonatnih debrita. Unutar debrita, mogu se javiti zrna metarskih dimenzija – tako zvani *Scaglia Rossa* klasti. Debljina Ugar formacije može biti i preko 2000 metara, a starost varira od gornjeg alba preko mastrihta pa lokalno sve do paleocena (MIKES i sur. 2008). To je zato što je početak njenog taloženja neujednačen – na različitim područjima počinje u različito vrijeme. Izvjesno je da nazivi Ugar formacija i Durmitorski fliš opisuju stratigrafski i paleogeografski slične ili čak istovjetne jedinice. GORIČAN i sur. (2022) navode kako Ugar formacija i Durmitorski fliš predstavljaju gornjokredni sinorogenetski sedimentni prekrivač jedinice pred – krša. Po MIKES i sur. (2008) i DIMITRIJEVIĆ i sur. (1968) koji su analizirali provenijenciju klastita i smjer paleotransporta glavni izvor klastičnog detritusa Ugar formacije su plitkomorski karbonati Jadranske platforme, a da je smjer paleotransporta prema sjeveroistoku. SCHMID i sur. (2020) navode kako je Durmitorski fliš nastao singenetski s gornjokrednim do paleocenskim navlačenjem stratigrafski mlađih naslaga Istočnobosanske – Durmitor jedinice koja u sebi sadrži naslage s djelovima Zapadnovardarskog ofiolitnog melanža.



Slika 4. Prikaz Vrandučke i Ugar formacije (Bosanski fliš) (modificirano prema NIRTA i sur., 2020)



Slika 5. Razvoj Vrandučke i Ugar formacije zajedno s prikazom paleogeografije u to vrijeme. (a) početak taloženja Vrandučkog fliša na granici jura/kreda (titi – berijas). Vidljivo je da je tada obdukcija ofiolita Zapadnovardarske zone bila završila. Crna, isprekidana strijelica prikazuje smjer paleotransporta. U slučaju Vrandučkog fliša smjer paleotransporta bio je prema istoku, odnosno izvor detritusa bile su ofiolitne, bazične ili ultrabazične stijene (b) početak taloženja Ugar formacije u krovini Vrandučke formacije na granici apt – alb u donjoj kredi. Smjer paleotransporta za Ugar formaciju bio je prema sjeveroistoku, odnosno izvorne stijene bili su plitkomorski karbonati Jadranske karbonatne platforme (modificirano prema NIRTA i sur., 2020)

2. Geografski smještaj istraživanog područja

Jezero Klinje i njegova okolica, kao mjesto prikupljanja uzoraka smješteni sjeveroistočno u zaleđu Gackog i Gatačkog polja, nalaze se u jugoistočnoj Bosni i Hercegovini. S jugozapadne strane okruženi su planinskim lancem Bjelašnica (2067 m), dok se na sjeveru teren uzdiže prema planinskim lancima Vučevo (1529 m), Živanj (1696 m) i Lebršnik (1985 m), koji se zatim spuštaju prema dolinama rijeka Sutjeske i Neretve. Sjeverni obod tih lanaca čine planinski masivi Zelengora (2014 m) i Volujak (2336 m), koji su dio istočnobosansko-durmitorske navlake (SCHMID i sur., 2008, 2020). Ovo područje se nalazi u neposrednoj blizini granice s Crnom Gorom.

3. Pregled dosadašnjih istraživanja

Prvu preglednu geološku kartu Bosne i Hercegovine u mjerilu 1:576 000 daju MOJSISOVICS i sur. (1879) gdje izdvajaju trijasko dolomite i vapnence, jurske i kredne vapnence te fliš, kojemu ne određuju starost.

Zatim, HAUER (1880) izdaje preglednu geološku kartu Austro - Ugarske monarhije u mjerilu 1:2 016 000, gdje sve flišne naslage Dinarida uvrštava u eocen.

O flišnim naslagama jugoistočne Bosne i Hercegovine piše FUCHS (1890) opisujući pješčenjake doline rijeke Sutjeske, koje prema stratigrafskoj podjeli prijašnjih autora uvrštava u eocen.

WÄHNER (1890) opisuje tamnosive, tankoslojene lapore u okolini Gackog u kojima je našao donjojurske amonite roda *Amaltheus*. Isti autor u radu iz 1892. navodi nalaze donjojurskih amonitskih vrsta nađenih na sjevernom dijelu Gatačkog polja između Avtovca i Gackog.

HAVELKA (1905) opisuje geologiju Gackog polja gdje, jugoistočno od Avtovca, izdvaja tamne vapnenačke breče na kojima leže gornjotrijaski, *Dachsteinski* dolomiti i vapnenci u kojima spominje nalaze puževa, školjkaša i amonita. Kod zaselka Miholjače, navodi tamnosive, bituminozne, pločaste donjojurske vapnence s rožnjacima, te spominje nalaze donjojurske amonita iz rodova *Amaltheus* i *Harpoceras*. U krovini tih vapnenaca utvrđuje nekoliko metara debeo slijed vapnenačkih breča i svijetlih vapnenaca s elipsaktinijama.

Okolica Gackog detaljnije je obrađena od strane SIMIĆ i sur. (1939) u sklopu izrade geološke karte Bosne i Hercegovine, list VI Mostar 1 : 200 000. Navode gornjotrijaske dolomite oko Avtovca kao i HAVELKA (1905), jurske vapnence oko Gackog, i datira fliš sjeveroistočno od Gackog na gornjokrednu starost.

VLAHINIĆ-ĐEKIĆ (1961) izdvaja donjojurske naslaga okolice Gackog - vapnence s rožnjacima i laporovitim proslojcima. Navodi da na njima u krovini leže crni, bituminozni – laporoviti pločasti vapnenci u kojima nalazi gornjolijske amonite. Iznad ovih vapnenaca, također pod blagom diskordancijom, opisuje svijetle, bijele vapnence s elipsaktinijama koje datira na najgornju juru (titon).

DIMITRIJEVIĆ i sur. (1968) izrađuju detaljan litostratigrafski stup jurskih i krednih naslaga okolice Miholjače. U bazi određuju laporovite dolomite i vapnence, kojima datiraju donjojursku starost temeljem rijetke mikrofaune poput ranijih nalaza amonita. U krovini ovih naslaga izdvajaju srednjajurske mikrobreče s brojnim pretaloženim fragmentima starijih, donjojurskih vapnenaca. Gornja jura obilježena je masivnim vapnencima u kojima pronalaze fosile algi, mekušaca, hidrozoa i koralja. U krovinskim brečama nalaze ostatke orbitolinidnih foraminifera, ali smatraju da su one pretaložene, te ih stoga označuju kao početak gornjokredne transgresije i pripisuju im turonsku starost. Nakon njih slijede pelagički vapnenci kojima na osnovu mikrofaune određuju „senonsku“ starost.

MOJIČEVIĆ i VLAHINIĆ (1969) obrađuju naslage Durmitorskog fliša sjeverno od Gackog, kojem prema sadržaju mikropaleontoloških preparata određuju starost turon – „senon“. Na osnovu mikrofacijskih karakteristika pretpostavljaju da najmlađi dio fliša, kod sela Jugovići, pripada paleocenu.

Detaljnije istraživanje geologije šireg područja jugoistočne Bosne i Hercegovine i Crne Gore u svojem radu daje CADET (1978). Na području Gackog izdvaja dva klastična horizonta: prvi, stariji, donjokredni koji se proteže duž doline rijeke Sutjeske, te koji je navučen prema jugozapadu na mlađi, gornjokredno – paleocenski horizont dubokomorskih karbonata i klastita.

U sklopu izrade Osnovne geološke karte Jugoslavije u mjerilu 1:100 000 MIRKOVIĆ i sur. (1979) izdaju list Gacko opisujući pojave koje su već naveli raniji autori.

U novije vrijeme JOLOVIĆ i sur. (2016) temeljem nanopaleontoloških analiza zaključuju da je dobar dio klastičnih naslaga sjeveroistočno od Gackog, i u okolici Klinjeg jezera mastrihtsko – paleocenske starosti.

4. Materijali i metode

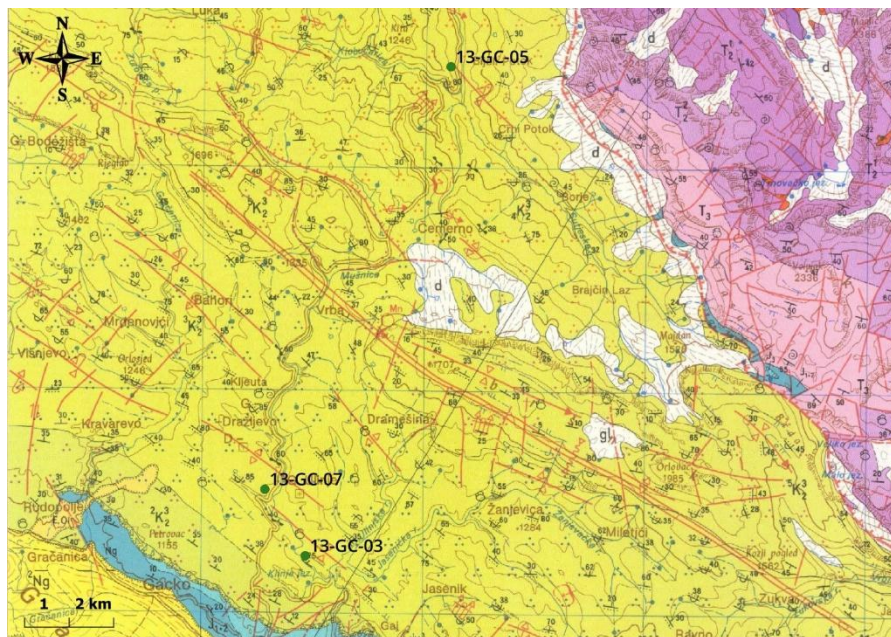
Materijali koji su predmet istraživanja i laboratorijske obrade su pješčenjaci okoline Gackog, dok metode obuhvaćaju petrografsku analizu i analizu teških minerala. U istraživanim naslagama općenito dominira karbonatna klastična komponenta. Uzorkovanje za potrebe ovog rada proveo je izv. prof. dr. sc. Borna Lužar-Oberiter terenskim istraživanjem većeg broja izdanaka pri čemu su identificirani odgovarajući pješčenjaci koji sadrže siliciklastičnu komponentu. Petrografskom analizom mikroskopiranjem izbrusaka cilj je doći do informacija o mineralnom sastavu, teksturi te veličini promatranih čestica. Analiza teških minerala podrazumijeva pripremu uzoraka, sijanje uzoraka, separaciju teških minerala, izradu mikroskopskih preparate te determinaciju teških minerala i brojanje zrna s ciljem njihove identifikacije i određivanja udjela.

4.1. Uzorkovanje pješčenjaka

Uzorci pješčenjaka prikupljeni su na tri lokaliteta u blizini Gackog (JI BiH). Dva neposredno SI od Gackog s izdanaka uz prometnicu; Uzorak 13-GC-03 prikupljen je na JZ obodu jezera Klinje, dok je uzorak 13-GC-07 na SZ obodu jezera Desivoje, (Slika 6). Uzorak 13-GC-05 prikupljen je uz prometnicu u kanjonu rijeke Sutjeske u području sjeverno od Čemerna. Na Slici 8 prikazane su lokacije uzorkovanja na Osnovnoj geološkoj karti SFRJ 1:100000, list Gacko prema kojoj svi uzorci pripadaju naslagama gornje krede. Međutim, novija istraživanja JOLOVIĆ i sur. (2016) dva lokaliteta gdje su uzeti uzorci 13-GC-03 i 13-GC-07 stratigrafski smještaju u naslage paleocena (Ugar formacija), a lokalitet gdje je uzet uzorak 13-GC-05 u naslage koje pripadaju razdoblju gornje jure-donje krede (Vranduk formacija; CADET i SIGAL, 1969, JOLOVIĆ i sur., 2016).



