Sastav i porijeklo kvartarnih sedimenata Bilogore

Zdelar, David

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:062438

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Geološki odsjek

David Zdelar

Sastav i porijeklo kvartarnih sedimenata Bilogore

Diplomski rad

Zagreb, 2018.

Temeljna dokumentacijska kartica

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno – matematički fakultet
Geološki odsjek Diplomski rad

Sastav i porijeklo kvartarnih sedimenata Bilogore

David Zdelar

Horvatovac 102a, 10000 Zagreb, Hrvatska

Na Bilogori su uzeti uzorci pijesaka iz triju lokaliteta koji se nalaze na prostorno različitim dijelovima gorja. Cilj ovog istraživanja bio je odrediti sastav pijeska i rekonstruirati porijeklo klastičnog materijala koji izgrađuje kvartarne sedimente Bilogore. Mikroskopskom analizom dobiveni su kvantitativni podaci o udjelu teških minerala i opisi glavnih detritičnih čestica pijesaka na lokalitetima iz mjesta Cabuna koje se nalazi u jugoistočnom dijelu Bilogore, iz mjesta Hampovica koje se nalazi u središnjem dijelu gorja i lokalitetu Mučna Reka koje se nalazi na sjeverozapadnom dijelu Bilogore. Prema postotnom udjelu teških minerala može se zaključiti da uzorci iz Cabune i Hampovice potječu iz Alpa i da su donešeni paleo Dravom, dok uzorak Mučna Reka potječe iz okolnih planina.

(46 stranica, 27 slika, 42 literaturnih navoda, jezik izvorni: Hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj geološkoj knjižnici

Ključne riječi: teški minerali, Bilogora, provenijencija, polarizacijski mikroskop

Voditelj: dr.sc. Borna Lužar-Oberiter, v. pred.
Ocjenitelji: Borna Lužar Oberiter v. pred. dr.sc.
Marijan Kovačić izv. prof. dr.sc.
Ervin Mrinjek doc. dr. sc.
Rad prihvaćen: 09.02.2018.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geology

Graduation Thesis

Composition and provenance of Quarternary sediments from Mt. Bilogora

David Zdelar

Three samples of sand from separate parts of Mt. Bilogora have been taken for analysis. The goal of this resarch was to determine the composition of sand and to reconstruct the provenance of the clastic material that makes up the Quaternary sediments of Bilogora. Microscopic analysis was used to derive quantitative heavy mineral data and description of main detrital components of sands from Cabuna (located on the southeastern part of Mt. Bilogora), Hampovica (located in the central part of the mountain) and Mučna Reka on the northwest. According to the percentages of heavy minerals, it can be concluded that the samples from Cabuna and Hampovica originate from the Alps and that they have been enacted by paleo-Drava River system, while sand from Mučna Reka originates from surrounding mountains.

(46 pages, 27 figures, 42 references, original: in Croatian)

Thesis deposited in the Central Geological Library

Key words: heavy minerals, Bilogora, provenance, polarizing microscope

Supervisor: dr.sc. Borna Lužar-Oberiter
Reviewers: Borna Lužar Oberiter v. pred. dr.sc.
Marijan Kovačić izv. prof. dr.sc.
Ervin Mrinjek doc. dr. sc.
Thesis accepted: 09.02.2018.

Table of Contents

1. UVOD 1
2. LITERATURNI PREGLED GEOLOGIJE BILOGORE 2
2.1 Geološki smještaj 2
2.2 Geomorfologija Bilogore 5
2.3 Litostratigrafija neogenskih i kvartarnih naslaga u istraživanom području 6
2.3.1 Prvi taložni megaciklus (donji do srednji miocen), Moslovačka gora formacija 9
2.3.2 Drugi taložni megaciklus (kasni miocen), Ivanić Grad, Kloštar Ivanić i Bilogora formacija .. 10
2.3.3 Treći taložni megaciklus (pliocen i kvartar), Lonja formacija 11
3. ODREĐIVANJE PROVENANCIJE SEDIMENATA POMOĆU TEŠKIH MINERALA 12
4. METODE I MATERIJALI 16
4.1 Uvod 16
4.2 Uzorkovanje za analizu teških minerala 16
4.3 Priprema preparata teških minerala 17
4.5 Priprema petrografskih preparata umjetno cementiranih pijesaka 20
4.6 Analiza petrografskih preparata umjetno cementiranih pijesaka 20
4.7 Terenski dio 21
5. REZULTATI 26
5.2 Opis teških minerala u analiziranim uzorcima 28
5.3 Opis detritičnih čestica u analiziranim uzorcima 35
6. RASPRAVA 39
7. ZAKLJUČAK 40
8. LITERATURA 41

1. UVOD

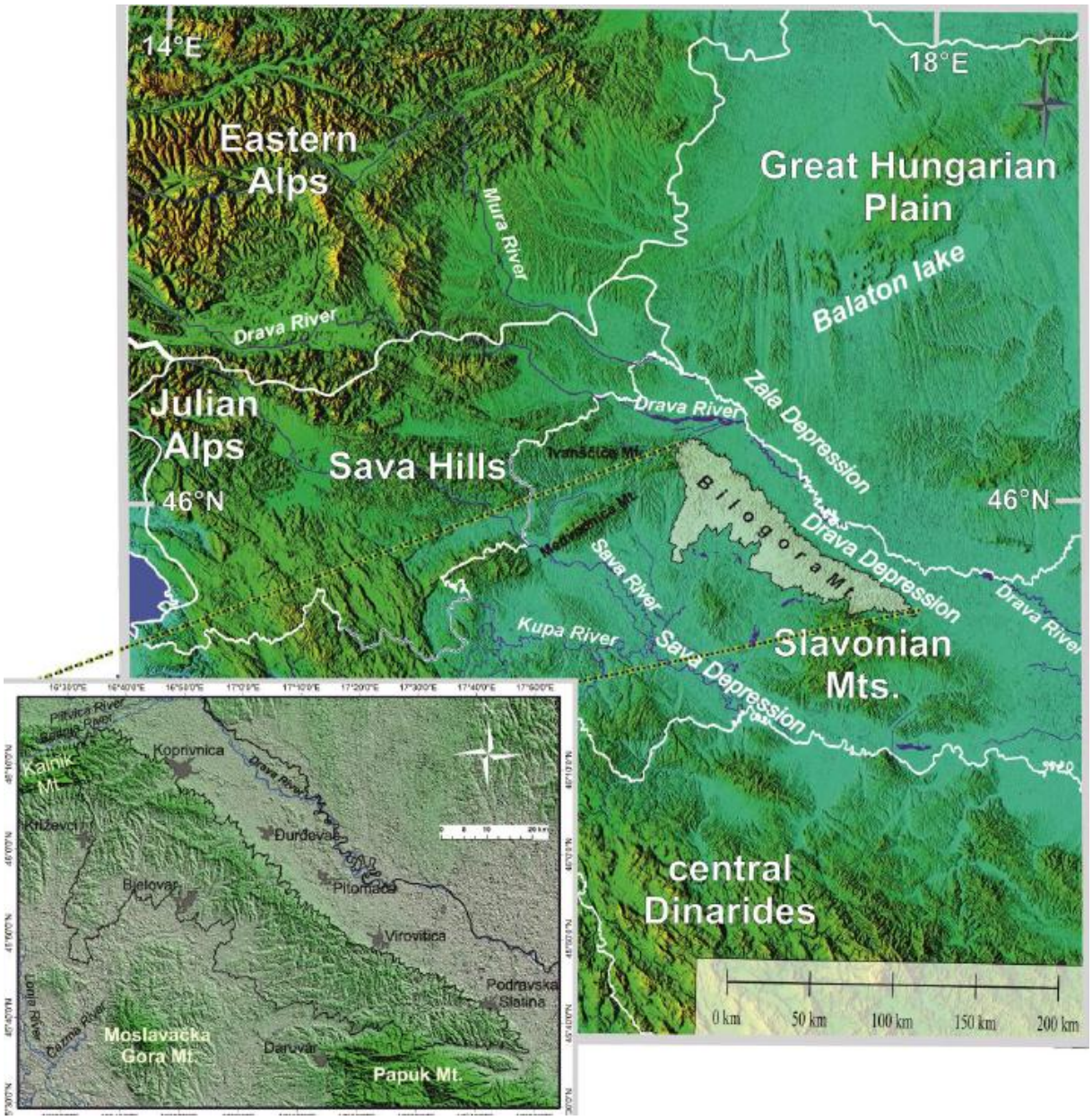
Bilogora je mlada plio-kvartarna morfostruktura. *S*astoji se od pliocenskih i kvartarnih klastičnih sedimenata koji prekrivaju neogenske i pred-neogenske podinske stijene. S visinom lokalnog reljefa između 120 i 140 m i kutom nagiba padina između 5° i 12°, Bilogora ima blagi reljef. Izvor velikih količina neogenskog i kvartarnog klastičnog materijala u tom dijelu Panonskog bazena primarno se povezuje s okolnim planinskim lancima (Dinaridima, Alpama, Karpatima), koji su se uzdigli prije i tijekom formacije Panonskog bazena. Isto tako povezuje se i s lokalno uzdignutim planinama i gorama unutar Panonskog bazena (Kovačić i Grizelj 2006), te je cilj odrediti izvorišni materijal proučavanih kvartarnih sedimenata Bilogore.

Cilj ovog istraživanja je rekonstruirati porijeklo klastičnog materijala koji izgrađuje kvartarne sedimente Bilogore. Proučeni su uzorci pijesaka sa lokaliteta iz mjesta Cabuna koje se nalazi u jugoistočnom dijelu Bilogore, iz mjesta Hampovica koje se nalazi u središnjem dijelu gorja i lokaliteta Mučna Reka koji se nalazi na sjeverozapadnom dijelu Bilogore. Tako su obuhvaćeni prostorno različiti dijelovi gorja. Kvantitativnom analizom teških minerala i opisom čestica iz analiziranih pijesaka pokušala se odrediti provenijencija materijala. Korišten je polarizacijski mikroskop i priručnik Mange i Maurer (1992) za identifikaciju pojedinih mineralnih zrna da bi se dobio postotni udio teških minerala u uzorcima. Teški minerali su sekundarni minerali koji imaju visoku gustoću i sastojak su siliciklastičnih sedimenata. Zrna teških minerala rijetko se susreću u primjetnoj količini u prepraratima pješčenjaka; njihova totalna količina rijetko iznosi više od 1% stijene. Međutim, radi vrlo karakterističnih i ograničenih parageneza pojedinih vrsta teških minerala analiza njihovih udjela često omogućuje uvid u provenijenciju klastičnih sedimenata.

2. LITERATURNI PREGLED GEOLOGIJE BILOGORE

2.1 Geološki smještaj

Moje istraživanje i uzorci fokusirani su na područje Bilogore, brežuljkastom terenu koji se nalazi u sjeverozapadnom dijelu Panonskog bazena. Nalazi se duž sjeverozapadnog ruba Dravske depresije (Slika 1). Vezana uz Dravsku depresiju i „paleo Dravski“ riječni sustav, Bilogora je bila tektonski uzdignuta tijekom pliocena i kvartara (Prelogović, 1974; Prelogović i Velić, 1988, 1992; Matoš, 2014). Bilogora je više od 90 km dug i oko 10 km širok brežuljkasti teren s prosječnom visinom od 240 m i najvećim vrhom na visini od 309 m. Predstavlja glavnu drenažnu podjelu između Dravske i Savske depresije. Prirodne geografske granice gorja Bilogora (Slika 1) su na sjeveru i sjeverozapadu rijeka Drava, Ivanščica i Kalnik, na jugu i jugoistoku nalaze se Slavonske planine (Papuk, Psunj, Ravna Gora), dok je na jugozapadu granica gorja definirana Moslovačkom gorom.



Slika 1. Bilogora i regionalno geomorfološko područje (preuzeto iz Matoš, 2014)

Tektonska evolucija Bilogore povezuje se s Dravskom depresijom, jednim od najvećih miocensko-kvartarnih bazena unutar Panonskog bazena (Prelogović i sur., 1998; Lučić i sur., 2001; Saftić i sur., 2003; Matoš i sur., 2016, 2017). U Hrvatskom dijelu Panonskog bazena, tektonska inverzija i strukturna reaktivacija započela je tijekom kasnog ponta, i dovela je do lokalne reversne reaktivacije postojećih normalnih rasjeda, formacije kilometarskih bora, pozitivne cvjetne strukture i bore povezane s postojećim rasjedima (Csontos i Nagymarosy, 1998; Prelogović i sur., 1998; Tomljenović i Csontos, 2001; Matoš, 2014). Početak tektonskog uzdizanja Bilogore dogodio se tijekom pliocena, a započelo je prije otprilike 5.33 Ma (Matoš i sur., 2016, 2017). Pliocenske naslage se mjestimično pojavljuju u obliku pijeska i lapora taloženih u slatkovodnom jezeru Panon (Velić i sur., 2002; Saftić i sur., 2003). S druge strane, kvartarne naslage koje pokrivaju većinu Bilogore taložene su u močvarnim i aluvijalnim okolišima (Galović i sur., 1981; Korolija i sur., 1986; Hećimović, 1987; Marković, 1986; Šimunić i sur., 1990; Lučić i sur., 2001; Saftic i sur., 2003).

Kako je Dravskom drenažnom sustavu izvorišno područje Alpskog porijekla (Mutić, 1975), istaloženi šljunak i pješčana sekvenca bogata je metamorfnim, vulkanskim i kvarcitnim fragmentima. Pored utjecaja paleo Drave na transport sedimenata i njihovo taloženje u području Bilogore, taloženje dobro sortiranog pijeska, silta, lesa (Hećimović, 1987) tijekom kasnog pleistocena i holocena, pokazuje razmjenu glacijalnih i interglacijalnih sedimentacijskih uvjeta u Bilogori (Babić i sur., 1978; Galović i sur., 1981; Korolija i sur., 1986; Hećimović, 1987; Marković, 1986; Šimunić i sur., 1990). Recentna sedimentacija u području Bilogore povezana je s ispiranjem materijala s padina i taloženjem aluvijalnog pijeska i šljunka povezanih s recentnim tokovima (Babić i sur., 1978; Galović i sur., 1981; Korolija i sur., 1986; ; Hećimović, 1987; Marković, 1986; Šimunic i sur., 1990).

Različite brzine uzdizanja dovele su do formiranja krajolika i njegovo najnovije pomlađivanje, koje se prema Babić i sur. (1978) i Hećimović (1987) dogodilo tijekom srednjeg pleistocena prije 0.78 – 0.12 milijuna godina. Relativno uzdizanje je u skladu sa strukturnim položajem najstarijih pleistocenskih naslaga Dravske terase, koje su identificirane na visinama između 160 i 309 metara u sjeverozapadnom dijelu Bilogore (Babić i sur., 1978). Kvartarna neotektonika u području Bilogore potkrijepljena je brojnim potresima (Herak i sur., 2009).

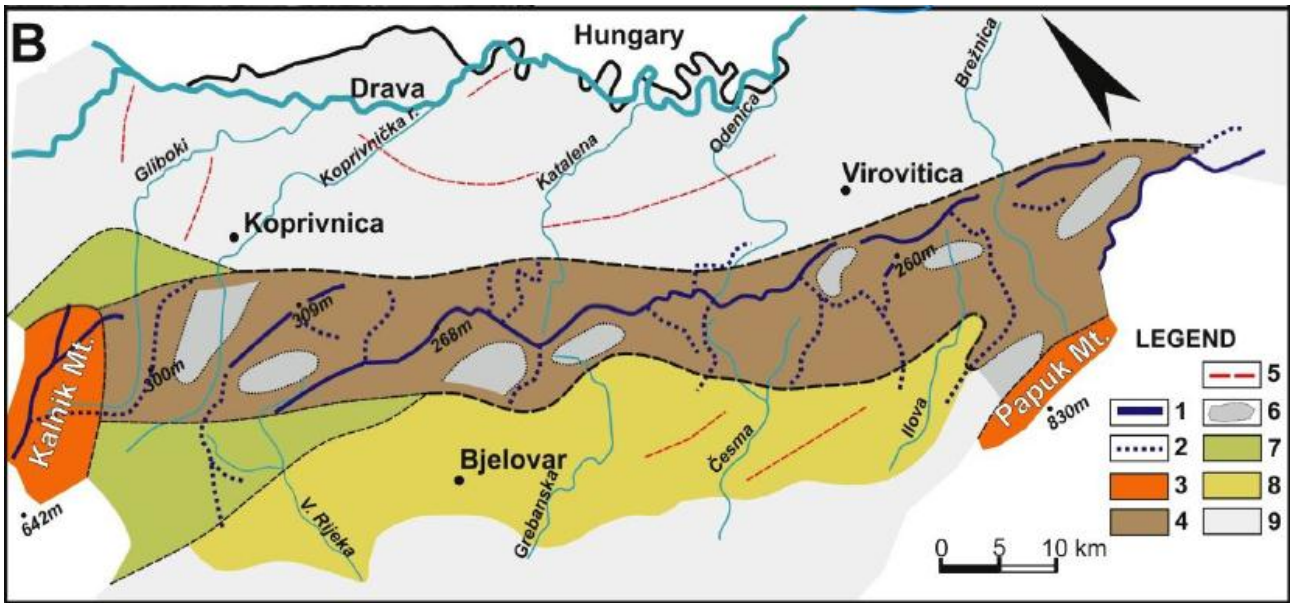
2. 2 Geomorfologija Bilogore

Bilogora je mlada plio-kvartarna morfostruktura. Smještena je u jugozapadnom dijelu Panonskog bazena, i proteže se duž jugozapadni rub Dravske depresije. Relativna visina reljefa je ispod 250 metara, što Bilogoru opisuje kao brežuljkasti teren koji se sastoji od asimetričnih padina u kojima se vide fluvijalni tokovi.

