

# Usporedba recentnih dravskih sedimenata sa sedimentima dravske riječne terase na lokalitetu Novigrad Podravski

---

Mateša, Karlo

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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:217:878808>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-24**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Karlo Mateša

**Usporedba recentnih dravskih sedimenata sa  
sedimentima dravske riječne terase na lokalitetu  
Novigrad Podravski**

Diplomski rad

Zagreb, 2022.

## IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Ja, KARLO MATEŠA, student/ica Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, s prebivalištem na adresi PODVOŽIĆ 16/A, BARILONIC, OIB 27595061596, JMBAG 011903792, ovim putem izjavljujem pod materijalnom i kaznenom odgovornošću da je moj završni/diplomski/doktorski rad pod naslovom: USPOREDBA RECENTNIH DRAVSKIH SEDIMENTATA SA SEDIMENTIMA DRAVSKE RIJEČNE TERASE NA LOKALITETU NOVIGRAD PODRAVSKI, isključivo moje autorsko djelo, koje je u potpunosti samostalno napisano uz naznaku izvora drugih autora i dokumenata korištenih u radu.

U Zagrebu, 31.1.2022.

  
Potpis

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOLOŠKI ODSJEK

Karlo Mateša

**Usporedba recentnih dravskih sedimenata sa  
sedimentima dravske riječne terase na lokalitetu  
Novigrad Podravski**

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

Mentor:  
Doc. dr. sc. Borna Lužar-Oberiter

Zagreb, 2022.

## *Zahvale*

Veliko hvala mojoj obitelji, djevojci, prijateljima i djelatnicima fakulteta na suradnji i podršci tijekom studiranja, a posebno hvala doc. dr. sc. Borni Lužaru-Oberiteru na mentoriranju.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Diplomski rad

### Usporedba recentnih dravskih sedimenata sa sedimentima dravske riječne terase na lokalitetu Novigrad Podravski

Karlo Mateša

**Rad je izrađen na:** Geološkom odsjeku, PMF, Horvatovac 102a, u sklopu diplomskog studija Geologija zaštite okoliša.

**Sažetak:** Glavni cilj ovog diplomskog rada bio je usporediti recentne dravske sedimente sa sedimentima na lokalitetu Novigrad Podravski te im utvrditi porijeklo. U tu je svrhu običen i snimljen teren, uzorkovani su šljunci i pijesci te su napravljene granulometrijska i petrografska analiza te analiza teške mineralne frakcije. Rezultati petrografske analize i analize teških minerala ukazuju da porijeklo recentnih sedimenata rijeke Drave i četvrte dravske terase (pleistocen) odgovara geologiji istočnih Alpa koje su građene od neoproterozojskih i fanerozojskih metamorfnih stijena. Sastav valutica ukazuje i na prisutnost vulkanskih stijena u izvorišnom području. Ne isključuje se mogućnost da je dio materijala četvrte dravske terase pretaložen s okolnih gora čije je uzdizanje započelo u pliocenu, što je potkrijepljeno većom zrelošću teške frakcije te povećanim udjelima epidota, cirkona, rutila i turmalina u pojedinim uzorcima.

**Ključne riječi:** provenijencija, analiza teških minerala, Drava, pleistocen, holocen, Novigrad Podravski

**Rad sadrži:** 50+XI stranica, 42 slike, 4 tablice, 56 literaturnih navoda, 2 internetska izvora, 2 table i 1 prilog

**Jezik izvornika:** hrvatski

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

**Mentor:** doc. dr. sc. Borna Lužar-Oberiter, PMF, Zagreb

**Ocjenjivači:** doc. dr. sc. Borna Lužar-Oberiter, PMF, Zagreb

prof. dr. sc. Marijan Kovačić, PMF, Zagreb

doc. dr. sc. Katarina Gobo, PMF, Zagreb

**Datum završnog ispita:** 23. veljače 2022.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geology

### Graduate Thesis

## COMPARISON OF RECENT DRAVA RIVER SEDIMENTS WITH THE SEDIMENTS OF THE DRAVA RIVER TERRACE AT THE NOVIGRAD PODRAVSKI SITE

Karlo Mateša

**Thesis completed in:** Environmental geology, Department of Geology, Faculty of Science, University of Zagreb.

**Abstract:** The main goal of this Thesis was to compare recent Drava river sediments with sediments of Novigrad Podravski and determine their provenance. For that purpose river and excavation sites were visited and surveyed where gravel and sand were sampled. This was followed granulometric, petrographic and quantitative heavy mineral analysis. Results show that the recent Drava river sediments and the 4<sup>th</sup> Drava river terrace (Pleistocen) to some degree have similar characteristics, and are ultimately derived from a common source area in the Eastern Alps largely built of neoproterozoic and phanerozoic metamorphic rocks. Composition of pebbles indicates the presence of volcanic rocks in the source area. It is not not excluded that a part of 4<sup>th</sup> Drava river terrace sediments represent redeposited material from surrounding hills and mountains uplifted since the Pliocen, which is substantiated by the maturity of THM fraction and increased proportions of epidot group minerals, zircon, rutile and tourmaline in some specimens.

**Keywords:** provenance, heavy mineral analysis, Drava, Pleistocen, Holocene, Novigrad Podravski

**Thesis contains:** 50+XI pages, 42 figures, 4 tables, 56 references, 2 internet sources, 2 plates and 1 attachment

**Original in:** Croatian

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

**Supervisor:** Borna Lužar-Oberiter, Ph.D. assistant professor, PMF, Zagreb

**Reviewers:** Borna Lužar-Oberiter, Ph.D. assistant professor, PMF, Zagreb  
Marijan Kovačić, Ph.D. full professor PMF, Zagreb  
Katarina Gobo, Ph.D. assistant professor, PMF, Zagreb

**Date of the final exam:** February 23<sup>rd</sup> 2022.

## Sadržaj

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | UVOD.....  | 1  |
| 2     | PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA .....               | 3  |
| 3     | GEOLOGIJA PODRUČJA I RAZVOJ DRAVSKE DEPRESIJE .....  | 8  |
| 3.1   | Dravska depresija .....                              | 8  |
| 3.2   | Izdizanje okolnih planina, Kalnika i Bilogore .....  | 10 |
| 3.3   | Istočne Alpe.....                                    | 11 |
| 4     | MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA .....               | 14 |
| 4.1   | Terenski rad.....                                    | 14 |
| 4.1.1 | Površinski kop „Klara“, Novigrad Podravski .....     | 14 |
| 4.1.2 | Drava kraj Repaškog mosta i skele Križnica .....     | 16 |
| 4.2   | Granulometrijska analiza.....                        | 18 |
| 4.3   | Petrografska analiza .....                           | 19 |
| 4.4   | Analiza teških minerala .....                        | 19 |
| 4.4.1 | Prosijavanje uzorka.....                             | 19 |
| 4.4.2 | Separacija teške mineralne frakcije .....            | 20 |
| 4.4.3 | Izrada rasutih mikroskopskih preparata .....         | 22 |
| 4.4.4 | Determinacija teških minerala i brojanje zrna .....  | 22 |
| 5     | REZULTATI .....                                      | 24 |
| 5.1   | Granulometrijska analiza.....                        | 24 |
| 5.2   | Petrografska analiza .....                           | 27 |
| 5.2.1 | Uzorci s pruda Drave .....                           | 27 |
| 5.2.2 | Uzorci iz šljunčare „Klara“, Novigrad Podravski..... | 32 |
| 5.3   | Analiza teških minerala .....                        | 35 |
| 5.3.1 | Uzorci s prudova Drave .....                         | 35 |

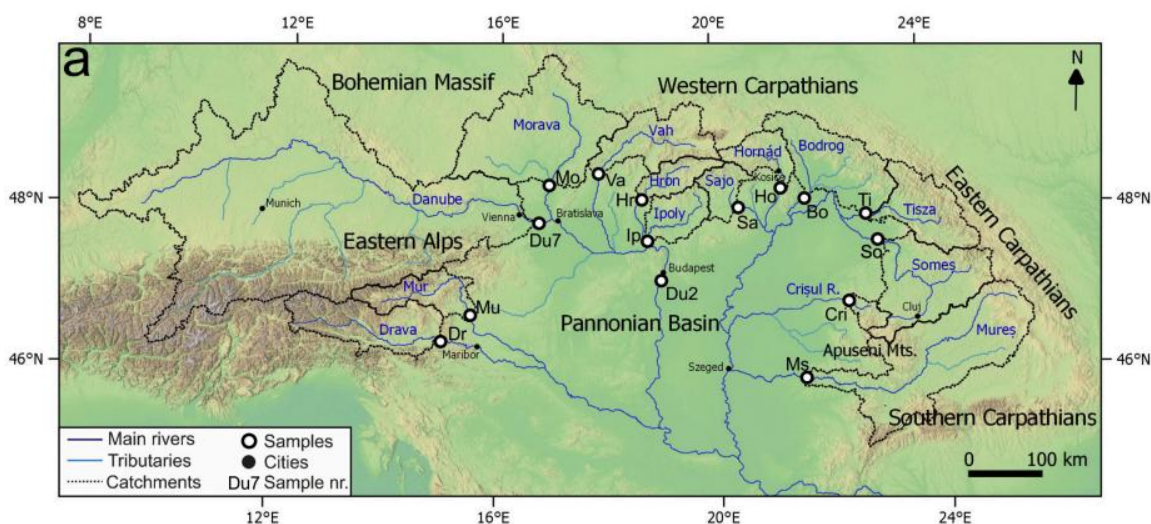


---

|       |   |      |
|-------|---|------|
| 5.3.2 | Uzorci iz površinskog kopa „Klara“, Novigrad Podravski..... | 37   |
| 5.3.3 | Karakteristike opaženih teških minerala.....                | 38   |
| 6     | RASPRAVA.....   | 43   |
| 7     | ZAKLJUČAK.....  | 49   |
| 8     | LITERATURA .....  | 50   |
| 9     | TABLE .....   | V    |
|       | TABLA 1 .....   | V    |
|       | TABLA 2 .....   | VIII |
| 10    | PRILOZI.....  | XI   |

## 1 UVOD

Rijeka Drava izvire u istočnim Alpama, tj. južnom Tirolu u Italiji blizu austrijske granice na nadmorskoj visini od oko 1200 m. U svojih prvih nekoliko kilometara spušta se na 400 mnnv, ulazeći u Austriju, teče prema istoku i razdvaja metamorfne središnje Alpe od vapnenačkih Alpa, a dalje nizvodno, stvarajući meandre i iza sebe ostavljajući mrtvaje, postaje prava nizinska rijeka (SOMMERWERK i sur., 2009). Drava prima oborinske vode sa sjevernih i istočnih padina Kalničkog gorja te sa sjeveroistočnih obronaka Bilogore. S desne strane se u nju ulijevaju rijeke Plitvica i Bednja te brojni potoci, od kojih su značajniji Koprivnica i Komarnica (koji su spojeni u kanal Bistra). Lijeva i najveća pritoka Drave je Mura čije je ušće kod Legrada. Do ušća Mure u Dravu, Drava teče u smjeru istoka, a zatim mijenja smjer i teče prema jugoistoku. U Dunav se ulijeva kod Osijeka na 80 m nadmorske visine (Slika 1.1). Prirodni tok rijeke Drave je danas podosta izmjenjen izgradnjom brojnih akumulacija, tj. brana.



1.1 Karta recentnih tokova rijeka Panonskog bazenskog sustava te okolnih planinskih sustava (preuzeto iz ARATÓ i sur., 2021).

Tijekom kasnog miocena i pliocena većina je erodiranog materijala s istočnih Alpa, Bohemijskog masiva i Karpata transportirano u Panonski bazen (KUHLEMANN i KEMPF, 2002). To je rezultiralo akumulacijom vrlo debelih naslaga, ponegdje debljine i preko 6 km (HORVÁTH i sur., 2015), što Panonski bazen čini jednom od najvećih akumulacija sedimenta u Europi. Za kvartarne naslage Panonskog bazena može se reći da su mješavina donešenih sedimenta nekoliko (paleo)rijeka (THAMÓ-BOZSÓ i KOVÁCS, 2007; GÁBRIS i NÁDOR, 2007; GÁBRIS i sur., 2012; ARATÓ i sur., 2021) od kojih su u

ovom radu u fokusu sedimenti riječnih terasa i recentnog toka rijeke Drave na području Koprivnice-Novigrada Podravskog. Prema geološkim kartama istraženog područja rijeka Drava ima četiri aluvijalne terase, dvije koje pripadaju pleistocenu i druge dvije holocenu (ŠIMUNIĆ i sur., 1981, 1990). Dravska depresija je jedna od četiri strukturne regionalne depresije unutar hrvatskog dijela Panonskog bazena (VELIĆ, 2007). Procjenjuje se da ukupne debljine naslaga mogu biti veće od 7 km u središnjem dijelu Dravske depresije (SAFTIĆ i sur., 2003). Obzirom na kompleksnost obuhvaćenog područja istraživanja, kao i ogromnog značaja velikih strukturnih jedinica poput Alpa i Karpata te manjih i mlađih okolnih uzvišenja poput Kalnika i Bilogore, moguće je da se donos materijala u porječje rijeke Drave kroz prošlost mijenjao te su sedimenti neogena i kvartara potencijalno različitih karakteristika i porijekla.

Od 2015. godine, podno Bilogore, u površinskom kopu u Novigradu Podravskom vadi se šljunak koji pripada jednoj od dravskih terasa, ali se ne zna sa sigurnošću kojoj. Geološka karta lista Koprivnice (ŠIMUNIĆ i sur., 1990) i novija istraživanja bliskih lokaliteta ukazuju da bi klastiti Novigrada Podravskog mogli pripadati četvrtoj dravskoj terasi i biti pleistocenske ili čak pliocenske starosti, poput klastita iz Mučne Reke i općenito podno sjevernih obronaka Bilogore (BABIĆ i sur., 1978; WACHA i sur., 2017).

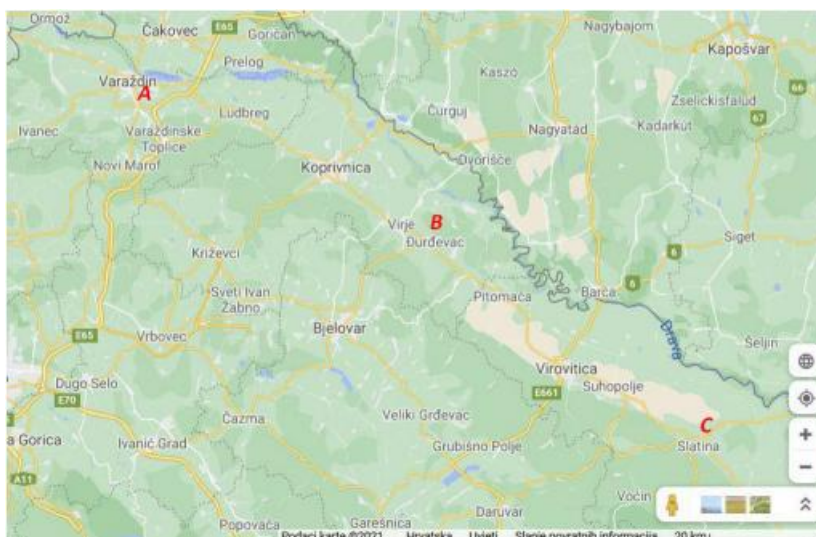
Glavni cilj ovog diplomskog rada bio je usporediti recentne dravske sedimente sa sedimentima dravske terase na lokalitetu Novigrad Podravski. Odnosno, pokušati utvrditi porijeklo tih kvartarnih klastita, trošenjem kojih je stijena nastao, te koje su reljefno–klimatske karakteristike područja iz kojega klastični detritus koji izgrađuje te sedimente potječe. U tu je svrhu obišten i snimljen teren u površinskom kopu „Klara“ kod Novigrad Podravskog te dravski prudovi kod Repaškog mosta i Skele Križnice, gdje su uzorkovani šljunci i pijesci te su napravljene granulometrijske analize, petrografske analize izabranih valutica i analiza teške mineralne frakcije.

## 2 PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Tijekom pleistocenskih interglacijala i u holocenu transportirane su i taložene velike količine šljunka i pijeska koji su danas vidljivi u obliku četiri dravske terase. Sedimenti prve i druge dravske terase sastoje se od šljunka, pijeska, šljunkovitog pijeska te rijeđe siltnog pijeska. Čestice su različitog petrografskog sastava, a prevladavaju metamorfiti i magmati. U lakoj mineralnoj frakciji ima oko 40 % kvarca, 40 % čestica stijena, 12% feldspatate detritičnih karbonatnih zrnai muskovita. Sadržaj teške mineralne frakcije kreće se između 2 i 3 %, a najzastupljeniji su granati, epidot i amfiboli, dok u malim količinama dolaze turmalin, cirkon, rutil, disten, staurolit i titanit (ŠIMUNIĆ i sur., 1990).

PEH et. al. (1998) u svom radu uočavaju određenu razliku pleistocenskih klastita četvrte dravske terase od lesa i holocenskih klastita kod Đurđevca. Pleistocenski klastiti opisani su kao vrlo heterogeni, pa tako razlikujemo krupnozrnate sedimente (30-50 %) koji se sastoje od šljunaka, pijesaka i šljunkovitih pijesaka te sitnozrnate sedimente (48-66 %) čiji je glavni sastojak silt, a koji odgovara dubljim naslagama. Glavni minerali teške frakcije pleistocenskih klastita kod Đurđevca su uniformni, prevladava epidot, pa zatim granati, a u manjoj mjeri ima rutila, cirkona, amfibola i turmalina (PEH i sur., 1998).

U radu MUTIĆ (1975) vrlo je kvalitetno prikazano istraživanje sedimenata gornjeg pleistocena na tri lokaliteta: šljunčara Trnovec nedaleko Varaždina, bušotina B-12 kraj Podravske Slatine i podravski pijesci kraj Đurđevca (Slika 2.1). Značaj ovog rada jesu granulometrijske analize i analize teških minerala čime se stekao uvid u mineralni sastav i povezanost porijekla materijala duž zapadnog porječja rijeke Drave.

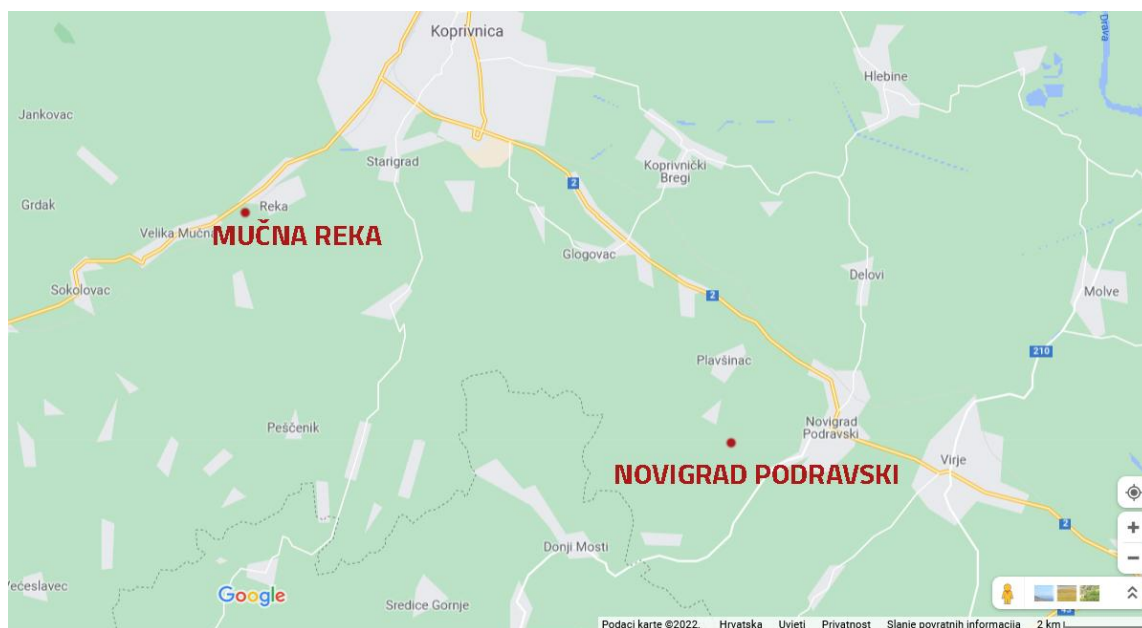


**Slika 2.1** Karta s približno označenim lokalitetima (Mutić, 1975) istraživanih gornjopleistocenskih sedimenata; A - šljunčara Trnovec (B-12), B - Đurđevački pijesci i C - Podravska Slatina (podloga karte preuzeta s Google karata [1]).

Granulometrijskom analizom bušotine B-12 kraj Podravske Slatine utvrđeno je da su sedimenti donjeg dijela istraživanog profila pretežito prahovi (silt) dok u gornjem dijelu profila postoje veće varijacije gdje uz prahove ima gline, pijeska i šljunka. Donji dio profila je dobro sortirani, a sadrži i barske lesne sedimente dok su prahovi, krupnozrnati pijesci i šljunkoviti pijesci gornjeg dijela nesortirani. Dublji sedimenti su pokazali veći udio karbonata, konkretno dolomita. Mineralni sastav određen je mikroskopski, brojanjem zrna nakon separacije na lake i teške minerale. Zastupljenost teške frakcije je relativno visoka, prosječno od 10 do 20 %, a duboki eolski sedimenti sadrže najmanje teških minerala. S najvećim udjelom u frakciji prisutni su granati i to u visokoj predominaciji u gornjem dijelu profila bušotine, ima ih svježih i trošenih, a ustanovljeno je kako se u krupnozrnatijim uzorcima povećava udio svjetloružičastog u odnosu na bezbojne granate. Nakon granata najučestaliji je epidot koji se pak češće javlja u sitnozrnatijim materijalima. Treći značajni sastojak čine amfiboli ponekad nadmašujući epidot, posebno u pjeskovitim materijalima. U sastavu su zastupljeni svijetlozeleni i modrozeleni aktinolit, zelena i smeđa hornblenda te rijetko glaukofan. Kao akcesorni minerali javljaju se i augit, andaluzit, kromit, coisit, kloritoid i brukit. Redoviti su sastojci uzoraka još i staurolit, disten, apatit, turmalin, cirkon, rutil i titanit te vrlo rijetko korund i anatas. Tu su još listićavi minerali, biotit i klorit kojeg ima više. Glavni sastojak lake frakcije je kvarc s čestim inkluzijama. Feldspati čine 20-45 % frakcije lakih minerala i prate slijed učestalosti kvarca i ima ga više u starijim naslagama. To su pretežito albit i ortoklas, a još se pojavljuju mikroklin i

oligoklas. Muskovita također ima više u starijim sedimentima, a on je vrlo svjež i nepravilno trošen, zaobljenost se primjećuje u lesnim i lesolikim naslagama. Redovit sastojak lake frakcije su i čestice stijena, a u bušotini B-12 najzastupljenije su čestice tinjčastog kvarcita i tinjčastog škriljavca (MUTIĆ, 1975). Sedimenti prikupljeni kod šljunčare Trnovec su pjeskoviti šljunci i šljunkoviti pijesci s udjelom karbonata oko 5%. Sastav čine tinjčasti kvarcit, tinjčasti škriljavac, okasti gnajs i rastrošni efuzivi. Analizom sedimenta podravske pijesaka vidljivo je da su zrna krupnije frakcije zaobljenija, također i listićavi minerali pokazuju bolju zaobljenost. Krupnija zrna su višeg stupnja sferičnosti, a sediment je dobro sortirano. Mineralni sastavi oba lokaliteta podudaraju se s mineralnim sastavom sedimenta Podravske Slatine. Naslage Đurđevačkih pijesaka odlikuju visoki udjeli teške mineralne frakcije i visoka zastupljenost granata čime odgovaraju gornjem dijelu profila bušotine B-12 (MUTIĆ, 1975).