Slika 6. Ortofoto prikaz lokacija prikupljanja uzoraka; dvije lokacije se nalaze uz obode jezera Klinje i Desivoje (Ulinje), dok je treća smještena sjeverno od Čemerna (izvor: Google Maps)



Slika 7. Prikaz lokacija uzoraka na Osnovnoj geološkoj karti SFRJ; list Gacko (modificirano prema MIRKOVIĆ i sur., 1979)

4.2. Petrografska analiza

S ciljem determinacije, te potom i klasifikacije sedimentnih stijena prema sastavu provedena je petrografska analiza kao pomoćna metoda u utvrđivanju provenijencije promatranih uzoraka. U procesu izrade preparata prvo je trebalo piliti komade stijena na tanke pločice, koji su potom u Mineraloško-petrografskom zavodu ručno brušeni abrazivnim prahom na kamenom kolu, a potom i na hrapavom staklu finijim abrazivima do potrebne debljine od 0,02-0,03 mm. Uzorak je potom lijepljen na stakalce kanada balzamom. Uzorak je promatran polarizacijskim mikroskopom u ortoskopskim uvjetima s i bez analizatora uz pomoć priručnika ADAMS ET AL. (1984), MACKENZIE i ADAMS (1994), SCHOLLE (1979).

4.3. Analiza teških minerala

Analiza teških minerala vrlo je važna metoda u determinaciji uzoraka pješčenjaka. Za razliku od lakih minerala, teški su minerali tipski za određenu vrstu stijena te se pojavljuju u specifičnim paragenezama i smatraju se dijagnostičkima. Njihovom determinacijom u uzorku pješčenjaka može se odrediti provenijencija tog istog pješčenjaka, znajući da određeni teški minerali upućuju na određene vrste izvorišnih stijena. Analiza teških minerala zasniva se na determinaciji vrste minerala u uzorku na temelju njegovih fizičkih i optičkih karakteristika (npr. habitus zrna, pleokroizam, boja, potamnjenje, interferencijska boja, interferencijska figura) te prebrojavanju metodom brojanja duž trake (eng. *ribbon counting*). Za analizu teških minerala korišten je polarizacijski mikroskop s analizatorom i priručnik MANGE i MAURER (1992). Brojani su: transparentni nelistićavi minerali, listićavi minerali, opaka zrna i litični fragmenti.

4.3.1. Priprema uzoraka

Prikupljene uzorke od kojih su neki bili mase i više kilograma trebalo je prvo mehanički obraditi kako bi se njima lakše manipuliralo i u konačnici došlo do željene teške frakcije. Prvi korak dezintegracije uzoraka bio je ručno usitnjavanje čekićem na centimetarske fragmente. Ti su fragmenti potom obrađivani laboratorijskom drobilicom do željenog promjera od oko 1mm. Suhim sijanjem odvojena je frakcija fragmenata od 1mm, koji se potom tretiraju 5% octenom kiselinom (CH_3COOH) opetovano kroz više tjedana kako bi se otopila karbonatna komponenta (cement). Rezidualna frakcija nakon što je sve ili većina karbonatnog sadržaja otopljena je potom mokro sijana običnom vodom kako bi se izdvojila frakcija veličine 63-125 μm koja je dalje korištena za separaciju teških minerala.

4.3.2. Separacija teških minerala

Uzorak je pomiješan sa otopinom natrijevog polivolframata ($\text{H}_2\text{Na}_6\text{O}_{40}\text{W}_{12}$; kratica SPT) te procesom centrifuge razdvojen na laku i tešku frakciju. Uzorci su zatim zaleđeni kako bi se lakše fizički odvojila teža frakcija s dna epruvete. Zaleđene frakcije su postepeno odleđene vodenom špricom i filtrirane kroz filter papir kako bi se izdvojili teški minerali.

4.3.3. Izrada mikroskopskih preparata

Mikroskopski preparati teške frakcije napravljeni su lijepljenjem minerala taljenim Kanada balzamom ($n = 1,538$) kao imerzijskim sredstvom. Kanada balzam nanesen je na predmetno stakalce te grijan do temperature taljenja na ploči za grijanje, nakon čega su na njega naneseni minerali teške frakcije koji su prije, a i nakon nanošenja na stakalce s Kanada balzamom bili ravnomjerno promješani iglom kako bi bila podjednaka zastupljenost svih vrsta minerala u preparatu. Na kraju se preparate dovršilo poklapanjem pokrovnim stakalcem i dodavanjem još kanada balzama po potrebi da se zatvore rubovi na kontaktu predmetnog i pokrovnog stakalca.

4.3.4. Determinacija teških minerala i brojanje zrna

Determinacija ili određivanje vrsta minerala u preparatu obavljena je analiziranjem polarizacijskim mikroskopom Leitz s i bez analizatora u ortoskopskim i konoskopskim uvjetima. Minerali su determinirani na temelju njihovih fizičkih i optičkih svojstava, kao što su: boja, pleokroizam, habitus zrna, šagren, kalavost, kut potamnjenja, interferencijska boja, interferencijska figura i kut izduženja uz pomoć priručnika Mange i Maurer (1992). Paralelno s determinacijom minerali su prebrojavani metodom brojanja duž trake (*ribbon counting*), na način da se uzorak analizirao u paralelnim vrpčama ili linijama u širini križa okulara na povećanju x16. Po uzorku je potrebno bilo izbrojati minimalno 350 minerala, dok je u postotku najviše trebalo determinirati i izbrojati transparentnih nelistićavih minerala, kao dijagnostičkih minerala. Determinirani minerali su upisivani u tablice, podijeljeni na: transparentne nelistićave minerale, listićave minerale, opaka zrna i fragmente stijena, pri čemu je udio transparentnih nelistićavih minerala kao deterministički najvažnije frakcije izražen sa 100%.

5. Rezultati

5.1. Petrografska analiza

Prilikom petrografske analize uzoraka određene su slijedeće značajke: sastav čestica, struktura i tekstura mikroskopskih preparata radi sedimentološke klasifikacije uzoraka i određivanje provenijencije klastičnog materijala. Klasifikacija je rađena prema FOLKU (1974).

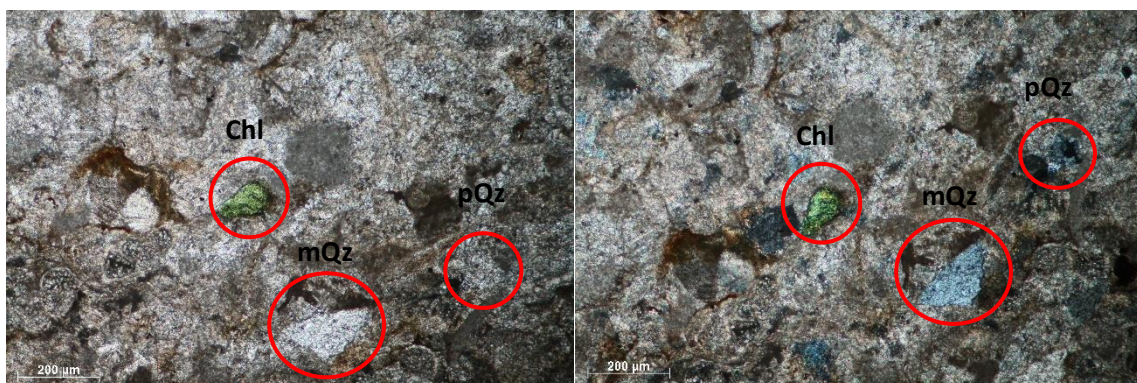
Uzorak 13-GC-03

Uzorak je sitnozrnati, klastpotporan i dobro sortiran (Slika 8). Pojedina zrna su radi male veličine često teško razlučiva. Kao glavni sastojci prisutni su karbonatni bioklasti, te u manjoj mjeri rekristalizirane karbonatne čestice koje nije moguće detaljnije odrediti. Karbonatne čestice su subhedralne, zaobljenih rubova. Također, velika količina karbonata primjetna je unutar matriksa. Udio siliciklastične komponente je nizak, procenjen na oko 5%. Detritični sastojci siliciklastične komponente se sastoje od monokristaliničnog kvarca, rožnjaka, čestica

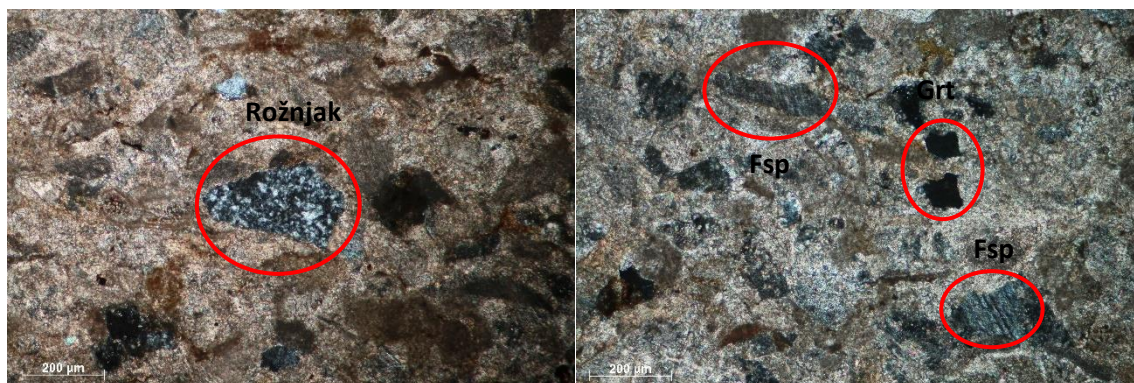
polikristaliničnog kvarca sa unduloznim potamnjenjem, te u manjoj mjeri minerala grupe feldspata, tinjaca i klorita (Slika 9 i Slika 10). Zrna kvarca su subhedralna, uglata s oštrim rubovima, dok su neka i slomljena. Prema svemu navedenom i s obzirom na značajan udio karbonatnih čestica, ovaj uzorak klasificiran je kao sitnozrnati, dobro sortirani kalkarenit.