Prema Prelogović i sur. (1969) i Prelogović (1974), morfostruktura Bilogore je podijeljena na tri morfostrukture; sjeverozapadnu, centralnu i sjeveroistočnu jedinicu. Najintenzivnija tektonska aktivnost zabilježena je u sjeverozapadnoj jedinici duž sjeveroistočne padine, posebice u blizini Koprivnice, istočno od Bjelovara i južno od Virovitice.

Bilogora je također karakterizirana značajnom asimetrijom u topografiji. Sjeveroistočne padine su strmije s istaknutim morfološkim prijelazom u Dravsku ravnicu. Nasuprot tome, sjeverozapadne padine su blaže nagnute i postepeno prelaze u ravnicu bez oštrog morfološkog prijelaza (Crkvenčić i sur., 1974; Bešenić, 2006).

Bilogora je karakterizirana brežuljkastom topografijom i najvećim vrhom od 309 m. Prema Matoš i sur. (2016) asimetrija padina i konveksan profil toka mogao bi biti rezultat heterogenog tektonskog uzdizanja duž neotektonskih aktivnih rasjeda, s višim tektonskim uzdizanjem duž sjeveroistočne padine Bilogore. To je rezultiralo drenažnom mrežom u kojoj dominiraju koluvijalni tokovi (Bonacci i Okoruš, 2010; Matoš i sur., 2016). Današnja drenažna mreža u istraživanom području pokazuje paralelne i dendritične tokove s višestrukim promjenama tokova, koji prema Matoš i sur. (2016) mogu biti povezani sa zasjecima i erozijom u Bilogori uslijed tekonske aktivnosti u području.



Slika 2. Osnovne geomorfološke jedinice Bilogore (preuzeto iz Matoš, 2014),

1-drenažna podjela između Dravskog i Savskog bazena, 2-manja drenažna podjela, 3-konture Kalnika i Papuka, 4-morfostruktura Bilogore, 5-grebene linije, 6-manje depresije, 7-platoi, 8-jugozapadne padine, 9-ravnice

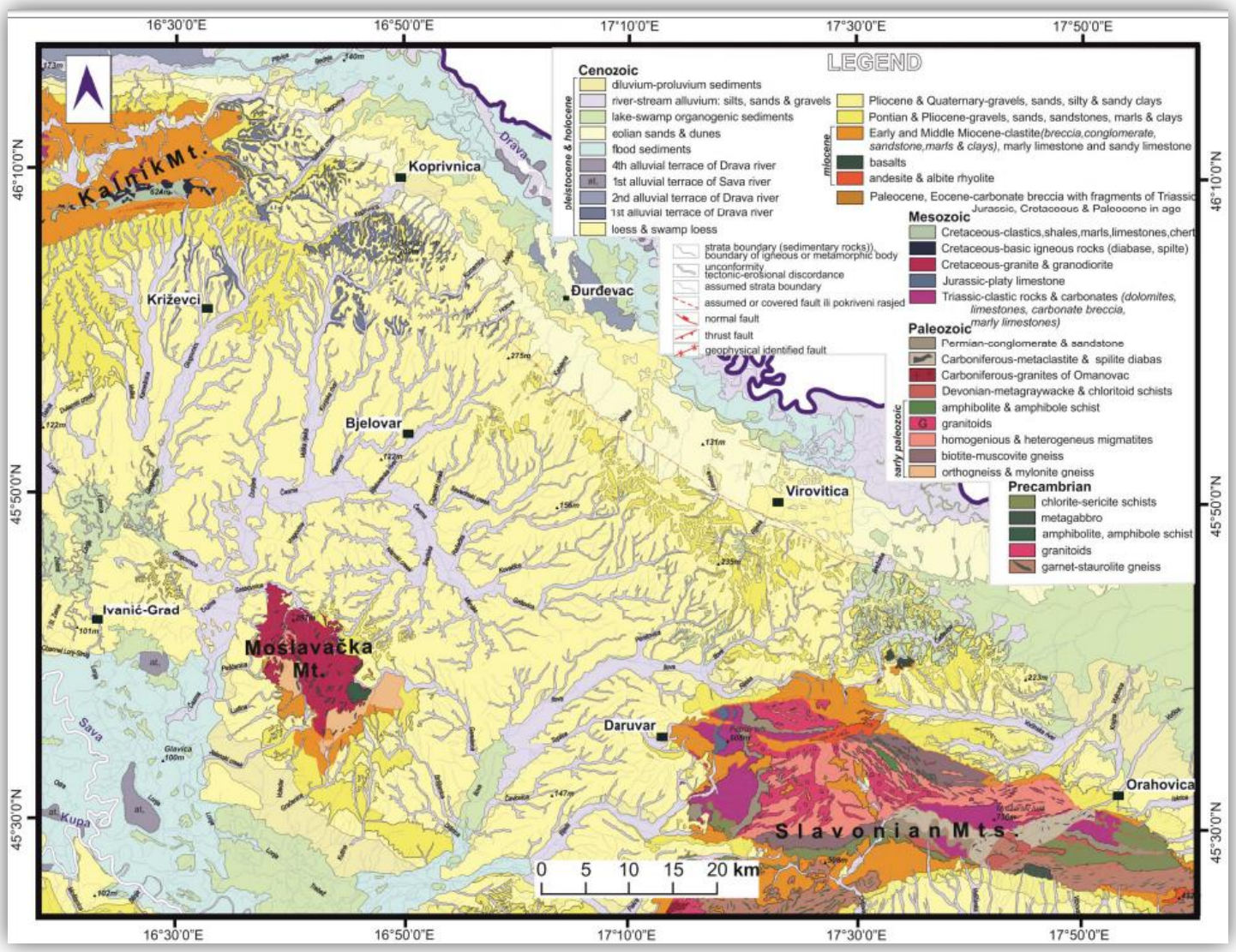
2.3 Litostratigrafija neogenskih i kvartarnih naslaga u istraživanom području

Od oligocena do srednjeg miocena, područje Panonskog bazena periodično je bilo dio centralnog Paratetisa koji je postojao u paleogenu i neogenu. Tijekom izraženih badenskih transgresija Panonski bazenski sustav bio je dio centralnog Paratetisa, koji je dvaput bio spojen s Mediteranskim morem i Indopacifičkim oceanom, te su oboje dijelili sličnu vodenu biotu (Royden i Horvath, 1988; Rögl, 1996, 1999; Lučić i sur., 2001; Kovač i sur., 2003; Saftić i sur., 2003; Kovač i sur., 2007). S kasnijim isprekidanim dovodom morske vode i konačnim zatvaranjem na kraju srednjeg miocena prije otprilike 10.5 Ma, centralni Paratetis postao je izolirano jezero Panon, što je rezultirano smanjenjem saliniteta i brakičnim okolišem s istaknutim endemskim vrstama (Lučić i sur., 2001).

Varijacije u paleo reljefu i distribucija vodene mase u Centralnom Paratetisu vezana je uz globalnu eustatsku promjenu morske razine i promjene u tektonskoj evoluciji Panonskog bazena. To je počelo u ranom miocenskom otvaranju i ekstenziji Panonskog bazena. Formacija Centralnog Paratetisa uslijedila je nakon termalne subsidencije, prouzročeći produbljavanje ostatka Centralnog Paratetisa, odnosno jezera Panon. Na kraju, pliocensko i

kvartarno uzdizanje i strukturalna inverzija povezana s povećanim donosom sedimenta iz regionalnih i lokalnih izvorišta transformiralo je jezerski okoliš u kontinentalni tijekom kvartara (Royden i Horvath, 1988; Rögl, 1996; Lučić i sur., 2001; Pavelić, 2001; Kovač i sur., 2003; Saftić i sur., 2003, Cvetković, 2013).

Područje Bilogore sastoji se od pliocenskih i kvartarnih klastičnih sedimenata (Slika 3) koji prekrivaju neogenske i pre-neogenske podinske stijene (Prelogović i Velić, 1988, 1992; Saftić i sur., 2003; Mrinjek i sur., 2006). Pre-neogenske podinske stijene, sastavljene od karbonata, magmatskih i metamorfnih kompleksa mezozojske i paleozojske starosti ponegdje pokrivene mlađom kredom, nisu izložene na površini u području Bilogore (Slika 3). Te stijene identificirane su brojnim dubokim bušotinama smještenim unutar Dravske depresije i Bjelovarske subdepresije i na Bilogori, i smatra se da odgovaraju istom tipu stijena koje se nalaze na obližnjim planinama Kalniku, Medvednici, Moslovačkoj gori i Slavonskim planinama (Lučić i sur., 2001; Babić i sur., 2002; Saftić i sur., 2003; Malvić i Đureković, 2004).

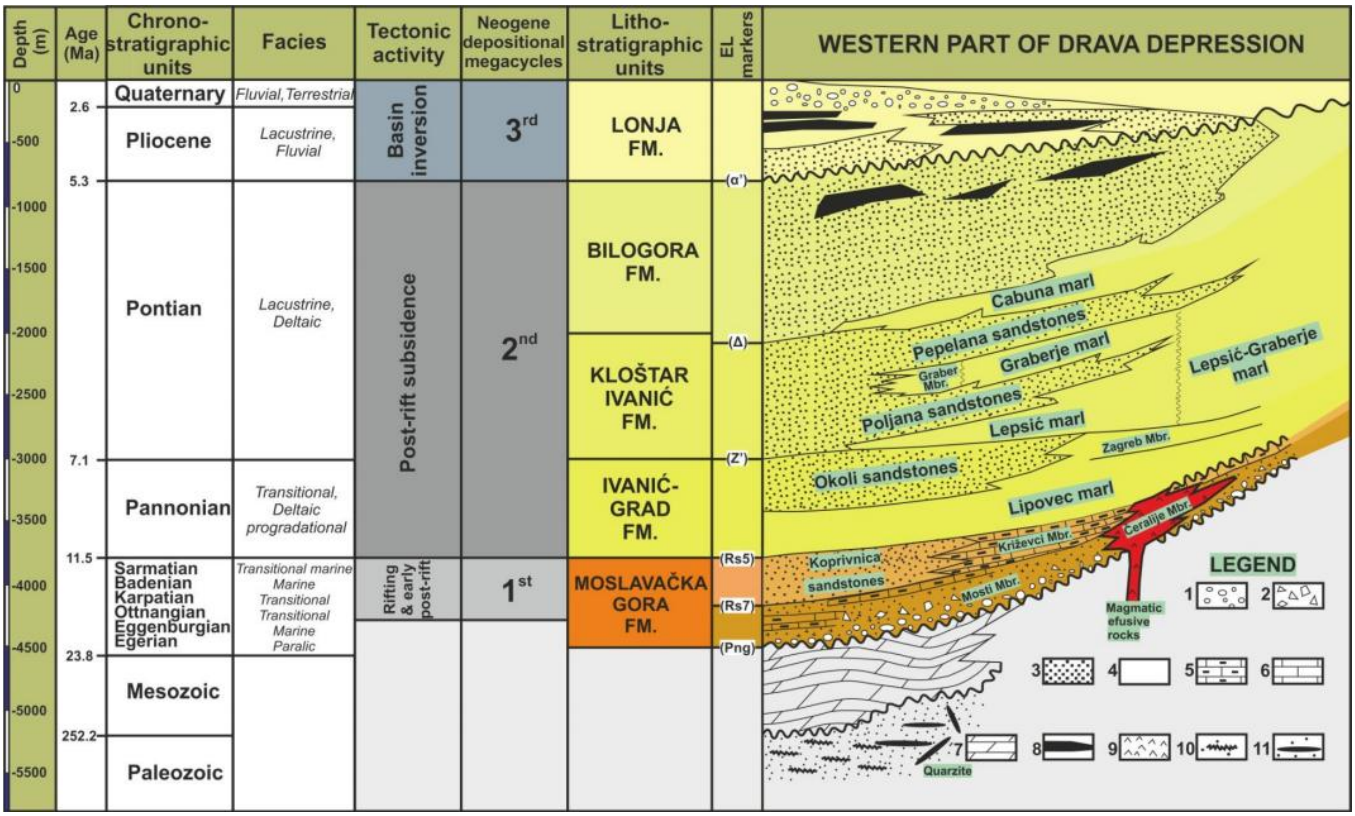


Slika 3. Geološka karta Bilogore i okolnog područja (Matoš, 2014)

Sve neogenske i kvartarne naslage sedimentne naslage variraju u debljini unutar jugozapadnog dijela Panonskog bazena. Prema Saftić i sur. (2003) prosječna debljina je između 500-1500m. Te ogromne varijacije u debljini objašnjava paleoreljef na početku srednjeg miocena i kasnije transgresije koja je rezultirala različitim tektonskim uzdizanjem i subsidencijom. Temeljeno na neogenskom i kvartarnom sedimentnom slijedu, Dravska depresija može se podijeliti na tri depozicijska megaciklusa (Velić i sur., 2002, Saftić i sur., 2003; Velić, 2007; Malvić i Velić, 2011).

2.3.1 Prvi taložni megaciklus (donji do srednji miocen), Moslovačka gora formacija

Prvi taložni neogensko-kvartarni megaciklus započeo je, no samo lokalno, u donjem miocenu prije 20.5 Ma, i dosegao je maksimum tijekom kasnog badena prije 13 Ma. Ta faza karakterizirana je taloženjem heterogenog terestričkog i marinskog sedimenta na Moslovačka gora formaciji (Slika 4). Taloženje je prvo započelo u bazenu u Hrvatskom zagorju, u Murskoj depresiji i zapadnom dijelu Dravske depresije. Taložili su se grubozrnati klastiti, šljunci, loši konsolidirani pješčenjaci i tufitični pješčenjaci, lapori, laporoviti pješčenjaci s pojavom glina, tuf uklopci i ugljenovite naslage (Lučić i sur., 2001; Saftić i sur., 2003; Velić, 2007; Malvić i Velić, 2011). Široko rasprostranjeni vulkanski i piroklastični materijal ukazuje na intenzivnu vulkansku aktivnost u ranom i srednjem miocenu. Taložni okoliši u ranom do srednjem miocenu bili su dominantno paralički.



Slika 4. Kronostratigrafske i litostratigrafske jedinice zapadnog dijela Dravske depresije. 1-šljunci i pješčenjaci, 2-breče, 3-pijesak i pješčenjak, 4-glinom bogati lapori, 5-glinom bogati vapnenci, 6-vapnenci, 7-dolomiti, 8-lignit, 9-magmatske efuzivne stijene, 10-gnajs, 11-kvarcit (izmjenjeno, Matoš 2014)

2.3.2 Drugi taložni megaciklus (kasni miocen), Ivanić Grad, Kloštar Ivanić i Bilogora formacija

Drugi taložni megaciklus karakteriziran je znatno debljim sedimentacijskim slijedom i znatno ujednačenijim litološkim sastavom u jezerskim okolišima od ranog panona do kasnog ponta (Slika 4). Taj taložni megaciklus podudara se s post-riftnim stadijem u evoluciji Panonskog bazena (Royden & Horváth, 1988; Saftić i sur., 2003). Sedimentni slijed započinje s transgresivnim konglomeratima, pješčenjacima, laporima (Saftić i sur., 2003). Zbog istaknutog paleoreljefa Panonskog jezera, klastični sedimenti su često ponovo taloženi i transportirani gravitacijskim tokovima prema dubljim dijelovima depresije (Saftić i sur., 2003, Malvić i Velić, 2011). U sjeverozapdnom dijelu Dravske depresije, najmlađi sedimentni slijed taložen u Panonskom jezeru erodiran je zbog kompresije i lokalne transpresije (Saftić i sur., 2003).