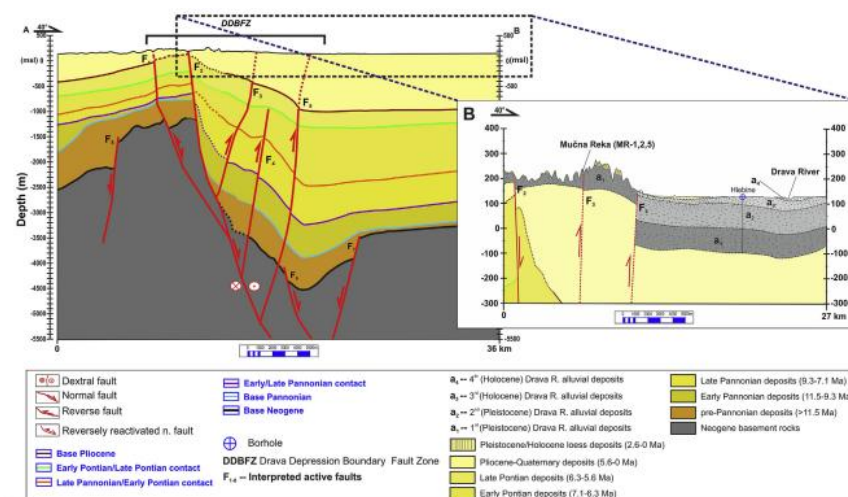
U radu WACHA i sur. (2017) po prvi puta su datirani klastiti četvrte dravske terase i to na lokalitetu Mučna Reka koji je od Novigrada Podravske udaljen svega nekoliko kilometara zračne linije (Slika 2.2) i prema OGK pripada istoj geološkoj jedinici, Q<sub>1</sub> (ŠIMUNIĆ i sur., 1990).



Slika 2.2 Karta lokaliteta površinskog kopa u Novigradu Podravskom i Mučne Reke (podloga karte preuzeta s Google karata [1]).

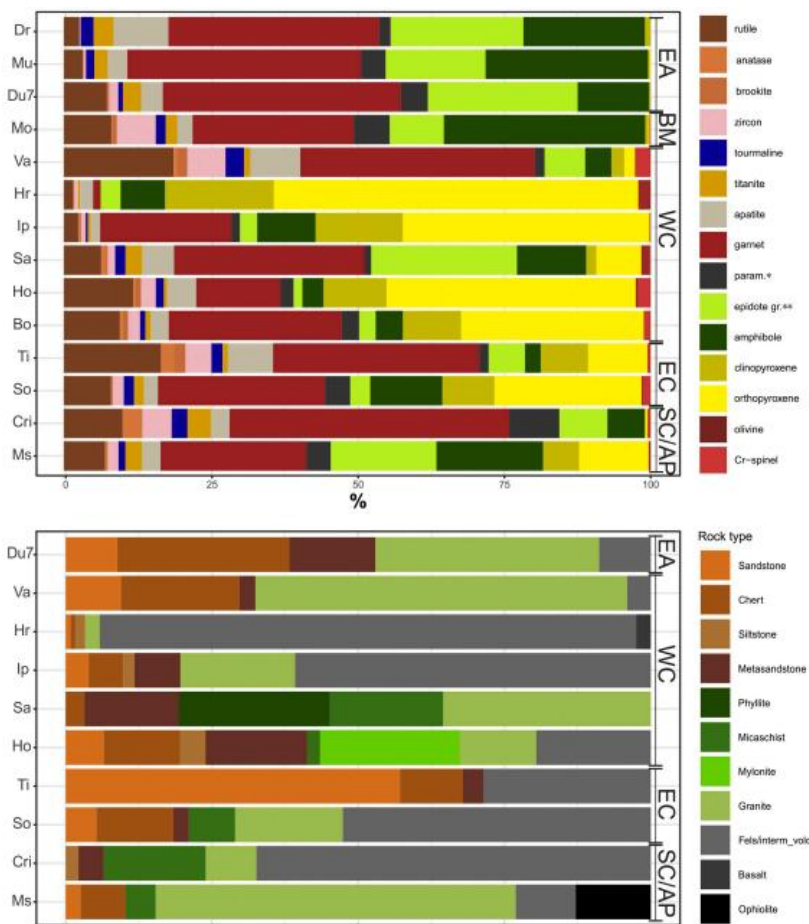
Metodom datiranja pIRIR<sub>290</sub> određena je minimalna starost klastita najstarije (četvrte) dravske terase na lokalitetima Mučna Reka i Cabuna, a ona iznosi >359 ka i >450 ka, ali starost je veća od navedene minimalne, vjerojatno donjo pleistocenska, a možda čak

i pliocenska (ŠIMUNIĆ i sur., 1978, WACHA i sur., 2017). Postoji značajna razlika u dubinama na kojima se nalaze naslage najstarijih dravskih sedimenata. Naime, postoji vertikalni pomak od oko 200 m u korist sedimenata Mučne Reke i stoga su kod Mučne Reke na površini vidljivi klastiti četvrte dravske terase (Slika 2.3). Sedimenti dravske terase, starosti donjeg i srednjeg pleistocena na području SZ Bilogore nalaze se na 160 do 309 m.n.v., a buštine uz recentni tok rijeke Drave ukazuju na iste aluvijalne sedimente, ali na dubinama od 40 pa do čak 140 m ispod morske razine (BABIĆ i sur., 1978). Na profilu (Slika 2.3) se vidi da na krupnijim klastitima četvrte dravske terase leže sitnije lesne naslage. Les je datiran na  $52, 7 \pm 3.8$  ka, što odgovara posljednjem glacijalnom ciklusu i podudara se s ostalim lesnim naslagama u Hrvatskoj. Rasjedni pomaci zbog kojih je došlo do izdizanja ovog dijela terena i cijele Bilogore rezultat su promjena sila naprezanja unutar dravske rasjedne zone koja se pruža SZ-JI, a započelo je tijekom pliocena i doživjelo vrhunac tijekom kvartara (MATOŠ i sur., 2016, 2017).



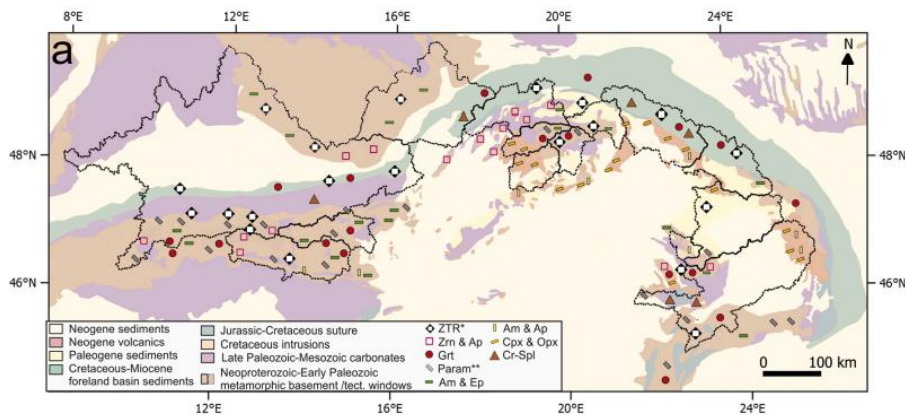
Slika 2.3 Profil dravskih terasa s rasjednim sustavom na lokalitetu Mučna Reka (preuzeto iz WACHA i sur., 2017).

ARATÓ i sur. (2021) usporedili su karakteristike recentnih riječnih sedimenata svih riječnih sustava na prostoru nekadašnjeg PBS-a. Na slici 2.4 prikazani su udjeli najzastupljenijih teških minerala u čak 14 rijeka uključujući i Dravu. U sedimentima Drave, Mure i Dunava tako prevladavaju granati, epidoti i amfiboli, a značajno su prisutni i cirkon, rutil, turmalin, titanit i apatit. Pretpostavljeno je da je izvorište materijala u istočnim Alpama gdje prevladavaju karbonatne stijene, čert, pješčenjaci, metapješčenjaci, graniti i felsični vulkaniti (Slika 2.4)



Slika 2.4 Grafički prikaz teške mineralne zajednice (A) i izvorišnih stijena (B) za sedimente recentnih rijeka Panonkog bazenskog sustava. Dr – Drava, Mu – Mura, Du7 – Dunav. EA – istočne Alpe (preuzeto iz ARATÓ i sur., 2021).

Na slici 2.5 jasno je prikazan smještaj krednih intruzivnih stijena, kasno paleozojsko – mezozojskih karbonata i neoproterozojsko – rano paleozojskih metamornih stijena alpske podloge koje grade istočne alpe, a prikazani su i uz njih povezani teški minerali. Uz istoče Alpe vežemo granate, epidot, amfibole te apatit i kijanit (Slika 2.4, 2.5).



Slika 2.5 Karta recentnih planinskih sustava koji okružuju nekadašnji PBS s navedenom litologijom površinskih stijena i prisutnih teških minerala (preuzeto iz ARATÓ i sur., 2021).



### 3 GEOLOGIJA PODRUČJA I RAZVOJ DRAVSKE DEPRESIJE

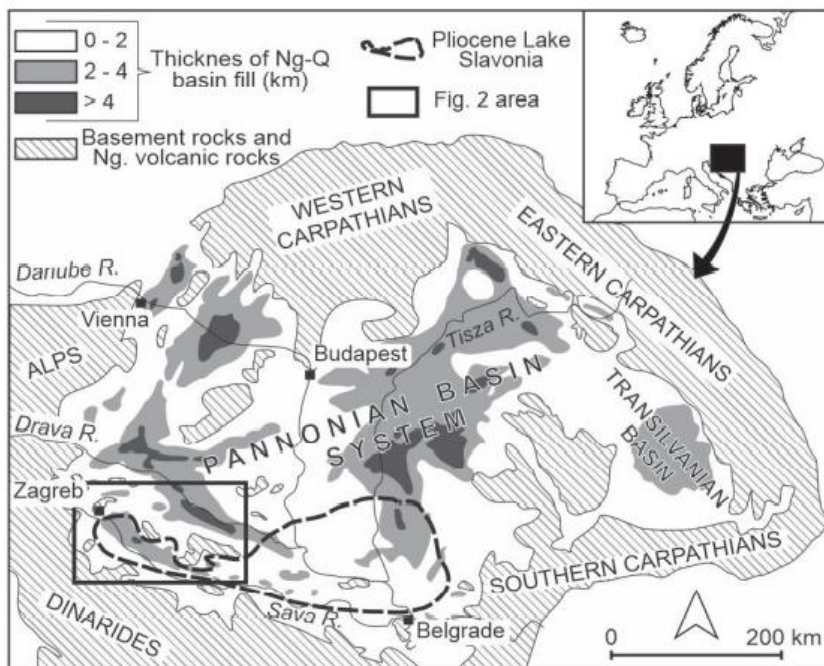
#### 3.1 Dravska depresija

Dravska depresija pripada Panonskom bazenskom sustavu (PBS), ogromnoj ekstenzijskoj strukturi smještenoj u središnjoj i jugoistočnoj Europi, okruženoj planinskim lancima Alpa, Karpata i Dinarida (Slika 3.1). Razvoj PBS-a se odvijao u dvije faze. Prva je sin-riftna faza koja obuhvaća vrijeme od otnanga do srednjeg miocena, a obilježena je aktivnim ekstenzijskim rasjedanjem i spuštanjem bazena duž rasjeda zbog riftinga (HORVÁTH, 1993; CORVER i sur., 2008). Sin-riftnu fazu karakterizira transgresivni slijed naslaga, tj. prijelaz iz kopnenih u marinske uvjete taloženja (PAVELIĆ i KOVAČIĆ, 2018). Ovom ekstenzijskom fazom formirani su relativno mali graeni ili sub-bazeni. Druga faza je post-riftna faza i traje od kasnog badena do kvartara, a karakterizirana je spuštanjem bazena zbog hlađenja kore (HORVÁTH, 1993). Post-riftnu fazu također karakterizira transgresivno-regresivan slijed naslaga, ali sad prijelazom iz marinskih u kopnene uvjete taloženja (PAVELIĆ i KOVAČIĆ, 2018). Post-riftna faza sadrži dvije faze kompresije kojima su reaktivirani rasjedi i potaknute strukturne inverzije. Ranija kompresijska faza dogodila se brzo nakon završetka sin-riftne faze (prije cca. 11-8 mil godina), a druga tijekom pliocena i nastavila se do danas (CORVER i sur., 2008).

Neogenske ili starije stijene nalaze se na površini tek duž pojedinih uzdignutih strukturnih jedinica. U podlozi Dravskog bazena ispod neogenskih naslaga nalaze se granitoidne i metamorfne stijene alpske starosti (PAMIĆ, 1990; DUIĆ i URUMOVIĆ, 2007).

Na području sjeverne Hrvatske, uključujući područje dravske depresije, tijekom ranog miocena razvila su se dva bazena s različitim uvjetima taloženja; bazen Hrvastkog Zagorja (HZB), koji je zauzimao malo područje u sjeverozapadnom dijelu te se protezao prema zapadu u Sloveniju i Sjevernohrvatski bazen (SHB) koji je obuhvatio gotovo cijelo područje sjeverne Hrvatske od oko 32000 km<sup>2</sup> i koji je bio dio jugozapadnog kraka PBS-a. U Sjevernohrvatskom bazenu brakično taloženje je započelo u otnangu, formiranjem kontinentalnih okoliša nakon dugotrajne emerzije. Oslanjivanjem okoliša, brakično taloženje zamijenjeno je morskom sedimentacijom u srednjem badenu (PAVELIĆ i KOVAČIĆ, 2018; MANDIĆ i sur., 2012). Marinski okoliši održali su se do srednjeg

miocena kada je regresija Paratethys dovela do formiranja jezera Panon (prije 11,6 mil godina) (PILLER i sur., 2007; MAGYAR i GEARY, 2012).



Slika 3.3.1 Smještaj pliocenskog jezera Slavonija u odnosu na Alpe, Karpate i Dinaride te debljine neogensko-kvartarnih naslaga (preuzeto iz KUREČIĆ i sur., 2021).

Panonski bazenski sustav - PBS se u panonu izolira od mora i zaslakuje što rezultira brakičnim jezerom Panon. Ovo su najdublji dijelovi bazena koji dosežu čak do 3000 m. *Croatica* naslage (sadrže puža vrste *Radix croatica*) najstarije su naslage panona i to su tanko uslojeni vapnenci s rijetkim proslojcima lapora, pješčenjacima i konglomeratima. Produbljavanjem jezera talože se lapori *banatica* (sadrže školjkaša *Congeria banatica*) i *abichi* naslage (sadrže slatkovodnog školjkaša *Paradacna abichi*) koje na dubljim dijelovima dosežu debljinu do 500 m. Na SZ i središnjem dijelu Sjevernohrvatskog bazena često se uz lapore talože i pješčenjaci kao rezultat progradacije delti. Kako delte rijeka progradiraju u jezero tako i klastiti pokrupnjuju, a često se pojavljuju i slojevi ugljena. Takve naslage nazivaju se *rhomboidea* naslage prema školjkašu vrste *Congeria rhomboidea*. Dugotrajnim donosom sedimenta s kopna jezero se potpuno zapunjava i tek mjestimično postoje manja jezera vezana za riječne poplavne ravnice i talože se *Rhomboidea* naslage (PAVELIĆ i KOVAČIĆ, 2018; MANDIĆ i sur., 2015). Tako je nastalo jezero Slavonija u kojem se tijekom pliocena i pleistocena formiraju

do 500 m debeli slojevi klastičnih *Viviparus* naslaga (MANDIĆ i sur., 2015). Tijekom cernikija dolazi do promjene u porijeklu materijala, prijašnji donos s Alpa zamijenjen je materijalom s okolnih izdignutih struktura što uključuje miocenske i starije stijene. Jezero Slavonija je u cernikiju okruženo rijekama i njihovim velikim poplavnim ravnicama gdje se talože siliciklasti raznih veličina i vrsta.

Kvartarne naslage, zajedno s ranijim *viviparus* naslagama, predstavljaju novu fazu evolucije Sjevernohrvatskog bazena koje je obilježeno generalnom kompresijom uslijed čega je došlo do aktivacije vertikalnih i reversnih rasjeda i obrtanja normalnih rasjeda te kontrakcija i strukturalnih inverzija (TOMLJENOVIĆ i CSONTOS, 2001). Kompresijska tektonika rezultirala je uzdizanjem i erozijom podinskih blokova čime je došlo do formiranja recentnih planina i gorja navedenog područja. Mjestimično su se formirali manji jezerski taložni sustavi, a izmjena glacijala i interglacijala na sjeveru Europe omogućila je transport materijala vjetrom na jugoistok i posljedično taloženje lesa tijekom gornjeg pleistocena (WACHA i sur., 2013, 2017).

### 3.2 Izdizanje okolnih planina, Kalnika i Bilogore

U hrvatskom dijelu PBS-a, tektonske inverzije i strukturne reaktivacije započele su u kasnom miocenu (pred 7,5 mil.god.) i dovele do lokalnih promjena postojećih normalnih rasjeda u reversne, formiranja kilometaraskih bora, 'pop-up' i pozitivnih cvjetnih struktura (CSONTOS i NAGYMAROSY, 1998; TOMLJENOVIĆ i CSONTOS, 2001; MATOŠ i sur., 2014).

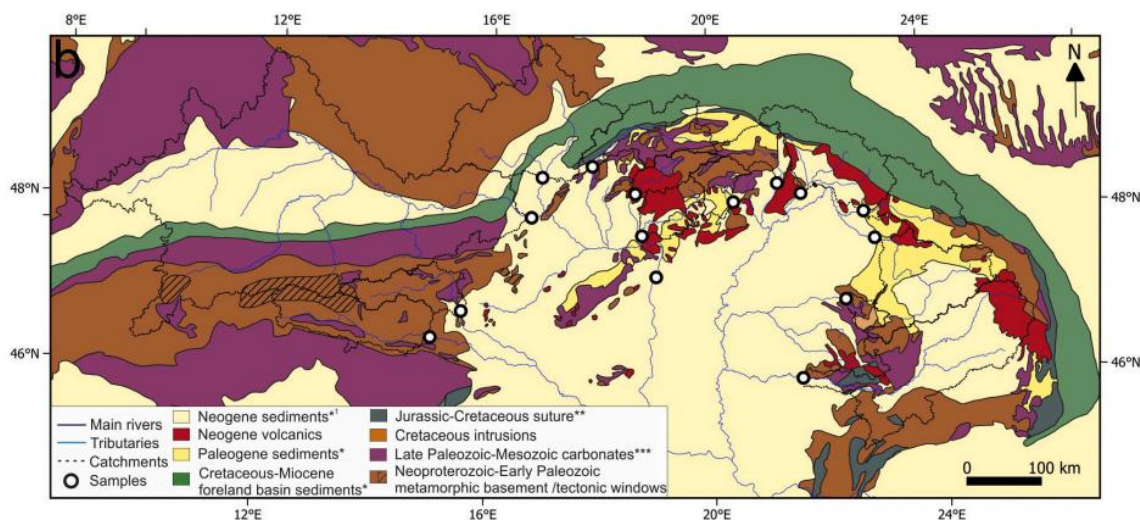
Glavno izdizanje Kalničkog gorja zbilo se tijekom gornjeg pliocena i pleistocena uslijed radijalnih pokreta i sila naprezanja kada je ovo gorje izdignuto za nekoliko stotina metara, najmanje za svoju današnju visinu od oko 640 m, a ako se uzmu u obzir erodirane neogenske naslage, onda je to područje izdignuto za 2000-2500 m (ŠIMUNIĆ i sur., 1990). Najstarije poznate stijene Kalničkog gorja pripadaju paleozoiku i to su uglavnom kasnije pretaloženi metamorfiti. Mezozoik je zastupljen s vrlo malo trijaskih karbonata na zapadnim obroncima, a mnogo su češći jurski klastiti s magmatima, tj. konkretno s bazaltima, andezit bazaltima, dijabazima i spilitima. Na listovima OGK često se navodi kako je melanž kredne starosti, ali za to nema konkretnih dokaza već se vjerojatno radi o juri (BABIĆ i sur., 2002). Na taj jurski ofiolitski melanž transgresivno slijede eocenske breče. Izdizanje horsta Ivanščice bilo je najizraženije u gornjem pliocenu i donjem

pleistocenu, kada je formiran i njen današnji reljef, a pretpostavlja se da je u to doba Ivanščica bila izdignuta za 400-500 m (ŠIMUNIĆ i sur., 1981, 1983).

Bilogora je najmlađa i najniža gora u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske (309 m). Njezino izdizanje veže se uz promjene sila naprezanja unutar dravske depresije i dravske rasjedne zone koja se pruža SZ-JI, a započelo je tijekom pliocena i doživjelo vrhunac tijekom kvartara (MATOŠ i sur., 2016, 2017). Za vrijeme srednjeg pleistocena (0,78-0,12 mil.god.) pa do holocena, Bilogora je značajno rasjedana i uzdignuta za 200 do 450 m (BABIĆ i sur., 1978; HEĆIMOVIĆ, 1987). Na površini se pronalaze gornjomiocenski pijesci te pliocenski i pleistocenski šljunci i pijesci prekriveni lesom ili praporom (ŠIMUNIĆ i sur., 1981, 1990; WACHA i sur., 2017) (Slika 2.1). Pred-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 (ŠIMUNIĆ i sur., 1990; ZDELAR, 2018).