Slika 8. Mikrofotografija uzorka 13-GC-03



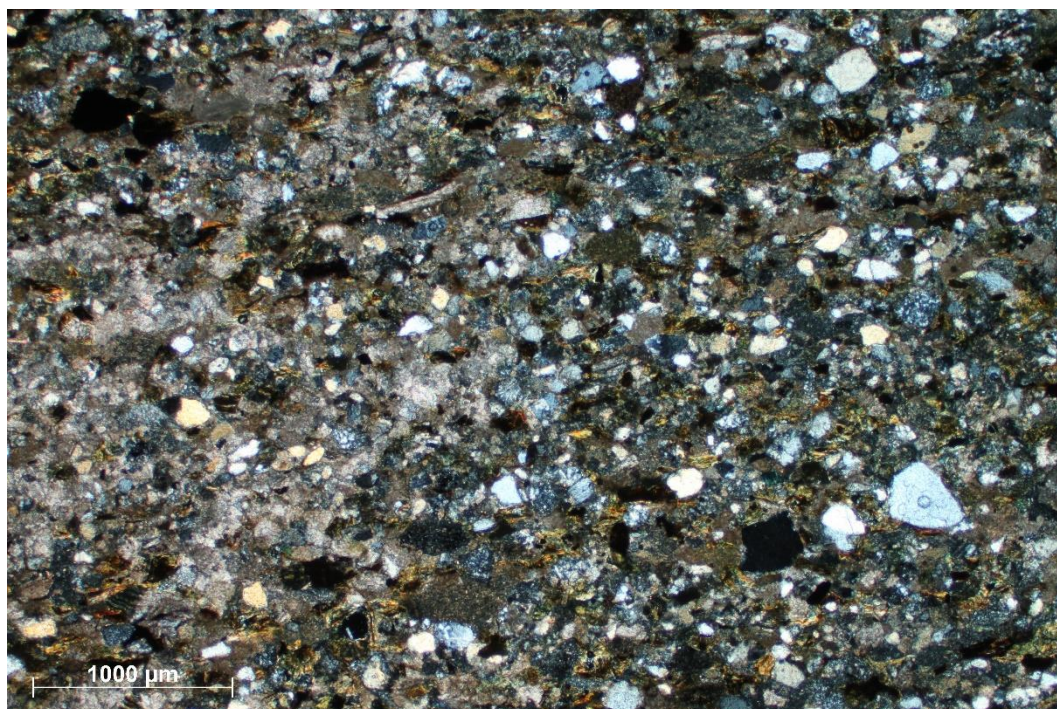
Slika 9. Mikrofotografija uzorka 13-GC-03: monokristalinični kvarc, polikristalinični kvarc s unduloznim potamnjenjem, klorit, s uključenim analizatorom



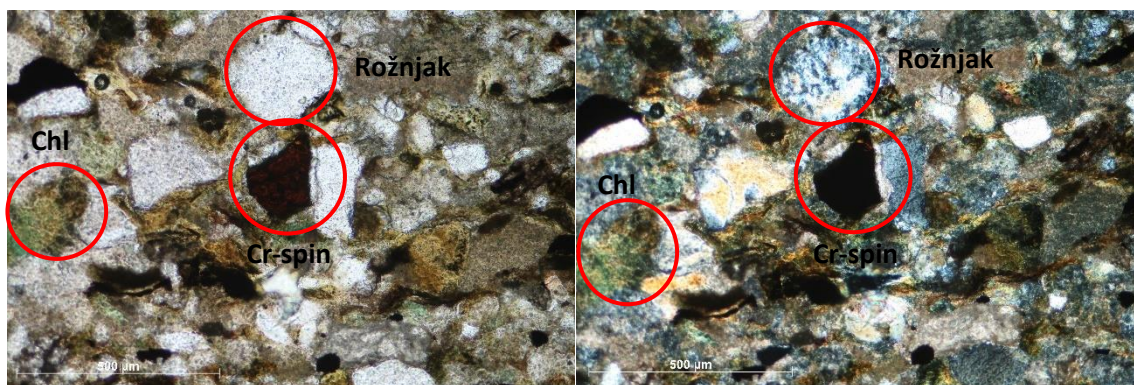
Slika 10. Mikrofotografija uzorka 13-GC-03: lijevo rožnjak, s uključenim analizatorom, desno feldspati i granati, s uključenim analizatorom

Uzorak 13-GC-05

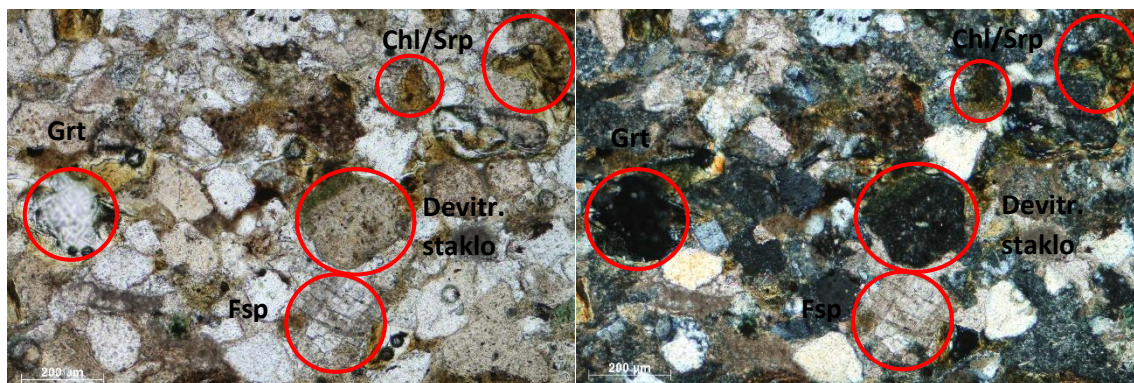
Uzorak je srednje do krupno zrnati, klastopotporan i dobro sortirani (Slika 11). U mikroskopskom preparatu uočeni su kvarc, litične čestice, rožnjak, minerali grupe feldspata (plagioklasi), Cr – spineli, apatit, granat i klorit (Slika 12). Od litičnih čestica izdvajaju se vrlo česti fragmenti sa serpentinitom i vulkanske čestice devitrificiranog stakla (Slika 13). Cr – spineli (Slika 12) imaju anhedralna zrna s oštrim rubovima, visok reljef, školjkasti lom, smeđe do smečkaste su boje, a s analizatorom su izotropni. Kloriti se javljaju u obliku nepravilnih zrna, ili rjeđe u obliku listića, niskog do srednje visokog reljefa, ponekad indigo – plave, a ponekad žuto – narančaste interferencijske boje. Apatit pokazuje slab dvolom, zaobljena, anhedralna bezbojna zrna, umjereno visok dok je interferencijska boja nebesko plava. Na kraju, granat dolazi u euhedralnim, nepravilnim ili zaobljenim zrnima te imaju vrlo visok reljef sa šagreniranom površinom (Slika 13). Bez analizatora su bezbojni s ružičasto – zelenkastim odsjajem dok su s uključenim analizatorom izotropni (tamni). Primijećen je manji udio karbonatne komponente (procenjen na oko 30%), prisutan kao rekristalizirane litične čestice i unutar matriksa. Ovaj uzorak klasificiran je kao srednje-krupnozrnati, dobro sortirani litoarenit.



Slika 11. Mikrofotografija uzorka 13-GC-05, s uključenim analizatorom



Slika 12. Mikrofotografija uzorka 13-GC-05: Cr – spinel, kloriti i rožnjak; slika lijevo bez analizatora, slika desno s uključenim analizatorom



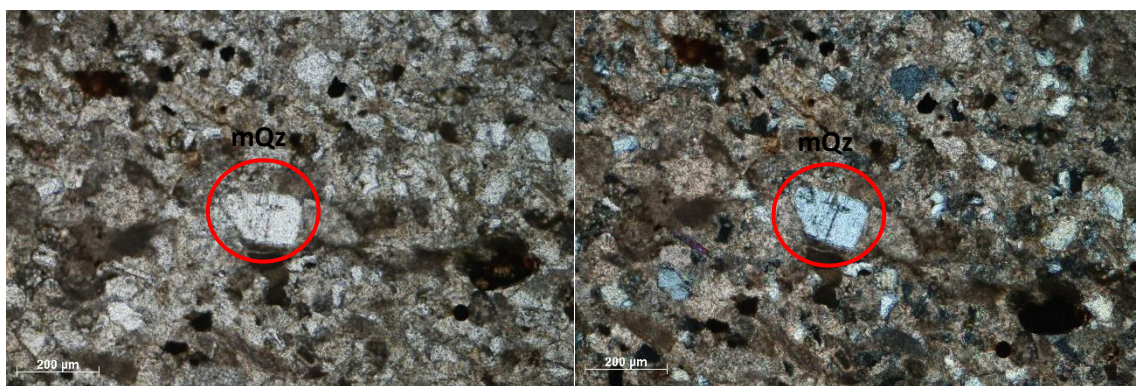
Slika 13. Mikrofotografija uzorka 13-GC-05: granati, kloriti, feldspati te litične čestice (serpentiniti i vulkanske čestice devitrificiranog stakla); slika lijevo bez analizatora, slika desno s uključenim analizatorom

Uzorak 13-GC-07

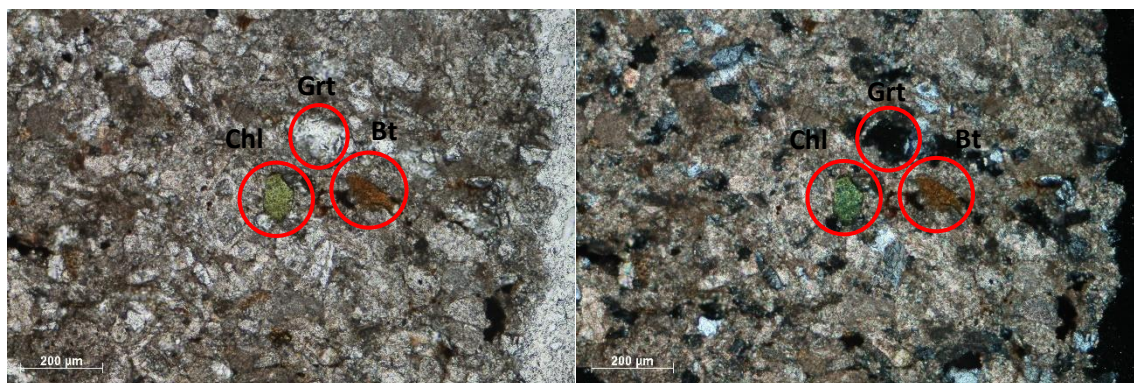
Uzorak je sitno do srednjezrnat, klastotporan i dobro sortiran (Slika 14). Glavni sastojci čine karbonatni bioklasti, te u manjoj mjeri rekristalizirane karbonatne čestice koje nije moguće detaljnije odrediti. Karbonatne čestice su subhedralne, zaobljenih rubova. Karbonat je primjetan unutar matriksa. Udio siliciklastične komponente je procenjen na oko 15-20%. Detritični sastojci siliciklastične komponente se sastoje od monokristaliničnog kvarca, rožnjaka, čestica polikristaliničnog kvarca, litične čestice agregata kvarca i muskovita (do sericita), te u manjoj mjeri minerala grupe feldspata, tinjaca, biotita, granata i krom spinela (Slika 15, 16 i 17). Zrna kvarca su subhedralna, poluzaobljena s pukotinama. Prema svemu navedenom i s obzirom na značajan udio karbonatnih čestica, ovaj uzorak klasificiran je kao sitno do srednjezrnati, dobro sortirani kalkarenit.