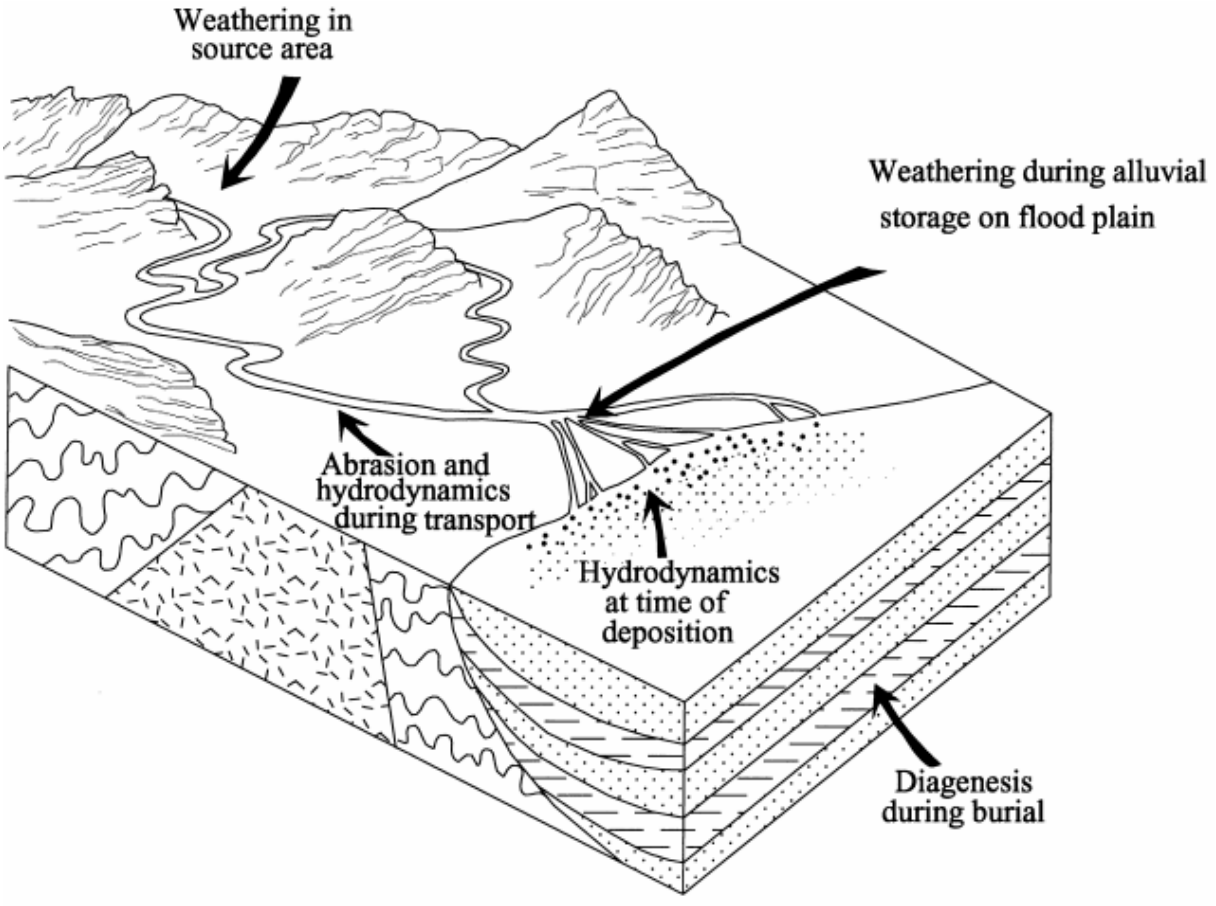
2.3.3 Treći taložni megaciklus (pliocen i kvartar), Lonja formacija

Najmlađi taložni megaciklus litološki je karakteriziran loše konsolidiranim sedimentom taloženim u slatkovodnim ostacima Panonskog jezera, močvarama i rijekama u pliocenu i kvartaru. Ti grubozrnati siliciklastični sedimenti, dominantno šljunci i pijesci, uklopljeni s glinama i lignitom formiranim u deltama močvara.

Završetak najmlađeg megaciklusa obilježen je klimatskim oscilacijama i tektonskom inverzijom Panonskog bazena u kvartaru. Taloženje velikih količina eolskog sedimenta i ponovno taloženje materijala koji je bio akumuliran na aluvijalne ravnice (Babić i sur., 1978).

3. ODREĐIVANJE PROVENANCIJE SEDIMENATA POMOĆU TEŠKIH MINERALA

Analiza teških minerala je široko rasprostranjena metoda u određivanju provenancije pješenjaka. Oni imaju vrlo karakterističnu i ograničenu paragenezu i to omogućuje spoznaju o provenijenciji sedimenata. Sastav teških minerala nije uvjetovan jedino sastavom izvorišnog područja. Originalno stanje modificirano je drugim procesima koji se događaju za vrijeme sedimentacijskog ciklusa (Slika 5), i kao rezultat toga minerali iz pješčenjaka ne ovise samo o sastavu izvorišne stijene. Stoga se pri interpretaciji i ti procesi moraju uzeti u obzir. Tri glavna procesa djeluju na zajednicu teških minerala, a to su: fizičko sortiranje, mehanička abrazija i otapanje (Morton & Hallsworth, 1999). Fizičko sortiranje događa se tijekom transporta i taloženja, i kontolira zastupljenost teških minerala. Mehanička obrazija događa se tijekom transporta i uzrokuje smanjenje, zaobljenost i frakturu zrna. Otapanje uzrokuje parcijalni ili kompletni gubitak teških minerala.



Slika 5. Procesi koji utječu na sastav teških minerala (Morton i Hallsworth, 1999)

Ti procesi djeluju u nekoliko faza sedimentacijskog ciklusa. Trošenje izvorišne stijene uzrokuje modifikacije u mineralogiji. Tijekom transporta, pojedini minerali mogu biti selektivno izgubljeni mehaničkom abrazijom i trošenjem. Hidraulički procesi tijekom transporta i za vrijeme taloženja utječu na relativnu prisutnost minerala. Kao posljedica promjena fizičko-kemijskih uvjeta odstranjuju se nestabilni materijali. Ti faktori imaju najveći utjecaj na karakteristike teških minerala i ukazuju na provenanciju.

Trošenje izvorišnih stijena selektivnim otapanjem uzrokuje promjene u mineralogiji izvorišne stijene prije nego se detritus uključuje u transportni sustav. Stupanj promjene zajednice teških minerala pri trošenju izvorišnih stijena ovisi o tri glavna faktora: sastavu same zajednice, klimi i reljefu (Morton i Hallsworth, 1999).

Ako se materijal transportom uklanja s nekog područja brže nego se generira novi materijal, erozija je ograničena trošenjem (Johnsson i sur., 1991). Pod tim uvjetima, detritus je brzo uklonjen bez značajne modifikacije. Tako se zadržava originalni zapis izvorišne stijene i takav ulazi u transportni sustav. Ako je brzina trošenja veća od sposobnosti transporta da ukloni materijal, tada je erozija ograničena transportom. U tim uvjetima produkti trošenja imaju duže vrijeme za reagirati s tlom i podzemnom vodom, i tako utjecati na sastav detritusa. U toj situaciji modifikacija teških minerala može se dogoditi prije nego sediment dopre u transportni sustav.

Zbog otapanja i transformacija manje stabilnih vrsta raznolikost teških minerala u profilima trošenja smanjuje se od donjeg dijela prema površini. Varijacije u makro i mikro okolišima imaju velik utjecaj na relativnu stabilnost minerala stoga ne postoji potpuni, apsolutni poredak minerala po otpornosti na kemijsko trošenje. Približni poredak stabilnosti unutar kojih su male razlike među relativnim stabilnostima prikazan je u Tablici 1.

Tablica 1. Stabilnost teških minerala u tlima pri različitim pH (Morton i Hallsworth, 1999)

Podzolic soil profiles	pH 3.6	pH 5.6	pH 10.6
Rutile, Anatase, Brookite			
Zircon	Zircon, Rutile	Zircon, Rutile	Zircon, Rutile
Tourmaline			Garnet, Staurolite
Sillimanite	Calcic amphibole		Calcic amphibole
Andalusite			Apatite
Kyanite	Kyanite	Kyanite	Kyanite
Staurolite	Staurolite	Staurolite, Tourmaline	Tourmaline
Topaz	Tourmaline		
Titanite		Epidote	
Monazite	Epidote	Calcic amphibole	
Garnet	Garnet	Garnet	
Epidote			Epidote
Calcic amphibole			
Orthopyroxene			
Clinopyroxene			
Olivine			
Apatite	Apatite	Apatite	

Most stable minerals are at the top of the table, least stable at the foot.

Utjecaj abrazije na zrna tijekom transporta često se smatra mogućim mehanizmom smanjenja raznolikosti minerala (Mackie, 1923; van Andel, 1959). Postoji mogućnost da mehanička abrazija značajnije utječe ne teške minerale u nekim iznimnim uvjetima, stoga se i ona mora uzeti u obzir kod procjene porijekla. Približan redosljed pojedinih teških minerala prema mehaničkoj stabilnosti (Tablica 2).

Tablica 2. Mehanička stabilnost teških minerala (Morton i Hallsworth, 1999)

Freise (1931)	Thiel (1945)	Dietz (1973)
Tourmaline	Tourmaline	
Corundum		
Chrome spinel		
Spinel		
Rutile		
Staurolite	Staurolite	
Augite		
		Zircon
		Kyanite
	Titanite	
Topaz		
Garnet	Garnet	Garnet
Epidote	Epidote	
Apatite		
Zircon	Zircon	
	Calcic amphibole	
	Rutile	Rutile
		Staurolite
		Tourmaline
	Orthopyroxene	
	Apatite	
	Augite	
Kyanite	Kyanite	
Olivine		Olivine
Andalusite		Andalusite
Diopside		
Monazite		

Highly resistant minerals are at the top of the table, least resistant at the foot.

Zrna teških minerala su sitnija od zrna lakih minerala. Rubey (1933) je uveo pojam „hidrauličkog ekvivalenta veličine“ koji opisuje odnose između veličine i gustoće zrna. Zbog toga što su teški minerali gušći od kvarca i feldspata, ponašaju se drugačije tijekom transporta i taloženja. Gustoća nije jedini kontrolni faktor brzine taloženja. Također vrlo često relativna dostupnost teških minerala ovisi o daljini transporta. Apsolutna i relativna količina teških minerala u sedimentu bitno ovisi o veličini čestica i može biti znatno izmijenjena hidrauličkim sortiranjem. Oblik zrna uz gustoću ima važan utjecaj na hidrauličko ponašanje teških minerala, tako da su zrna tinjca veličine pijeska, koji ima gustoću 2.9 g/cm^3, zbog svog listićavog oblika hidraulički ekvivalentna lakim mineralima veličine silta.

Sastav pješčenjaka rezultat je kompleksnih događaja između izvorišnog područja i faktora za vrijeme sedimentacijskog ciklusa. Originalni izvorišni zapis mogao bi biti izmjenjen trošenjem prije ulaska u transportni sustav, mehaničkim lomom tijekom transporta, hidrauličkim procesima tijekom transporta i na kraju taloženjem (Morton i Hallsworth, 1999).

4. METODE I MATERIJALI

4.1 Uvod

Prema Mange i Maurer (1992), teški minerali su sekundarni minerali koji imaju visoku gustoću i sastojak su siliciklastičnih sedimenata. U njihovim matičnim stijenama predstavljaju glavne minerale koji formiraju stijenu (amfiboli, pirokseni) ili akcesorne kao što su cirkon, apatit, turmalin i ostali, koji se pojavljuju u širokom rasponu stijena. Zrna teških minerala rijetko se susreću u primjetnoj količini u prepraratima pješčenjaka; njihova totalna količina rijetko iznosi više od 1% stijene. Kako bi se proučavali, moraju se koncentrirati. Razvrstavanje i odvajanje minerala se obično radi pomoću tekućina s gustoćom 2,89 (bromoform) ili 2,96 (tetrabrom-etan). Zrna minerala visoke gustoće potonu u tu tekućinu i odatle su dobili ime „teški“ minerali.

4.2 Uzorkovanje za analizu teških minerala

Vrijednost analize teških minerala ovisi o točnosti izrade uzoraka, koje bi trebalo biti pažljivo isplanirano. Način uzimanja uzoraka uvelike otežava ili olakšava okoliš na kojem se uzimaju uzorci, također je vrlo bitno odabrati proceduru uzorkovanja i prikupiti neistrošeni materijal. Nasumično uzimanje uzoraka pružit će neodgovarajuće i krive rezultate. Uzorci bi se trebali prikupiti u regularnim intervalima, isto tako nakon promjene stratigrafije, litologije, facijesa, teksture, režima toka (Mange i Maurer, 1992).

Budući da veličina zrna može utjecati na sastav teških minerala, uzimaju sitnozrnati pijesci i pješčenjaci, i oni su optimalni za obuhvaćanje zajednice teških minerala.

Pijesci i pješčenjaci u svojem sastavu sadrže barem neke teške minerale, iako ponekad nisu vidljivi golim okom ili lupom. Slojevi bogati teškim mineralima sastoje se od zrna visoke gustoće (u većini slučajeva opakih minerala), koji su važni u zapisu određenih hidrauličkih uvjeta (McQuivey i Keefer, 1969; Cheel, 1984), ali nisu reprezentativni u ukupnom sadržaju formacije teških minerala, što znači da uzorkovanje tih slojeva treba izbjegavati.

4.3 Priprema preparata teških minerala

Za potrebe ovog istraživanja dobiveni su gotovi preparati. Masa suhog uzorka za analizu teških minerala u pravilu varira između 100 i 1000 grama. Uzorci pijeska, ne zrelih pješčenjaka ili vulkanoklastita, težine 100 do 200 grama, obično daju dovoljnu količinu za analizu, ali zreli sedimenti i oni koji sadrže visoke udjele cementa trebaju veću količinu uzorka.

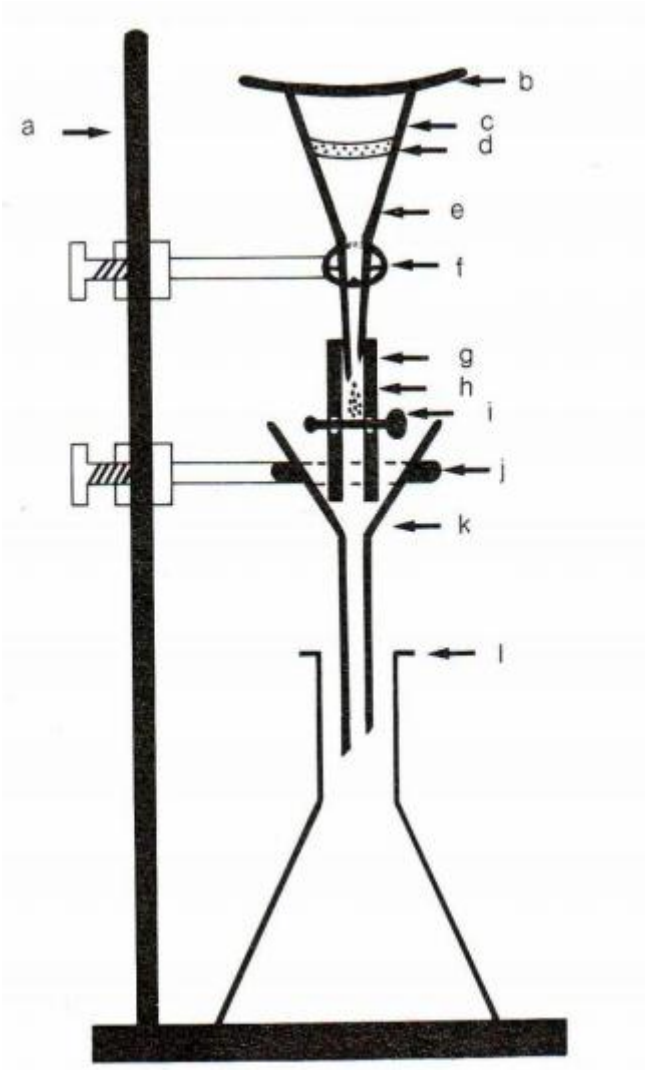
Postupak izrade preparata teških minerala iz uzoraka rastresitih pijeska se sastoji od nekoliko glavnih koraka:

1. Sijanje
2. Otapanje u kiselini
3. Ispiranje destiliranom vodom, sušenje i vaganje
4. Gravitacijska separacija
5. Izrada mikroskopskih preparata

Prosijavanje uključuje odabir veličine i oblika zrna. Teški minerali puno više variraju u obliku, nego lagana zrna. Korištena su sita od 0.063 mm i 0.125 mm kako bi se izdvojila frakcija 0.063-0.125 mm. Odabrani rang veličine zrna izdvojen je iz suhog uzorka standardnim prosijavanjem.

Kiselina se primjenjuje da bi se otopilo neželjene karbonate. Tehnika koja može olakšati uklanjanje vapnenačkih čestica iz nekonsolidiranog sedimenta i otpuštanje drugih mineralnih zrna iz karbonatnih uzoraka je ili razrijeđena HCl (5-10%) ili 5-10% -tna octena kiselina (CH_3COOH). Octena kiselina je korištena u pripremi analiziranih uzoraka u ovome radu. Nedostatak tretiranja klorovodičnom kiselinom je to što uz karbonate eliminira i fosfate. Zato tretiranje klorovodičnom kiselinom u nekim slučajevima treba izbjegavati. Octena kiselina ne utječe na fosfate, ali potrebno je dugotrajnije uranjanje da bi se otopio kalcit (1-3 dana, i povremeno vrenje je ponekad još potrebno). Nekoliko drugih metoda koje služe za odvajanje koherentnih i fino zrnatih stijena opisali su Krumbein i Pettijohn (1938), Carver (1971), Allman i Lawrence (1972), mnoge od tih metoda mogu se primjeniti na pješčenjake.