### 3.3 Istočne Alpe

Slika 3.2 prikazuje planine i stijene koje se nalaze na površini. Izvori rijeka Drave i Mure nalaze se u istočnim Alpama, u stijenama koje su potencijalni izvorišni materijali njenih terasa (Slika 3.2).

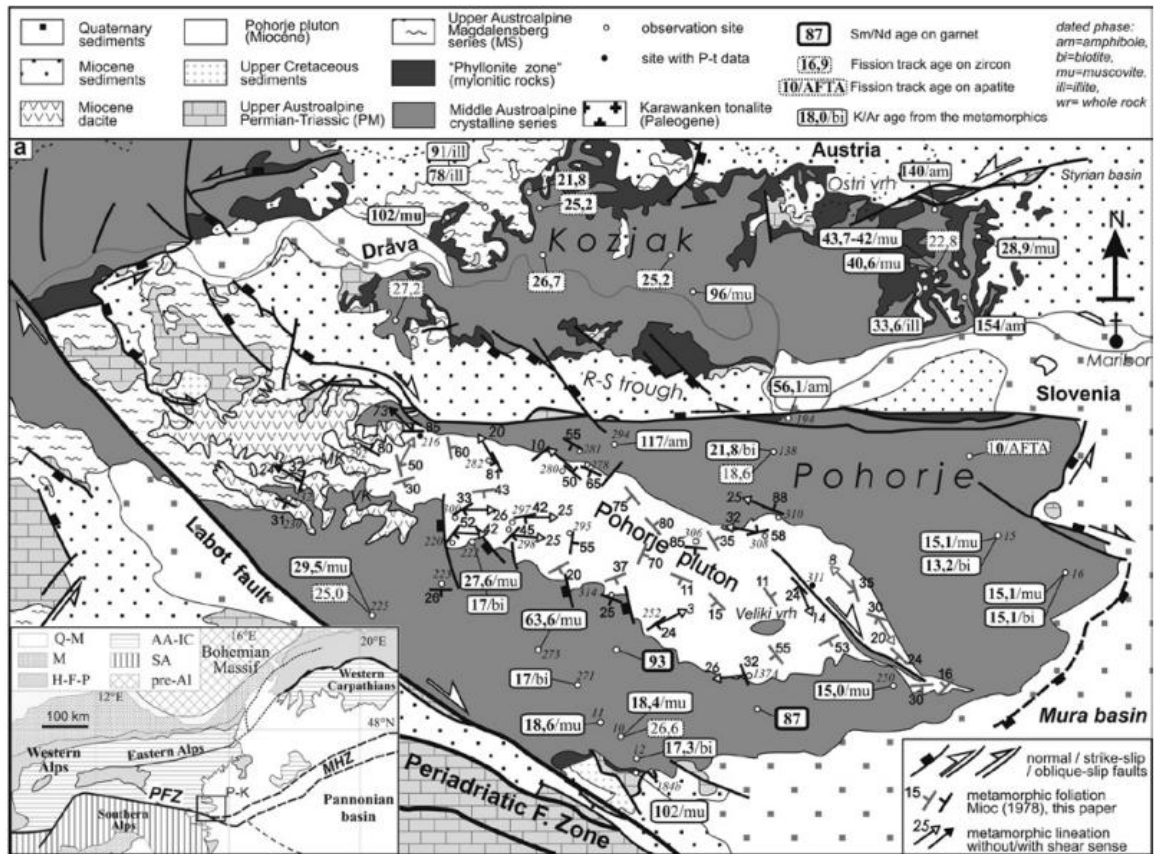


Slika 3.3.2 Prikaz velikih reljefnih uzvišenja oko PBS-a i rijeka koje donose erodirani materijal u bazen (preuzeto iz ARATÓ i sur., 2021).

Glavnina stijena istočnih Alpa višestruko je deformirano, a pokrivaju ih nisko metamorfozirane stijene afričkog porijekla (FROITZHEIM i MANATSCHAL, 1996). Te naslage neoproterozojskih i plesitocenskih metamorfnih stijena amfibolitnog facijesa i

facijesa zelenih škriljavca te rijeđe eklogita, protežu se do PBS i čine dio njegove podloge, konkretno ispod sedimentnih terasa rijeke Mure (BALLA, 1984; MILLER i sur., 2005). Njihov ekvivalent površinskih naslaga na sjeveru su mezozojski karbonati. Kredno-eocenskim zatvaranjem Tethysa na površinu se izlažu europske kontinentalne naslage koje čine stijene facijesa zelenih škriljavca i amfibolitnog facijesa pa sve do široko rasprostranjenjog facijesa plavih škriljavaca i eklogitnog facijes (FRISCH, 1979; BOUSQUET i sur., 2008).

Planinski sustavi Pohorje i Kozjak predstavljaju izdanak kristalinskog kompleksa jugoistočnih Alpa, a nalaze se na zapadnom rubu panonskog bazenskog sustava (Slika 3.3). Najdublje stijene ovog Pohorja i Kozjaka čine metamorfiti srednjeg stupnja metamorfoze, gnajsevi, ttinjčevi škrinjavci i amfiboliti ispresjecani mramorima i kvarcitom te rijđe eklogitnim lećama (FODOR i sur., 2008). Zatim slijede nisko metamorfozirane paleozojske i nemetamorfozirane permsko-trijaske stijene te sedimenti senona (Slika 3.3). Srednjemetamorfne stijene intrudirane su 30 km dugim i do 8 km širokim Pohorje plutonom, okarakteriziranim kao lakolit (FANINGER, 1970) ili u novije vrijeme batolit (TRAJANOVA i sur., 2008). Stijene koje čine Pohorje pluton pretežito su tonaliti i granodioriti (TRAJANOVA i sur., 2008).

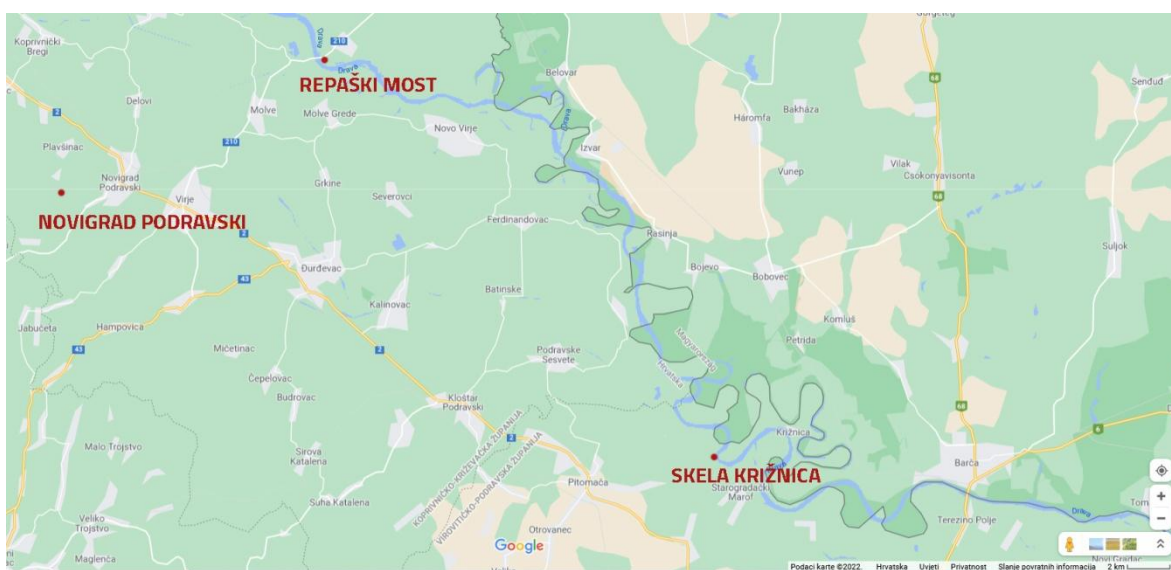


Slika 3.3 Geološki smještaj slovenskog dijela istočnih Alpa. Planine Pohorje i Kozjak sjmeštene uz rijeku Dravu, periadriatički lineament i početak murskog bazena (preuzeto iz FODOR i sur., 2008).

## 4 MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

### 4.1 Terenski rad

Terensko istraživanje temelj je svake kvalitetne analize i potrebno mu je pristupiti s maksimalnom predanošću. O odabiru uzoraka i načinu njihova uzorkovanja ovisi cjelokupno istraživanje i stoga je potrebno poštivati načela objektivnosti i reprezentativnosti. S ciljem uzorkovanja dravskog sedimenta posjećena su dva lokaliteta, površinski kop šljunka i pijeska „Klara“ u Novigradu Podravskom, dravski prudovi kod Repaškog mosta i Skele Križnice (Slika 4.1).

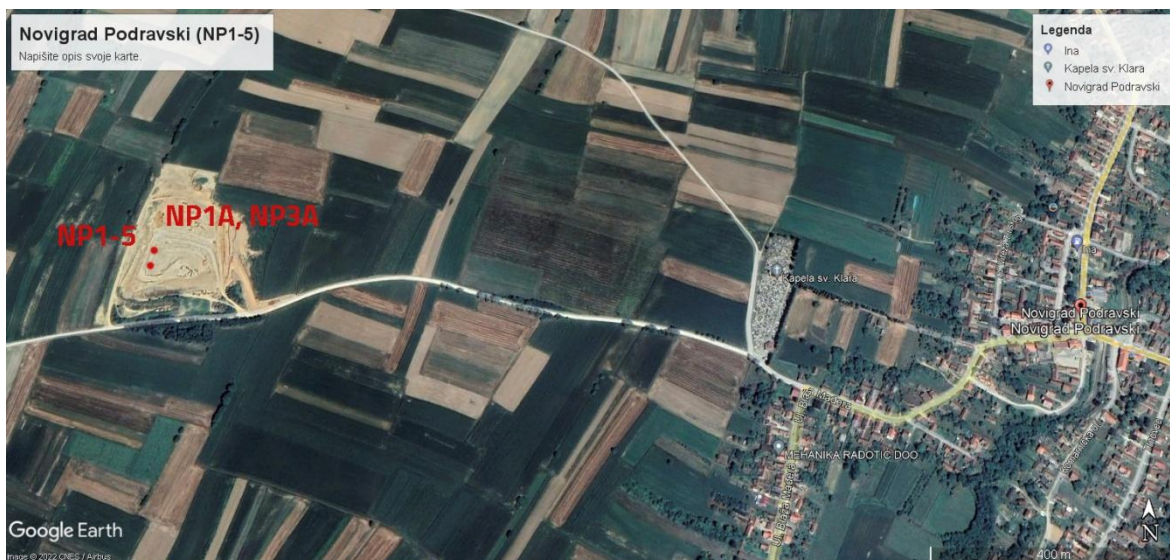


Slika 4.1 Točke uzorkovanja valutica i pijeska (podloga karte preuzeta s Google karata [1]).

#### 4.1.1 Površinski kop „Klara“, Novigrad Podravski

Vađenje šljunka i pijeska iz površinskog kopa, tj. šljunčare „Klara“ u Novigradu Podravskom ( $46^{\circ}04'37''S$ ,  $16^{\circ}55'46''E$ ) započeto je 2015. godine i do proljeća 2021. dosegla se dozvoljena dubina eksploatacije od 23 m ispod koje se pojavila voda. Projekt se odnosi na iskop šljunka na površini od 7,12 ha do dubine od 23 m. Potvrđene su eksploatacijske rezerve građevnog pijeska i šljunka od  $1\,023\,802\text{ m}^3$ , a planirana eksploatacija građevnog pijeska i šljunka je  $100\,000\text{ m}^3$  godišnje [2]. Svaki novi površinski kop dravskog šljunka rezultira novim profilima i novim prilikama za istraživanje

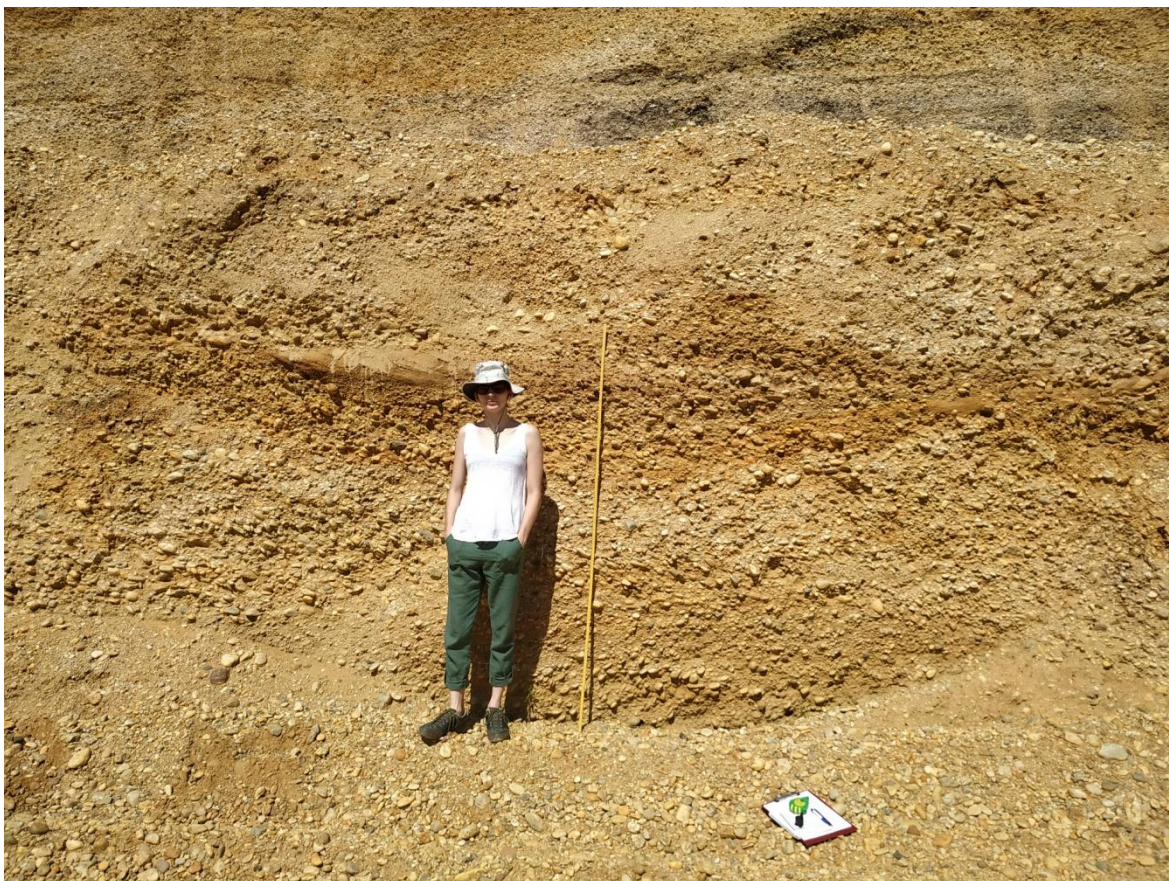
sedimenata dravskih riječnih terasa. Na slici 4.2 prikazan je površinski kop i mjesta uzorkovanja (NP1-5, NP1A, NP3A).



Slika 4.2 Točke uzorkovanja valutica i pijeska na površinskom kopu šljunka i pijeska "Klara" (podloga karte preuzeta s Google karata [1]).

U sklopu izrade diplomskog rada kolegice Karle Vlatković snimljen je stup duž cijelog vidljivog profila kopa i uz njeno dopuštenje korišten je radi prikaza granulometrije donjeg dijela profila u odnosu na cjelinu kopa (PRILOG 1). Na slici 4.3 prikazanje donji dio stupa uz kolegicu idrveni metar duljine 2 m kao mjerilo.





Slika 4.3 Najdublji dio snimljenog profila kopa u Novigradu Podravskom. Metar od 200 cm korišten je kao mjerilo.

Dodatno je fotografiran jedan dio vidljivog stupa s udaljenošću od 1 metra za koji se procijenilo da je najpogodniji (dio konglomerata s najmanje matriksa i dobro vidljivim bridovima valutica) za potrebe kasnije granulometrijske analize u računalnom programu Zais Axio Vision Rel 4.8.2.0. Uzorkovano je nekoliko reprezentativnih valutica dovoljnih dimenzija za izradu izbrusaka i daljnju petrografsku analizu. Fotografije makroskopskih uzoraka NP1-NP5 (TABLA1).

#### 4.1.2 Drava kraj Repaškog mosta i skele Križnica

Uzorak pijeska LORI 2 uzorkovanje na lijevoj obali rijeke Drave, 200 m nizvodno od Repaškog mosta na rubnom dijelu pruda ( $46^{\circ}7'33''$  S,  $17^{\circ}5'4''$  I). Na istome prudu, fotografiran je šljunak s visine od 1 metra s ciljem granulometrijske analize u računalnom programu Zais AxioVision Rel 4.8.2.0. Na slici 4.4 označene su točke uzorkovanja valutica (D1-9) i pijeska (LORI 2), a fotografije makroskopskih uzoraka (D1-8), tj. valutica nalaze

se u TABLI 2. Na slici 4.5 označeno je mjesto ( $45^{\circ}57'44''$  S,  $17^{\circ}18'32''$  I) uzorkovanja drugog uzorka pijeska za analizu teških minerala (D1) kod Skele Križnice.



Slika 4.4 Točke uzorkovanja na lokalitetu Repaški most (podloga karte preuzeta s Google karata [1]).



Slika 4.5 Točka uzorkovanja pijeska a lokalitetu Skela Križnica (podloga karte preuzeta s Google karata [1]).

U vrijeme izlaska na teren vodostaj rijeke Drave bio je nizak i prudovi su bili lako dostupni za uzorkovanje i snimanje, što je vidljivo na slici 4.6.



Slika 4.6 Niski vodostaj rijeke Drave za vrijeme uzorkovanja valutica kod Repaškog mosta.

## 4.2 Granulometrijska analiza

Jedna od modernijih metoda kojom se laboratorijski može odrediti granulometrijski sastav je fotografsko sijanje. To je metoda kojom se klasično sijanje kroz mehanička sita provodi računalnim optičkim analizatorima veličine čestica koji za osnovu izračuna koriste njihove osi. IBBEKEN i SCHLEYER (1986) su razvili metodu kojom se čestice generaliziraju u smislu da ih se preciznim alatima približava obliku elipsoida te se na taj način može izračunati masa čestica. Metoda fotografskog sijanja praktična je za analizu gruboklastičnog površinskog sedimenta s vidljivim razmacima među zrnima koja se međusobno ne preklapaju i koja su barem približno elipsoidnog oblika. Budući da se koristi masa čestica, rezultati analize ovom metodom slični su kao oni dobiveni mehaničkim sijanjem sitima (BUNTE i ABT, 2001).

Postoji jednostavnija metoda, čija je varijanta korištena prilikom granulometrijske analize uzoraka u ovome radu, a ona se bazira na mjerenju b-osi vidljivih čestica pomoću računalnog programa Zeis Axio Vision 4.8.2.0. Ova metoda služi se isključivo oblikom zrna i matematičkim filtriranjem podataka o veličini zrna počemu se razlikuje od „photo sievinga“ gdje se podaci prije obrade preračunavaju u masu. Na slici 4.7 prikazan je sediment s pruda kod Rapeškog mosta na kojem je izvršena fotogranulometrijska analiza.



Slika 4.7a) Fotografija krupnozrnatkog sedimenta pruda na lokalitetu Rapeški most i mjerilo, fotouzorak šljunka LORI b) fotografija sedimenta sa prikazanim duljinama mjerenih osi valutica.

### 4.3 Petrografska analiza

Mikroskopski izbrusci stijena napravljeni su od uzoraka valutica s pruda rijeke Drave i valutica iz šljunčare „Klara“ u Novigardu Podravskom. Prije piljenja, valutice su označene i fotografirane (TABLA 1 i 2). Valutice se zatim pile na pločice debljine oko 5 mm. Pločice se s jedne strane izbruse grubim prahom kako bi se uklonili tragovi piljenja, nakon čega se izbrušene strane zalijepe kanada balzomom za predmetno stakalce. Indeks loma kanada balzama iznosi 1,54 i koristi se kao standard za usporedbu relativnih indeksa loma minerala koji su u kontaktu. Stanjivanje na debljinu 0,02 - 0,03 mm se postiže ručnim brušenjem na brusilici uz stalni dotok vode i dodavanje prahova. Prvo se brusi prahom finoće 500, a zatim finijim prahom finoće 300 sve dok se ne dobije željena ravnomjerno raspoređena debljina. Izbrusci su kasnije analizirani polarizacijskim mikroskopom na Geološko-paleontološkom zavodu.

### 4.4 Analiza teških minerala

#### 4.4.1 Prosijavanje uzorka

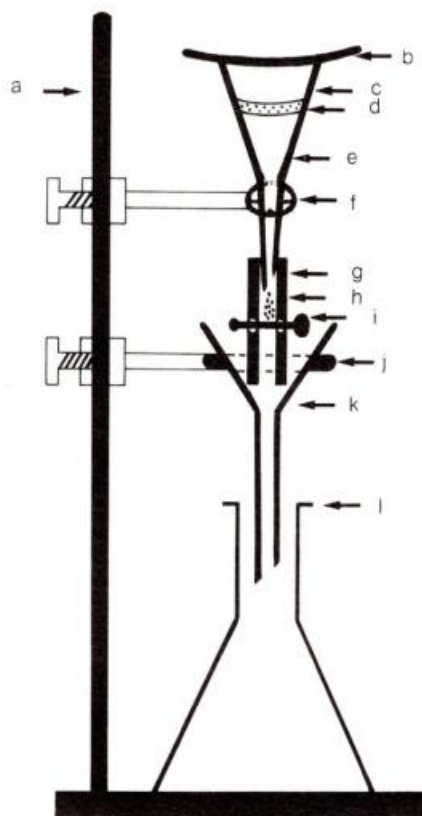
Materijal uzorka LORI 2 podvrgnut je takozvanom "mokrom sisanju" (*wet sieving*), s ciljem pridobivanja zrna dimenzija vrlo sitnog pijeska, odnosno klastičnog materijala dimenzija od 0,063 do 0,125 mm (63–125  $\mu\text{m}$ ). U tu svrhu korištena su pletena sita s

promjerima otvora od 0,063, 0,125, 0,250, 0,500 i 2 mm. Naime, istraživanja su pokazala da će u slučaju sitnozrnatijih i bolje sortiranih sedimenata, relativno uski raspon dimenzija zrna dati najreprezentativniju zajednicu teških minerala i samim time pružiti najviše informacija o porijeklu klastičnog materijala (MANGE i MAURER, 1992). Prednost uskoga raspona dimenzija zrna očituje se u dobivenim uniformnim uvjetima opažanja (jer su sva zrna približno jednake veličine), odsustvu prividnih varijacija u udjelima pojedinih minerala (a koje su posljedica razlika u veličini zrna), kao i u smanjenju efekta hidrauličkog sortiranja. No, s druge strane, veliki nedostatak istoga očituje se u činjenici da se ponekad vrlo važni, dijagnostički minerali neće registrirati, jer će se nalaziti izvan promatrane frakcije, odnosno samo u većim ili manjim frakcijama od one promatrane (MANGE i MAURER, 1992). Klastični materijal bi prije separacije, odnosno uranjanja u tešku tekućinu, trebao biti što čišći, pa se nakon sijanja uzoraka frakcijski uzorci dobro ispreru u destiliranoj vodi te ostave da se osuše. Nakon sijanja uzorak je tretiran ranije opisanom octenom kiselinom kako bi se otapanjem karbonata dobio uvid u njegov udio u uzorku. Obzirom da se radi o recentnom materijalu, nakon određivanja udjela  $\text{CaCO}_3$  metodom otapanja, uzorak je tretiran vodikovim preoksidom ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) kako bi se iz uzorka odstranila organska tvar. Reakcija otapanja organske tvari bila je vrlo slaba i kratkotrajna, što znači da je u uzorku bila neznatna količina organske tvari.