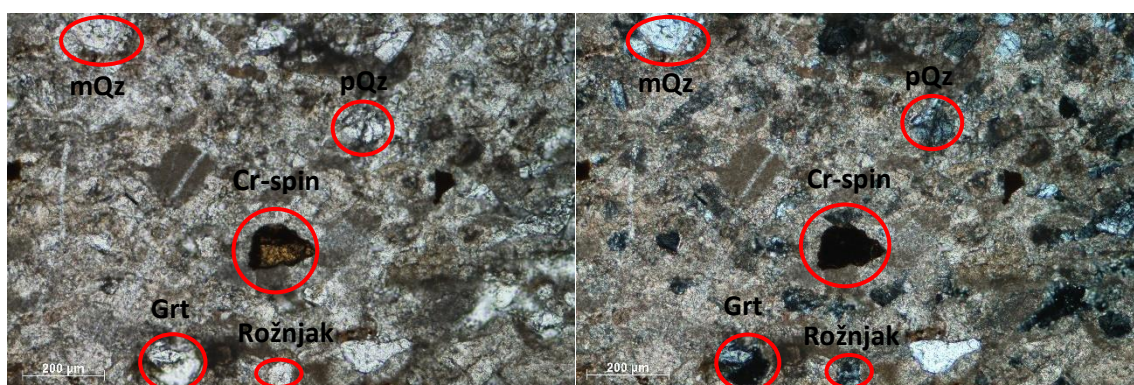
Slika 14. Mikroskopski preparat 13-GC-07, s uključenim analizatorom



Slika 15. Mikrofotografija uzorka 13-GC-07: monokristalitični kvarc, feldspati, tinjci; slika lijevo bez analizatora, slika desno s uključenim analizatorom



Slika 16. Mikrofotografija uzorka 13-GC-07: klorit, biotit, granat; slika lijevo bez analizatora, slika desno s uključenim analizatorom



Slika 17. Mikrofotografija uzorka 13-GC-07: krom spinel, granati, monokristalinični kvarc, polikristalinični kvarc, rožnjak; slika lijevo bez analizatora, slika desno s uključenim analizatorom

5.2. Kvantitativna analiza frakcije teških minerala

U Tablicama 1. i 2. te na Slici 18 prikazani su rezultati kvantitativne analize teških minerala sva tri uzorka (13-GC-03, 13-GC-05 i 13-GC-07). Vidljivo je da u svim uzorcima dominira velik broj opakih mineralnih zrna i čestica stijena. Također, u svim uzorcima od nelistićavih minerala teške frakcije prisutni su cirkon, turmalin, rutil, granati, Cr – spineli, epidot/zoisit i apatit. U manjim količinama prepoznati su limonit, amfiboli, pirokseni i titanit. Od listićavih minerala izdvaja se prisutnost filosilikata muskovita te ponegdje biotita i klorita.

Tablica 1. Sastav teške frakcije u analiziranim uzorcima (broj prebrojanih zrna). Lf – čestice stijena, Chl. Ms. Bt. – klorit, muskovit, biotit, Zrn – cirkon, Tur – turmalin, Rt – rutil, Grt – granat, Cr-Spl – kromni spinel, Sp – apatit, n.i. – neidentificirani, tablica svih minerala i drugih čestica u uzorku

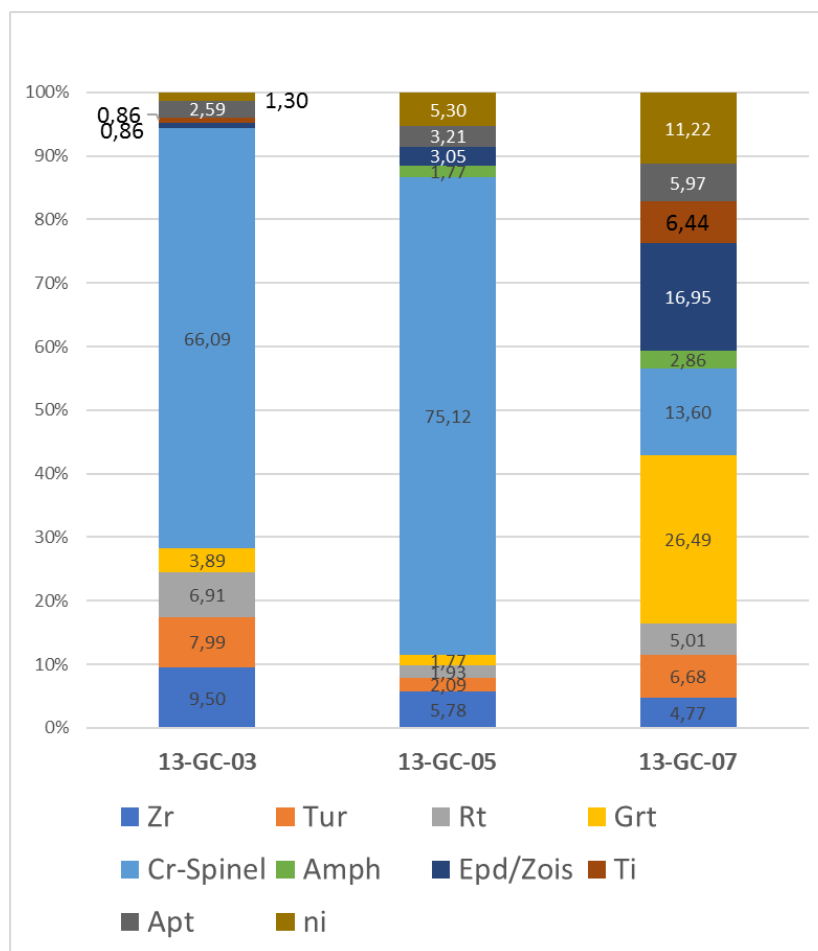
Uzorak	Teški minerali (n)				
	Opaki	LF	Chl/Bt/Ms	THM	Ukupno
13-GC-03	795	575	76	463	1909
13-GC-05	915	80	90	623	1708
13-GC-07	415	331	225	419	1390

Transparentni nelističavi teški minerali (n)										
Zr	Tur	Rt	Grt	Cr-Spinel	Amph	Epd/Zois	Ti	Apt	ni	Ukupno
44	37	32	18	306	0	4	4	12	6	463
36	13	12	11	468	11	19	0	20	33	623
20	28	21	111	57	12	71	27	25	47	419

Tablica 2. Sastav teške frakcije u analiziranim uzorcima (broj prebrojanih zrna). Lf – čestice stijena, Chl. Ms. Bt. – klorit, muskovit, biotit, Zrn – cirkon, Tur – turmalin, Rt – rutil, Grt – granat, Cr-Spl – kromni spinel, Sp – apatit, n.i. – neidentificirani, tablica svih minerala i drugih čestica u uzorku

Uzorak	Teški minerali (%)				
	Opaki	LF	Chl/Bt/Ms	THM	Ukupno (%)
13-GC-03	41,64	30,12	3,98	24,25	100
13-GC-05	53,57	4,68	5,27	36,48	100
13-GC-07	29,86	23,81	16,19	30,14	100

Transparentni nelističavi teški minerali (%)										
Zr	Tur	Rt	Grt	Cr-Spinel	Amph	Epd/Zois	Ti	Apt	ni	Ukupno
9,50	7,99	6,91	3,89	66,09	0,00	0,86	0,86	2,59	1,30	100
5,78	2,09	1,93	1,77	75,12	1,77	3,05	0,00	3,21	5,30	100
4,77	6,68	5,01	26,49	13,60	2,86	16,95	6,44	5,97	11,22	100



Slika 18. Stupičasti dijagram s prikazom postotka transparentnih nelistićavih minerala

Uzorak 13-GC-03

Dominiraju litični fragmenti i opaki minerali: od ukupnog broja izbrojanih zrna (100 %) 41,64 % otpada na opake minerale, 30,12 % na litične čestice, 3,98 % na listićave minerale (muskovit/biotit/klorit) dok 24,25 % zauzimaju transparentni nelistićavi teški minerali.

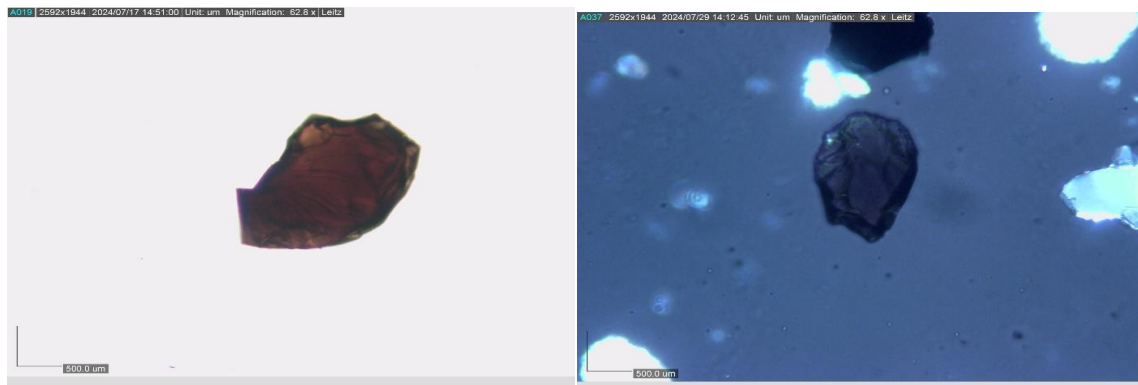
Od potonjih, najviše su prisutni Cr – spineli (66,19 %), cirkon (9,5 %), turmalin (7,99 %) i rutil (6,91 %). Cr – spineli (Slika 19) su visokog reljefa, zrna su nepravilna s oštrim rubovima, školjkastog loma, smeđe do smečkaste boje dok su s analizatorom izotropni.

Cirkoni (Slika 20) se mogu prepoznati po vrlo visokom reljefu s debelim crnim obrubom. Bez analizatora su prozirni dok su s uključenim analizatorom živih, vrlo sjajnih, interferencijskih boja.

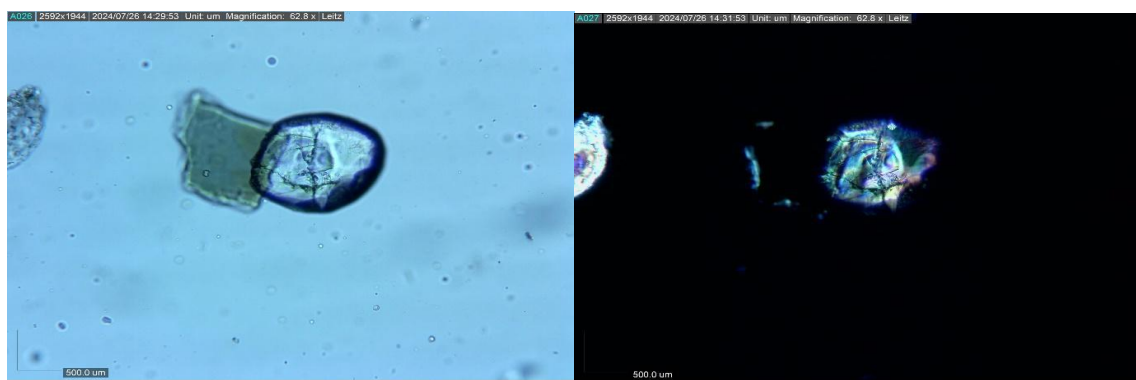
Turmalin je štapićastog habitusa sa zašiljenim rubovima, oštrim granicama i s visokim reljefom, ali slabije izraženim nego kod cirkona i granata. Bez analizatora zrna turmalina su zelenkasta dok su s analizatorom zonalno obojena ružičasto - plavo - zelenim interferencijskim bojama. Često pokazuju izraženi pleokroizam.

Rutil je prepoznatljiv po svojoj karakteristično jantarno smeđoj interferenciskoj boji i izraženim pleokroizmom, a zrna su najčešće nepravilna ili zaobljena. Od ostalih minerala teške frakcije još se javljaju granati i apatit, a u manjoj mjeri zastupljeni su epidot/zoisit i titanit.

Valja napomenuti ne zanemariv udio limonitnih zrna (1,99 % od ukupnog broja mineralnih zrna). Vidljiva su i smeđa zrna bez pleokroizma s jasno izaženom žuto - zelenom interferencijskom bojom (0,22 %).