U geološkim labaratorijima, dvije osnovne tehnike koriste se za standardnu tešku frakcionaciju: gravitacijsko taloženje ili separacija lijevkom, i separacija centrifugom. Separacija centrifugom je najbolja za separaciju i vrlo finih sedimenata i onih veličine pijeska. Stjecanje pouzdanih podataka o teškim mineralima mnogo ovisi o smanjivanju labaratorijskih pogrešaka. Izbor tehnike isto tako utječe na kvalitetu rezultata. Rittenhouse i Bertholf (1942) usporedili su efektivnost gravitacijskog taloženja i separacije centrifugom. Promatrali su da se težinski postoci koncentracije teških minerala tih dviju metoda znatno razlikuju, ali broj individualnih teških minerala je isti u oba slučaja. Separacija teških minerala za potrebe ovog istraživanja izvedena je pomoću tekućine visoke gustoće. Slika 6 prikazuje raspored opreme koja se koristi za separaciju gravitacijskim taloženjem. Teška tekućina se napuni u odvojeni lijevak, zatim se u tekućinu dodaje osušeni i izvagani uzorak (najviše 10 g). Zrna pričvršćena za štap za miješanje uklone se mlazom teške tekućine. Nakon potapanja uzorka u tekućinu, dobivene su frakcije. Nazivaju se teška i laka frakcija. Teški minerali se nakupljaju na dnu lijevka iznad stezaljke. Kad više zrna ne tonu (obično nakon 6-8 sati), otvara se stezaljka, i tako se teška frakcija prelijeva na filter papir u niži lijevak. Novi lijevak, s filter papirom, stavi se ispod lijevka za separaciju. Laka frakcija se tada premjesti u novi lijevak. Obje frakcije operu se alkoholom ili acetonom i stave sastrane da se osuše. Korištena teška tekućina skuplja se u označene boce i ona se može ponovno koristiti. Nakon sušenja, teška frakcija se važe i flašira u staklene bočice.



Slika 6. Aparatura koja je korištena za separaciji (Mange & Maurer, 1992) a) stalak, b) staklena čaša, c) lijevak za separaciju, d) pozicija lake separacije, e) teška kiselina, f) držač, g) gumena cijev, h) teški talog, i) sigurnosni ventil, j) filter papir, k) filtracijski lijevak i) boca za skupljanje

4.4 Brojenje zrna teških minerala

Za određivanje relativne prisutnosti teških minerala u uzorku, tri različite metode brojenja se koriste (van Harten 1965, Galehouse 1969, 1971):

a) „*Fleet metoda“* : Sva zrna broje se na mikroskopskom klizaču, i izračuna se relativna zastupljenost da bi se dobilo postotke zastupljenosti pojedinih teških minerala.

b) *Linijsko brojenje*: Mikroskopski klizač pomiče se mehanički duž linearanu liniju i individualna zrna u mikroskopskom polju identificiraju se i broje. Rezultat je brojčana učestalost. Ta metoda je osjetljiva na veličinu zrna, i vodi do iskrivljavanja u korist većih zrna.
c) *Brojenje po traci*: Ta tehnika uključuje nasumično odabrane trake na mikroskopskom klizaču. Zrna unutar trake broje se dok se klizač mehanički pomiče. Širina trake može se izmjeriti koristeći okular s mikrometrom. Rezultati takvim brojenjem nisu ovisni o veličini zrna i daju brojčanu učestalost. Ta se metoda čini najviše popularna, metoda je korištena za potrebe ovog istraživanja.

Kada analiziramo zastupljenost teških minerala, ne broje se opaki, listićavi i autigeni minerali. Neki istraživači broje opaka zrna posebno i izražavaju njihov udjel u postocima ukupnih zrna. U uzorcima u kojima dominiraju minerali kao što su granati ili apatiti, te vrste mogu se brojati zasebno. Tako dolazi do bolje točnosti procjene rijetkih, ali dijagnostičkih minerala. Broj zrna koje se broje uzima se kao 100% i zastupljenost pojedinih minerala izražava se kao postotak. Točnost analize teških minerala uvelike ovisi o broju prebrojenih zrna. Dryden (1931) grafički je ilustrirao pouzdanost podataka u odnosu na broj prebrojenih zrna i primjetio je brzo povećanje točnosti do 300 prebrojenih minerala. Za svaki uzorak ovog diplomskog rada prebrojeno je i identificirano 300 zrna metodom brojanja po traci. Učinkovitost analize značajno se povećava kada se ostale mineralne karakteristike kao što su mofologija, boja i slično bilježe za vrijeme brojenja zrna.

4.5 Priprema petrografskih preparata umjetno cementiranih pijesaka

Kako bi se proučio čestični sastav proučavanih pijesaka izrađeni su petrografski preparati uzoraka iz Mučne Reke i Cabune. Budući da se analizirani uzorci sastoje od rastresitih pijesaka bilo ih je potrebno prethodno umjetno cementirati epoxy smolom. Za svaki uzorak izrađeno je po tri petrografska preparata iz različitih veličinskih frakcija pijeska.

4.6 Analiza petrografskih preparata umjetno cementiranih pijesaka

Čestični sastav pijesaka proučen je uz pomoću polarizacijskog mikroskopa. Pri tome su kvalitativno opisani svi varijeteti čestica koje se nalaze u analiziranim uzorcima. Za pomoć pri identifikaciji i opisu zrna korišteni su priručnici Scholle (1979), Adams i sur. (1984), MacKenzie i Adams (1994).

4.7 Terenski dio

Lokaliteti iz kojih su uzeti uzorci nalaze se na prostorno različitim dijelovima Bilogore kako bi se proučile razlike. Uzorci su uzeti iz lokaliteta Cabuna koji se nalazi na jugoistočnom dijelu gorja, iz lokaliteta Hampovica koji se nalazi u prostorno središnjem dijelu i iz lokaliteta Mučna Reka koji se nalazi u sjeverozapadnom dijelu Bilogore (Slika 7).



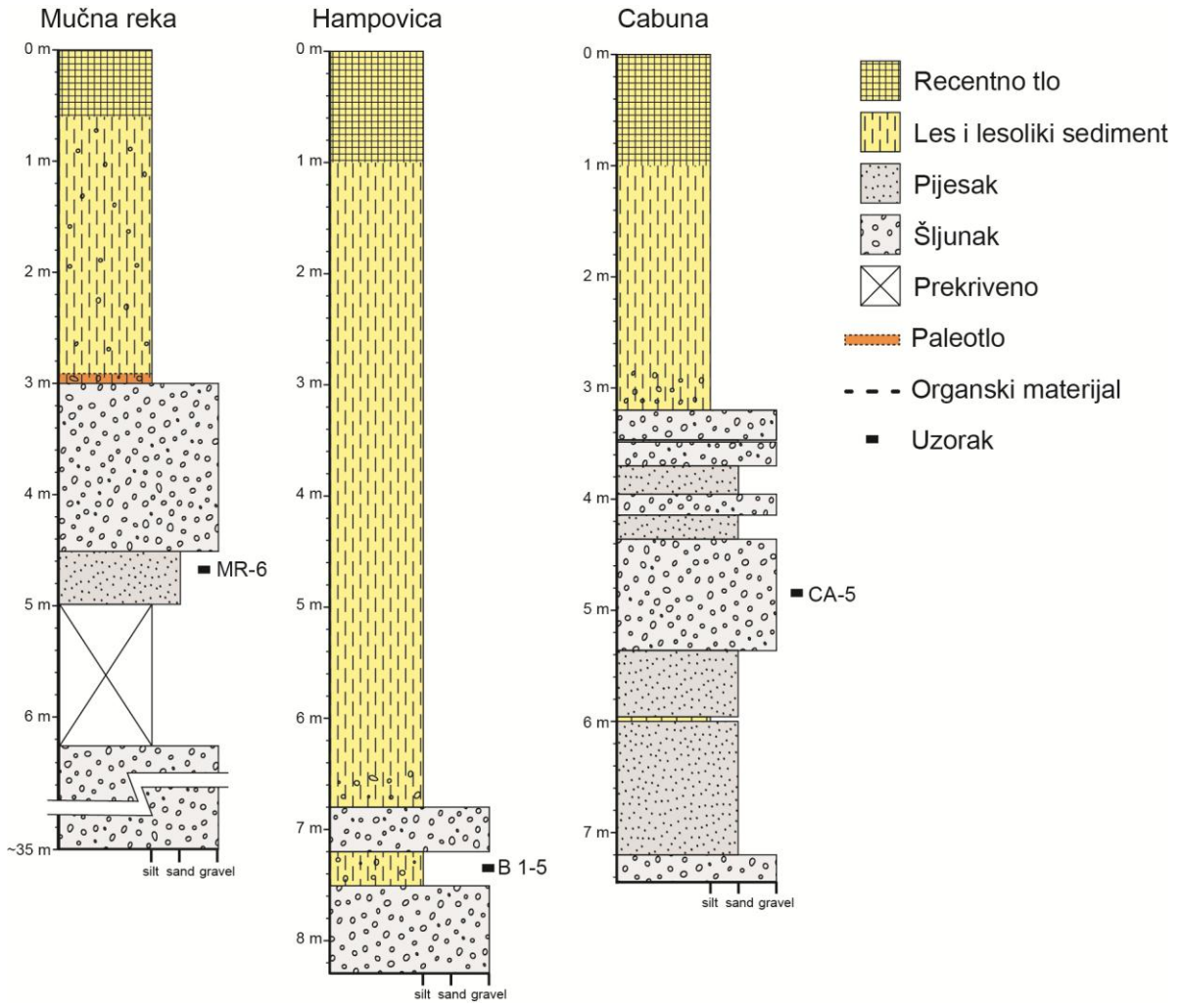
Slika 7. Mjesta uzorkovanja

MUČNA REKA

Uzorkovani izdanak kod Mučne Reke nalazi se u otovrenom kopu pijeska i šljunka jugozapadno od Koprivnice. Naslage Dravske terase iz donjeg do srednjeg pleistocena. Otkriveni slijed naslaga se sastoji od kvarcom bogatih šljunaka u izmjeni s lećama pijeska (Slika 8). U najgornjem dijelu terase naslage su u erozijskom kontaktu s naslagama lesa (Slika 9). Uzorak MR-6 uzet je u proslojku pijeska 5m od vrha izdanka, 1,5 m ispod lesa (Slika 9). Uzorak MR-4 korišten za izradu petrografskih izbrusaka uzet je u sloju šljunka oko 1 m ispod lesa.



Slika 8. Lokalitet Mučna Reka



Slika 9. Geološki stupovi lokaliteta uzoraka

CABUNA

Kamenolom Cabuna prethodno je istraživao Mrinjek i sur. (2006). Napravili su detaljnu sedimentološku analizu aluvijalnog kompleksa izloženog u Cabuni. Prema Mrinjeku i sur. (2006) šljunak u donjem dijelu tipičan je za aluvijalnu lepezu, dok pijesak potječe iz prepletenih pješčanih rijeka. Na najgornjem dijelu sekvence opisan je finije zrnatiji sediment koji je objašnjen kao naslage poplavnog područja. Sadrže fosile koji ukazuju da su naslage starije od pleistocenske glacijacije.

Šljunak se uvelike sastoji od dobro zaobljenih valutica. Ponegdje se sa šljunkom izmjenjuju slojevi i leće srednjezrnatog, slabo do srednje sortiranog pijeska. Uzorak CA-5 uzet je u proslojku pijeska 5m ispod vrha izdanka i 2m ispod lesa (Slika 9). Finozrnati šljunak

i les koji ga prekriva (Slika 10) sastoji se od kvarcom bogatih litoklasta metamorfnog podrijetla.



Slika 10. Cabuna, kontakt između šljunka i pijeska Dravske terase i lesa

HAMPOVICA

Lokalitet Hampovica također pokazuje kontakt između šljunka prve Dravske terase i lesa (Slika 11). U svim istraživanim lokacijama Mučna Reka, Hampovica i Cabuna slijed lesa dostiže debljinu do 7 m. Les je blijedo smeđi, žutosmeđi, homogeni glineni silt. U najnižem dijelu, blizu kontakta sa šljunkom, može se izmjenjivati sa slojem šljunka. Uzorak B1/5 uzet je s nešto više od 7m ispod vrha izdanka u proslojku ispod posljednjeg sloja šljunka (Slika 9).