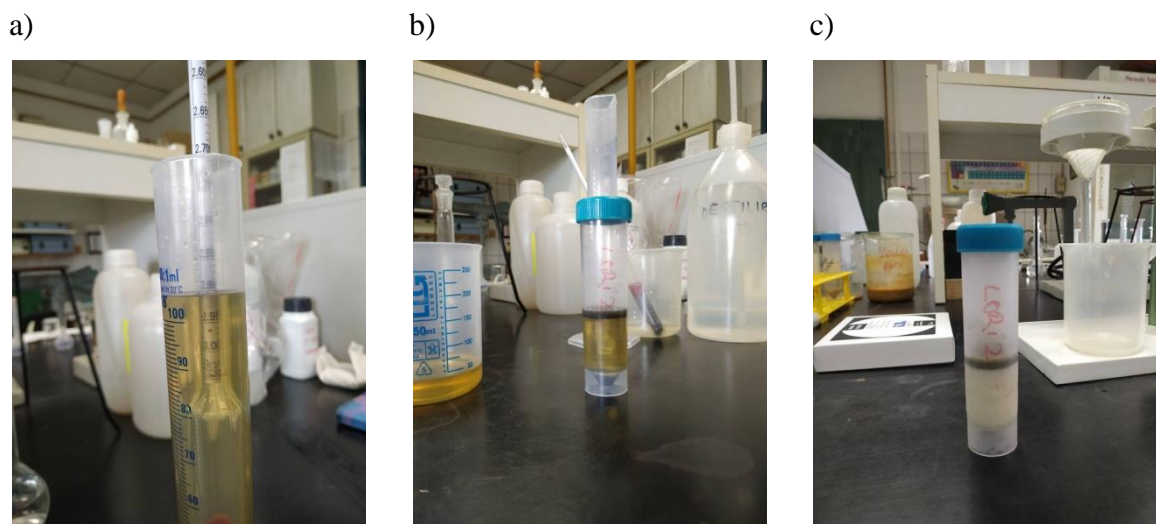
#### 4.4.2 Separacija teške mineralne frakcije

Teški su minerali iz frakcijskih uzoraka izdvojeni standardnom metodom separacije, metodom gravitacijske separacije ili separacije pomoću lijevka (*gravity separation* ili *funnel separation*) (MANGE i MAURER, 1992). Pritom je korištena standardna laboratorijska aparatura, a koja je shematski prikazana na slici 4.8. Za izdvajanje, odnosno separaciju teških minerala, kao teška tekućina, korišten je natrijev polivolfamat (SPT) specifične gustoće  $2,96 \text{ g/cm}^3$  razrijeđen destiliranom vodom na  $2,91 \text{ g/cm}^3$  pri  $20^\circ\text{C}$  (slika 4.9). Međutim, za separaciju teških minerala mogu se koristiti i druge teške tekućine, odnosno tekućine relativno velike gustoće, kao što su bromoform ( $\text{CHBr}_3$ ), tetrabrometan ( $\text{C}_2\text{H}_2\text{Br}_4$ ; 2,96), metilenjodid ( $\text{CH}_2\text{I}_2$ ; 3,32), Clericijeva otopina (4,24) (MANGE i MAURER, 1992; TIŠLJAR, 2004), ili Thuletova otopina (3,19) (TIŠLJAR, 2004), a koje se po potrebi mogu i razrjeđivati, u prvom redu različitim organskim otapalima, ali i vodom. S obzirom da su sve navedene tekućine veoma otrovne, u uporabi su najčešće različite zamjenske tekućine (MANGE i MAURER, 1992).

Nakon mješanja uzorka sa SPT-om on se 5 minuta centrifugira ( $v= 2500$  rpm) te nakon toga stavlja u zamrzivač (Slika 4.9). Idući dan se odvajaju laka i teška frakcija ispiranjem iz kivete te filtriranjem pomoću crnog filter papira. Nakon završene separacije, a da bi odstranili ostatke teške tekućine sa zrna, i teška i laka mineralna frakcija dobro su isprane alkoholom, te ostavljene da se osuše. Nakon sušenja mineralnih separata, tehničkom su vagom izmjerene masa teške i lake mineralne frakcije, a temeljem omjera mase teške mineralne frakcije i mase frakcijskog uzorka prije separacije, izračunat je maseni udio ( $w$ ) teških minerala (Heavy minerals – HM) u frakcijskim uzorcima. Maseni udio izražen je u postotcima.



Slika 4.8 Shematski prikaz rasporeda laboratorijskog pribora (laboratorijska aparatura) za izdvajanje teških minerala metodom gravitacijske separacije ili separacije pomoću lijevka; a) željezni stalak s pločom; b) satno staklo (pokrovno stakalce); c) stakleni lijevak za prah; d) položaj lake mineralne frakcije; e) teška tekućina (u ovome slučaju SPT); f) držač lijevka; g) gumeno crijevo; h) položaj teške mineralne frakcije; i) metalna štipaljka; j) držač lijevka; k) običan stakleni lijevak s filter papirom; l) Erlenmeyerova tikvica (u ovom slučaju staklena čaša). Preuzeto iz MANGE i MAURER (1992).



Slika 4.9 Postupak separacije teške mineralne frakcije; a) razrjeđivanje SPT-a, b) centrifugirani uzorak prije zamrzavanja, c) uzorak nakon zamrzavanja.

#### 4.4.3 Izrada rasutih mikroskopskih preparata

Nakon separacije teških minerala pristupilo se izradi rasutih mikroskopskih preparata (*grain mounts*). Pritom je, kao imerzijsko sredstvo, korišten Kanada balzam ( $n = 1,538$ ). Nakon pokrivanja preparata pokrovnim stakalcem, isti su ostavljeni da se ohlade na sobnu temperaturu da bi se Kanada balzam stvrdnuo, te da bi se dobili trajni, tj. permanentni preparati. Osim preparata teških minerala izrađen je i rasuti mikroskopski preparat lakih minerala. Rasute mikroskopske preparate iz rijeke Drave (D1) i iz površinskog kopa „Klara“ (NP1A, NP2A) izradila je kolegica Tea Novaković u sklopu pripreme svoje doktorske dizertacije na GPZ-u (Geološko-paleontološki zavod, PMF).

#### 4.4.4 Determinacija teških minerala i brojanje zrna

Po završetku izrade rasutih mikroskopskih preparata pristupilo se određivanju i brojanju zrna u preparatima, koristeći se pritom polarizacijskim mikroskopom. Prilikom mikroskopske identifikacije zrna korištena je i odgovarajuća priručna literatura, MANGE i MAURER, 1992: "Heavy Minerals in Colour". Pri brojanju zrna korištena je metoda linijskog brojanja (*line counting method*), kod koje se, dok se mikroskopski preparat pomoću vodilica na mehaničkom stoliću pomiče duž ranije definiranih ravnih linija, određuju i broje samo ona zrna koja „padaju“ na nitni križ okulara ili ih, možemo reći, „siječe“. Iz ove je definicije vidljivo da je ova metoda osjetljiva na dimenzije zrna u

preparatu. Naime, pri brojanju, nitni križ okulara češće će "sijeći" zrna većih dimenzija, što, može dovesti do distorzije rezultata u korist većih zrna (MANGE i MAURER, 1992). No, kako je ovo istraživanje provedeno na frakcijskim uzorcima relativno uskoga raspona dimenzija zrna (63–125  $\mu\text{m}$ ), nisu se očekivala veća odstupanja rezultata. Osim prethodno navedene, u upotrebi su još dvije metode: Fleetova metoda, te metoda brojanja po "traci", odnosno "vrpci" (*ribbon counting method*). Sudeći po broju referenci za brojačke metode, metoda brojanja po "traci" najčešće je korištena metoda (MANGE i MAURER, 1992), ali je u ovom slučaju, zbog gustoće zrna u preparatu, ipak bila najbolja metoda brojanja po „liniji“. Kao što je i uobičajena praksa, ukupni zbroj zrna preračunat je na 100%, a udio pojedinih mineralnih vrsta (i/ili grupa; skupina) izražen je u postotcima od ukupnog broja izbrojanih zrna, odnosno kao brojevni ili numerički (relativni) udio (MANGE i MAURER, 1992). U analizi teških minerala uobičajeno je da se broje samo transparentni nelistićavi teški minerali (transparent non–micaceous heavy minerals – THM), te da se pri brojanju, naravno, izuzimaju autigena zrna (MANGE i MAURER, 1992). Međutim, pri izradi ovoga rada, brojana su i zrna opâkih (netransparentnih), kao i listićastih minerala (minerala serije biotita i grupe klorita), ali i minerala razreda karbonata (dolomita, siderita i dr.). No, brojevni je udio tih mineralnih vrsta/skupina izražen posebno, i to u odnosu na ukupni broj izbrojanih zrna, dok je broj zrna minerala THM skupine zasebno preračunat na 100%. Ovakva je praksa općeprihvaćena među našim sedimentolozima koji se bave analizom teških minerala.

Da bi se dobili reprezentativni podatci o brojevnim udjelima pojedinih mineralnih vrsta/skupina, ali i da bi se detektirale rijetke, a vrlo često "dijagnostičke" vrste, izbrojano je najmanje 300 detritičnih zrna po preparatu, od čega najmanje 200 zrna pripada mineralima THM skupine (MANGE i MAURER, 1992). Temeljem provedene analize, za sve je uzorke izračunata vrijednost ZTR (Zircon–Tourmaline–Rutile) indeksa (ZTRi). Uveo ga je HUBERT (1962), a definira se kao zbroj udjela cirkona, turmalina i rutila unutar THM skupine. ZTR indeks koristi se kao kvantitativni pokazatelj mineraloške zrelosti teške mineralne zajednice.



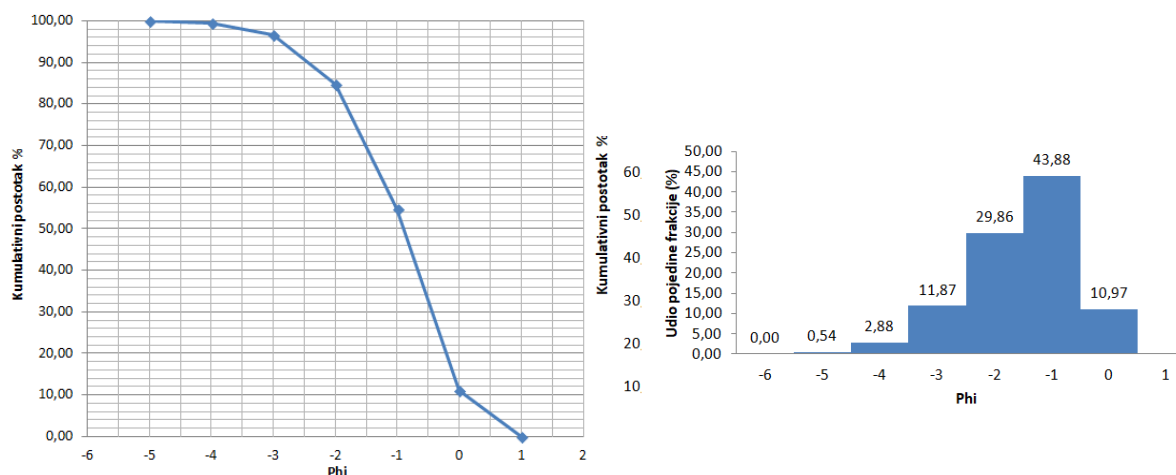
## 5 REZULTATI

### 5.1 Granulometrijska analiza

Među površinskim sedimetnima pruda rijeke Drave kod Rapeškog mosta, konkretno na forografiji uzorka LORI, najzastupljeniji su šljunci (Tablica 5.1), a obzirom na ograničenost metode iz analize su izuzeti pijesci manji od 1 mm jer im iz fotografija nije moguće mjeriti b-os. Ukupno je izmjereno 556 valutica i zrna. Udio vrlo krupnog pijeska iznosi 10,97%, a ostalih 89% su valutice šljunka. Iz kumulativne granulometrijske krivulje isčitani su percentili:  $\phi_5= 0,54$ ,  $\phi_{16}= -0,11$ ,  $\phi_{25}= -0,32$ ,  $\phi_{50}= -0,89$ ,  $\phi_{75}= -1,67$ ,  $\phi_{84}= -1,94$ ,  $\phi_{95}= -2,87$ . Srednja vrijednost veličine čestica prema Folku i Wardu (1957)(„mean“)  $M= -0,98$  phi, uzorak je umjereno sortiriran ( $So_{FW}= -0,974$ , Slika 5.1) i čestice su negativno asimetrično distribuirane ( $Sk_{FW}= 0,487$ , Slika 5.1).

**Tablica 5.1 Veličine zrna i udjeli pojedinih frakcija uzorka LORI dobiveni fotogranulometrijom pomoću računalnog programa Zeis Axio Vision Rel 4.2.8.0.**

| Veličina zrna |         | Broj zrna(n) | Broj zrna kumulativno (n) | Udio pojedine frakcije (%) | Kumulativni udio pojedine frakcije (%) |
|---------------|---------|--------------|---------------------------|----------------------------|--|
| (phi)         | (mm)    |              |                           |                            |  |
| -5            | 64-32mm | 3            | 3                         | 0,54                       | 100,00                                 |
| -4            | 32-16mm | 16           | 19                        | 2,88                       | 99,46                                  |
| -3            | 16-8mm  | 66           | 85                        | 11,87                      | 96,58                                  |
| -2            | 8-4mm   | 166          | 251                       | 29,86                      | 84,71                                  |
| -1            | 4-2mm   | 244          | 495                       | 43,88                      | 54,86                                  |
| 0             | 2-1mm   | 61           | 556                       | 10,97                      | 10,97                                  |



Slika 5.5.1 Grafički prikaz rezultata granulometrijske analize uzorka LORI; a) kumulativna granulometrijska krivulja, b) histogram koji pokazuje umjerenu negativnu asimetričnu raspodjelu veličine zrna.

Na prudovima su, kao i u šljunčari opažene imbricirane valutice koje ukazuju na recentne smjerove toka na prudu, tj. na smjerove paleotokova starijem dravskom sedimentu. Valuticama iz profila u šljunčari izmjereni su smjer pružanja i kut nagiba: 132/45, 120/40 i 133/52, a smjer recentne imbrikacije je prema istoku (Slika 5.2).

a)



b)



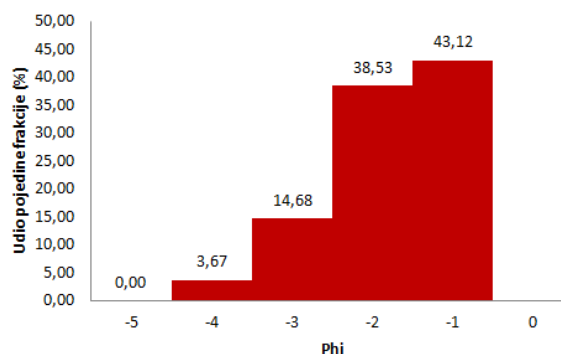
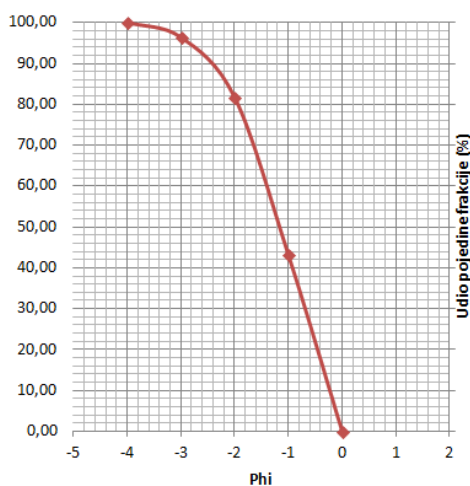
Slika 5.5.2 a) imbricacija valtica na recentnom prudu rijeke Drave kod Repaškog mosta; b) imbricacija valutice u starijoj dravskoj terasi u Novigradu Podravskom, fotouzorak NP.

Drugi uzorak (NP) fotografiran je u šljunčari „Klara“ u Novigradu Podravskom. Vidljivo je da je uzorak vrlo heterogen i da su klasti raznolikih veličina (Slika 5.2). U odosu na recentni dravski prud ovdje je prisutan podjednak udio pijeska i šljunka, oko 50%. Riječ je o klastopotpornom, vrlo slabo sortiranom, prema Konti (1973) klasifikaciji, pjeskovitom šljunku. Obzirom da se u računalnom programu ne mogu mjeriti veličine bosi pješćanih zrna za ovu priliku je iskorištena terenska aproksimacija o sadržaju pijeska

od 50% pa tako uz izmjerene valutice šljunka čini cjelinu od 100%. Zbog velikog udjela pijeska, napravljena je granulometrijska analiza krupne frakcije fotouzorka NP. Izmjereno je 347 valutica šljunka s udjelima pojedinih frakcija prikazanih u tablici 5.2. Udio vrlo krupnog pijeska iznosi 10,97%, a ostalih 89% su valutice šljunka. Iz kumulativne granulometrijske krivulje isčitani su percentili:  $\phi_5 = -0,12$ ,  $\phi_{16} = -0,37$ ,  $\phi_{25} = -0,58$ ,  $\phi_{50} = -1,18$ ,  $\phi_{75} = -1,83$ ,  $\phi_{84} = -2,16$ ,  $\phi_{95} = -2,91$ . Srednja vrijednost veličine čestica prema Folku i Wardu (1957), („mean“)  $M = -1,24$  phi, uzorak je umjereno sortiran ( $S_{oFW} = -0,907$ , Slika 5.3) i čestice su asimetrično distribuirane u smjeru manjih čestica ( $Sk_{FW} = 0,599$ , Slika 5.3).

Tablica 5.2 Veličine zrna i udjeli pojedinih frakcija uzorka NP dobiveni fotogranulometrijom pomoću računalnog programa Zeis Axio Vision Rel 4.2.8.0.

| Veličina zrna |         | Broj zrna(n) | Broj zrna kumulativno (n) | Udio pojedine frakcije (%) | Kumulativni udio pojedine frakcije (%) |
|---------------|---------|--------------|---------------------------|----------------------------|--|
| (phi)         | (mm)    |              |                           |                            |  |
| -4            | 32-16mm | 12           | 12                        | 3,67                       | 100,00                                 |
| -3            | 16-8mm  | 48           | 60                        | 14,68                      | 96,33                                  |
| -2            | 8-4mm   | 126          | 186                       | 38,53                      | 81,65                                  |
| -1            | 4-2mm   | 141          | 327                       | 43,12                      | 43,12                                  |

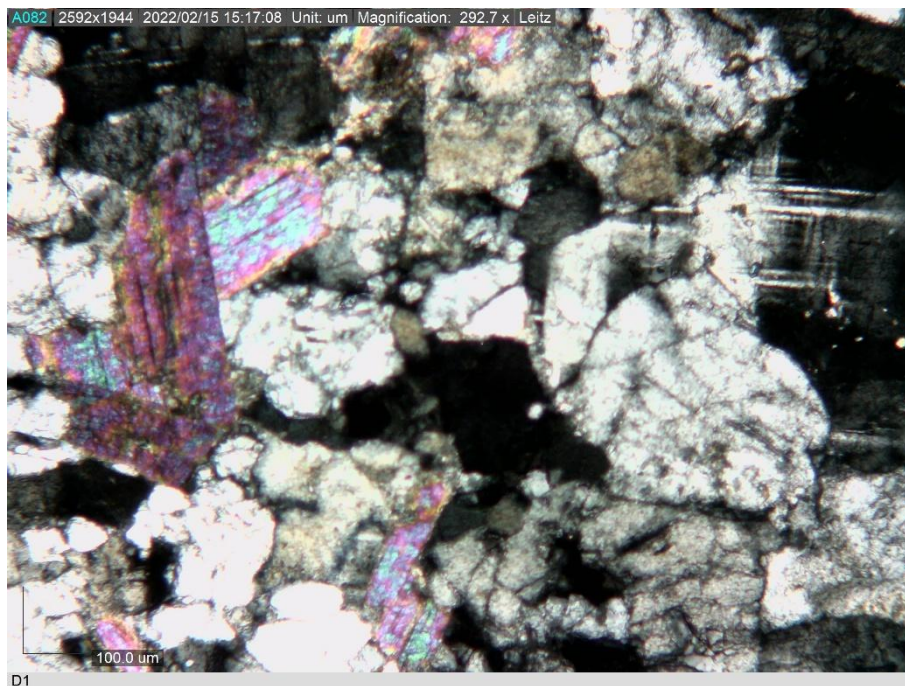


Slika 5.3 Grafički prikaz rezultata granulometrijske analize uzorka NP; a) umulativna granulometrijska krivulja, b) histogram koji pokazuje izrazitu negativnu asimetričnu raspodjelu veličine zrna.