Slika 19. Mikrofotografija uzorka 13-GC-03: Cr – spinel; slika lijevo bez analizatora; slika desno s analizatorom



Slika 20. Mikrofotografija uzorka 13-GC-03: cirkon; slika lijevo bez analizatora; slika desno s analizatorom

Uzorak 13-GC-05

Prevladavaju opaki minerali: od ukupnog broja izbrojanih zrna (100 %) zastupljeni su sa 53,57 %, dok su litične čestice sa 4,68 %, a listićavi minerali (muskovit/biotit/klorit) sa 5,27 %.

Teški minerali zauzimaju 36,48 % od ukupnog broja izbrojenih zrna. Najviše su prisutni Cr – spineli (75,12 %), cirkon (5,78 %), neidentificirana zrna (5,30 %), apatit (3,21 %), zoisit/klinozoisit (3,05 %), a potom granati (1,77 %), turmalini (2,09 %), rutil (1,93 %) i amfiboli (1,77 %). U manjoj mjeri zastupljeni su i minerali grupe piroksena i to rompski piroksen (ortopiroksen) – enstatit, te monokliniski (klinopiroksen) - diopsid. Cr – spineli, cirkon, turmalini i rutil identificirani su prema istim karakteristikama kao i u prethodnom uzorku.

Apatit je prepoznat prema umjereno visokom reljefu, slabom dvolomu, zaobljenim bezbojnim zrnima bez analizatora, dok je interferencijska boja nebesko plava zbog veće debljine zrna (Slika 21). Pleokroizam i kalavost nisu primijećeni.

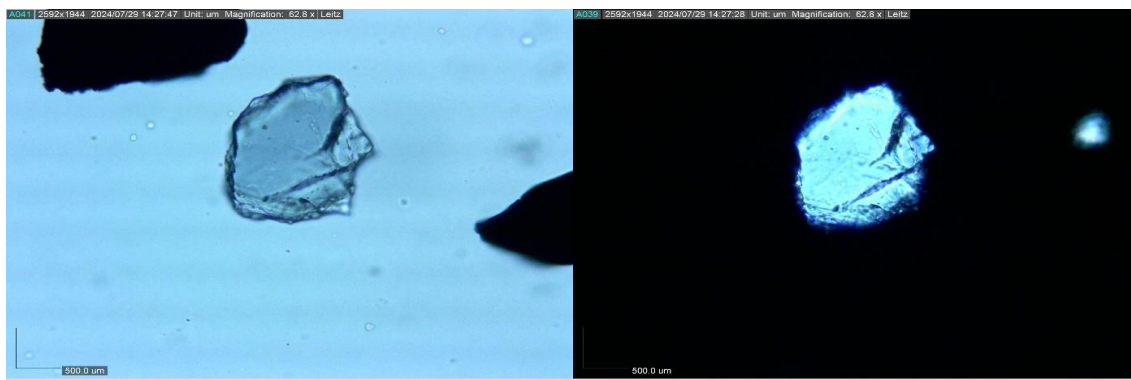
Zoisit/klinozoisit pojavljuju se u obliku kratkih prizmi, tankih, kutastih fragmenata, nekad zaobljeni s visokim reljefom, malog dvoloma. Prirodno su bezbojni ili jako rijetko ružičasti. Potamnjenje je paralelno. Karakteristične su indigomodre anomalne interferencijske boje (Slika 22).

Zrna granata su euhedralna, nepravilna ili zaokružena. Karakteristično imaju vrlo visok reljef s nagriženom površinom (Slika 23). Bez analizatora su bezbojni s ružičasto – zelenkastim odsjajem dok su s uključenim analiztarom izotropni (tamni).

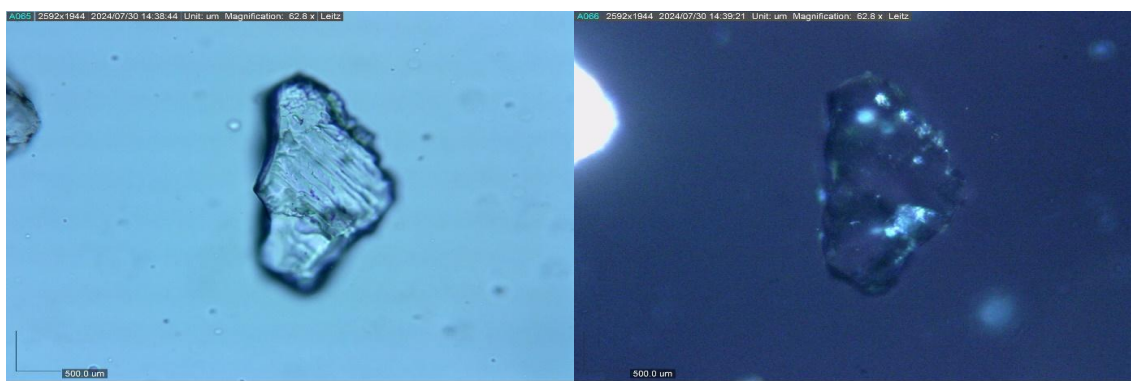
Od grupe amfibola prepoznati su hornblenda, glaukofan te tremolit/aktinolit. Zrna hornblende su prizmatska s amfibolskim klivažem, relativnom visokim reljefom, jakim bojama, najčešće plavo – zelena, zelena i smeđa. Karakterističan je izraziti pleokroizam, zonsko obojenje, interferencijske boje i koso potamnjenje (Slika 24). Glaukofan najčešće dolazi u obliku prizmi i izduženih zrna s klivažom i umjereno visokim reljefom. Blijedo lavandaste su boje, intenzivan pleokroizam u plavoj boji, iako ponegdje su vidljiva jače obojena zrna gdje su interferencijske boje prekrivene vlastitom (Slika 24). Konačno, tremolit/aktinolit dolazi u tankim, tankostupastim zrnima s tragovima trošenja. Zrna su bezbojna, ne pokazuju pleokroizam, umjereno visokog reljefa. Potamnjenje je koso. Interferencijske boje su sive, žute do narančaste.



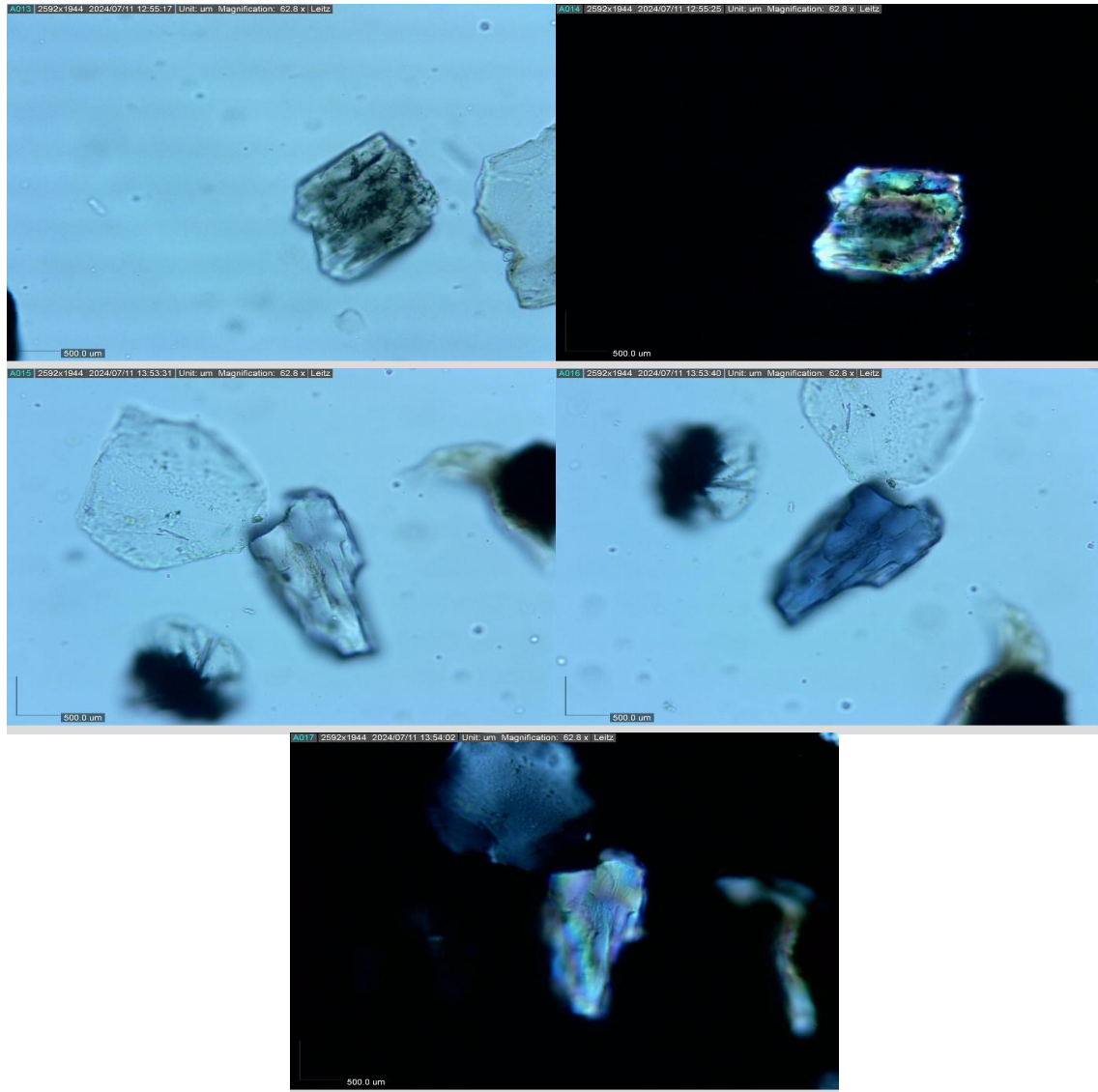
Slika 21. Mikrofotografija uzorka 13-GC-05: apatit; slika lijevo bez analizatora; slika desno s analizatorom



Slika 22. Mikrofotografija uzorka 13-GC-05: zoisit/klinozoisit; slika lijevo bez analizatora; slika desno s analizatorom



Slika 23. Mikrofotografija uzorka 13-GC-05: granat; slika lijevo bez analizatora; slika desno s analizatorom



Slika 24. Mikrofotografija uzorka 13-GC-05: amfiboli; slika lijevo gore - hornblenda bez analizatora; slika desno gore - hornblenda s analizatorom, slika sredina lijevo – glaukofan bez analizatora, slika sredina desno – glaukofan s karakterističnim plavim pleokroizmom, slika sredina dolje – glaukofan s analizatorom