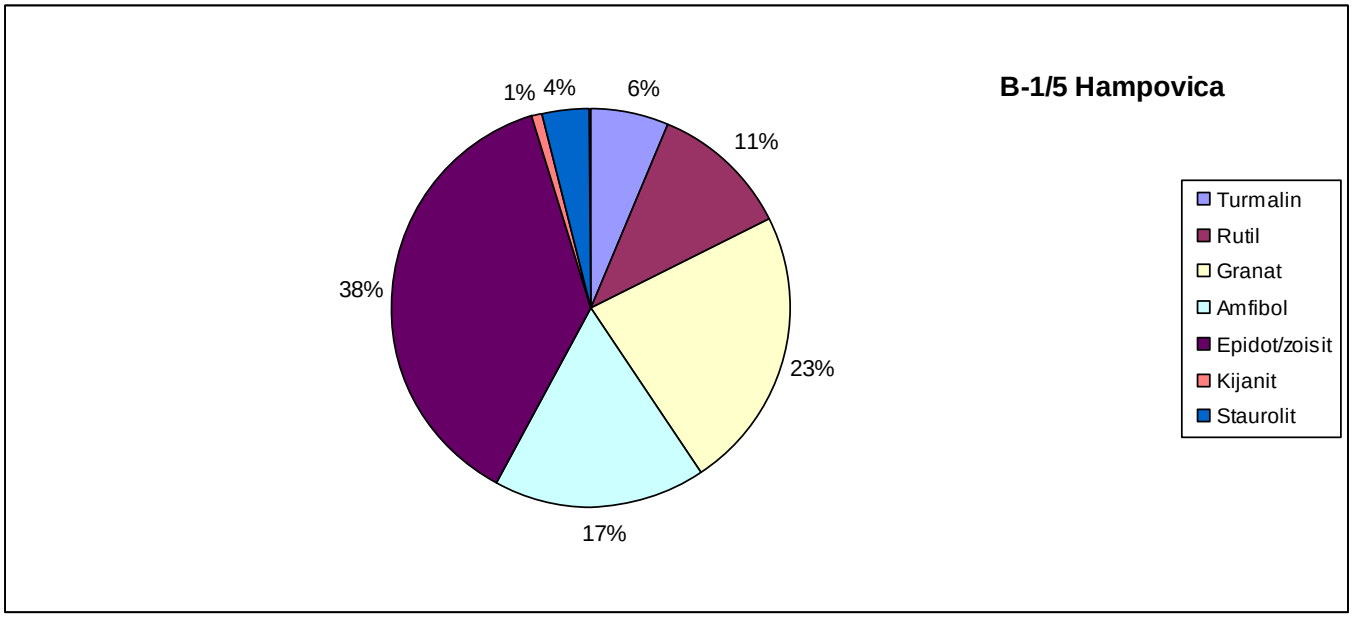


Slika 11. Lokalitet Hampovica

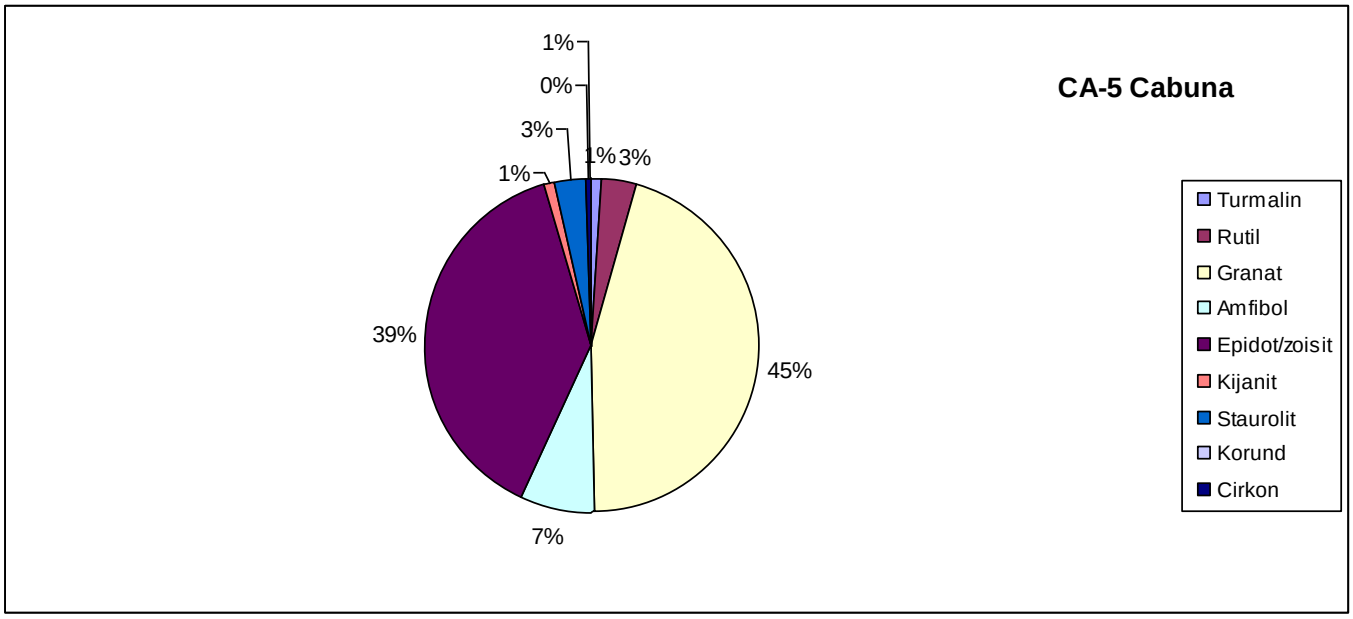
5. REZULTATI

5.1 Kvantitativna analiza teških minerala

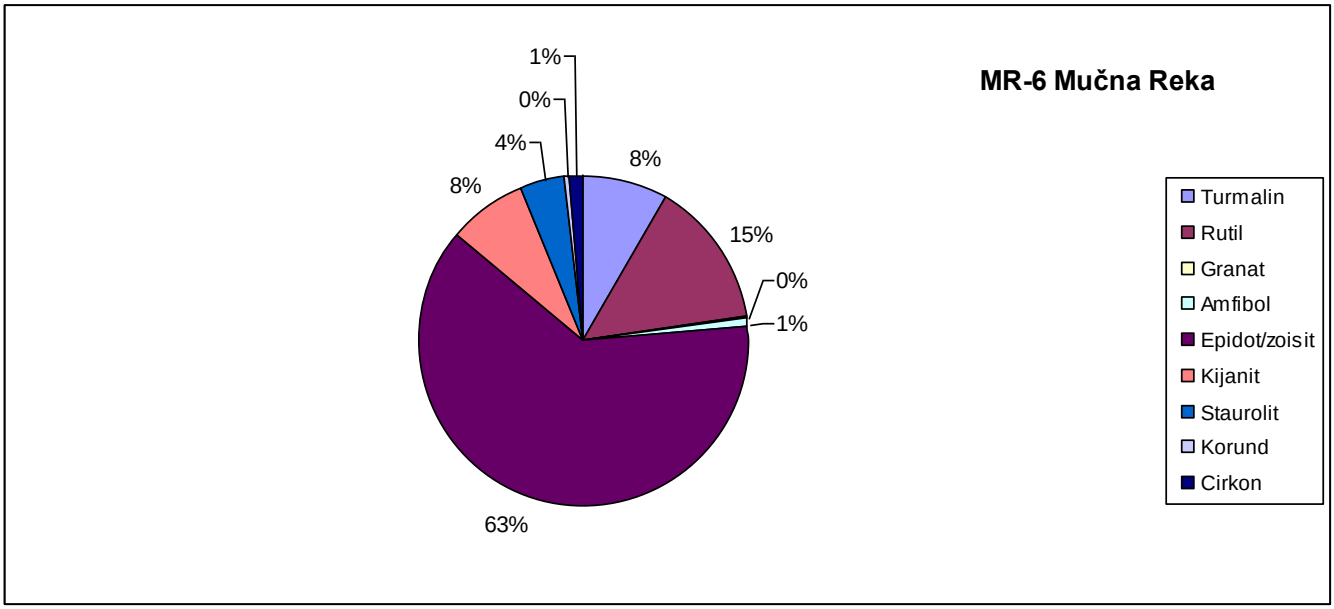
U uzorku MR-6 Mučna Reka, koji se nalazi u sjeveroistočnom dijelu Bilogore, dominiraju minerali epidot/zoisit, a granata ima manje od 1%. U uzorku Hampovica B-1/5, koji se nalazi u središnjem dijelu, epidot/zoisita ima 38%, dok granata ima 25%. U Cabuni uzorak CA-5, koji se nalazi na jugoistočnom dijelu gorja, pokazuje veći postotak granata (45%) u odnosu na epidot/zoisite čiji postotni udio među prozirnim teškim mineralima iznosi 39%. Prema tome možemo zaključiti da postotni udio granata raste prema jugoistoku, a postotni udio epidot/zoisita pada. Od ostalih teških minerala zastupljeni su amfiboli, turmalini, kijaniti, rutili, stauroliti. Neprozirni odnosno opaki minerali zastupljeni su u uzorcima između 10-15 %, oko 1% minerala su neodređeni. Slike 12, 13, 14 i Tablica 3 prikazuju postotne udjele pojedinih teških minerala u uzorcima.



Slika 12. Rezultati analize teških minerala izraženi u postocima u uzorku B-1/5



Slika 13. Rezultati analize teških minerala izraženi u postocima u uzorku CA-5



Slika 14. Rezultati analize teških minerala izraženi u postocima u uzorku MR-6

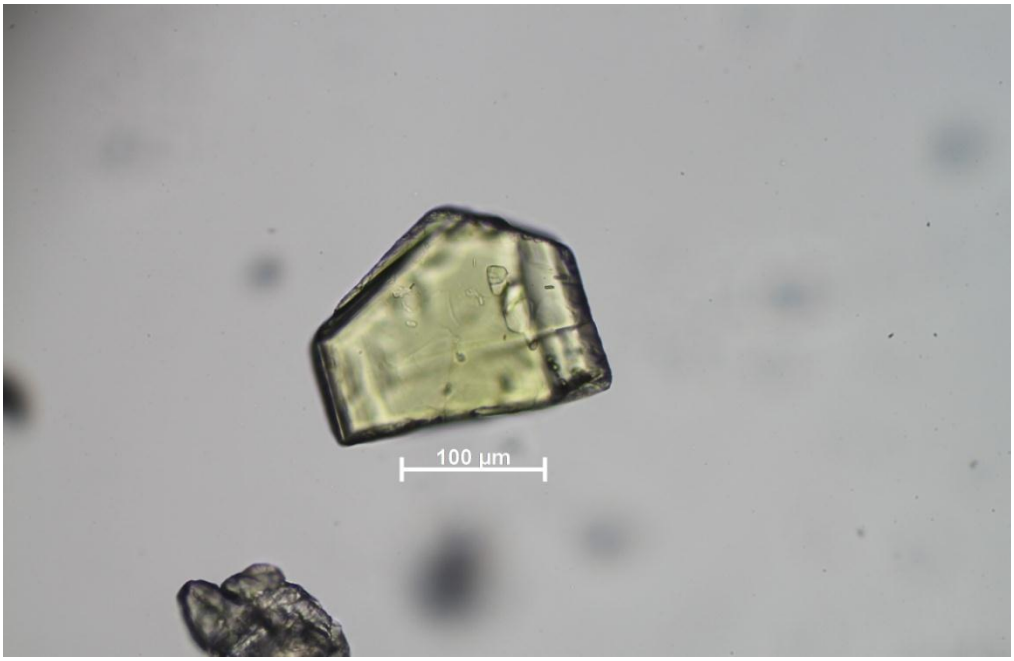
Tablica 3. Rezultati analize teških minerala izraženi u postocima za sve uzorke

Prozirni teški minerali (%)	Hampovica (B-1/5)	Mučna Reka (MR-6)	Cabuna (CA-5)
Rutil	11%	15%	3%
Granat	23%	0%	45%
Amfibol	17%	1%	7%
Epidot/zoisit	38%	63%	39%
Kijanit	1%	8%	1%
Staurolit	4%	4%	3%
Korund	0%	1%	0%
Cirkon	0%	1%	1%
Turmalin	6%	8%	1%

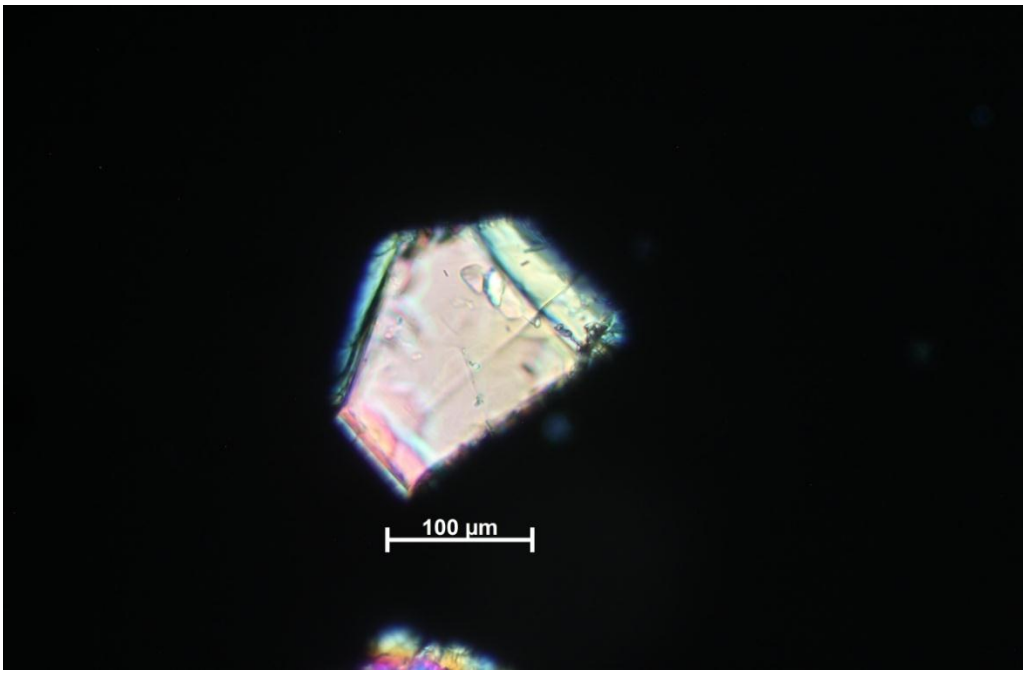
5.2 Opis teških minerala u analiziranim uzorcima

EPIDOT

Minerali iz grupe epidota najzastupljeniji su u uzorcima B-1/5 i MR-6, a drugi po zastupljenosti u uzorku CA-5. Razni varijeteti su pristurni, najčešće nepravilnog oblika, variraju u boji od zućkasto zelene do tamnije zelene. Imaju izražen reljef i nepravilnu morfologiju, slabo izražen pleokroizam (Slika 15 i 16).



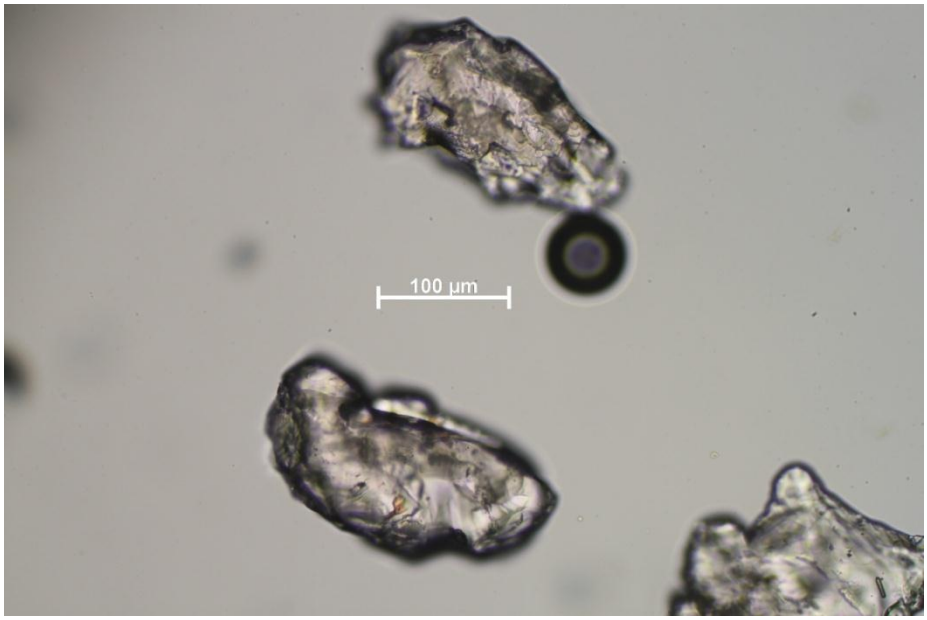
Slika 15. Uzorak MR-6, epidot bez uključenog analizatora



Slika 16. Uzorak MR-6, epidot s uključenim analizatorom

GRANAT

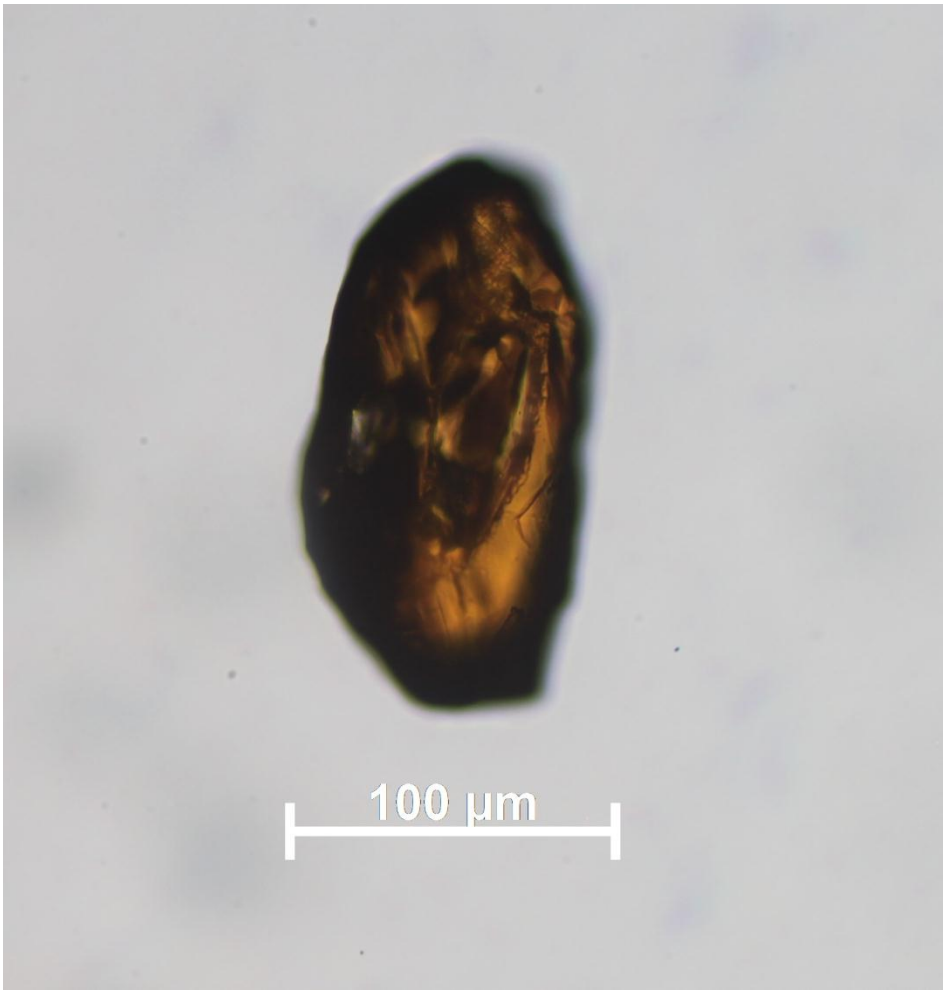
Vrlo zastupljeni u uzorcima, osim u uzorku MR-6. Izotropni minerali koje se lagano prepoznaje po tome što su tamni s uključenim analizatorom. Imaju vrlo izražen reljef, većinom su bezbojni, ali mogu biti i zelenkasti. Nepravilnog su oblika i kod nekih minerala vidljivo je trošenje (Slika 17).



Slika 17. Uzorak CA-5, granat bez uključenog analizator

RUTIL

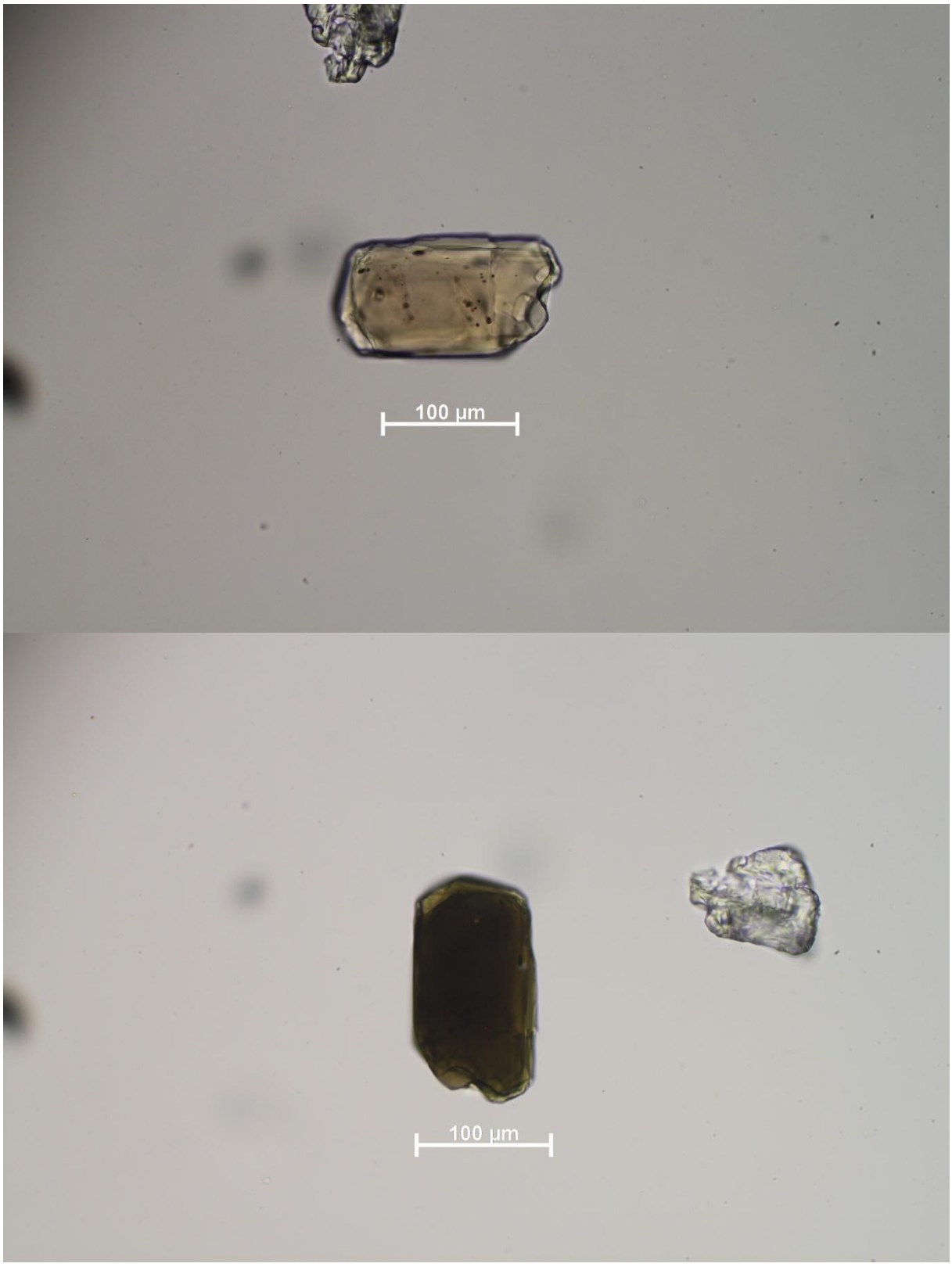
Rutil je u uzorcima prisutan između 7-15%. Zbog tamne boje, može se zamijeniti s opakim neprozirnim zrnima. Neka zrna pokazuju blagi pleokroizam. Najčešće je izdužen, alotriomorfan, ili štapičast (Slika 18).