## 5.2 Petrografska analiza

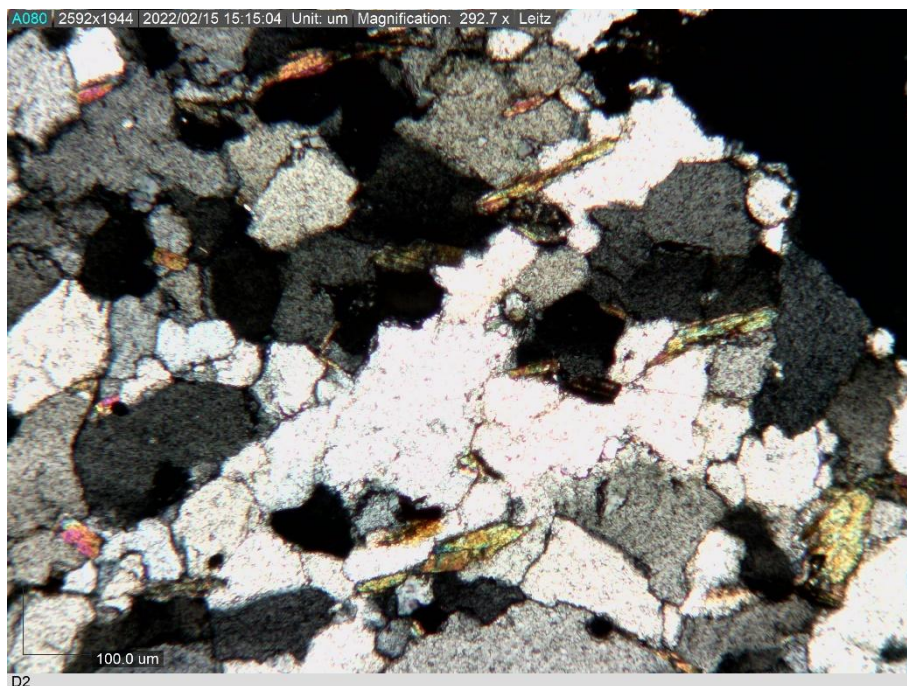
### 5.2.1 Uzorci s pruda Drave

Uzorak D1 se sastoji od jasno vidljivih, ali sitnih zrna subhedralnog kvarca, feldspata, muskovita i biotita (Slika 5.4), unutar kojih se pojavljuju veći fenokristali feldspata. Vjerojatno se radi o sitnozrnatom granitu.



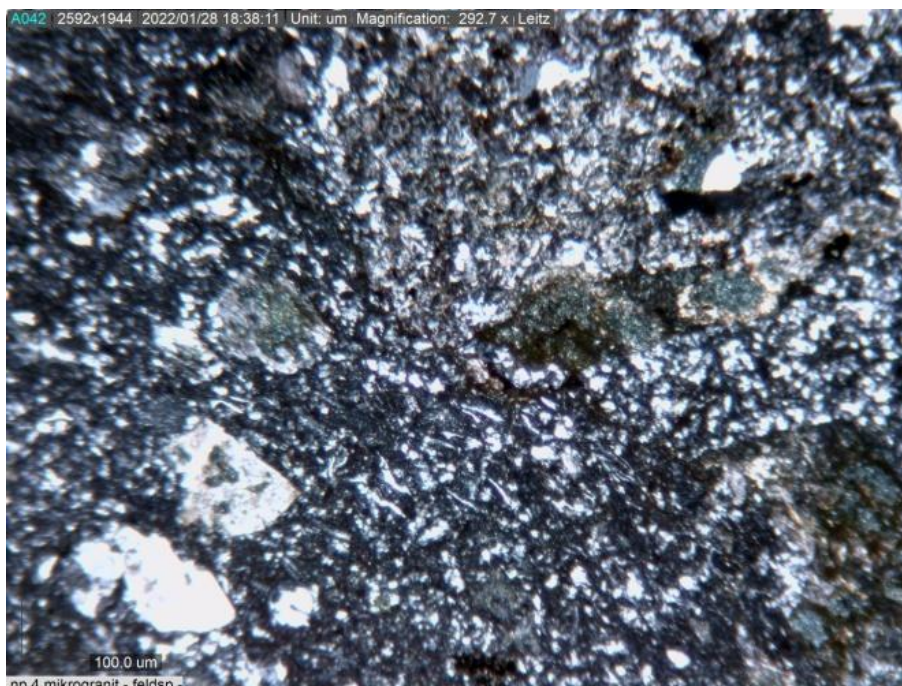
**Slika 5.4** Mikrofotografija N(+) uzorka D1. Vidljiva su zrna feldspata (desno i gore lijevo), kvarca i muskovita (lijevo).

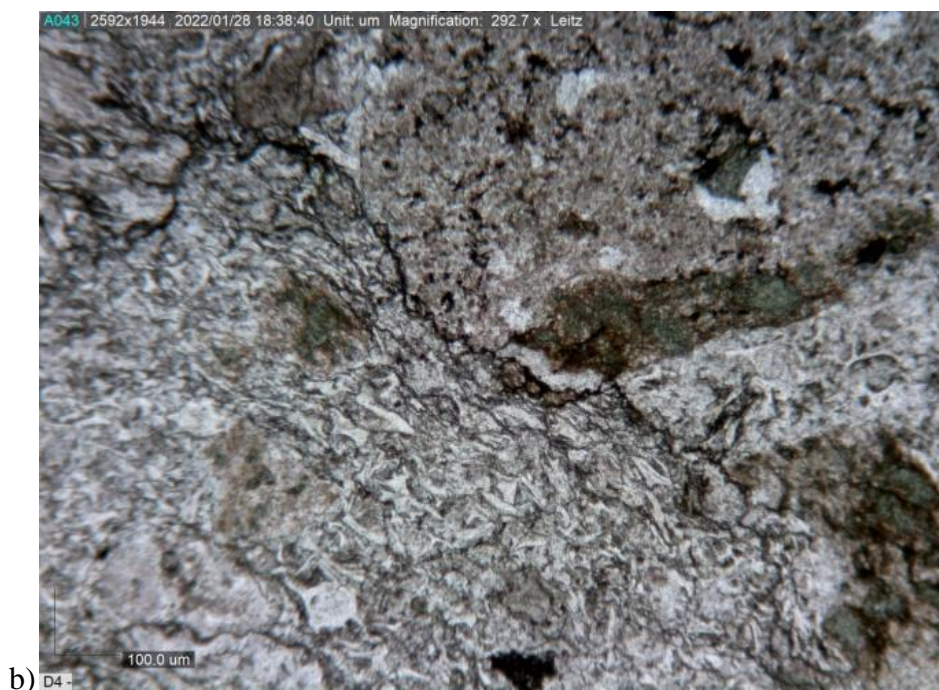
Petrografska analiza uzorka D2 pokazala je da se vjerojatno radi o kvarcitu. Kvarčevi su mikro i makrokristalasti, uglavnom polimiktni te sa međusobno stopljenim kontaktima (Slika 5.5). U uzorku se osim kvarca pojavljuju paralelno orijentirana zrna muskovita.



Slika 5.5 Mikrofotografija N(+) uzorka D1. Vidljiva su zrna feldspata (desno i gore lijevo), kvarca i muskovita (lijevo).

Petrografska analiza uzorka D3 pokazala je da se radi o kristalastom vitričnom tufu. Prisutni su fragmenti vulkanskog stakla koji su izrazito zakrivljenih formi (Slika 5.6). U staklastoj masi ima fenokristala feldspata na kojima su često prisutne alteracije. Tuf je vulkanoklastična stijena koja nastaje taloženjem piroklastičnog materijala iz zraka (MACKENZIE i ADAMS, 1994).

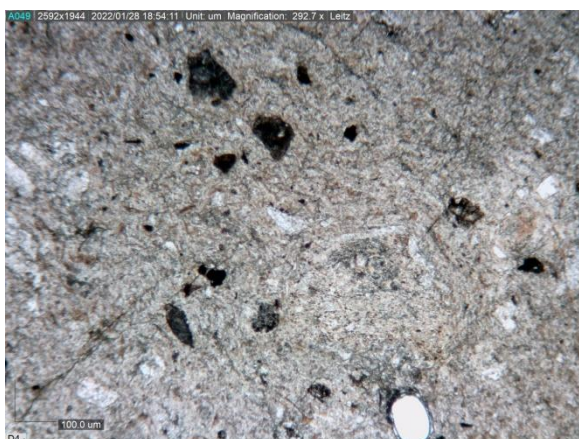




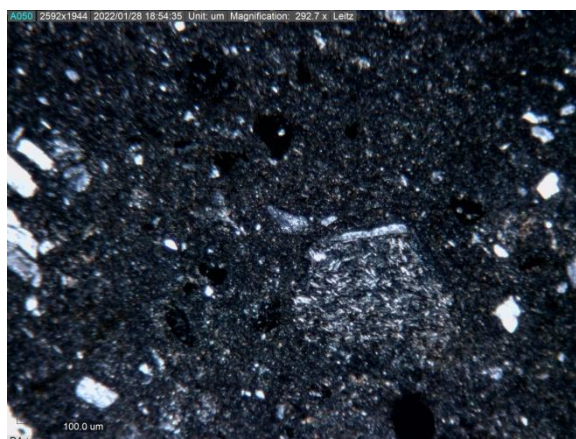
Slika 5.5.6 Mikrofotografije uzorka vulkanskog stakla: a) N(+), b) N(-).

Uzorak D4 ima sitnozrnatu, porfirnu strukturu, makroskopski uzorak je taman i vjerojatno se radi o tufu. Prisutni su fragmenti vulkanskog stakla koji pokazuju zakrivljenost i deformacije i izmješani su s plagioklasima kojih ima i većih dimenzija (Slika 5.7).

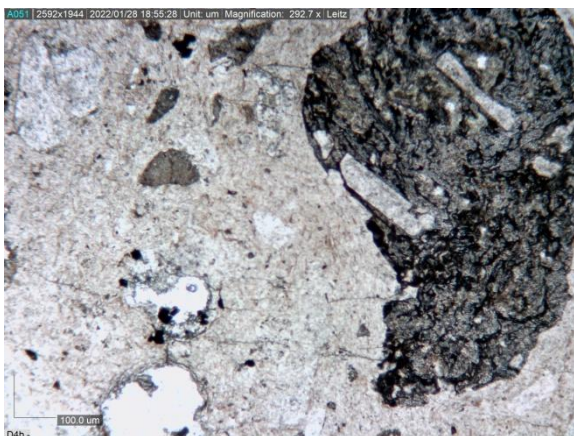
a)



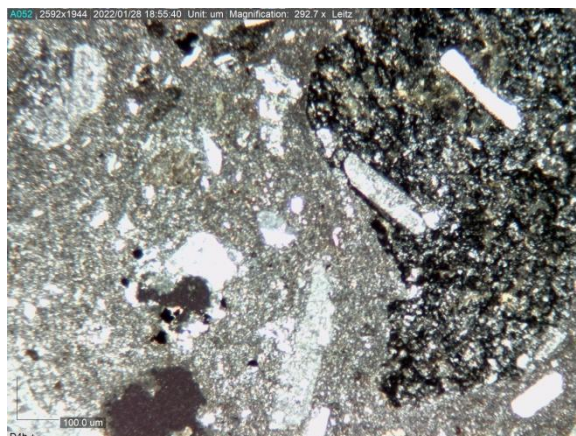
b)



c)

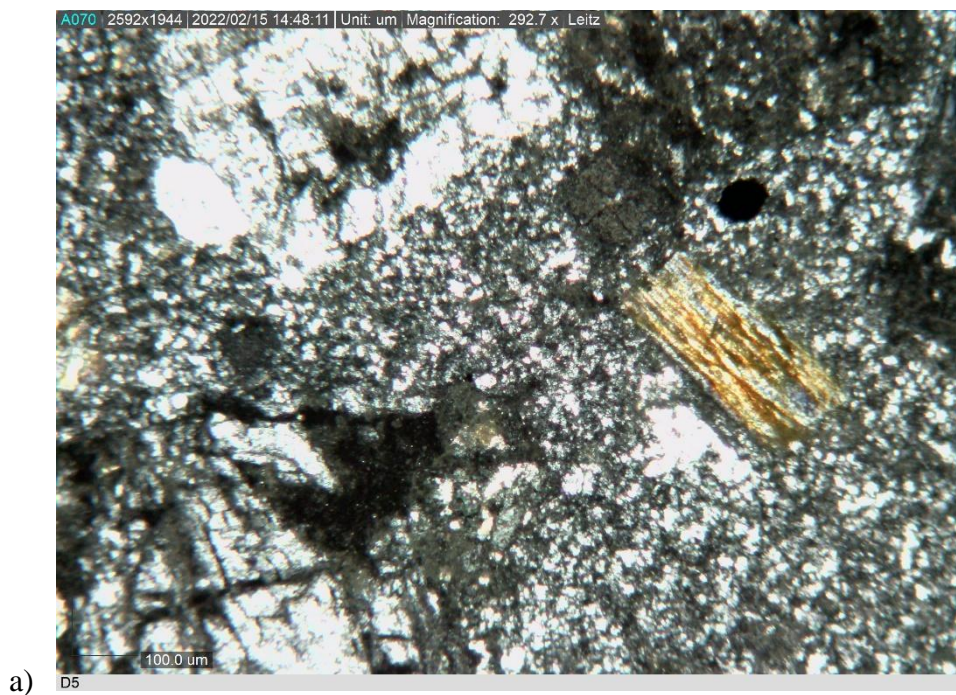


d)

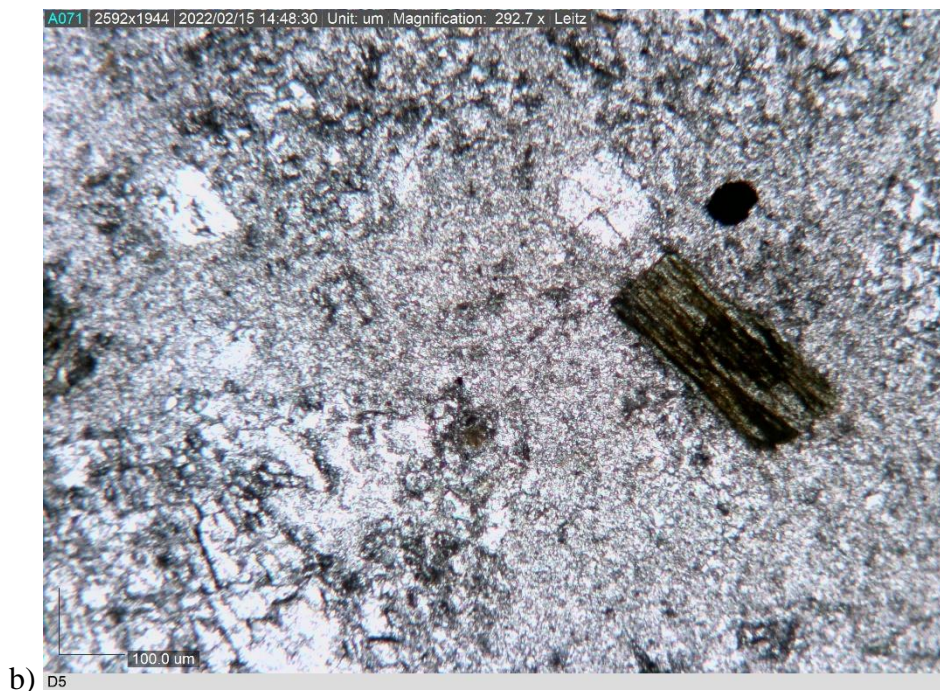


Slika 5.5.7 Vulkansko staklo s plagioklasima i litoklastima, sa (b,d,) i bez prekrivenih nikola (a,c).

Uzorak D5 ima porfirnu strukturu sa fenokristalima feldspata i amfibola u sitnozrnatoj osnovi (Slika 5.8). Vjerojatno se radi o andezitu.



a)



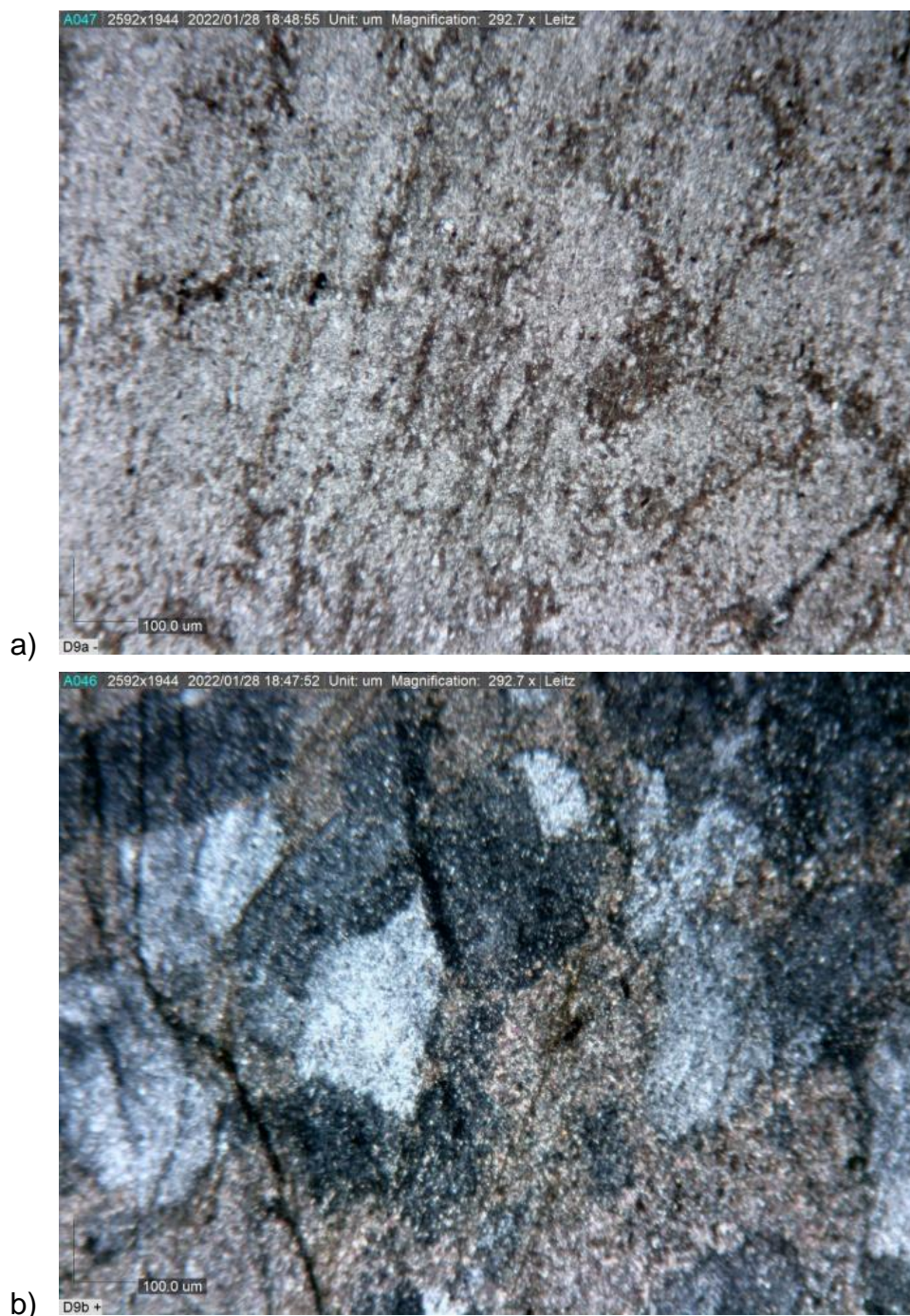
**Slika 5.8** Mikrofotografija uzorka D5. Vidljiva su fenokristali feldspata i hornblende u sitnozrnatoj osnovi. a) N(+), b) N(-)

Uzorak D6 je pješčenjak tipa litični arenit. Uz prisutnost kvarca, u sastavu dominiraju litične čestice rožnjaka, niskometamorfne kvarc-muskovitne čestice slejta i filita, te rijedih čestica sa mogućom, ali nejsnom felsičnom teksturom.

Uzorak D8 je kvarc muskovitni škriljavac sa jasnim izmjenama tamnih (opaki minerali) i svijetlih lamina.

Uzorak D9 je sitnozrnati slejt ili filit u kojem se javljaju vrlo sitna zrna kvarca i mnoštvo sitnozrnatog sericita (Slika 5.9). Protolit je vjerojatno sitnozrnata sedimentna stijena sa izmjenom šejla i siltita.





Slika 5.5.9 Mikrofotografije uzorka D9. a) N(+), b) N(-).

### 5.2.2 Uzorci iz šljunčare „Klara“, Novigrad Podravski

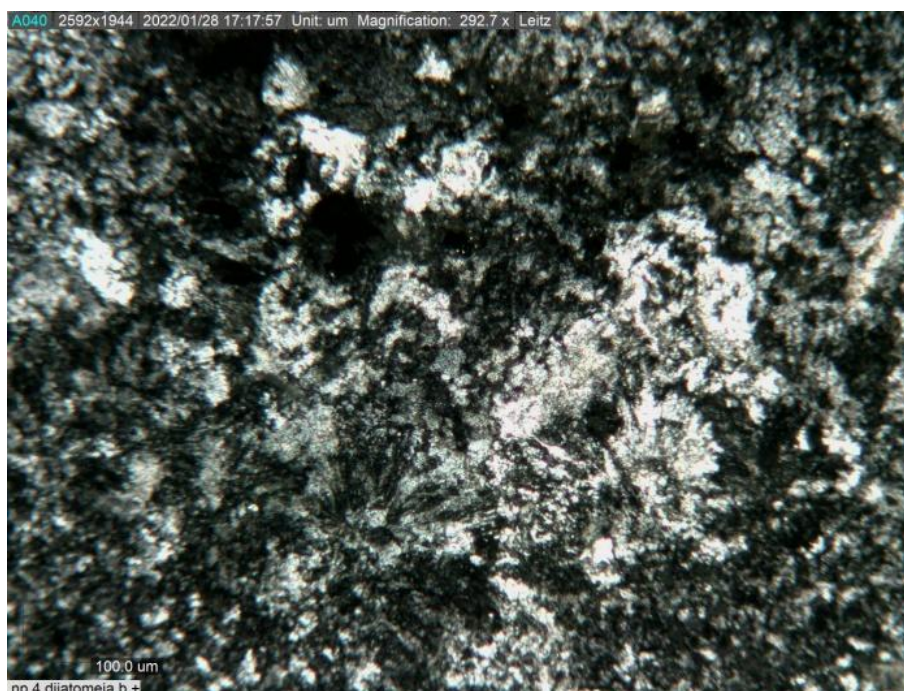
Petrografska analiza uzorka NP1 pokazala je da se radi o metamorfnoj stijeni u kojoj dominira kvarc s unduloznim potamnjenjem i međusobno stopljenim rubovima. Uz kvarc su vrlo česti granati.