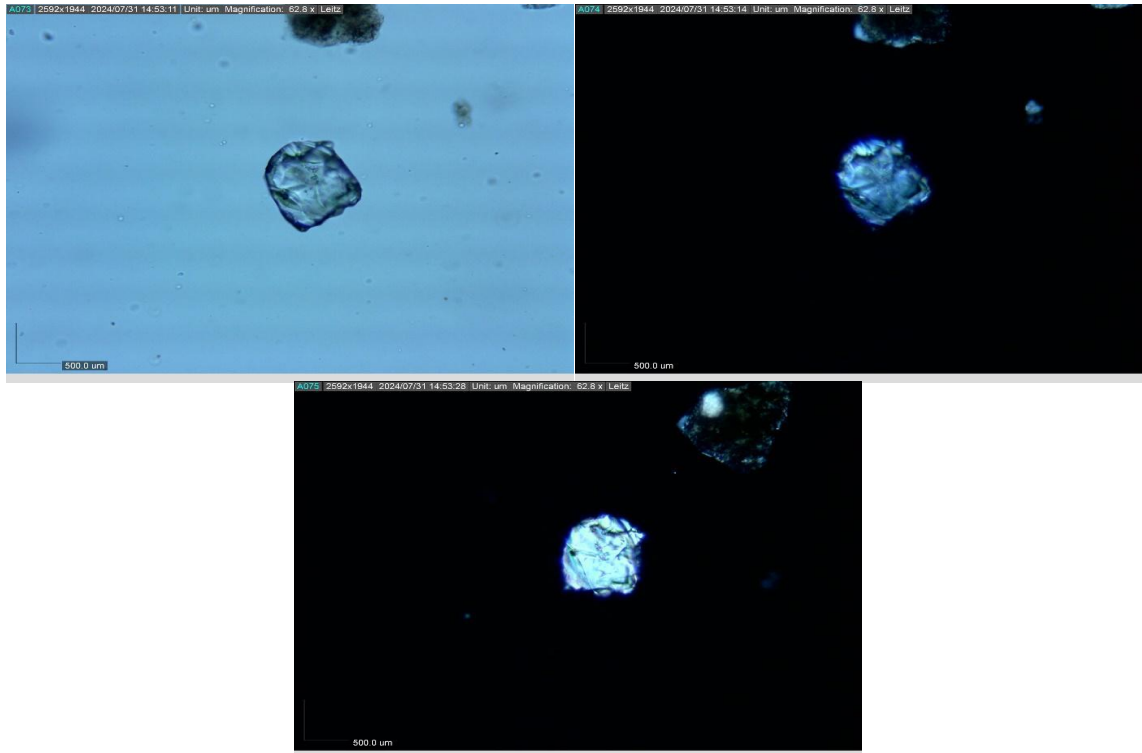
Uzorak 13-GC-07

U ovom uzorku najzastupljenija su zrna transparentnih nelistićavi minerala (30,14 %) i opakih minerala (29,86 %), potom slijede litični fragmenti (23,81 %) te listićavi minerali (muskovit/biotit/klorit; ukupno 16,19 %) od ukupnog broja izbrojanih zrna (100 %). Prisutan je i limonit s ukupno (1,58 %).

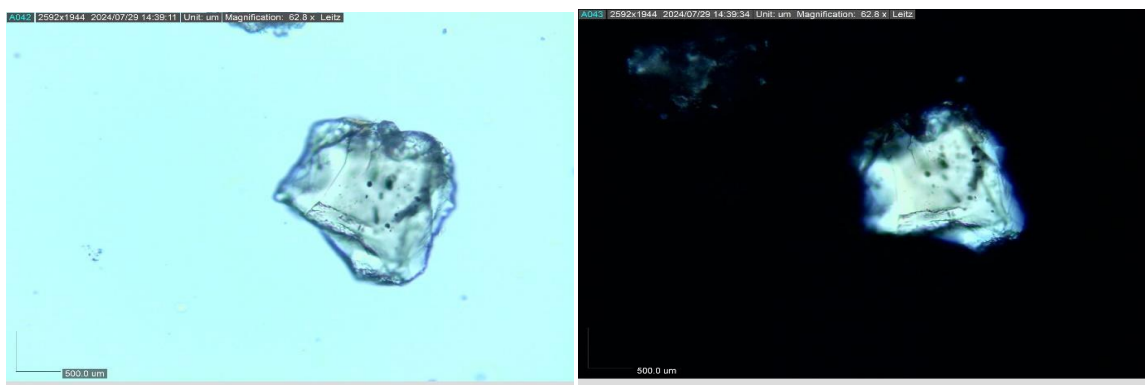
Od frakcije teških, nelistićavih minerala prepoznati su granati (26,49 %), epidot/zoisit (16,95 %), Cr – spinel (13,60 %), neidentificirana zrna (11,22 %), turmalin (6,68 %), titanit (6,44 %), apatit (5,96 %), rutil (5,01%), cirkon (4,77 %) te konačno amfiboli (2,86 %). Uz njih, u manjoj mjeri prisutni su i kijanit, staurolit (2,38 %), korund, topaz te vezuvijanit. Granati, epidot/zoisit, Cr – spineli, turmalini, apatit, rutil, cirkon te amfiboli identificirani su prema istim karakteristikama kao i u prethodnom uzorku. Od amfibola i u ovom uzorku prepoznati su hornblenda i glaukofan.

Mineralna zrna titanita (Slika 25) karakterizirana su nepravilnog ili zaobljenog habitusa, vrlo izraženog reljefa s crnim obrubima i šagreniranom površinom. Prepoznatljiv po anomalnim interferencijskim bojama – nebeskoplava do žuta. Potamnjenje je nepotpuno s čestim odsjajem (svjetlucanjem), slično kao i zoisit.

Staurolit se odlikuje nepravilnim, šiljastim zrnima, visokog reljefa i izraženog pleokroizma prepoznatljive žute boje (Slika 26). S uključenim analizatorom pokazuje bijele do žute interferencijske boje. Gdje su po površini zrna vidljive i inkluzije.



Slika 25. Mikrofotografija uzorka 13-GC-07: titanit; slika lijevo gore -bez analizatora; slika desno gore - s analizatorom položaj maksimalnog potamnjenja (anomalne interferencijske boje), slika dolje – s analizatorom položaj maksimalnog osvjetljenja



Slika 26. Mikrofotografija uzorka 13-GC-07: staurolit; slika lijevo – bez analizatora; slika desno s analizatorom

6. Rasprava

Prema MORTON i HALLSWORTH (1999) pojam provenijencija u svom najužem smislu odnosi se na litologiju, odnosno mineralni sastav izvorišnih stijena, čijim se trošenjem formirao detritusni klastični materijal u promatranoj stijeni. Međutim, u sedimentologiji, ovaj termin ustvari obuhvaća mnogo širi spektar čimbenika, uključujući ne samo litologiju, već i druge karakteristike izvorišnog područja klastičnog materijala poput reljefa ili klime (WELTJE i von EYNATTEN, 2004). Na temelju mineralnog sastava uzoraka i strukturnih karakteristika klastičnih sedimenata, provenijencijska analiza ima za cilj rekonstrukciju i interpretaciju cjelokupne geološke povijesti klastičnog sedimenta, od početne erozije izvorišnih stijena, preko transporta detritusnog materijala pa sve do konačnog taloženja, ali može uključivati i post diagenetski (MORTON i HALLSWORTH, 1999).

Predmet istraživanja prezentiranog u ovom radu bili su uzorci gornjokredno – paleogenskih klastita okolice Gackog (jugoistočna Bosna i Hercegovina) kako bi se dobila što potpunija slika o provenijenciji klastičnog materijala te odredilo radi li se o istom izvorišnom području za klastični materijal iz svih uzoraka. Uzorkovana su ukupno tri uzorka: dva od njih (GC-13-03 i GC-13-07) uzeta su južnije, u blizini jezera Desivoje (Ulinj) i Klinje, dok je uzorak GC-13-05 uzet sjevernije, u kanjonu rijeke Sutjeske. Prema OGK List Gacko (MIRKOVIĆ i sur. 1979) svi uzorci stratigrafski pripadaju u gornju kredu. Međutim, JOLOVIĆ i sur. (2016) prema mikrofosilnom sadržaju određuju starosti naslaga u sjevernoj zoni kao gornja jura - donja kreda, dok one južnije kao gornja kreda - paleocen. Prema tome, uzorak GC-13-05 pripada naslagama za koje je određena starost gornja jura - donja kreda (Vranduk formacija) dok uzorci GC-13-03 i GC-13-07 pripadaju naslagama datiranim u razdoblje paleocena (Ugar formacija).

U svrhu određivanja provenijencije, stratigrafske pripadnosti pojedinim jedinicama i rekonstrukcije paleogeografskih procesa provedena je petrografska analiza i analiza teških minerala, koja se danas smatra jednom od najvažnijih metoda u provenijencijskoj analizi, posebno za pješčenjake (MORTON i HALLSWORTH, 1999). Dobiveni rezultati biti će prodiskutirani u ovom poglavlju.

Uzorci 13-GC-03 i 13-GC-07 prema petrografskom sastavu razlikuju se od uzorka 13-GC-05 te su oni određeni kao sitno do srednjezrnati, dobro sortirani kalkareniti s više od 50 % detritičnih zrna karbonatnog sastava. S druge strane, uzorak 13-GC-05 uzorkovan u kanjonu rijeke Sutjeske, gornjo jurske – donjo kredne starosti (prema JOLOVIĆ i sur., 2016), određen je kao srednje do krupnozrnati, dobro sortirani litoarenit te on pokazuje veći udio kvarca, litičnih čestica i feldspata, s prisutnim karbonatnim intraklastima, međutim u primjetno manjoj mjeri (do 30 %) od druga dva uzorka. Već prilikom petrografske analize može se uočiti povećana količina zrna Cr – spinela i visoki udio serpentinitnih litičnih čestica. Cr – spineli mogu odlično indicirati iz koje stijene potječu njihova mineralna zrna. Oni su vrlo rezistentni na sve oblike trošenja te su česti sporedni minerali unutar ultrabazičnih magmatskih stijena kao i metamorfnih stijena čiji su protoliti bili ultramafit, osobito serpentiniti (MANGE i MAURER, 1992). Prisutstvo cirkona, turmalina, rutila i apatita, značajne količine kvarcnih zrna, kao i karbonatnih litoklasta sugerira da je izvorišno područje bilo sastavljeno i od drugih litologija, npr. kiselih magmatskih i metamorfnih stijena, te siliciklastičnih i karbonatnih sedimenata i rožnjaka.

Unutarnji Dinaridi dio su dinarsko-helenskog orogenog masiva kojeg je zahvatilo intenzivno tektonsko deformiranje na granici gornja jura-donja kreda kao posljedica obdukcije jurskog ofiolitnog melanža (današnji djelovi istočne i zapadne Vardarske ofiolitne zone) na istočnu granicu jadranske ploče, prilikom čega su se istaložile kredne transgresivne naslage, tako zvane „overstepping sediments“ ili post obdukcijski sedimentni pokrov. Transgresivne naslage donje krede sačinjene su od raznih sedimentnih stijena (terestričkih klastita, tranzicijskih sedimenata, plitkomorskih krupnozrnatih klastita i dubljevodnih marinskih sitnozrnatih klastita i karbonata). Mineralni sastav klastita u direktnoj je korelaciji s litologijom podinskih naslaga i naslaga u neposrednoj blizini. Ove naslage izdanjuju u područjima od više stotina kilometara širokih kontinuiranih sukcesija pa do manjih razmjera kao tektonske ploče ili olistoliti unutar tektonskih melangea (NIRTA i sur. 2020). Starije sedimentne sukcesije stratigrafski leže iznad ofiolita duž Dinarsko-Helenskog lanca. U području Žepče-Zavidovići-Maglaj (Bosna i Hercegovina; Slika 2), ofioliti su prekriveni krupnozrnatim flišem koji je sastavljen od plitkomorskih vapnenaca, blokova s faunom starosti titon-berijas i klastima kojima su ishodišne stijene bile ofiolitne i kontinentalne, uključujući granite gornjeg perma, koji prelazi u sukcesiju, sastava: bioklastični vapneneci, kalcitne breče i pelagički vapnenci starosti rani alb-kasni santon santona (JOVANOVIĆ, 1961; BLANCHET i sur., 1970, HRVATOVIĆ, 2006). Te su naslage u literaturi poznate kao „Pogari serija“ (JOVANOVIĆ,

1961), "Série de Maglaj" (BLANCHET i sur., 197.) ili "Pogari formacija" (HRVATOVIĆ, 2006), a NIRTA i sur. (2020) nazivaju ih „Pogari grupa“. Slične naslage mogu se naći i u sjevernoj Albaniji (GARDIN i sur., 1996) koje u baznom djelu sadrže veliki broj karbonatnih klastita.