Slika 18. Uzorak MR-6, rutil bez uključenog analizatora

TURMALIN

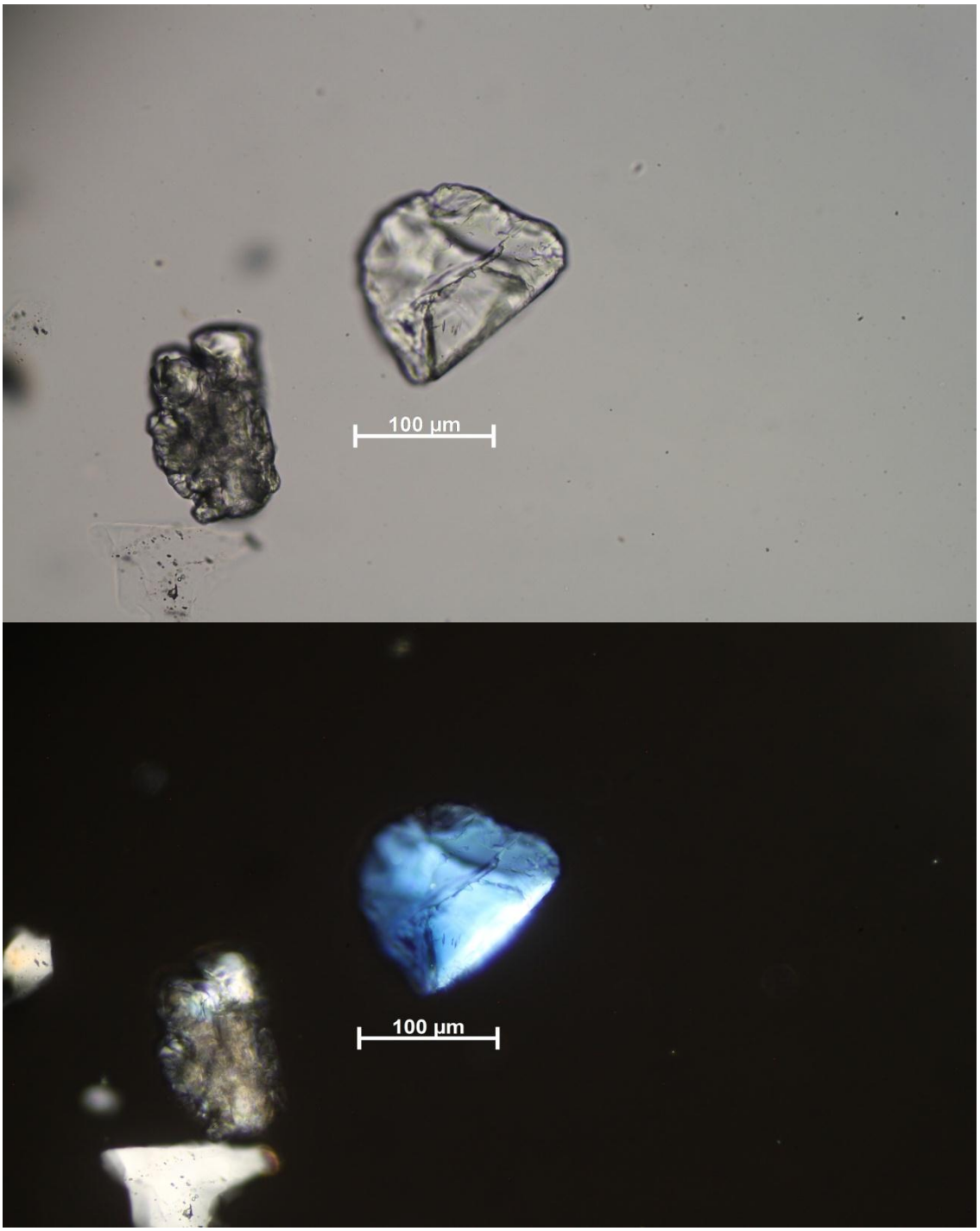
Udio turmalina u uzorcima iznosi 1-8%. Prepoznatljiva karakteristika turmalina je što ima izražen pleokroizam (Slika 19). Interferencijske boje su mu višeg reda, a često je prekriven i vlastitim bojama. Najčešće su prizmatskog oblika, staklaste površine. Boja varira od različitih nijansi smeđe do žute.



Slika 19. Uzorak MR-6, turmalin s izraženim pleokroizmom

ZOISIT

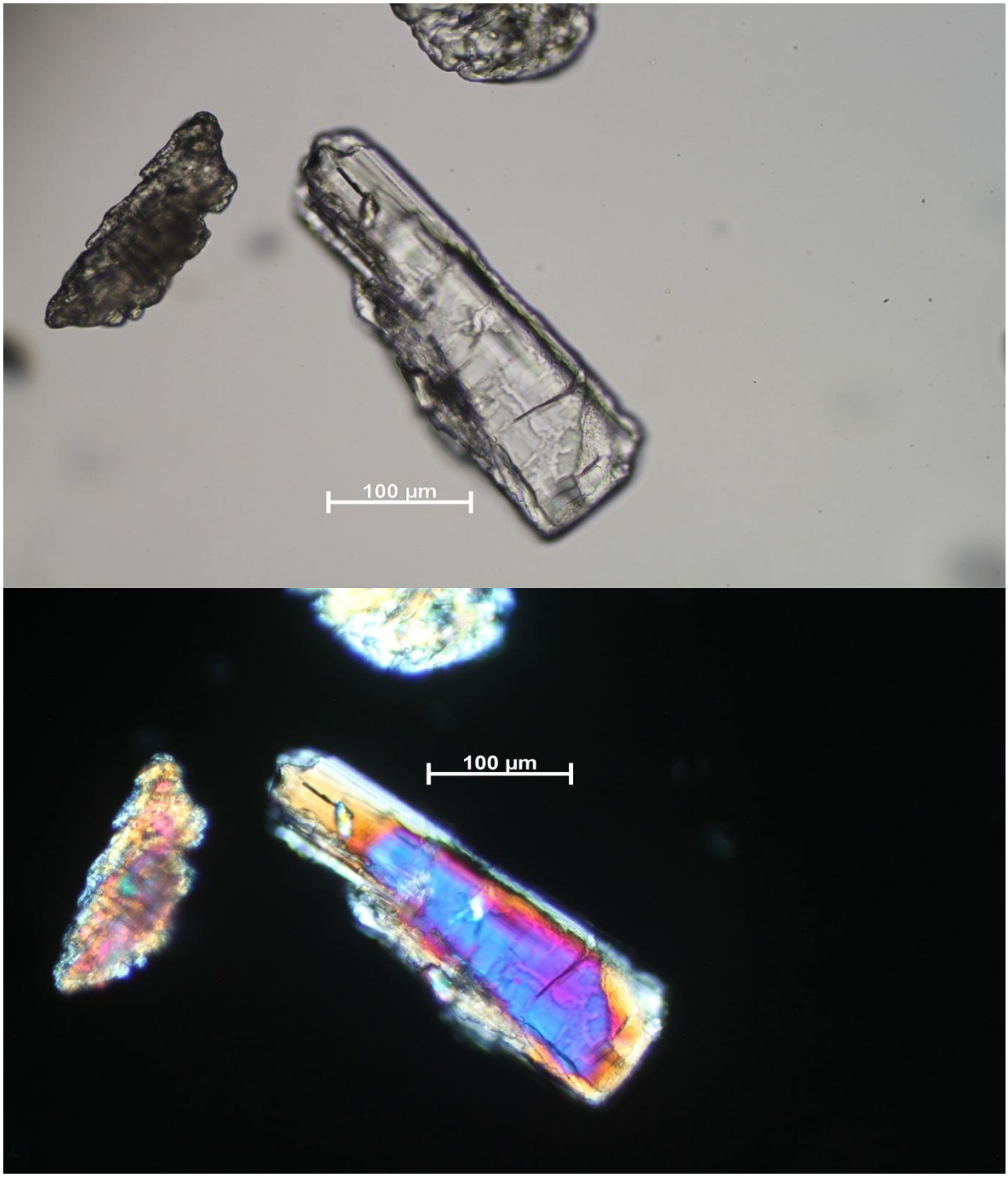
Zoisit je najčešće bezbojan i pokazuje anomalne interferencijske boje (Slika 20). Također je najčešće nepravilnog oblika. Spada u grupu epidota i zbog sličnih svojstava i teškog razlikovanja svrstavaju se u istu grupu prilikom brojenja zrna. Vrlo je zastupljen u uzorcima.



Slika 20. Uzorak MR-6, zoisit s uključenim i isključenim analizatorom

KIJANIT

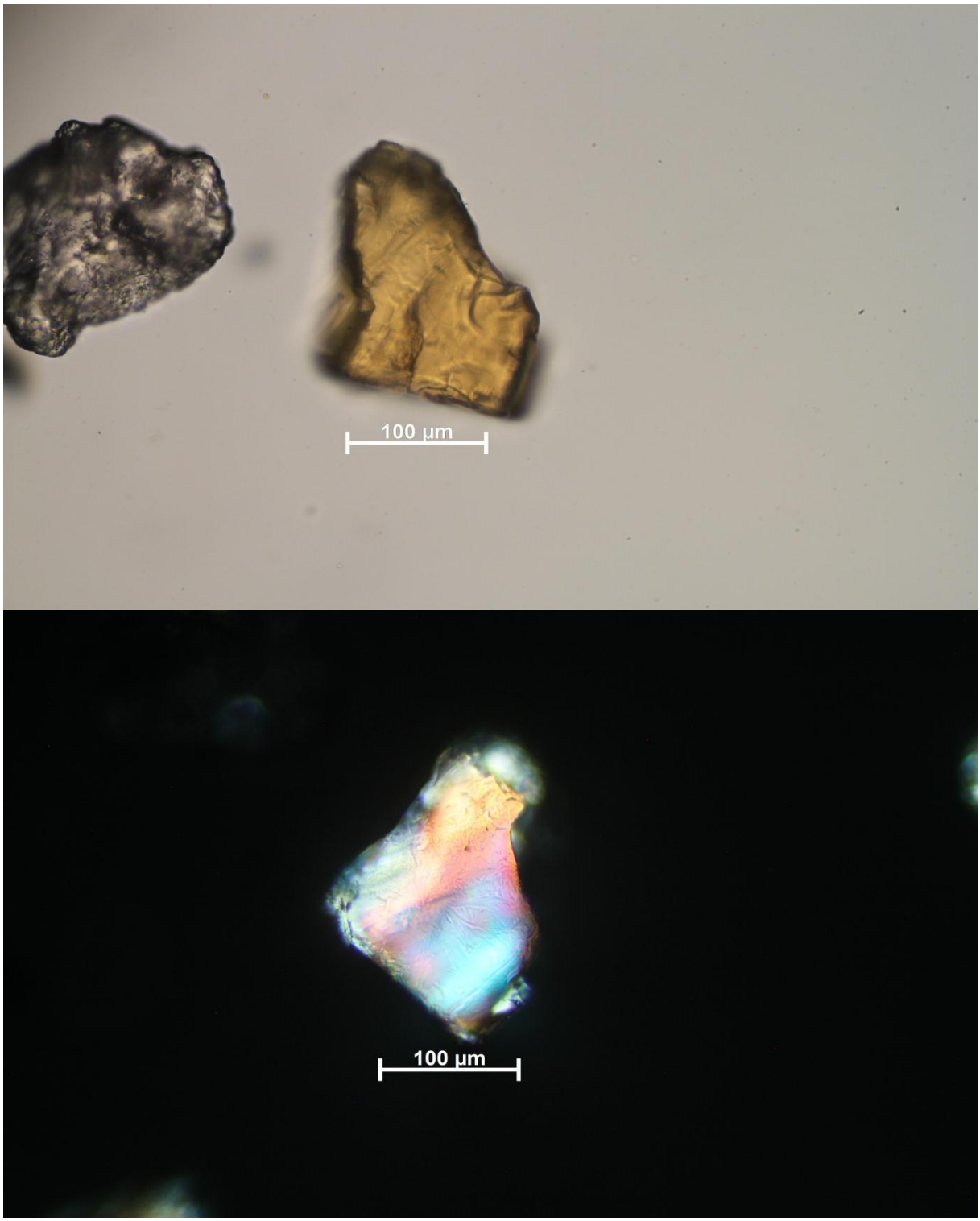
Kijanita u uzorcima ima između 1-8%. U uzorcima je bezbojan s dobro izraženom kalavosti u dva smjera. Pokazuje jake interferencijske boje. Prizmatskog su oblika, ali su u uzorcima trošeni. Prepoznaju se po kosom potamnjenju, bezbojni su s izraženom kalavosti (Slika 21).



Slika 21. Uzorak MR-6, kijanit s uključenim i isključenim analizatorom

STAUROLIT

Staurolit je u uzorcima prisutan između 3-4%. Zrna staurolita su nepravilna. Karakteristične je žute boje i pokazuje izraženi pleokrozam prema smećkastim nijansama. Interferencijske boje su žuta i crvena prvog reda (Slika 22).