Uzorak NP2 je kvarc-muskovitni slejt ili filit, za kojeg je vjerojatno da je nastao slabom metamorfozom pješčenjaka zbog prisutnosti čestih unduloznih kvarčeva i

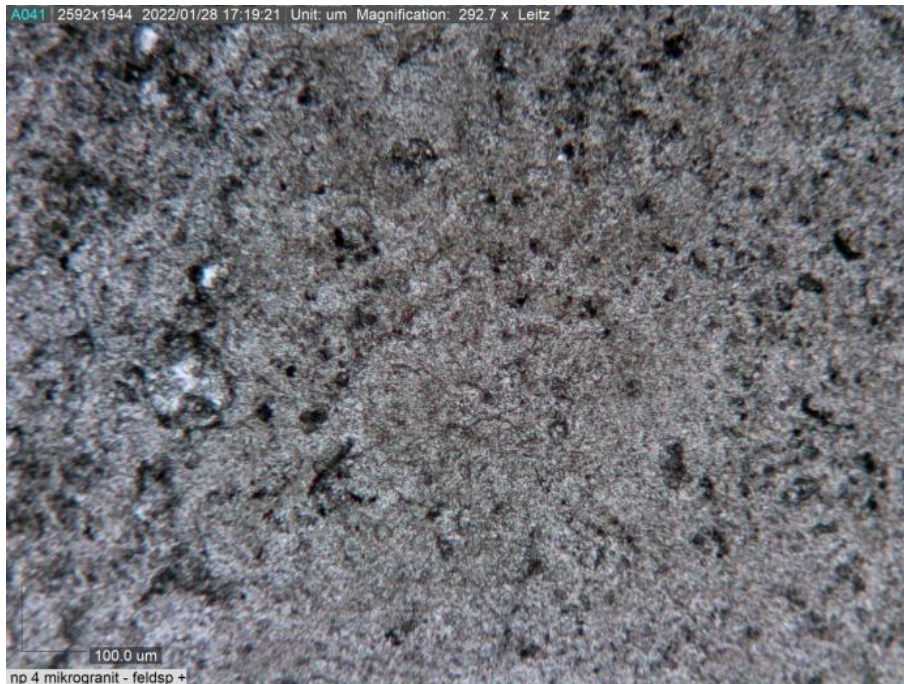
škrljavosti muskovitnih zrna. U uzorku se nalazi oko 90 % kvarca i oko 10 % ostalih čestica, pretežno tinjaca.

Uzorka NP3 je niskometamorfoziran Imetapješčenjak sa jasno izraženom škrljavosti. Feldspati su blago spljošteni i u uzorku se izdvajaju svjetle i tamne (opaki minerali) lamine. Također je prisutan muskovit, ali manje nego u ostalim uzorcima, a undaluzno potamljenje kvarcnih zrna je često.

Petrografska analiza uzorka NP4 pokazala je da se radi o mikrogranitu. Uočava se granofirična tekstura koja nastaje simultanom kristalizacijom, u uvom uzorku tamnijih alkalijskih feldspata s češćim i svjetlijim kvarčevima (Slika 5.10).



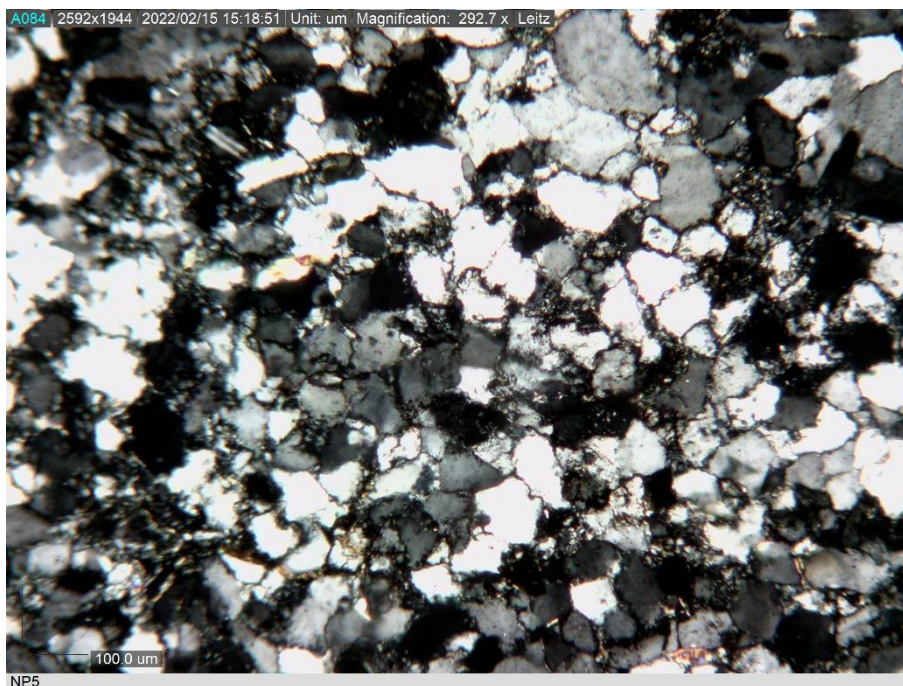
a)



b) np 4 mikrogranit - feldsp +

**Slika 5.5.10** Mikrofotografije uzorka NP4. Vidi se granofirična tekstura u mikrogranitu. a) N(+), b) N(-).

Uzorak NP5 je vrlo niskometamorfni metapješčenjak u kojem dominira kvarc, uz manji udio čestica stijena, feldspata i sitnih tinjaca. Kvarc je često unduloznog potamnjenja i sa čestim međusobno blago stopljenim kontaktima (Slika 5.11).



**Slika 5.11** Mikrofotografija N(+) uzorka NP5. Vidljiva dominacija kvarcnih zrna.

### 5.3 Analiza teških minerala

Prosijavanjem recentnog sedimenta uzorka LORI 2 dobiveno je 15,78 g sedimenta veličine zrna 65-125 µm. Tretiranjem uzorka octenom kiselinom utvrđen je maseni udio (w) kalcijevog karbonata od 13,08 %. Za analizu teških minerala odvagano je 3,3693 g, a ostatak je arhiviran za mogućnost ponavljanja analiza. Nakon separacije utvrđen je maseni udio (w) teških minerala od 28,12 %, što znači da lakih minerala ima 71,88 % (Tablica 5.3, 5.4). Rasuti mikroskopski preparati uzoraka D1, NP1A i NP3A korišteni su samo za analizu teških minerala metodom brojanja. Frakcija lakih minerala uzorka LORI 2 sadrži najviše kvarca i alkalijskih feldspata, puno je tinjaca (posebno muskovita) i litičnih čestica.

Tablica 5.3 Udjeli teških minerala u analiziranim uzorcima. Thm = prozirni nelistićavi teški minerali.

| Lokalitet          | Oznaka uzorka | Jedinica (OGK)    | Teški minerali (%) |          |        |        |       |        |
|--------------------|---------------|-------------------|--------------------|----------|--------|--------|-------|--------|
|                    |               |                   | opaki              | Muskovit | biotit | klorit | thm   | ostalo |
| Repaški most       | LORI 2        | Aluvij Drave      | 1,80               | 5,40     | -      | 2,31   | 85,86 | 4,63   |
| Skela Križnica     | D1            | Aluvij Drave      | 3,57               | +        | -      | 3,57   | 89,88 | 2,98   |
| Novigrad Podravski | NP1A          | 4. dravska terasa | 9,06               | +        | -      | 3,44   | 82,81 | 4,69   |
|                    | NP3A          | 4. dravska terasa | 14,47              | 3,46     | 1,89   | 3,77   | 72,96 | 3,46   |

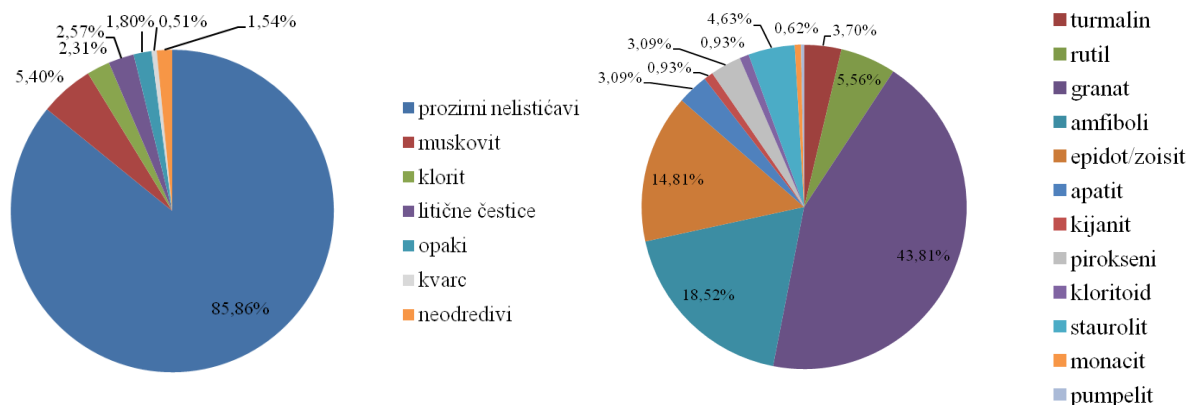
Tablica 5.4 Udjeli prozirnih nelistićavih teških minerala (THM) i cirkon-turmalin-rutilindeksi (ZTRi) u analiziranim uzorcima.

| Oznaka uzorka | Prozirni nelistićavi teški minerali, THM (%) |           |         |          |          |               |           |         |           |
|---------------|--|-----------|---------|----------|----------|---------------|-----------|---------|-----------|
|               | cirkon                                       | turmalin  | rutil   | granat   | amfiboli | epidot/zoisit | Apatit    | kijanit | pirokseni |
| LORI 2        | -  | 3,70      | 5,56    | 43,81    | 18,52    | 14,81         | 3,09      | 0,93    | 3,09      |
| D1            | 0,99   | 6,29      | 4,30    | 41,72    | 23,51    | 13,25         | 1,32      | 2,32    | 3,31      |
| NP1A          | 2,64   | 5,29      | 13,96   | 33,96    | 12,08    | 19,62         | 1,51      | 3,02    | 3,02      |
| NP3A          | 9,06   | 5,60      | 18,10   | 9,91     | 7,76     | 33,63         | 1,29      | 6,03    | 3,88      |
| Oznaka uzorka | Prozirni nelistićavi teški minerali, THM (%) |           |         |          |          |               |           |         |           |
|               | kloritoid                                    | staurolit | Monacit | pumpelit | Titanit  | prehnit       | andaluzit | Topaz   | ZTRi (%)  |
| LORI 2        | 0,93   | 4,63      | 0,62    | 0,31     | -        | -             | -         | -       | 9,26      |
| D1            | 0,66   | 1,99      | 0,33    | -        | -        | -             | -         | -       | 11,58     |
| NP1A          | -  | 3,77      | -       | -        | 0,38     | 0,75          | -         | -       | 21,88     |
| NP3A          | -  | 3,02      | -       | -        | -        | -             | 1,29      | 0,43    | 32,75     |

#### 5.3.1 Uzorci s prudova Drave

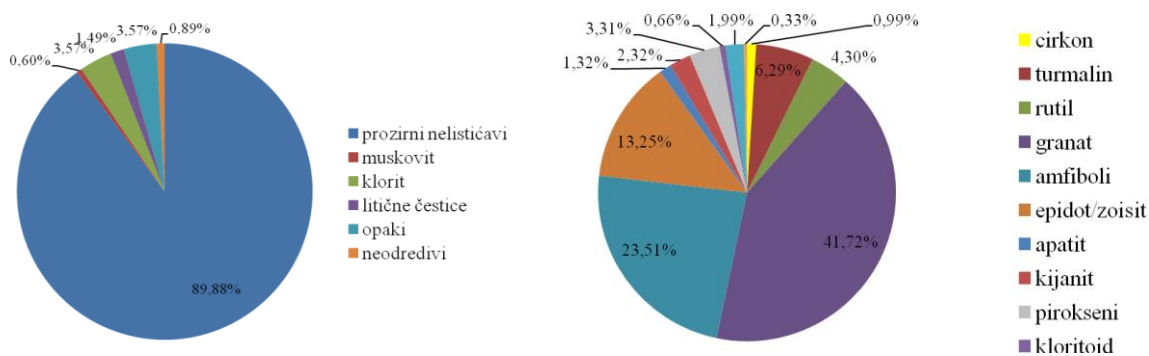
Udio teške frakcije u uzorku LORI 2 iznosi visokih 28,12 %. U preparatu od ukupnog broja izbrojanih zrna (100 %), 86 % pripada skupini prozirnih nelistićavih minerala (THM), 5 % čine muskoviti, a manje od 5 % kloriti, opaki minerali, litične čestice i neodrediva zrna (6 zrna, što iznosi malo više od 1 %), a potrebno je spomenuti i nekoliko zrna kvarca koja su zaostala prilikom separacije (Tablica 5.3, Slika 5.12). U skupini

prozirnih nelistićastih teških minerala (THM), utvrđeno je 12 različitih mineralnih vrsta/grupa. Od ukupnog broja izbrojanih zrna THM skupine (100 %), 43,81 % pripada mineralima grupe granata, 18,52 % amfibolima, 14,81 % grupi epidota, 5,56 % rutilu i staurolitu 4,63 %. Od ostalih mineralnih zrna koja su izbrojana potrebno je izdvojiti piroksene, turmalin, apatit, cirkon, kijanit i monacit. Laka frakcija obiluje monomiktnim i polimiktnim kvarčevima koji su najčešće uglati i niske sferičnosti, a sadrži i mnogo listićavih minerala te čestica stijena. ZTR indeks iznosi 9,26 (Tablica 5.4, Slika 5.12).



Slika 5.12 Sastav teške frakcije u uzorku LORI 2.

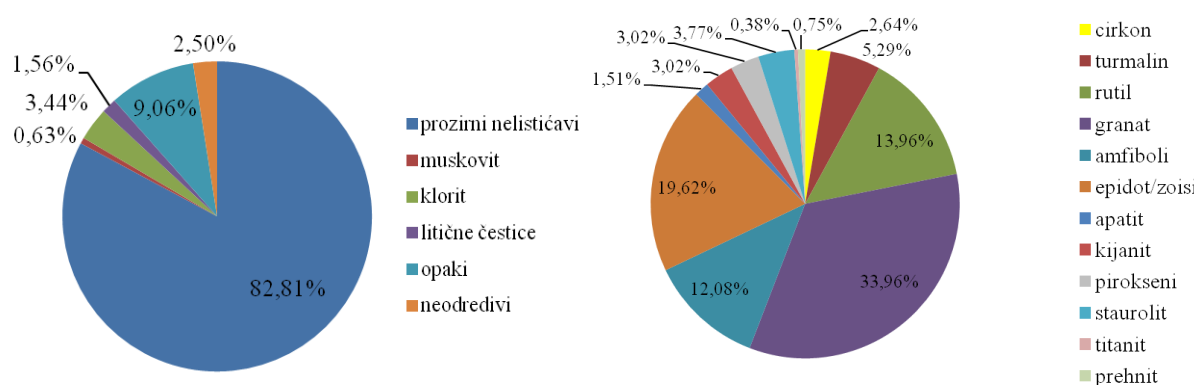
U uzorku D1 od ukupnog broja izbrojanih zrna (100 %), 90 % pripada skupini prozirnih nelistićavih minerala (THM), a od preostalih 10 % značajan je samo udio od 4 % opakih zrna. Neodređena su 3 zrna, što iznosi oko 1 % (Tablica 5.4, Slika 5.13). U skupini prozirnih nelistićastih teških minerala (THM), utvrđeno je 11 različitih mineralnih vrsta/grupa. Od ukupnog broja izbrojanih zrna THM skupine (100 %), 41,72 % pripada mineralima grupe granata, 26 % grupi epidota, 13,25 % amfibolima, 6,29 % turmalinu. Od ostalih mineralnih zrna koja su izbrojana potrebno je izdvojiti staurolit, klinopiroksene, kijanit, apatit i cirkon. ZTR indeks iznosi 11,58 (Tablica 5.4, Slika 5.13).



Slika 5.9 Sastav teške frakcije u uzorku D1

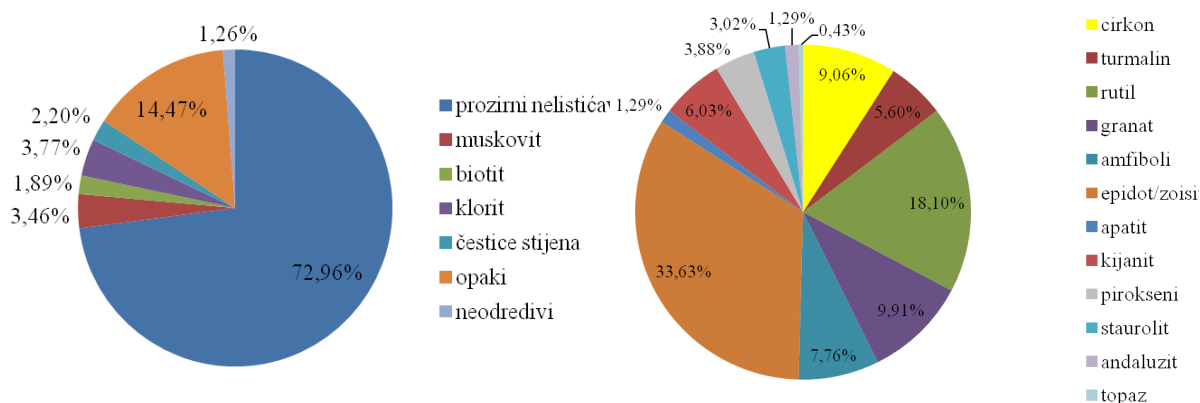
## 5.3.2 Uzorci iz površinskog kopa „Klara“, Novigrad Podravski

U uzorku NP1A od ukupnog broja izbrojanih zrna (100 %), 83 % pripada skupini prozirnih nelistićastih minerala (THM), 9 % je opakih zrna, a ima neznatno klorita, muskovita i čestica stijena. Neodređeno je čak 8 zrna, što iznosi 2,50 % (Tablica 5.3, Slika 5.10). U skupini prozirnih nelistićastih teških minerala (THM), utvrđeno je 11 različitih mineralnih vrsta/grupa. Od ukupnog broja izbrojanih zrna THM skupine (100 %), 33,96 % pripada mineralima grupe granata, 19,62 % grupi epidota, 12,08 % amfibolima, 13,96 % rutilu i 5,29 % turmalinu. Od ostalih mineralnih zrna koja su izbrojana potrebno je izdvojiti piroksene, kijanit, staurolit, apatit i cirkon, a izbrojana su i dva zrna prehnita te jedno titanita. ZTR indeks iznosi 21,88 (Tablica 5.4, Slika 5.14).



Slika 5.14 Sastav teške frakcije u uzorku NP1A

U uzorku NP3A od ukupnog broja izbrojanih zrna (100 %), 73 % pripada skupini prozirnih nelistićastih minerala (THM), 15 % je opakih zrna, 4 % klorita, a ima još i muskovita, biotita i čestica stijena. Neodređena su 4 zrna, što iznosi 1 % (Tablica 5.3, Slika 5.11). U skupini prozirnih nelistićastih teških minerala (THM), utvrđeno je 12 različitih mineralnih vrsta/grupa. Od ukupnog broja izbrojanih zrna THM skupine (100 %), 33,63 % pripada mineralima grupe epidota, 18,10 % rutilu, 9,91 % grupi granata, 7,76 % amfibolima, 9,06 % cirkonu, 6,03 % kijanitu i 5,60 % turmalinu. Od ostalih mineralnih zrna koja su izbrojana potrebno je izdvojiti piroksene, staurolit, andaluzit i apatit, a izbrojano je i jedno zrno topaza. ZTR indeks iznosi 32,75 (Tablica 5.4, Slika 5.15).



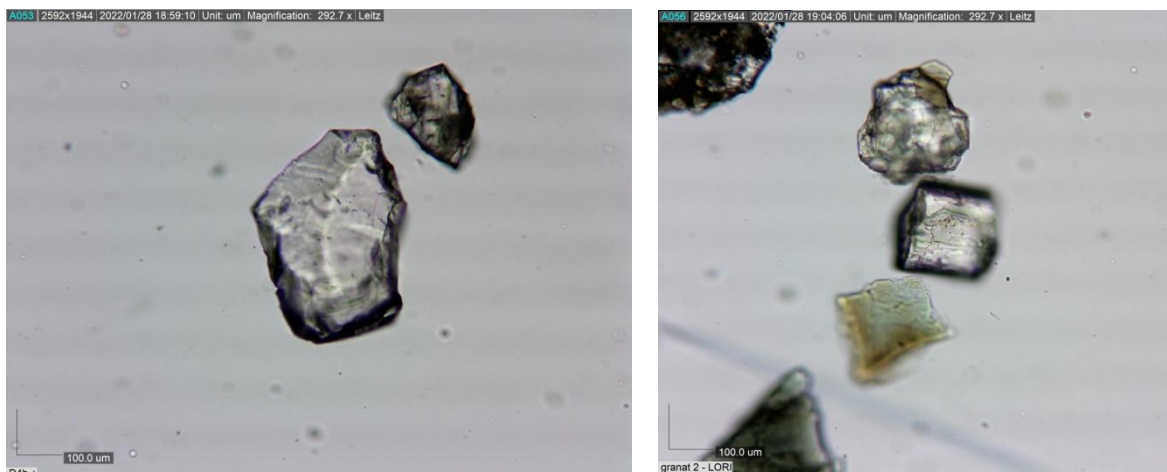
Slika 5.15 Sastav teške frakcije u uzorku NP3A

### 5.3.3 Karakteristike opaženih teških minerala

Granati dominiraju u uzorcima LORI 2 i D1 s udjelom unutar THM >40 %, u uzorku NP1A ga ima oko 30 % dok u uzorku NP3A više ne dominira i ima ga <10 % (Tablica 5.4). Nažalost, granate je, u izbruscima i/ili rasutim preparatima, nemoguće razlikovati samo temeljem optičkih karakteristika (najčešće boje). Za točnu determinaciju na zrnima je potrebno provesti i kemijsku analizu (MANGE i MAURER, 1992). Otporni su na trošenje, ali su relativno nestabilni u dijagenetskom okolišu na većim dubinama zalijeganja, što dovodi do otapanja zrna i nastanka za granate vrlo specifičnih tragova po površini zrna, od kojih su najzanimljivije zubolike, takozvane "jetkane plohe" (MANGE i MAURER, 1992). U uzorcima iz recentnog toka rijeke Drave (LORI 2, D1)udio granata je vrlo visok (Tablica 5.4), a u uzorcima iz Novigrada Podravskog znatno manji, alinjihova morfologija je slična. Na oba lokaliteta pojavljuju se vrlo sferična zrna oblih bridova, ali i pravokutna zrna uglatih i oštih bridova, a vidljivo je i „jetkanje“ (Slika 5.16).