Taloženjem kopnenih i plitkomorskih sedimenata na ofiolite, klastiti su se taložili ispred ofiolitne navlake u naboranoj, savijenoj udolini, koja je pak nastala kao posljedica navlačenja nakon obdukcije ofiolita. Starije flišne naslage starosti titon - berijas istaložene su diskordantno na kontinentalnom rubu Adrije što je slučaj na području cijelih Dinarida (NIRTA i sur., 2020). U Grčkoj te su flišne naslage poznate kao Beotski fliš (CLÉMENT, 1971; NIRTA i sur., 2015), dok u Središnjim Dinaridima kao Bosanski fliš (BLANCHET, 1966). Bosanski fliš izdanjuje duž jedinice Predkrš pravca pružanja SZ-JI (SCHMID i sur., 2008 s referencama), koja leži ispod Istočnobosanske-Durmitorske jedinice, na koju su navučeni ofioliti zapadnog Vardara (CHARVET, 1978).

Bosanski se fliš sastoji od donje litostratigrafske jedinice, starosti titon-valangij (BLANCHET, 1966, 1968, CHARVET, 1967, CADET, 1968, RAMPNOUX, 1969) sve do apta (CADET i SIGAL, 1969, CHARVET, 1978, MIKES i sur., 2008), a sastavljena je od siliciklastičnih naslaga - Vranduk formacija. Na Vranduk formaciju naliježu klastične karbonatne naslage starosti donji alb do mastriht - Ugar formacija (MIKES i sur., 2008 s referencama), a po nekim autorima (JOLOVIĆ i sur., 2016) ova formacija proteže se i u paleocen.

Istraživanjem provenijencije stijena Vranduk formacije na području sjeverno od Sarajeva određeno je da su izvorišne naslage iz obdukcijских ofiolita, kiselih granita, erodiranih kontinentalnih područja, grebena i različitih facijesa karbonatne platforme, koja nastaje tek u kasnijem baremu (MIKES i sur., 2008). Sličnog izvora taložnih stijena se primjećuje u Pogar grupi, a karakteriziran je bazalnom klastičnom sukcesijom (BLANCHET i sur., 1970). U petrografskim uzorcima Vrandučke formacije MIKES i sur. (2008) navode da, osim obilnog kvarca te manjeg djela karbonata, litične čestice imaju izvor iz stijena ofiolitnog melanža poput serpentiniziranih bazičnih do ultrabazičnih stijena, izmijenjene fragmente bazalta, rožnjaka i škriljavaca. Osim ofiolita, primjetan je i manji udio zrna čije su izvorište metamorfiti niskog stupnja (metapeliti), a izvor kontinentalnog detritusa (karbonatnih zrna) su vjerojatno paleozojski, permo trijaski nisko do vrlo nisko metamorfozirani peletni sediment smješteni na Jadranskoj ploči. To potvrđuju i kemijske analize cirkona, turmalina i većine granata čiji su

sastavi bogati s kemijskim elementima Fe i Mn (MIKES i sur., 2008). Prisutstvo veće količine kvarca i fragmenata metamorfnih stijena unutar Vranduk formacije ukazuje na prisutstvo izvorišta u razdoblju rane krede, u kojem su podinske naslage ofiolita bile izložene. Metoda „Fission track“ provedena na mineralu cirkonu iz siliciklastičnog detritusa Vranduk formacije ukazuje na starost hlađenja izvornog područja u donjoj kredi (MIKES i sur., 2008.), što nam pak govori da su već bili istaloženi i izdignuti dijelovi jedinica kontinentalnog ruba Jadranske ploče ubrzo nakon završetka obdukcijskih tektonskih procesa.

S druge strane, drugačiji uvjeti taloženja primjetni su u gornjokredno - paleocenskoj Ugar formaciji, a karakterizirani su povećanim unosom detritusa karbonatnih stijena, drastičnim smanjenjem siliciklastičnog materijala, posebice Cr-spinela. Iako se i u naslagama Vrandučke formacije mogu naći karbonatna zrna, ona su u Ugar formaciji dominantna te se razlikuju od onih iz Vrandučke formacije, ponajviše po svom karakteru i izvoru (MIKES i sur., 2008). Prema DIMITRIJEVIĆ (1982), CSONTOS i sur. (2003), SCHMID i sur. (2008) taloženje Ugar formacije odvijalo se na deformiranu Vranduk formaciju iznad diskordantne površine, što ukazuje na deformacije i involviranost Vranduk formacije u napredujuću navlaku prije ranog alba.

U uzorcima 13-GC-03 i 13-GC-07 jasno je uočljiv znatno viši udio karbonatne komponente što je u skladu sa gore spomenutim karakteristikama Ugar formacije uočenim u drugim dijelovima Dinarida. Uzorak 13-GC-03 sadrži relativno visoki udio Cr-spinela u sastavu teške frakcije, koji potencijalno potječe iz prisutnih ofiolitnih masiva u izvorišnom području, ili predstavlja reciklirani materijal iz ranije tektonizirane jedinice Vrandučkog fliša. Međutim, niski udio siliciklastične komponente sugerira da te jedinice nisu bile zastupljene u velikoj količini u izvorišnom području. Omjer minerala poput cirkona, turmalina, rutila i granata prema Cr-spinelu je znatno veći u uzorku 13-GC-07. Cirkoni, turmalini i rutili, zajedno sa kvarcnim zrnima i uočenim litičnim česticama sastavljenim od kvarca i tinjaca, su potencijalno materijal pretaložen iz starijih sedimentnih i niskometamorfnih jedinica, kao i iz magmatskih jedinica paleozojsko-mezozojske serije srednjobosansko-durmitorske navlake. Granati mogu dolaziti u velikom broju geoloških sredina, u sedimentnim stijenama kao detritus dominiraju almandin i spessartin te grossular i andradit (MANGE i MAURER, 1992). Almandin također tipično dolazi u stijenama srednjeg do visokog stupnja metamorfizma nastalim regionalnom metamorfozom peletnih sedimenata. Spessartin dominantno dolazi u granitnim pegmatitima, međutim može se javljati i u skarnovima i škriljancima. Prema MIKES i sur. (2008) upravo su almandin i spessartin dominantna vrsta granata unutar serije Bosanskog

fliša, ali i serije Dinaridskog ofiolitnog melanža. Viši udio navedenih minerala i litičnih čestica potencijalno ukazuje na veću zastupljenost litologija asociranih sa jedinicama u podlozi ofiolita, tj. paleozojsko-mezozojskim jedinicama Adrija mikroploče. Potencijalno odražava kompresijsku tektoniku koja je zahvatila istraživano područje krajem krede i nastavila se u paleogenu kao rezultat kolizije Europskih i Afričkih kontinentalnih elemenata (VAN UNEN i sur., 2019).

7. Zaključak

Na temelju svega obrađenog u ovom radu može se zaključiti sljedeće:

- 1) Promatranim uzorcima starost je određena prema JOLOVIĆ i sur. (2016) pa je tako za uzorke 13-GC-03 i 13-GC-07 procijenjeno da su paleocenske starosti, tj pripadaju ekvivalentu Ugar formacije, dok je za uzorak 13-GC-05 procijenjeno da je gornjojurske do donjokredne starosti, tj pripada Vranduk formaciji.
- 2) Petrografska analiza pokazala je da su uzorci 13-GC-03 i 13-GC-07 sitno do srednjezrnati dobro sortirani kalkareniti, dok je uzorak 13-GC-05 srednje do krupnozrnati dobro sortirani litoarenit. Detritični sastojci siliciklastične komponente uzoraka 13-GC-03 i 13-GC-07 se sastoje od monokristaliničnog kvarca, rožnjaka, čestica polikristaliničnog kvarca sa unduloznim potamnjenjem te u manjoj mjeri minerala grupe feldspata, tinjaca i klorita. Dominantna karbonatna komponenta u navedenim uzorcima je većim djelom zastupljena bioklastima, rijedim rekristaliziranim litoklastima, te karbonatnim matriksom. Detritični sastojci siliciklastične komponente uzoraka 13-GC-05 se sastoje od kvarca, litičnih čestica, rožnjaka, minerala grupe feldspata (plagioklasi), rijetkih Cr – spinela, apatita, granata i klorita. Od litičnih čestica izdvajaju se vrlo česti fragmenti sa serpentinitom i vulkanske čestice devitrificiranog stakla. Karbonatna komponenta u uzorku 13-GC-05 je zastupljena rijetkim karbonatnim litoklastima i karbonatnim matriksom.
- 3) U teškoj frakciji uzorka 13-GC-03, među prozirnim nelistićavima mineralima najzastupljeniji su Cr – spineli (66,09 %), cirkon (9,5%), turmalin (7,99 %) i rutil (6,91 %). U uzorku 13-GC-07 najzastupljeniji su granati (26,49 %), epidot/zoisit (16,95 %), Cr – spinel (13,60 %) i turmalin (6,68 %). U uzorku 13-GC-05 najzastupljeniji su Cr – spineli (75,12%), cirkon (5,78 %), apatit (3,21 %) i zoisit/klinozoisit (3,05 %).
- 4) Prema petrografskom sastavu i sastavu teške frakcije uzorka 13-GC-05 može se zaključiti da je izvorišno područje za gornjojurske – donjokredne klastične naslage bilo sastavljeno od ofiolitnih masiva i njihove podloge. Sastav uzoraka 13-GC-03 i 13-GC-07 ukazuje da su u paleocenu i dalje bili prisutni ofioliti u izvorišnom području, ili je

materijal bio recikliran iz tada već tektoniziranih donjokrednih sedimenata. U paleocenu se primjećuje veći doprinos detritusa iz karbonatnih litologija i jedinica u podlozi ofiolita, tj. paleozojsko-mezozojskim jedinica Adria mikroploče. To potencijalno odražava kompresijsku tektoniku koja je zahvatila istraživano područje krajem krede i nastavila se u paleogenu kao rezultat kolizije Europskih i Afričkih kontinentalnih elemenata.

8. Literatura

ADAMS A.E., MACKENZIE W.S., GUILFORD C. (1984): Atlas of sedimentary rocks under the microscope. Longman Scientific & Technical, London, 104.

AUBOUIN, J., BLANCHET, R., CADET, J. P., CELET, P., CHARVET, J., CHOROWICZ, J., COUSIN, M. i RAMPNOUX, J. P. (1970): Essai sur la géologie des Dinarides. Bull. Soc. géol. France sér. 7, XII(6), 1060–1095.

BARRIER, E., VRIELYNCK, B., BROUILLET, J. F. i BRUNET, M. F. (2018): Paleotectonic Reconstruction of the Central Tethyan Realm. Tectonono-Sedimentary-Palinspastic maps from Late Permian to Pliocene. Commission for the Geological Map of the World, Pariz, 21 str.

BLANCHET, R. (1966): Sur l'âge tithonique-éocénacé d'un flysch des Dinarides internes en Bosnie: le flysch de Vranduk (Yougoslavie). Compte Rendu sommaire des Séances de la Société géologique de France 10, 401–3.