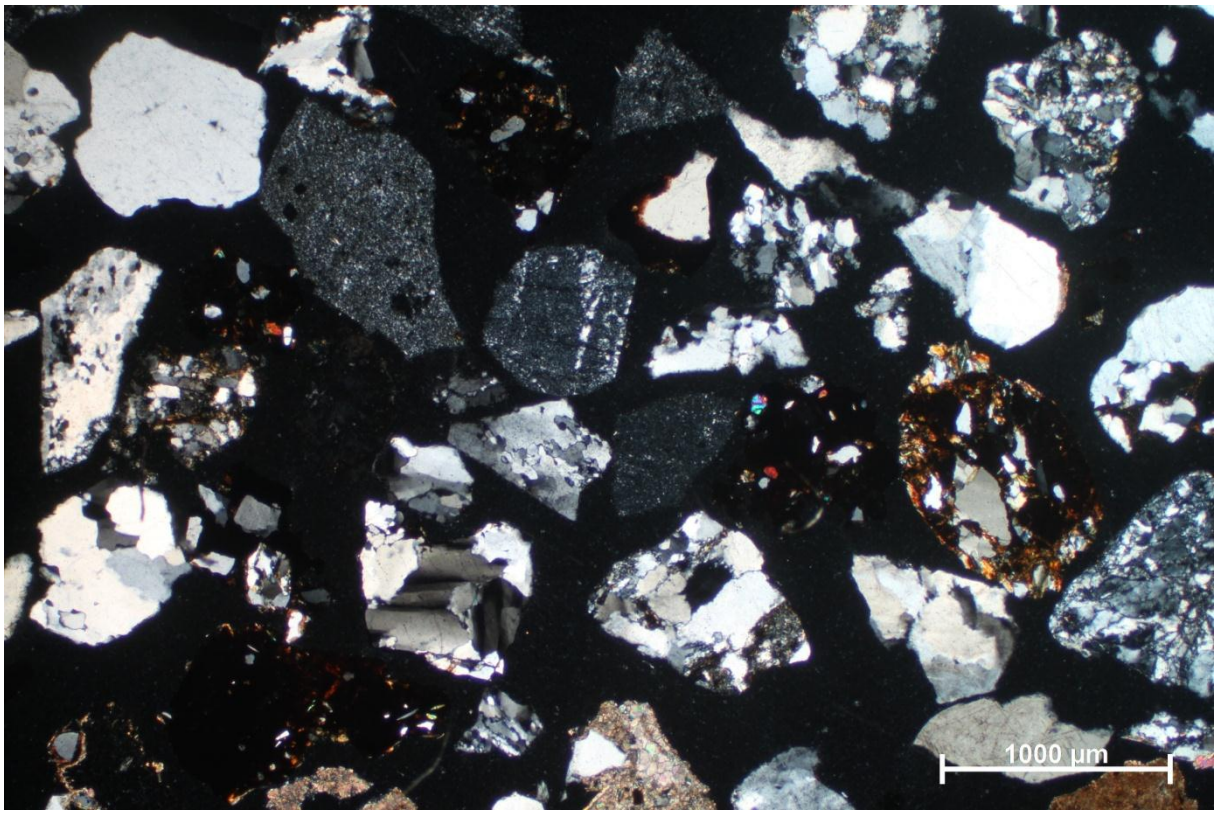


Slika 22. Uzorak CA-5, staurolit s uključenim i isključenim analizatorom

5.3 Opis detritičnih čestica u analiziranim uzorcima

UZORAK MR-4

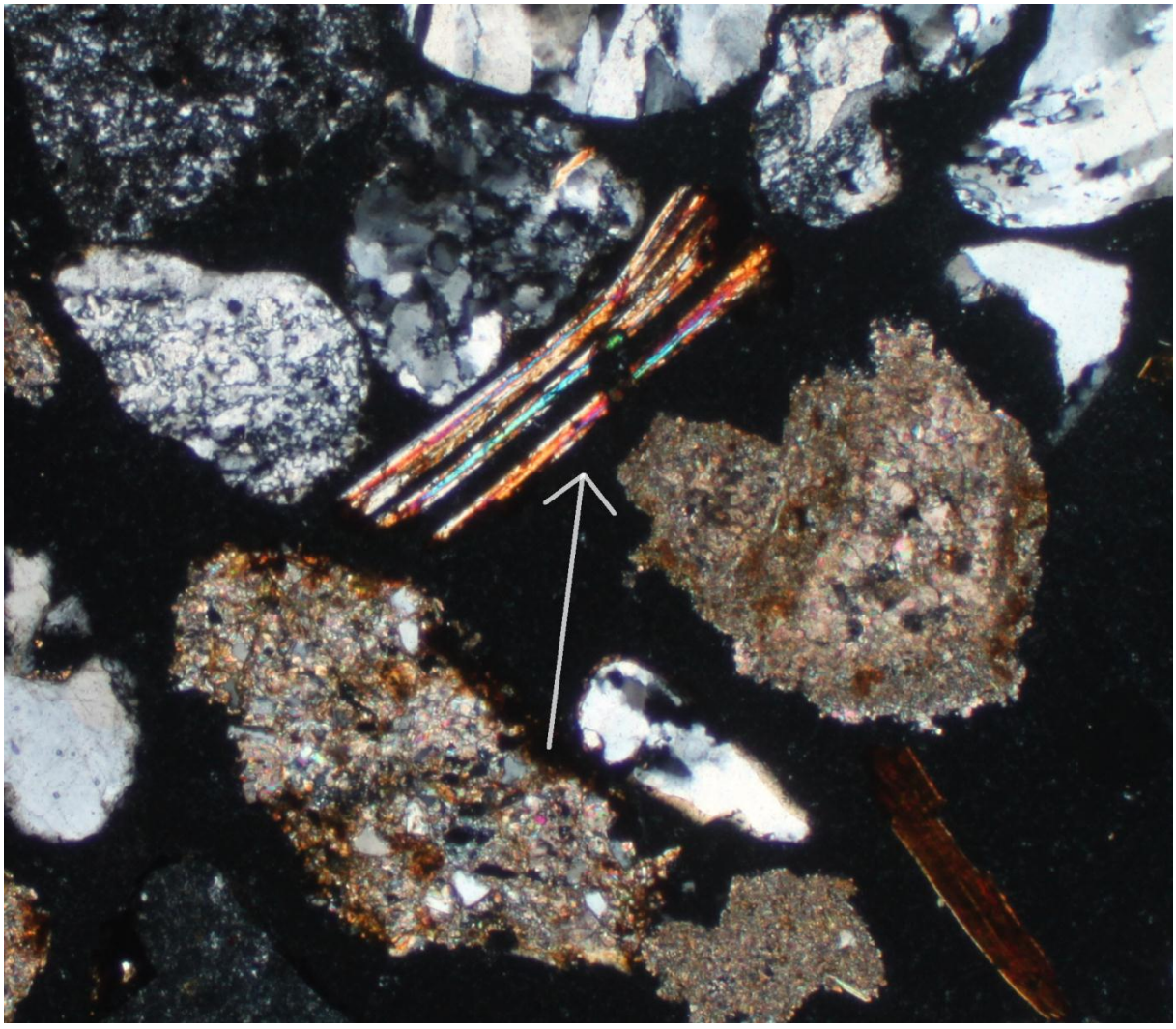
U uzorku možemo naći razne varijetete polikristaliničnog kvarca koji je metamorfoziran i koji prevladava, a monokristaliničnog kvarca ima u manjoj količini. Sitnozrnati pješčenjaci do siltiti sa limontnim vezivom su čvršće vezani i imaju čvršće vezivo nego u drugim analiziranim uzorcima, nisu porozni. U uzorku još ima magmatskih čestica; vulkanskog stakla, kvarca, radiolarijskih čertova; rožnjaka, grauvaka s karbonatnim matriksom i crvenih fragmenata – limonita. Valutice u uzorku su subungularne do dobro zaobljene. Slika 23 obuhvaća sve vrste sedimentnih čestica koje su pronađene u uzorku MR-4.



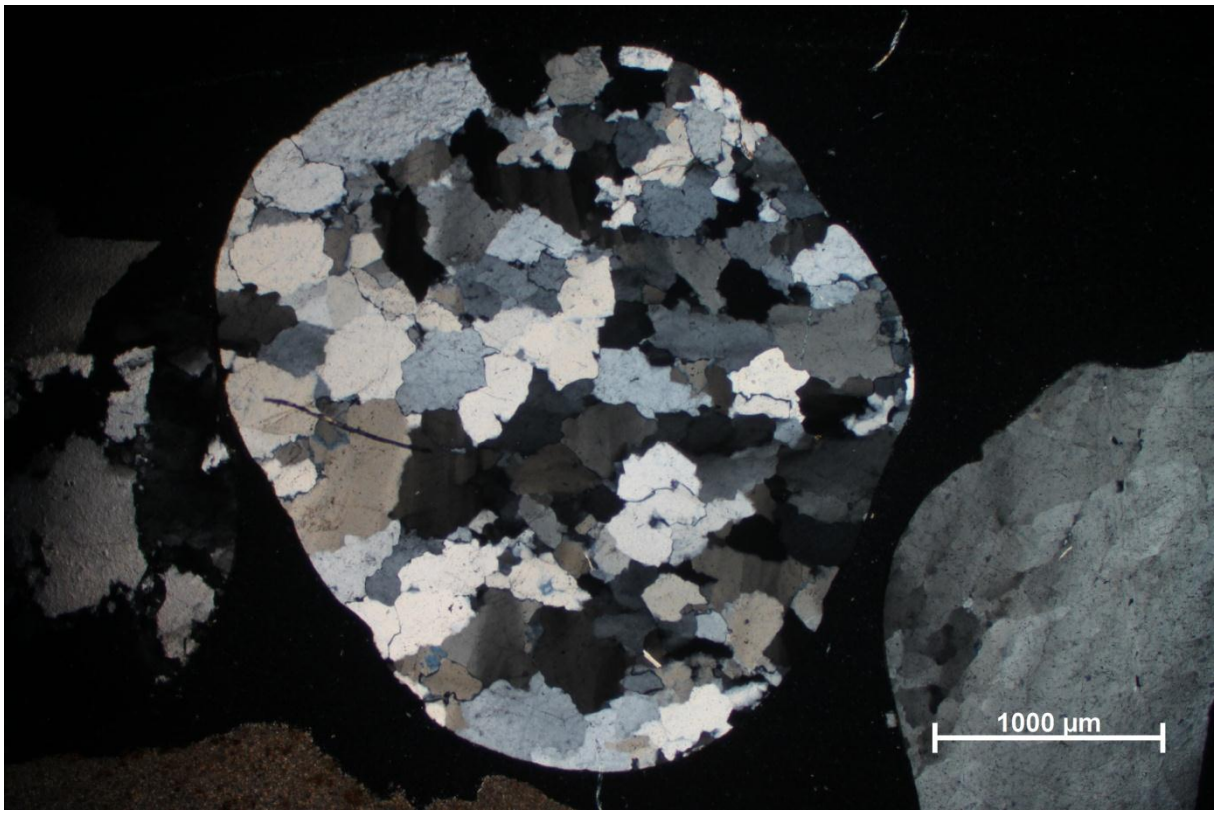
Slika 23. Varijeteti sedimentnih čestica u uzorku MR-4

UZORAK CA-5

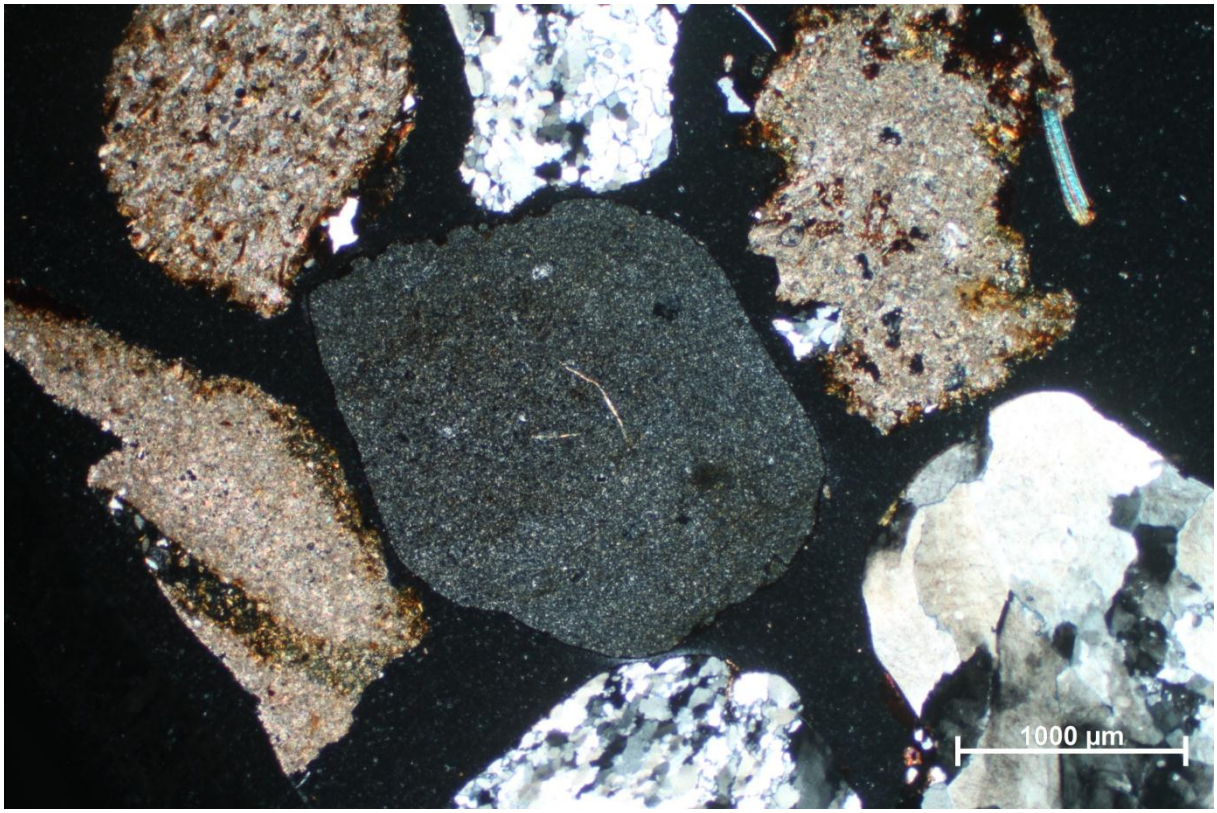
Prevladavaju razni varijeteti metamorfoziranog polikristaliničnog kvarca; kvarc-sericit fragmenti s izraženim i bez izraženog klivaža (Slike 24 i 25), siltiti i pješčenjaci s karbonatnim matriksom – areniti (Slika 24, 26 i 27), sitnozrnati karbonatni sedimenti – grauvake (srednje do dobro sortirane čestice koje sadrže monokristalni, polikristalni kvarc i tinjce sa sitnozrnatim i srednjezrnatim matriksom), radiolarijski rožnjaci – čertovi (Slika 26), pješčenjaci s limonitom (slabo vezani), i tinjci (slika 24). Valutice su subungularne do dobro zaobljene. Čestice sa limonitnim vezivom su slabije vezane, porozne (Slika 27).



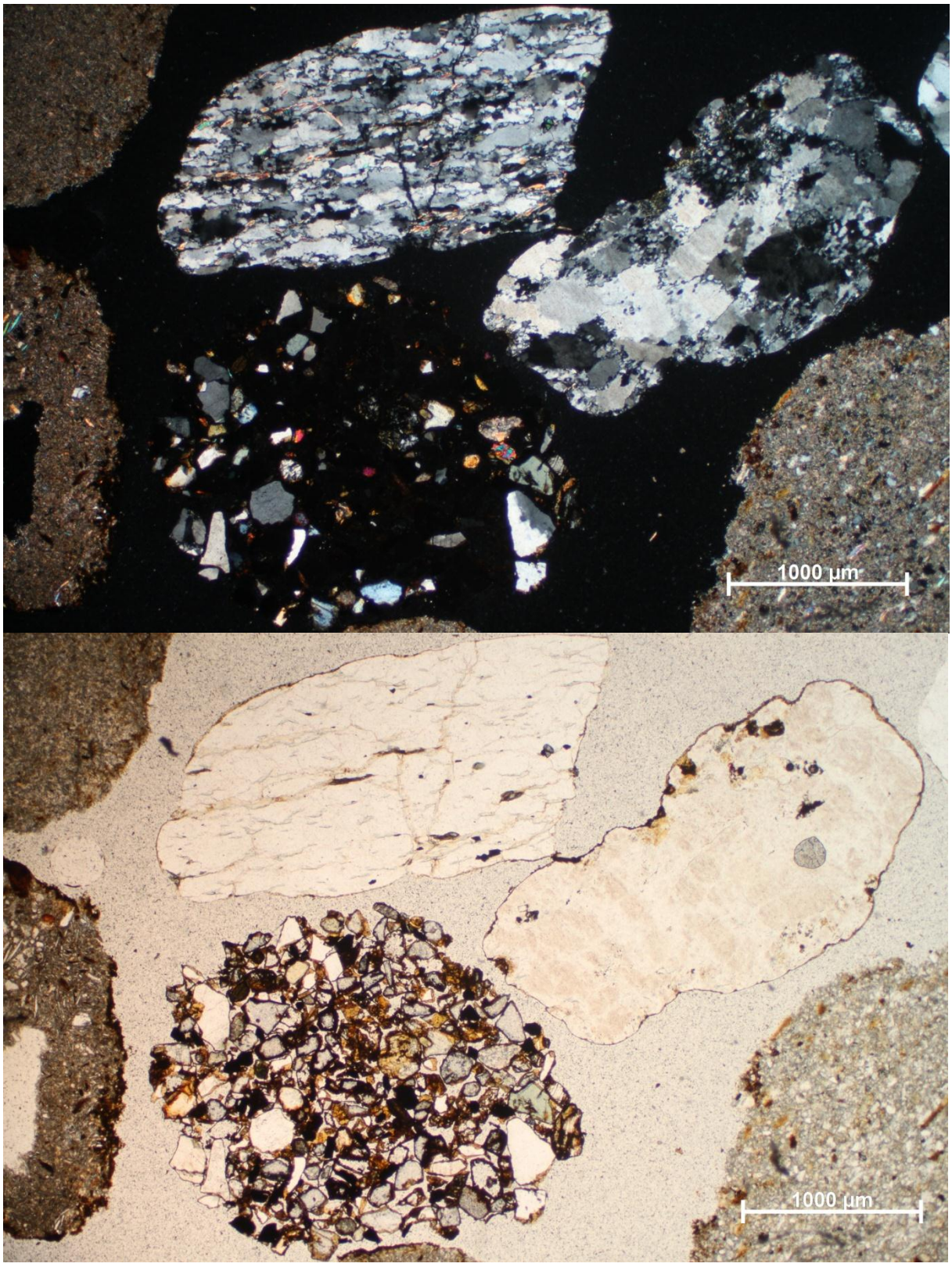
Slika 24. Uzorak CA-5, tinjci



Slika 25. Uzorak CA-5, metamorfozirana čestica



Slika 26. Uzorak CA-5, rožnjak



Slika 27. Uzorak CA-5, slabo vezana čestica s uključenim i isključenim analizatorom

6. RASPRAVA

Analiza teških minerala provedena je na sedimentima iz Cabune, Mučne Reke i Hampovice. Mogući izvor materijala za nastanak proučavanih sedimenata Bilogore povezuju se s Alpskom provenijencijom i lokalnim izvorima. Na sjevernom dijelu gorja to je planina Kalnik, a na jugoistočnom dijelu gorja Slavonske planine. U uzorku Ca-5 dominiraju granati a u uzorcima B-1/5 i MR-6 dominiraju minerali iz grupe epidot/zoisit. Od ostalih minerala javljaju se jos amfiboli, rutil, turmalin, kijanit, staurolit i cirkon. U uzorku Ca-5 Cabuna iz okolice Slatine dominiraju granati, što sugerira Alpsko podrijetlo tih sedimenata, donešeni su paleo Dravom i čine Dravsku terasu. Također je moguće da je materijal donešen tijekom neogena, naknadno uzdignut u okolnim planinama poput Kalnika i Ivanščice, te pretaložen. Javljaju se kvarcom bogati litoklasti metamorfnog podrijetla, a izvorište takvih detričnih materijala je u miocenu i mlađim sedimentima jugozapadnog dijela Panonskog bazena i pripisuju se Alpskoj provenijenciji (Mutić, 1975; Šćavnićar, 1979; Šimunić, 1987). Izraženi sedimentni litoklasti upućuju da je barem dio, ili cijeli detritus prerađen i da je došao iz više lokalnih izvorišnih područja. Mutić (1975) analizirala je koncentraciju teških minerala iz okolice Slatine i udio granata iznosi između 45-60%, što se podudara s uzorkom Ca-5 gdje je postotak granata 45%. Udio granata pada prema sjeverozapadnom dijelu gorja, tako ih u lokalitetu Hampovica ima 23%, dok ih u Mučnoj Reki nema. To bi moglo sugerirati da uzorak MR-6 uzet iz šljunkovito-pjeskovitih naslaga ne pripada Dravskoj terasi, nego da je materijal donesem s okolnih planina. U uzorku dominiraju minerali iz grupe epidot/zoisit. Njihov nastanak je vezan za niski do srednji stupanj metamorfizma. Najvjerojatnije izvorište tog materijala su lokalna izdignuća i planine unutar prostora jugozapadnog Panonskog bazena. U uzorku B-1/5 dominiraju granati i minerali iz grupe epidot/zoisit. Peh i sur. (1998) napravili su analizu teških minerala u okolici Đurđevca i dobili su slične postotne udjele granata i epidota. Zaključili su da les vjerojatno potječe iz gornjeg pleistocena iz udaljenijih područja, primjerice Alpa (Hećimović, 1987). Mutić (1975) ističe da su izvorišne stijene takvih karakterističnih materijala najvjerojatnije metamorfne stijene (gnajsevi) iz Pohorja.