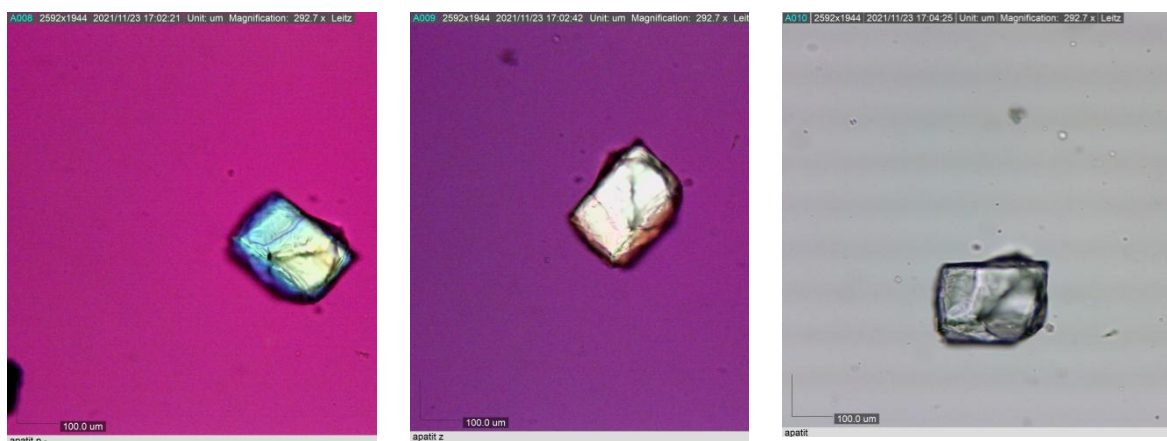
a)

b)



Slika 5.16 a) prozirni granat, izdužen s vrlo malim površinama jetkanja (D1) (N-), b) granat (NP1A)(N-).

Apatit se lako prepoznaje zbog toga što je konoskopski negativan (Slika 5.17). Apatit je prisutan u sva četiri analizirana uzorka, a u uzorcima iz Novigrada Podravskog češće je vidljivo „jetkanje“ te su zrna morfološki nepravilnija.



Slika 5.17 Apatitiz uzorka LORI 2.

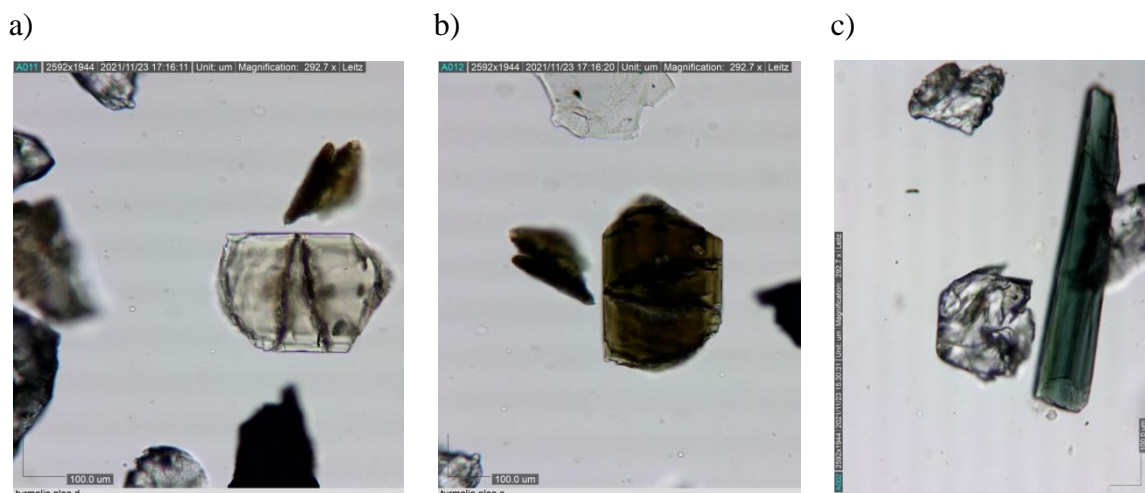
Cirkon nije teško prepoznati jer je izrazitog reljefa, snažnog dvoloma, slabo obojen ili proziran i ne pokazuje pleokroizam. Cirkon je najprisutniji u uzorku NP3A i općenito ga ima više u Novigradu Podravskom nego li u recentnim dravskim sedimentima (Tablica 5.4). Često je zaobljen, sferičan ili izdužen (Slika 5.18).





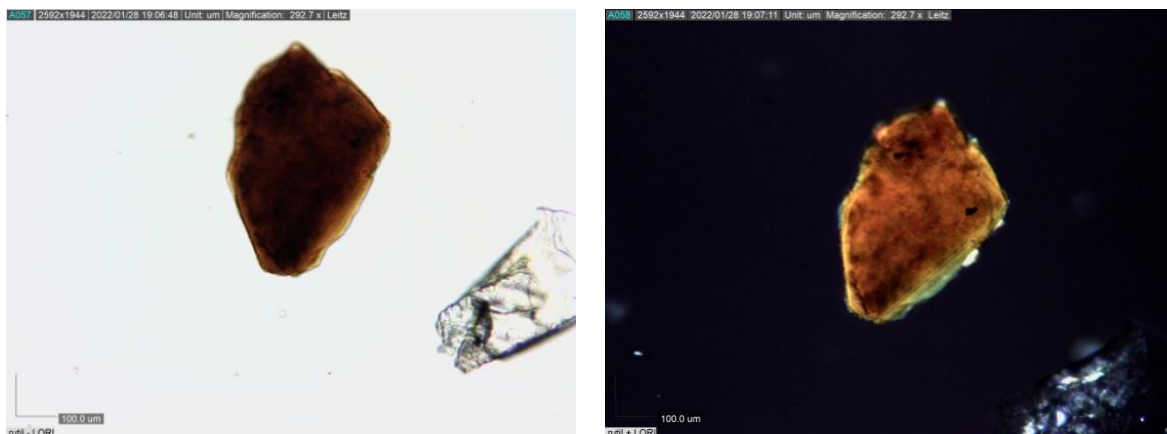
Slika 5.18 Uzorak NP3A, cirkon.

Turmalini su, kao i granati, vrlo kompleksna i raznolika grupa, dominantno pneumatolitskih minerala (SLOVENEK i BERMANEC, 2003). Međutim, u izbruscima i rasutim preparatima, a bez provedene kemijske analize, nije moguće razlikovati detritična zrna jedne od druge vrste. Kao i kod granata, boja minerala nije pouzdan indikator pripadnosti pojedinoj mineralnoj vrsti, iako se može reći da, generalno govoreći, s porastom udjela željeza ( $Fe^{2+}$ ) turmalini poprimaju sve tamnije nijanse. Turmalini se u podjednakoj mjeri nalaze u sva četiri analizirana uzorka (Tablica 5.4) i najčešće je maslinasto-zelene do smeđe boje. Oni iz recentnog pijeska češće su zeleni i štapićasti, u odnosu na turmaline iz Novigrada Podravskog koji su češće maslinasto-zeleni i rijetko su štapićasti (Slika 5.19).



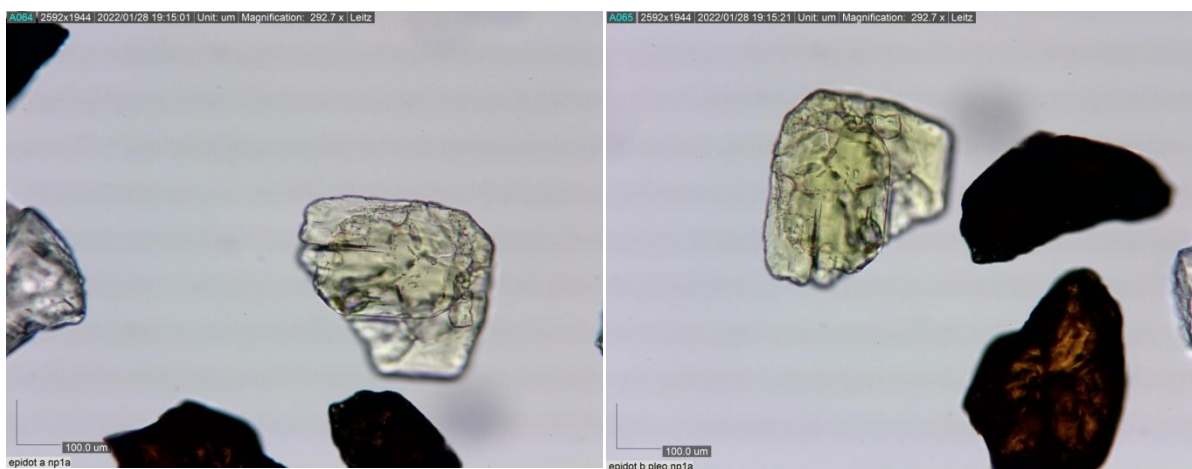
Slika 5.19 Turmalin, uzorak NP1A; a) i b) pleokroizam (N-), c) turmalin, uzorak D1.

Najrezistentniji od trojca cirkon–turmalin–rutil je upravo rutil (MANGE i MAURER, 1992; TIŠLJAR, 2004). Na slici 5.20 je vidljiv rutil iz uzorka LORI 2, crveno-smeđe, amber boje, visokog reljefa, s prisutnim slabo vidljivim strijama na površini minerala.



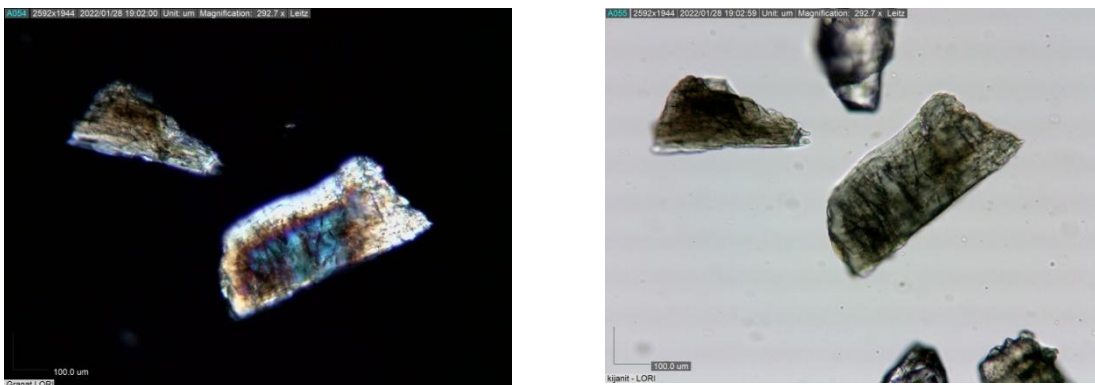
Slika 5.20 Rutil sa strijama, uzorak LORI 2.

Grupu epidota osim epidota čine minerali, zoisit i klinozoisit. Epidot se relativno lako prepoznaje zbog svoje karakteristične tople, možemo reći, travnate zelene boje, visokog reljefa, česte nepravilne morfologije, a pokazuje i pleokroizam (Slika 5.21). Prisutan je u svim analiziranim uzorcima, ali ga ima više u THM zajednici Novigrada Podravskog, u uzorku NP3A je dominantan mineral i s udjelom preko 33 % (Tablica 5.4).



Slika 5.21 Uzorak NP3A, epidot karakteristično travnato zelene boje, pleokroizam.

Zajednice teških minerala bogate određenim mineralima grupe amfibolima često su od velikog značaja prilikom određivanja provenijencije pješčanih sedimenata (MANGE i MAURER, 1992). Amfiboli su značajna grupa minerala u svim analiziranim uzorcima (Tablica 5.4), a najčešće su to zelene i smeđe hornblende, a rijetko aktinolit ili plavi amfiboli. Hornblende su najčešće prizmatske, ali često i nepravilnih oblika, pokazuju snažan pleokroizam, jakih su boja, a karakterizira ih amfibolitski klivaž (Slika 5.22).



**Slika 5.22** Uzorak LORI 2, zelena hornblenda. a) snažne interferencijske boje (N+), b) klivaž i poprečne pukotine, visoki reljef (N-).

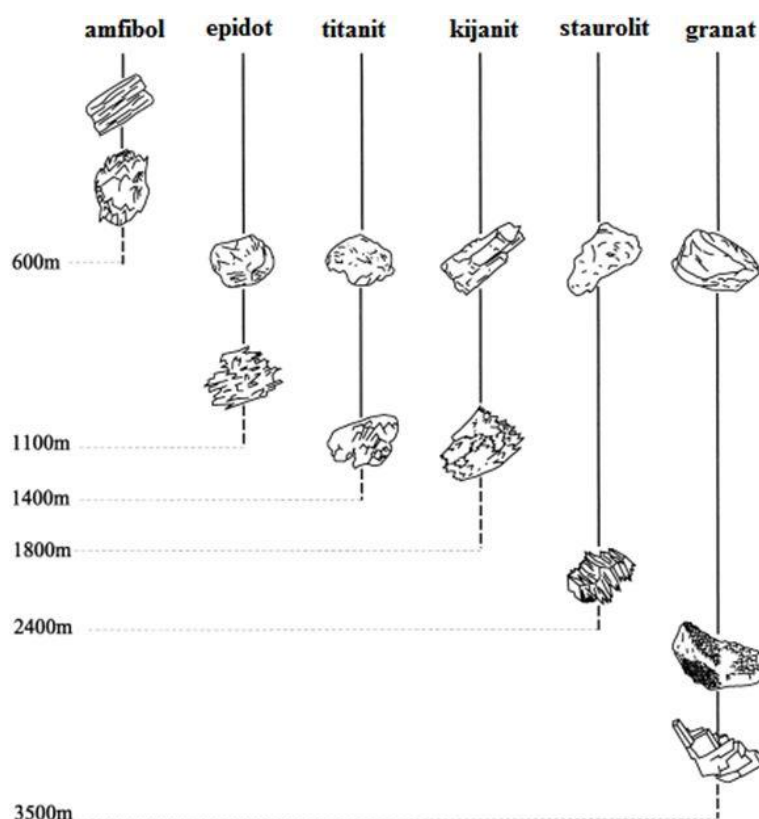
## 6 RASPRAVA

Donos materijala u aluvij rijeke Drave se kroz prošlost mijenjao te su sedimenti neogena i kvartara različitih karakteristika i potencijalno različitog porijekla. Rijeka Drava je od ranog pleistocena do danas istaložila četiri riječne terase, dvije koje pripadaju pleistocenu i dvije holocenu (ŠIMUNIĆ i sur., 1981, 1990). Lokalitet Novigrad Podravski smješten je u podnožju sjeverozapadnog dijela Bilogore. Ta tom području površinske naslage opisane su kao donji kvartar što je u akordanciji s lokalitetima (Trnovec, Đurđevac, Ferdinandovac, Mučna Reka) dosadašnjih istraživanja gdje su istobitni sedimenti analizirani (MUTIĆ i sur., 1975; BABIĆ i sur., 1978; PEH i sur., 1998; WACHA i sur., 2017). Sedimenti starijih dravskih terasa, slični su recentnim, ali razlike su ipak prisutne u granulometriji, vrsti i sastavu materijala, zajednici THM.

Identifikacija provenijencije znatno je olakšana analizom teških minerala zbog raznolikosti mineralnih vrsta u sedimentima i sedimentnim stijenama te činjenicom da niz faktora utječe na sastav njihove zajednice. Osim mineralnog sastava izvorišnog područja, na sastav zajednice teških minerala utječu i procesi trošenja, mehaničke abrazije, hidraulički procesi, procesi fizičkog sortiranja i otapanja. Za točno određivanje provenijencije, važno je koristiti parametre koji nisu značajno promijenjeni utjecajem procesa tijekom sedimentacijskog ciklusa. Konvencionalna analiza teških minerala odnosi se na analize koje uključuju potpunu zajednicu teških minerala, a kako bi se što točnije odredila provenijencija paralelno se osim analize teških minerala koriste ostale sedimentološke analize, poput petrografske i granulometrijske analize te datiranja.

Nestabilne faze zajednica teških minerala otapaju se prilikom zalijeganja i nastaju sekundarni minerali. Iako nam ne daju informacije o provenijenciji, sekundarni minerali indikatori su dijagenetskog režima, stoga je tijekom analize potrebno pratiti i zastupljenost sekundarnih minerala. Neki od čimbenika koji upravljaju otapanjem teških minerala tijekom dubokog zalijeganja su stabilnost minerala, temperatura i sastav porne vode, cirkulacija porne vode te vrijeme. Neki su minerali stabilniji od drugih, što se prepoznajena površinskim teksturama zrna i na njihovoj potpovršinskoj raspodjeli. Sa slike 6.1 vidljivo je da je granat najrezistentniji od prikazanih minerala koji se znatno otapa tek na dubinama prekrivanja većim od 2400m. Prvi se otapa Ca-amfibol, a slijede ga epidot, titanit, kijanit i staurolit. Svaka je faza, s porastom dubine, sve više korodirana, a zastupljenost granata se znatno smanji u usporedbi sa stabilnim cirkonom. Preostali minerali (apatit, rutil, turmalin,

cirkon) vjerojatno su stabilni i ne pokazuju znakove jetkanja (MORTON, 1979). Provenijencijsko osjetljivi minerali, monacit i krom-spinel također su stabilni. Nema dokaza da su njihove površine korodirane čak i na većim dubinama prekrivanja. Kloritoid pokazuje znakove korozije u pješčenjacima na dubini od 3 do 4 km, a turmalini pokazuju teksture jetkanja koje nisu uzrokovane dubokim zalijeganjem (MORTON i HALLSWORTH, 1999).



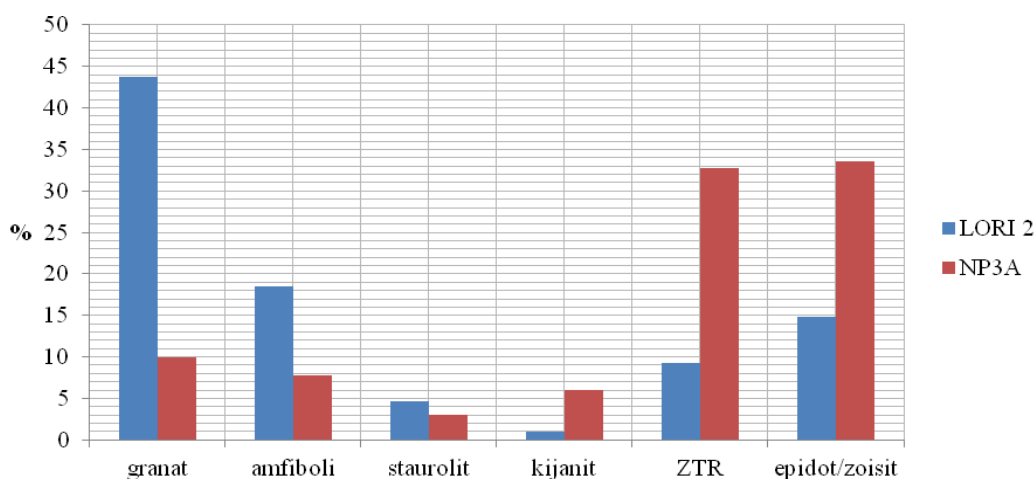
Slika 6.1 Prikaz zastupljenosti minerala s povećanjem dubine prekrivanja zbog različite stabilnosti minerala (preuzeto iz Morton i Hallsworth, 1999).

Granati su velika i raznolika grupa, dominantno metamornih minerala (SLOVENEK i BERMANEC, 2003). U sedimentnim stijenama, kao detritična zrna, obično se pojavljuju almandin i spessartin (iz serije piralspita), te grossular i andradit (iz serije ugrandita), a među kojima je almandinski granat najčešći (MANGE i MAURER, 1992; TIŠLJAR, 2004). Almandin je tipični mineral regionalno metamornih stijena srednjeg do visokog stupnja metamorfizma nastalih metamorfozom pelitnih protolita (škriljavci i gnajsevi). Rjeđe se nalazi i u nekim granitoidima i riolitima, kao akcesoran mineral (SLOVENEK i BERMANEC, 2003). Spessartin je pak tipični mineral granitskih pegmatita, skarnova i nekih škriljavaca (SLOVENEK i BERMANEC, 2003). Ugranditi

(Ca<sup>2+</sup>-nosivi granati), grossular i andradit, tipični su minerali kontaktno metamorfnih stijena nastalih metamorfozom karbonatnih protolita (mramori) i skarnova, a rjeđe i regionalno metamorfnih stijena nastalih metamorfozom karbonata (kalcitni škriljavci) (MANGE i MAURER, 1992). Minerali niza apatita, koji su prisutni kao sekundarni minerali u THM frakciji svih uzoraka, akcesorni su minerali praktički svih vrsta magmatskih i metamorfnih stijena, a pojavljuju se i u hidrotermalnim žilama (MANGE i MAURER, 1992; TIŠLJAR, 2004), zbog čega ne predstavljaju dobre indikatore izvorišnih stijena. U sedimentnim stijenama mogu biti i autigeni (MANGE i MAURER, 1992). Cirkon, turmalin i rutil su ultrastabilni minerali, izuzetno otporni na mehaničko i kemijsko trošenje, te vrlo stabilni u dijagenetskom okolišu (MANGE i MAURER, 1992). Stoga ih je HUBERT (1962) upotrijebio kao kvantitativne pokazatelje mineraloške zrelosti zajednice teških minerala. Naime, mineraloška zrelost teške mineralne zajednice definirana je cirkon–turmalin–rutil indeksom (ZTRi); što je vrijednost tog indeksa viša, viša je i mineraloška zrelost zajednice. Zajednica THM uzoraka NP1A i NP3A iz Novigrada Podravskog imaju dvostruko, pa čak i trostruko više ZTR indekse od recentnih dravskih klastita (LORI 2, D1)(Tablica 5.4). Cirkon je jedan od najraširenijih akcesornih minerala u stijenama kontinentske kore (različite magmatske i metamorfne stijene), ali je posebno karakterističan za kisele i intermedijalne magmatske stijene, poput granitoida i sijenitoida, granitskih i sijenitskih pegmatita, te njihovih efuzivnih ekvivalenata, posebno riolita (MANGE i MAURER, 1992; SLOVENEK i BERMANEC, 2003). Turmalini se pojavljuju u granitoidima, granitskim pegmatitima, pneumatolitskim žilama, te u kontaktno i regionalno metamorfnim stijenama i grajzenima (MANGE i MAURER, 1992). Grupa turmalina vrlo je raznolika; Schorl je karakterističan za granitoide, te neke škriljavce i gnajseve, elbait za granitske pegmatite i pneumatolitske žile, a dravit za neke škriljavce, metasomatske stijene (grajzene), te određene bazične magmatske stijene (MANGE i MAURER, 1992). Rutil je vrlo raširen akcesorni mineral metamorfnih stijena, a posebno je karakterističan za škriljavce, gnajseve i amfibolite, odnosno metamorfne stijene srednjeg do visokog stupnja metamorfizma (MANGE i MAURER, 1992). Istraživanja su pokazala da većina detritičnih rutila potječe upravo iz regionalno metamorfnih stijena visokog stupnja metamorfizma (MANGE i MAURER, 1992). Kao cirkona i turmalina, tako i rutila ima značajno više u starijim sedimentima. Od analiziranih uzoraka najviše rutila ima u uzorku NP1A iz Novigrada Podravskog gdje čini gotovo 14% THM zajednice (Tablica 5.4). Klinozoisit i epidot su minerali koje vežemo uz facjese niskog do srednjemetamorfizma. Pojavljuju se u albit-aktinolit-epidot-kloritnim škriljavcima

facijesa zelenog škriljavca i ponekad facijesima plavog škriljavca. Epidot, zoisit i klinozoisit konstitutentni su minerali saussurita koji nastaje alteracijom plagioklasa. Zoisit je za razliku od klinozoisita i epidota, rijetko prisutan u kopnenim detritalnim sedimentima. Epidot se često pojavljuje uz hornblende i epidot-albit-amfibolitne facijese te hornfelse (MANGE i MAURER, 1992). Amfiboli su značajna grupa minerala u svim analiziranim uzorcima (Tablica 5.4), a najčešće su to zelene i smeđe hornblende, a rijetko aktinolit ili plavi amfiboli.