BLANCHET, R. (1968): Sur l'extension du flysch tithonique-éocénacé en Bosnie centrale (Yougoslavie). Compte Rendu sommaire des Séances de la Société géologique de France 3, 97–8.

BLANCHET, R., CADET, J.-P., CHARVET, J., RAMPNOUX, J.-P. (1969): Sur l'existence d'un important domaine de flysch tithonique-crétacé inférieur en Yougoslavie: l'unité du flysch bosniaque. Bulletin de la Société Géologique de France, 11(7), 871–880.

BLANCHET, R., CADET, J.-P., CHARVET, J. (1970): Sur l'existence d'unités intermédiaires entre la zone du Haut-Karst et l'unité du Flysch Bosniaque, en Yougoslavie: la sous-zone Prékarstique. Bulletin de la Société Géologique de France, 12(7), 227–236.

CADET, J.P. (1968): Sur l'âge de flyschs de la haute vallée de la Neretva (région de Ulog, Bosnie Yougoslavie). Compte Rendu sommaire des Séances de la Société géologique de France 4, 118–20.

CADET, J.P. i SIGAL, J. (1969): Sur la stratigraphie et l'extension du flysch éocénacé en Bosnie Hercegovine méridionale. Compte Rendu sommaire des Séances de la Société géologique de France 2, 52–3.

CADET, J. P. (1978): Essai sur l'évolution alpine d'une paléomarge continentale: les confins de la Bosnie-Herzégovine et du Monténégro (Yougoslavie). Société Géologique de France., 83 str

CHARVET, J. (1967): Sur un jalon de flysch tithonique-éocène au Nord de Sarajevo (Bosnie). Compte Rendu sommaire de la Société géologique de France 8, 371–2.

CHARVET, J. (1978): Essai sur un orogène alpin: géologie des Dinarides au niveau de la transversale de Sarajevo (Yougoslavie). Publications de la Société géologique du Nord 2, 1–554.

CLÉMENT, B. (1971): Découverte d'un flysch éocène en Béotie (Grèce continentale). Comptes Rendus de l'Académie des Séances de Paris 272, 791–2.

CSONTOS, L., GERZINA, N., HRVATOVIĆ, H., SCHMID, S., I TOMLJENović, B. (2003): Structure of the Dinarides: a working model. Annales Universitatis Budapestinensis, Sectio Geologica 35, 143–44.

DECELLES, G.P. i GILES, A.K. (1996): Foreland basin systems. Basin Research, 8, 105–123.

DERCOURT, J., GAETANI, M., VRIELYNCK, B., BARRIER, E., BIJU-DUVAL, B., BRUNET, M. F., CADET, J. P., CRASQUIN, S. i SANDULESCU, M. (2000): Atlas Peri-Tethys, paleogeographical maps, Pariz, 303 str.

DIMITRIJEVIĆ, M., PANTIĆ, S., RADOIČIĆ, R., STEFANOVSKA, D. (1968): Litostratigrafski i biostratigrafski stubovi mezozoika u oblasti Gacko-Sutjeska-Drina. Vesnik Ser.A., 26, 39-117.

DIMITRIJEVIĆ M. (1982): Dinarides: an outline of the tectonics. Earth Evolution Sciences 1, 4–23.

DRAGIČEVIĆ I., VELIĆ I. (2002): The Northerastern Margin of the Adriatic Platform, Geologica Croatica, 55/2, 185-232, Zagreb.

FOLK, R.L. (1974): Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Publishing Co. Austin, 170 P.

FUCHS, T. (1890): Tertiärformation (Notizen). Annalen des k. k. Naturhistorischen Hofmuseums, 5(2), 84–88.

GARDIN, S., KICI, V., MARRONI, M., MUSTAFA, F., PANDOLFI, L., PIRDINI, A., I XHOMO. A., (1996): Litho- and biostratigraphy of the Firza Flysch, ophiolite Mirdita Nappe, Albania. *Ofioliti* 21, 47–54.

GOLIJEVIĆ A., MALBAŠIĆ V. (2019): Geotechnical Terrain Models and Types of Instabilities in the Durmitor Flysch Complex, *Materials and Geoenvironment* 66(1)

GORIČAN, Š., ĐAKOVIĆ, M., BAUMGARTNER, P.O., GAWLICK, H.-J., CIFER, T., DJERIĆ, N., HORVAT, A., KOCJANČIĆ, A., KUKOČ, D. i MRDAK, M. (2022): Mesozoic basins on the Adriatic continental margin – a cross-section through the Dinarides in Montenegro. *Folia Biologica et Geologica*, 63(2), 85–150.

HAUER, F. V. (1880): *Geologische Karte von Österreich-Ungarn. Aufnahmen der k.k. geologischen Reichsanstalt*, Verlag v. Alfred Hölder, Beč

HAVELKA, V. (1905): Einige geologische Beobachtungen über das Gacko und seine Umgebung. *Verhandlungen der geologischen Reichsanstalt*, 5, 113–118.

JOLOVIĆ, B., ČORIĆ, S., TOHOLJ, N., MITROVIĆ, D. (2016): The Paleocene sediments of the Durmitor flysch (The Republic of Srpska, Bosnia and Hercegovina). *Geološki Glasnik* 37 New Edition 5, 1-36.

JOVANOVIĆ, R. (1961): Contribution to better understanding of domain and Mesozoic facies of „Internal Dinaride Zone“. In *NR BiH, III Kongres geologa Jugoslav, Titograd*, pp. 149–76.

MACKENZIE W.S., ADAMS A.E., (1994): *A Colour Atlas of Rock and minerals in Thin Section*. J.Wiley, 192 p.

MANGE, M.A., MAURER, H.F.W., (1992): *Heavy Minerals in Colour*. Chapman and Hall, London

MIKES, T., CHRIST, D., PETRI, R., DUNKL, I., FREI, D., BÁLDI-BEKE, M., REITNER, J., WEMMER, K., HRVATOVIĆ, H. i EYNATTEN, H. (2008): Provenance of the Bosnian Flysch. *Swiss J. Geosci.*, 101, 31–54.

MIRKOVIĆ, M., PAJOVIĆ, M., KALEZIĆ, M. (1979): *Osnovna geološka karta SFRJ M 1:100 000. List Gacko*. Savezni geološki institut, Beograd

- MOJIČEVIĆ, M. i VLAHINIĆ, K. (1969): Razvoj klastičnih sedimenata mezozoika u jednom dijelu Dinarida od Gacka do Banja Luke. *Geološki glasnik*, 13, 169–178.
- MOJSISOVICS, E. V., TIETZE, E. i BITTNER, A. (1879): Geologische Übersichtskarte von Bosnien-Hercegovina. Aufnahmen der k.k. geologischen Reichsanstalt, Beč.
- MORTON, A.C. i HALLSWORTH, C.R. (1999): Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones.– *Sediment. Geol.*, 124, 3–29.
- NIRTA, G., MORATTI G., PICCARDI, L., MONTANARI, D., CATANZARITI, R., CARRAS, N., I PAPINI, M. (2015): The Boeotian flysch revisited: new constraints on ophiolite obduction in central Greece. *Ophioliti* 40, 107–23.
- NIRTA, G., ABERHAN, M., BORTOLOTTI, V., CARRAS, N., MENNA, F. i FAZZUOLI, M. (2020): Deciphering the geodynamic evolution of the Dinaric orogen through the study of the “overstepping” Cretaceous successions. *Geol. Magaz.*, 157(8), 1238–1264.
- PLAYTON, T., JANSON, X. i KERANS, C. (2010): Carbonate slopes. Urednici: JAMES, N. R. i DALRYMPLE, R. W. *Facies 4. Geological Association of Canada, St John's, Newfoundland*, 449 – 476.
- RAMPNOUX, J.,P. (1969): A propos du flysch du „Durmitor“ (Monténégro, Yougoslavie). *Compte Rendu sommaire des Séances de la Société géologique de France* 2, 54–5.
- SCHMID, S.M., BERNOULLI, D., FÜGENSCHUH, B., MATENCO, L., SCHUSTER, R., SCHEFER, S., TISCHLER, M., USTASZEWSKI, K. (2008): The Alpine-Carpathian-Dinaridic orogenic system: Correlation and evolution of tectonic units. *Swiss J. Geosci.*, 101,139–183.
- SCHMID, S.M., FÜGENSCHUH, B., KUONOV, A., MATENCO, L., NIEVERGELT, P., OBERHÄNSLI, R., PLEUGER, J., SCHEFER, S., SCHUSTER, R., TOMLJENović, B., USTASZEWSKI, K., VAN HINSBERG, D. (2020): Tectonic units of the Alpine collision zone between Eastern Alps and western Turkey, *Journal Pre-proof, Gondwana Research*
- SCHOLLE, P.A. (1979): Constituents, Textures, Cements and Porosities of Sandstones and Associated Rocks, *American Association Petroleum Geologists Memoir* 28, 201 p.
- SIMIĆ, V., ČUBRILOVIĆ, V., MIKINČIĆ, V., JOVANOVIĆ, R., PAVLOVIĆ, M. i PROTIĆ, M. (1939): *Geološka – pregledna karta Bosne i Hercegovine 1:200 000, VI šestina: Mostar, Sarajevo.*

VAN UNEN, M., MAŢENCO, L., NADER, F. H., DARNAULT, R., MANDIĆ, O., DEMIR, V. (2019): Kinematics of foreland-vergent crustal accretion: Inferences from the Dinarides evolution. *Tectonics* 38. doi: [org/10.1029/2018TC005066](https://doi.org/10.1029/2018TC005066).

VLAHINIĆ-ĐEKIĆ, K. (1961): Prilog poznavanju gornjeg lijasa kod Gacka. *Geološki glasnik*, 5, 97–105.

VLAHOVIĆ, I., TIŠLJAR, J., VELIĆ, I., MATIČEC, D. (2005): Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: Paleogeography, main events and depositional dynamics. *Palaeogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 220, 330–360.

VLAHOVIĆ, I., MANDIĆ, O., MRINJEK, E., BERGANT, S., ČOSOVIĆ, V., DE LEEUW, A., ENOS, P., HRVATOVIĆ, H., MATIČEC, D., MIKŠA, G., NEMEC, W., PAVELIĆ, D., PENCINGER, V., VELIĆ, I. I VRANJKOVIĆ, A. (2012): Marine to continental depositional systems of Outer Dinarides foreland and intra-montane basins (Eocene-Miocene, Croatia and Bosnia and Herzegovina). *Journal of Alpine geology*, 54, 401–466.

WÄHNER, F. (1890): Juraformation (Notizen). *Annalen des k. k. Naturhistorischen Hofmuseums*, 5(2), 89–90.

WELTJE, G.J. i VON EYNATTEN, H. (2004): Quantitative Provenance Analysis of Sediments: Review and Outlook. *Sedimentary Geology*, 171, 1-11.

IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Ja, Antonio Jozipović, student/ica Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, s prebivalištem na adresi Jurja Oršića 9, 10290 Zaprešić, OIB 81200152913,

JMBAG 0119028814, ovim putem izjavljujem pod materijalnom i kaznenom odgovornošću da je moj završni/diplomski/doktorski rad pod naslovom: Sastav i provenijencija pješčenjaka iz kredno-paleogenskih naslaga okolice Gackog (Bosna i Hercegovina), isključivo moje autorsko djelo, koje je u potpunosti samostalno napisano uz naznaku izvora drugih autora i dokumenata korištenih u radu.

U Zagrebu, 10.9.2024.



Potpis