Nedostatak granata u uzorku iz Mučne Reke otvara nova pitanja o porijeklu dijela kvartarnih naslaga u sjeverozapadnom dijelu Bilogore što nudi nove mogućnosti istraživanja.

7. ZAKLJUČAK

1) Uzeta su tri uzorka sa prostorno različitih dijelova gorja Bilogore i analizirana. Udio granata pada prema sjeverozapadnom dijelu gorja, a u lokalitetu Mučna Reka ih nema. Udio minerala epidot/zoisit raste prema sjeverozapadnom dijelu gorja i dominira.

2) Udio prozirnih minerala dobivenih u Cabuni sličan je onima koji su dobiveni u dosadašnjim istraživanjima. Za porijeklo tog materijala možemo pretpostaviti donos iz Alpa paleo Dravom i te naslage pripadaju Dravskoj terasi.

   Mogućnost je da je materijal iz Alpa istaložen na okolnim planinama i nakon toga pretaložen na Bilogoru.

3) Udio prozirnih minerala iz Mučne Reke pokazuje da nema granata. To sugerira da ti pjeskovito-šljunkoviti sedimenti nisu doneseni paleo Dravom i da nisu alpskog podrijetla, već da su najvjerojatnije izvorište tog materijala lokalna izdignuća i planine unutar prostora jugozapadnog Panonskog bazena.

8. LITERATURA

Adams, A. E., MacKenzie, W. S., Guilford, C. (1984): Atlas of sedimentary rocks under the microscope. Harlow Longman, England, 104 str.

Allman, M., Lawrence, D.F. (1972): Geological laboratory techniques. London: Blandford.

Babić, Lj., Hochuli, P. A, Zupanic, J. (2002): The Jurassic ophiolitic mélange in the NE. Dinarides: dating, internal structure and geotectonic implications. Eclogae Geologicae Helveticae, 95,263-.275.

Babić, Ž., Čakarun, I., Sokač, A., Mraz, V. (1978): O geologiji kvartarnih naslaga porječja Drave. Geološki vjesnik, 30, 43-61.

Barić, G., Mesić, I., Jungwirth, M. (1998): Petroleum Geochemistry of the Deep Part of the Drava Depression, Croatia. Organic geochemistry, 29, 571-582.

Bérczi, I., Hamor, G., Jambor, A., Szentgyörgyi, K. (1988): Neogene sedimentation in Hungary. In: Royden, L.H., Horvath, F. (Eds.), The Pannonian Basin-A study in basin evolution. AAPG Memors 45, The American Association of Petroleum Geologists Tulsa, Oklahoma (USA) i Hungarian Geological Society, Budapest (Hungary), 57-67.

Bognar A. (2001): Geomorfološka regionalizacija Hrvatske. Geographica Croatica, 34, 7-26.

Bonacci, O., Oskoruš, D. (2010) The changes in the lower Drava River water level, discharge and suspended sediment regime. Environmental Earth Sciences, 59, 1661-1670.

Bršenić, B. (2006): Reljef SZ Bilogore i SZ dijela Podravine i njegovo geoekološko vrednovanje. Master Thesis, Faculty of Science/Department of Geology, University of Zagreb, Zagreb, 179 p.

Carver, R.E. (1971): Heavy mineral separation. In procedures in sedimentary petrology, R.E. Carrver (ed.), 427-52, New York.

Cheel, R.J. (1984): Heavy minerals shadows, a new sedimentary structure formed under upper-flow-regime conditions: its directional and hydraulic significance. J. Sedim. Petrol. 54, 1175-82.

Crkvenčić, I., Dugački, Z., Jelen, I., Malić, A., Riđanović, J., Rogolić, J., Šegota, T., Žunjić, S. (1974): Središnja Hrvatska. Školska knjiga, Zagreb, 216p.

Csontos, L., Nagymarosy A. (1998): The Mid-Hungarian line: A zone of repeated tectonic inversions. Tectonophysics, 297, 51-71.

Cvetković, M. (2013): Naftnogeološki potencijal i litostratigrafska razradba trećega neogensko-kvartarnog megaciklusa u Savskoj depresiji. PhD Thesis, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, Zagreb, 175p.

Dryden, A.L. (1931): Accuracy in percentage representation of heavy mineral frequencies. Proc. Ac. Nat. Sci. 17, 238-8.

Galehouse, J.S. (1969): Counting grain mounts: number percentage vs. Number frequency. J. Sedim. Petrol. 39, 812-15.

Galehouse, J.S. (1971): Point counting. In Procedures in sedimentary petrology, R.E. Carver (ed.), 385-407. New York: Wiley.

Galović, I., Marković, S., Magdalenić, Z. (1981): Explanatory notes for Geological map 1 : 100 000, sheet Virovitica (in Croatian): Federal Geologival Institute Beograd, 1-41.

Hećimović, I ., Prelogović, E. (1987): Explanatory notes for Geological map 1:100 000, sheet Podravska Slatina (in Croatian). Federal Geological Institute, Beograd, 39 p.

Hećimović, I., (1987): Explanatory Notes for Geological Map 1: 100 000, Sheet Đurđevac (In Croatian). Federal Geological Institute Belgrade, pp. 1-39.

Henningsen, D. (1967): Crushing of sedimentary rock samples and its effects on shape and nuber of heavy minerals. Sedimentology 8, 253-5.

Herak, D., Herak, M., Tomljenović, B. (2009): Seismicity and earthquake focal mechanisms in North-Western Croatia. Tectonophysics, 465, 212-220.

Johnsson, M.J., Stallard, R.F., Lundberg, N. (1991): Controls on the composition of fluvial sands from a tropical weathering environment: Sands of the Orinoco drainage basin, Venezuela and Colombia. Geological Society of America Bulletin, 103, 1622–1647.

Korolija, B., Vragović, M., Crnko, J., Mamužić, P. (1986): Explanatory notes for Geological map 1 : 100 000, sheet Bjelovar (in Croatian): Federal Geologival Institute Beograd, 1-41.

Kováč, M., Andreyeva-Grigorovich, A., Bajraktarević, Z., Brzobohatý, R., Filipescu, S., Fodor, L., Harzhauser, M., Nagymarosy, A., Oszczypko, N., Pavelić, D., Rögl, F., Saftić, B., Sliva, Lj., Studencka, B. (2007): Badenian evolution of the Central Paratethys Sea: Paleogeography, climate and eustatic sea-level changes. Geologica Carpathica, 68, 579-606.

Kovač, M., Andreyeva-Grigorovichg, A.S., Brzoboharj, R., Fodor, L., Harzhauser, M., Oszczyplrofi, N., Pavelić, D., Rogl, F., Saftić, B., Sliva, L., Stranik, Z. (2003): Karpatian Paleogeography,Tectonics and Eustatic Changes. In Book: The Karpatian- A Lower Miocene Stage oft he Central Paratethy (Eds. Brzobohaty, R., Cicha, I., Kovač, M., Rogl, F.), Masaryk University Brno, 49-72.

Kovačić, M., Grizelj, A. (2006): Provenance of the Upper Miocene clastic material in the southwestern part of the Pannonian Ba sis.– Geol. Carpath., 57, 495–510.

Krumbein, W.C., Pettijohn, F.J. (1938): Manual of sedimentary petrography. New York: Appleton-Century.

Lučić, D., Saftić, B., Krizmanić, K., Prelogović, E., Britvić, V.,Mesić, I., Tadej J. (2001): The Neogene evolution and hydrocarbon potential of the Pannonian Basin in Croatia. Marine and Petroleum Geology, 18, 133-147.

MacKenzie W. S., Adams, A. E. (1994): A colour atlas of rocks and minerals in thin section. Manson Publishing Ltd, London, United Kingdom, 192 str.

Mackie, W. (1923): The source of purple zircons in the sedimentary rocks of Scotland. Trans. Edinburgh Geol. Soc. 11, 200–213.

Malvić, T., Đureković, M. (2004): Regional geological settings and hydrocarbon potential of Bjelovar sag (subdepression), R. Croatia. Nafta : exploration, production, processing, petrochemistry, 55/7-8, 273-288.

Malvić, T., Velic, J. (2011): Neogene Tectonics in Croatian Part of the Pannonian Basin and Reflectance in Hydrocarbon Accumulations. In: New Frontiers in Tectonic Research- At the Midst of Plate Convergence(Ed.) Schattner, U., InTech, 215-238.

Mange, M., Maurer F. (1992): Heavy minerals in colour. Chapman & Hall, London, 147 p.d

Marković, S. (1986): Explanatory notes for Geological map 1 : 100 000, sheet Podravska Slatina (in Croatian): Federal Geologival Institute Beograd, 1-69.

Matoš B. (2014): Neotectonic and recently active faults in Bilogora mountain area and assessment of their seismogenic potential. PhD Thesis, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, Zagreb, 307p.

Matoš, B., Perez-Pena, J.V., Tomljenović, B. (2016): Landscape response to recent tectonic deformation in the SW Pannonian Basin: evidence from DEM-based morphometric analysis of the Bilogora Mt. area, NE Croatia. Geomorphology, 236, 132-155.

Matoš, B., Zajc, M., Kordić, B., Tomljenović, B., Gosar, A. (2017): Quaternary fault activity in the SW Pannonian basin: GPR surveying in Bilogora (NE Croatia). Geological Quarterly, 61 (1), 18-36.

McQuivey, R.S., Keefer, T.N. (1969): The relation of turbulence to deposition of magnetite over ripples. Prof. Pap. US Geol Surv., no. 650-D, 244-47.

Morton, A. C., Hallsworth C.R. (1999): Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones Sedimentary Geology, 124, 3–29.

Mrinjek, E., Sremac, J., Velić J. (2006): Pliocene Alluvial Sediments in the Drava Depression of the Virovitica–Slatina Area, Northern Croatia. Geologia Croatica, 59, 65-84.

Mutić, R., (1975): Pijesak rijeke Drave u naslagama bušotine B-12 nedaleko Podravske Slatine. Geološki Vjesnik 28, 243-268.

Pamić, J. (1997): Volcanic rocks of the Sava-Drava interfluve and Baranja based on surface and subsurface data (in Croatian). Nafta, Journal Special Publication, Zagreb, 192p.

Pavelić, D. (2001): Tectonostratigraphic model for the North Croatian and North Bosnian sector of the Miocene Pannonian Basin System. Basin Research, 13, 359–376.

Pavelić, D., Avanić, R., Kovačić, M., Vrsaljko, D., Miknić, M. (2003a): Stages in the Evolution of the Miocene North Croatian Basin (Pannonian Basin System). In Vlahović I. i Tišljar J. (Eds.): Evolution of depositional environments from the Paleozoic to the Quaternary int he Karst Dinarides and the Pannonian Basin. 22nd IAS Meeting of Sedimentology (Opatija), Field Trip Guidebook, Zagreb, 153-162.

Pavelić, D., Kovačić, M., Miknic, M., Avanić, R., Vrsaljko, D., Bakrač, K., Tišljar, J.,Galović, I., Bortek Ž. (2003b): The Evolution of the Miocene Environments in the Slavonian Mts. Area (Northern Croatia). In Vlahović I. i Tišljar J. (Eds.): Evolution of depositional environments from the Paleozoic to the Quaternary int he Karst Dinarides and the Pannonian Basin. 22nd IAS Meeting of Sedimentology (Opatija), Field Trip Guidebook, Zagreb, 173-181.

Pavelić, D., Miknić, M., Sarkotić-Šlat, M. (1998): Early to Middle Miocene facies succession in lacustrine and marine environments on the southwestern margin of the Pannonian Basin System (Croatia). Geologia Carpathica, 49/6, 433- 433.

Prelogović, E. (1974): Neotektonski i strukturni odnosi u Dravskom području. PhD Thesis, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, Zagreb, 150p.

Peh, Z., Novosel-Škorić, S., Kruk, LJ. (1998): Discriminant analysis as a tool for the distinction of Quarternary Sediments in the Region of Đurđevac. Geologia Croatica, 51/5, 47-58.

Prelogović, E., Hernitz, Z., Blašković I. (1969): Primjena morfometrijskih metoda u rješavanju strukturno-tektonskih odnosa na području Bilogore. Geološki vjesnik, 22, 525-531.

Prelogović, E., Saftić, B., Kuk, V., Velić, J., Dragaš, M., Lučić, D. (1998): Tectonic activity in the Croatian part of the Pannonian basin. Tectonophysics, 297, 283-293.

Prelogović, E., Velić, J. (1988): Kvartarna tektonska aktivnost zapadnog dijela Dravske potoline. Geološki vjesnik, 41, 237-253.

Prelogović, E., Velić, J. (1992): Correlation of Quaternary Sediments and Tectonic Activity of the Eastern Part of the Drava River Depression. Geologia Croatica, 45,151-162.

Rittenhouse, G., Bertholf W.E. (1942): Gravity versus centrifuge separation of heavy minerals from sands. J. Sedim. Petro. 12, 85-9.

Rogl, F. (1996): Statigraphic Correlation oft he Paratethys Oligocene and Miocene. Mittelung Gesellschaft Geologische Bergbaustudenten Osterreich, 41, 65-73.

Rogl, F. (1999): Mediterranean and Paratethys. Facts and Hypotheses of an Oligocene to Miocene Paleogeography (Short Overview). Geologica Carpathica, 50, 4, 339-349.

Royden, L.H., Horvath, F. (Eds.) (1988): The Pannonian Basin e a Study in Basin Evolution. AAPG Memoirs 45, the American Association of Petroleum Geologists Tulsa, p. 394. Oklahoma (USA) & Hungarian Geological Society, Budapest (Hungary).

Rubey, W.W. (1933): The size distribution of heavy minerals within a water-lain sandstone, J. Sediment. Petrol, 3, 3-29

Saftić, B., Velić, J., Sztano, O., Juhasz, G.Y., Ivković, Ž. (2003): Tertiary Subsurface facies, source rocks and hydrocarbon resevoirs in the SW part of the Pannonian basin (northern Croatia and south-western Hungary). Geologia Croatica, 56(1), 101-122.

Scholle, P. (1979): A color illustrated guide to carbonate rock constituents, textures, cements and porosities of sandstone and associated rocks. American association of Petroleum Geologists, Tulsa, 201 str.

Šćavničar, B. (1979): Pješčenjaci pliocena i miocena Savske potoline. Scientific Committee for Petroleum of the Yugoslavian Academy of Science and Art, 3rd Scientific Congress of the Section for Applied Geology, Geophysics and Geochemistry, Novi Sad (1977), 2, 351-383.

Šimunić, A. (1987): Rekonstrukcija neotektonskih zbivanja u sjeverozapadnoj Hrvatskoj na temelju analize pontskih sedimenata. Yugosl. Acad. Sci. Art 431/22, 155-177.

Šimunić, A., Hećimović, I., Avanić, R. (1990): Basic Geological Map of the Republic of Croatia, M 1:100 000, Sheet Koprivnica (L33-70). Croatian Geological Survey, Zagreb, 2013.

Tomljenović, B., Csontos, L. (2001): Neogene-Quaternary structures in the border zone between Alps, Dinarides and Pannonian Basin (Hrvatsko zagorje and Karlovac Basins, Croatia). International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau), 90, 560-578.

van Andel, T.H. (1959): Reflection on the interpretation of heavy mineral analyses. J. Sediment. Petrol, 29, 153–163.

Van Harten, D. (1965): On the estimation of relative grain frequencies in heavy mineral slides. Geol. Minb. 44, 357-63.

Velić, J. (2007): Geologija ležišta nafte i plina. Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, Zagreb, 342p.

Velić, J., Weisser, M., Saftić,B.,Vrbanac, B., Ivković Ž. (2002): Petroleum geological characteristic and exploration level of three Neogene depositional megacycles int he Croatian part oft he Pannonian basin. Nafta, 53/6-7, 239-249.

Wacha, L., Matoš, B., Kunz, A., Lužar-Oberiter, B., Tomljenović, B., Banak, A. (2017): First post-IR IRSL dating results of Quaternary deposits from Bilogora (NE Croatia): Implications

for the Pleistocene relative uplift and incision rates in the area. Quarternary International. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.08.049