Na sastav zajednice teških minerala u pješčenjacima i šljuncima, kakve imamo i na području porječja rijeke Drave i u podnožju Bilogore, utječe mnogo kontrolnih faktora. Neki od njih su procesi trošenja, fizičkog sortiranja, mehaničke abrazije, hidraulički procesi i procesi otapanja minerala. Informacije o zajednicama teških minerala znatno olakšavaju određivanje provenijencije, ali potrebno je uzeti u obzir sve mehanizme koji su mogli utjecati na njihove koncentracije u sedimentu. Na slici 6.2 prikazani su udjeli teških minerala u THM zajednici uzoraka recentnih pijesaka s prudova rijeke Drave (LORI 2) i iz površinskog kopa šljunka i pijeska „Klara“ u Novigradu Podravskom (NP3A). Analize ostalih uzoraka dale su slične rezultate, ali kod ovih je uzoraka najveća razlika u sadržaju THM zajednica.



Slika 6.2 Udjeli granata, amfibola, staurolita, kijanita, ZTR-a i grupe epidota/zoisita u teškim frakcijama uzoraka LORI 2 i NP3A.

U zajednici THM recentnih dravskih klastita uzorka LORI 2 dominiraju granati s >40%, zatim slijede amfiboli s oko 20%, od kojih najviše ima hornblendi, zatim minerali grupe epidota s 13-15%, rutila, turmalina i cirkona ima podjednako, i nikad ne više od 7%

(Tablica 5.4, Slika 6.2). Još su prisutni staurolit, apatit i kijanit, te nešto manje pirokseni (Tablica 5.4). Granati uistinu dominiraju, ima ih različitih oblika, od sferičnih do četvtastih, a nerjetko imaju jetkane plohe. Ovisno o vrsti granata ukazuju na izvorišnu stijenu, ali zajedničko im je da ih vežemo uz srednje do visoke metamorfne facijese, regionalni metamorfizam i razne efuzive (MANGE i MAURER, 1992). Amfiboli su sveprisutni minerali efuzivnih i metamorfnih stijena, ali ipak ih najviše povezujemo s amfibolitskim facijesima. ZTR indeks je relativno nizak (19-12%) što upućuje na nezrelost mineralnih zrna. U uzorku NP3A iz Novigrada Podravskog udio granata u THM zajednici je višestruko manji i iznosi <10%. Glavni minerali ovih starijih dravskih sedimentata su minerali grupe epidota s oko 34%, gdje se uz epidot često pojavljuje i zoisit. Idući najzastupljeniji mineral je rutil s preko 15% te cirkon i turmalin. Prisutni su još i kijanit te apatit. ZTR indeks iznosi visokih 33%, što je tri puta više od LORI 2. ZTR minerali su najrezistentniji (slika 6.1) i mogu pretrpjeti najveće promjene te su stuga češći u starijim sedimentima. Visok udio ZTR minerala osim na zrelost sedimenta ukazuje i na izvorišne stijene tih minerala, a to su graniti, gnajsevi, škriljavci i amfiboliti (MANGE i MAURER, 1992). Glavni mineral epidot vežemo uz facijese niskog do srednjemetamorfizma. Pojavljuju se u albit-aktinolit-epidot-kloritnim škriljavcima facijesa zelenog škriljavca i ponekad u facijesima plavog škriljavca. Površinska stijene istočnih Alpa čine kredni intruzi, kasno paleozojsko – mezozojski karbonaii neoproterozojsko – rano paleozojski metamorfiti podloge koje i uz njih vežemo visoku zastupljenost granat, epidota i amfibola unutar THM zajednice, a još su značajni apatit i kijanit dok se ZTR minerali pojavljuju u manjem postotnom udjelu (Slika 2.2, Slika 2.3). Takva zajednica teških minerala odgovara recentnim dravskim sedimentima te prvoj i drugoj dravskoj terasi, dok četvrta dravska terasa sadrži veće udjele epidota i ZTR minerala (Tablica 5.4) ZTR minerali mnogo su zastupljeniji u dunavskim sedimentima i kao takvi označuju zrelost minerala i pretaloživanje (ARATÓ i sur., 2021).

Petrografskom analizom utvrđeno je da su valutice s pruda Drave vrlo slične onima u Novigradu Podravskom. U oba slučaja su to stijene niskog do srednjeg stupnja metamorfizma; škriljavci (D5, NP3), graniti (NP4), slejt ili filiti (NP2, D9), kvarciti (D2), tufovi (D4), a ima i vulkanita. Vrste stijena koje su opisane i koje su donešene u aluvij rijeke Drave odgovaraju geologiji istočnih Alpa koje su građene od neoproterozojskih i fanerozojskih metamorfnih stijena amfibolitnog facijesa i facijesa zelenih škriljavca te rijeđe plavih škriljavaca i eklogita (Slika 3.2) (BALLA, 1984). Valtuice vulkanita mogu potjecati od plutona Pohorje gdje se na površini nalaze tonaliti i granodioriti



(TRAJANOVA i sur., 2008). Granulometrija krupozrnatih klastita s lokaliteta Novigrad Podravski slična je recentnim prudovima i ostalim krupnozrnatim naslagama dravskog aluvija.

Veći ZTRi i veliki udio epidota u odnosu na granate u uzorku NP3A u Novigradu Podravskom sličniji je sedimentima četvrte dravske terase pretpostavljene donjo do srednje pleistocenske starosti kod Đurđevca i čiji je glavni mineral teške frakcije također epidot, pa zatim slijede granati, a u manjoj mjeri ima rutila, cirkona, amfibola i turmalina (HEĆIMOVIĆ, 1987; PEH i sur., 1998). Prema ŠIMUNIĆ i sur. (1990) klastični riječno-jezerski sedimenti pliocena – kvartara koji se pojavljuju na površini na djelovima OGK lista Varaždin sjeverno od Ivanšćice, unutar frakcije prozirnih listićavih minerala u najvećoj mjeri sadrže epidot, ZTR minerale te staurolit. Novijim istraživanjem WACHA i sur. (2017) u Mučnoj Reki na sedimentima četvrte dravske terase koji se nalaze ispod površinskog holocenskog lesa, a koji su prema ŠIMUNIĆ i sur. (1990) isti onima na površini Novigrada Podravskog, utvrđena je starost od minimalno preko >450 ka, ali vjerojatno se radi o ranom pleistocenu ili kasnom pliocenu (BABIĆ i sur. 1978; WACHA i sur. 2017). Ustanovljeno je da je četvrta dravska terasa u Mučnoj Reki značajno izdignuta zbog tektonskih aktivnosti Bilogore i promjena u silama naprezanja duž Dravske rasjedne zone. Izdizanje Bilogore započelo je tijekom pliocena i doživjelo vrhunac tijekom kvartara (MATOŠ i sur., 2016, 2017; WACHA i sur., 2017). Za vrijeme srednjeg pleistocena (0.78-0.12 mil.god.) pa do holocena, Bilogora je značajno rasjedana i uzdignuta za 200 do 450 m (BABIĆ i sur., 1978; HEĆIMOVIĆ, 1987). Na površini Bilogore nalaze se gornjomiocenski pijesci te pliocenski i pleistocenski šljunci i pijesci prekriveni lesom ili praporom (ŠIMUNIĆ i sur., 1981, 1983, 1990; WACHA i sur., 2017) (Slika 2.1). Pred-neogenske podinske stijene, sastavljene od karbonata, magmatskih i metamorfnih kompleksa mezozojske i paleozojske starosti ponegdje pokrivene mlađom kredom, nisu izložene na površini (ŠIMUNIĆ i sur., 1990).

Uzevši u obzir da recentni materijal rijeke Drave, a i materijali sve četiri dravske terase vuku porijeklo iz Istočnih Alpa, postavlja se pitanje kako objasniti razlike u sastavu frakcija teških minerala u pijescima starijih i mlađih terasa, kao i pijesaka današnjeg toka rijeke Drave. Jedno od mogućih izvorišta dijela materijala svakako mogu biti okolne lokalne planine.

## 7 ZAKLJUČAK

Shodno dosadašnjim istraživanjima i znanjima o dravskim riječnim terasama i rezultatima dobivenih analizom sedimenta u površinskom kopu u Novigradu Podravskom možemo zaključiti:

- I. Klastiti Novigrada Podravskog na površini i do dubine od 23 m su granulometrijski heterogeni, a dominiraju šljunci i pijesci.
- II. Sastav analiziranih pijesaka i valutica ukazuje da su osnovno izvorište recentnih sedimenta rijeke Drave istočne Alpe koje su građene od neoproterozojskih i fanerozojskih metamornih stijena. Sastav valutica ukazuje i na prisutnost vulkanskih stijena u izvorišnom području.
- III. Zajednice THM recentnih dravskih pijesaka slične su holocenskim, ali najstarija, pleistocenska, četvrta dravska terasa mjestimično sadrži veće udjele epidota i ZTR minerala nauštrb granata. ZTRi ukazuje na značajniju zrelost četvrte dravske terase u odnosu na mlađe i recentne dravske sedimente.
- IV. Veća zrelost materijala četvrte dravske terase može se objasniti pretaloživanjem gornjomiocenskih pijesaka te pliocenskih i pleistocenskih šljunaka i pijesaka, a koje se moglo odvijati tijekom pleistocena s okolnih planina u područje današnje Bilogore.

## 8 LITERATURA

ARATÓ, R., OBBÁGY, G., DUNKL, I., JÓZSA, S., LÜNSDORF, K., SZEPESI, J., MOLNÁR, K., BENKÓ, Z., VON EYNATTEN, H. (2021): Multi-method comparison of modern river sediments in the Pannonian Basin System – A key step towards understanding the provenance of sedimentary basin-fill, *Global and Planetary Change*, 199, <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2021.103446>.

BABIĆ, LJ., HOCHULI, P. A., ZUPANIČ, J. (2002): The Jurassic ophiolitic mélange in the NE Dinarides: dating, internal structure and geotectonic implications. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 263–275. doi: <https://doi.org/10.5169/seals-168959>.

BABIĆ, Ž., ČAKARUN, I., SOKAČ, A., MRAZ, V. (1978): On geological features of quaternary sediments of Drava basin on Croatian territory. *Geološki Vjesnik*, 30, 43-61.

BALLA, Z. (1984): Palaeoalpine geodynamics of the carpathian-pannon i an region. *Tectonics*, 7, 139.

BOUSQUET, R., OBERHÄNSLI, R., GOFFÉ, B., WIEDERKEHR, M., KOLLER, F., SCHMID, S. M., SCHUSTER, R., ENGI, M., BERGER, A., MARTINOTTI, G. (2008): Metamorphism of metasediments at the scale of an orogen: a key to the Tertiary geodynamic evolution of the Alps. Geological Society, London, Special Publications, 298(1), 393-411.

BUNTE, K., ABT, S.R. (2001): Sampling surface and subsurface particle-size distributions in wadable gravel-and cobble-bed streams for analyses in sediment transport, hydraulics, and streambed monitoring. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-74. Fort Collins,CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 428 p.

CORVER, M.P., DOUST H., VAN WEES J.D., BADA G., CLOETINGH S. (2008): Classification of rifted sedimentary basins of the Pannonian Basin System according to the structural genesis, evolutionary history and hydrocarbon maturation zones. *Marine and Petroleum Geology*, 26, 1452–1464.

CSONTOS, L., NAGYMAROSY, A. (1998): The Mid-Hungarian line: a zone of repeated tectonic inversions, *Tectonophysics*, 297, 51–71, [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(98\)00163-2](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(98)00163-2).

DUIĆ, Ž., URUMOVIĆ, K. (2007): Utjecaj strukture Legradskog praga na hidrogeološke značajke u području Koprivnice. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 19, 1–10.

- FANINGER, E. (1970): Pohorski tonalit in njegovi diferenciaciji. *Geologija*, 13(1), 35–104.
- FODOR, L. I., GERDES, A., DUNKL, I., KOROKNAI, B., PÉCSKAY, Z., TRAJANOVA, M., FRISCH, W. (2008): Miocene emplacement and rapid cooling of the Pohorje pluton at the Alpine-Pannonian-Dinaridic junction, Slovenia. *Swiss Journal of Geosciences*, 101(1), 255–271.
- FOLK, R. L., WARD, W. C. (1957): Brazos River bar [Texas]; a study in the significance of grain size parameters. *Journal of sedimentary research*, 27(1), 3–26.
- FRISCH, W. (1979): Tectonic progradation and plate tectonic evolution of the Alps. *Tectonophysics*, 60(3–4), 121–139.
- FROITZHEIM, N., MANATSCHAL, G. (1996): Kinematics of Jurassic rifting, mantle exhumation, and passive-margin formation in the Austroalpine and Penninic nappes (eastern Switzerland). *Geological society of America bulletin*, 108.9, 1120–1133.
- GÁBRIS, G., NÁDOR, A. (2007): Long-term fluvial archives in Hungary: response of the Danube and Tisza rivers to tectonic movements and climatic changes during the Quaternary: a review and new synthesis. *Quaternary Science Reviews*, 26(22–24), 2758–2782.
- GÁBRIS, G., HORVÁTH, E., NOVOTHNY, Á., RUSZKICZAY-RÜDIGER, Z. (2012): Fluvial and aeolian landscape evolution in Hungary—results of the last 20 years research. *Netherlands Journal of Geosciences*, 91(1–2), 111–128.
- HEĆIMOVIĆ, I. (1987): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Đurđevac L33–71. – Geološki zavod, Zagreb (1986); Savezni geološki institut, Beograd.
- HEĆIMOVIĆ, I. (1987): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Đurđevac L33–71. – Geološki zavod, Zagreb (1986); Savezni geološki institut, Beograd, 39 str.
- HORVÁTH, F. (1993): Towards a mechanical model for the formation of the Pannonian basin. – *Tectonophysics*, 226, 333–357.
- HORVÁTH, F., MUSITZ, B., BALÁZS, A., VÉGH, A., UHRIN, A., NÁDOR, A., KOROKNAI, B., PAP, N., TÓTH, T., WÓRUM, G. (2015): Evolution of the Pannonian basin and its geothermal resources. – *Geothermics*, 53, 328–352, <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2014.07.009>.

HUBERT, J.F. (1962): A zircon–tourmaline–rutile maturity index and the interdependence of the composition of heavy mineral assemblages with the gross composition and texture of sandstones.– *J. Sediment. Petrol.*, 32, 440–450.

IBBEKEN, H., SCHLEYER, R. (1986): Photo-sieving: A method for grain-size analysis of coarse-grained, unconsolidated bedding surfaces. *Earth Surf. Process. – Landforms*, 11, 59–77. <https://doi.org/10.1002/esp.3290110108>.

KONTA, J. (1973): *A Quantitative System of Residual Rocks, Sediments and Volcanoclastic Deposits*. Charles University.

KUHLEMANN, J., KEMPF, O. (2002): Post-Eocene evolution of the North Alpine Foreland Basin and its response to Alpine tectonics. – *Sedimentary Geology*, 152,45–78, [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(01\)00285-8](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(01)00285-8).

KUREČIĆ, T., KOVAČIĆ, M., GRIZELJ, A. (2021): Mineral assemblage and provenance of the pliocene *Viviparus* beds from the area of Vukomeričke Gorice, Central Croatia. *Geologia Croatica* 74/3, 253–271.

MACKENZIE, W.S., ADAMS, A.E. (1994): *A Colour Atlas of Rocks and Minerals in Thin Section*. 5. izdanje (2000), Mansion Publishing Ltd, England.

MAGYAR, I., GEARY, D.H. (2012): Biostratigraphy in a late Neogene Caspian-Type Lacustrine Basin: Lake Pannon, Hungary.– In BAGANZ, O. W., BARTOV, Y., BOHACS, K., NUMMEDAL D. (eds.): *Lacustrine sandstone reservoirs and hydrocarbon systems: AAPG Memoir 95*, p. 255–264. doi: 10.1306/13291392M953142.

MANDIĆ, O., DE LEEUW, A., BULIĆ, J., KUIPER, K.F., KRIJGSMAN, W., JURIŠIĆ-POLŠAK, Z. (2012): Paleogeographic evolution of the southern Pannonian Basin: 40Ar/39Ar age constraints on the Miocene continental series of northern Croatia. *Int. J. Earth Sci.* 101, 1033–1046. <http://dx.doi.org/10.1007/s00531-011-0695-6>.

MANGE, M.A., MAURER, H.F.W. (1992): *Heavy Minerals in Colour*.– Chapman & Hall, London, 151 p.

MATOŠ, B. (2014): Neotectonic and recently active faults in Bilogora mountain area and assessment of their seismogenic potential, Doktorska dizertacija, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:547627>.

MATOŠ, B., PÉREZ-PEÑA, J.V., TOMLJENVIĆ, 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*, 263, 132–155, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.03.020>.

MATOŠ, B., ZAJC, M., KORDIĆ, B., TOMLJENović, B., GOSAR, A. (2017): Quaternary fault activity in the SW Pannonian Basin : GPR surveying in the Bilogora Mt. (NE Croatia), *Geological Quarterly*, 61, 19–38, DOI: <http://dx.doi.org/10.7306/gg.1308>.

MILLER, C., THÖNI, M., KONZETT, J., KURZ, W., SCHUSTER, R. (2005): Eclogites from the Koralpe and Saualpe type-localities, eastern Alps, Austria. *Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft*, 150, 227–263.

MORTON, A. C. (1979): Depth control of intrastratal solution of heavy minerals from the Palaeocene of the North Sea. *Journal of Sedimentary Research*, 49(1), 281–286.

MORTON, A.C., HALLSWORTH, C.R. (1999): Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones.– *Sediment. Geol.*, 124, 3–29.

MUTIĆ, R. (1975): Pijesak rijeke Drave u naslagama bušotine B-12 nedaleko Podravske Slatine. *Geološki vijesnik*, 28, 243–268.

PAMIC, J. (1990): Apske (?) granitno-metamorfne stijene u podlozi Panonskog bazena u Bilogorsko-Podravskom naftno-plinskom području. *Nafta*, 41(10), 433–437.

PAVELIĆ, D., KOVAČIĆ, M. (2018): Sedimentology and stratigraphy of the Neogene rift type North Croatian Basin (Pannonian Basin System, Croatia): A review. *Marine and Petroleum Geology*, 91, 455–469.

PEH, Z., NOVOSEL-ŠKORIĆ, S., KRUK, LJ. (1998): Discriminant Analysis as a Tool for the Distinction of Quaternary Sediments in the Region of Đurđevac. *Geol. Croat.*, 51, 47–58.

PILLER, W.E., HARZHAUSER, M., MANDIĆ, O. (2007): Miocene Central Paratethys stratigraphy – current status and future directions, *Stratigraphy*, 4, 151–168.

SLOVENEK, D., BERMANEC, V. (2003): Sistematska mineralogija – mineralogija silikata.– Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu (*Manualia Universitatis studiorum Zagrabienensis*), 359 str.

SOMMERWERK, N., BAUMGARTNER, C., BLOESCH, J., HEIN, T., OSTOJIĆ, T., PAUNOVIĆ, M., SCHNEIDER-JACOBY, M., SIBER, R., TOCKNER, K. (2009): The Danube River basin. U: Tockner, R., Uehlinger, U., Robinson, C.T., *Rivers of Europe*. Academic Press 59–122.

- ŠIMUNIĆ, A., PIKIJA, M., HEĆIMOVIĆ, I. (1983): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Varaždin L33–69. –Geološki zavod, Zagreb, (1971-1978); Savezni geološki institut, Beograd (1982).
- ŠIMUNIĆ, AN., PIKIJA, M., HEĆIMOVIĆ, I., ŠIMUNIĆ, AL. (1981): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Varaždin L33–69. Geološki zavod, Zagreb (1982); Savezni geološki institut, Beograd, 75 str.
- ŠIMUNIĆ, AN., HEĆIMOVIĆ, I., AVANIĆ, R. (1990): Osnovna geološka karta RH 1:100.000 list Koprivnica L 33–70. Hrvatski geološki institut, Zagreb, 2013.
- ŠIMUNIĆ, AN., HEĆIMOVIĆ, I., AVANIĆ, R., I ŠIMUNIĆ, AL. (1990): Osnovna geološka karta RH 1:100.000. Tumač za list Koprivnica L 33–70. Hrvatski geološki institut, Zagreb, 2013.
- THAMÓ-BOZSÓ, E., KOVÁCS, L. Ó. (2007): Evolution of Quaternary to modern fluvial network in the Mid-Hungarian plain, indicated by heavy mineral distributions and statistical analysis of heavy mineral data. *Developments in Sedimentology*, 58, 491–514.
- TIŠLJAR, J. (2004): Sedimentologija klastičnih i silicijskih taložina.– Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 426 p.
- TOMLJENIĆ, D., CSONTOS, L. (2001): Neogene-Quaternary structures in the border zones between Alps, Dinarides and Pannonian basin (Hrvatsko zagorje and Karlovac Basins, Croatia). *Int. J. Earth Sci.*, 90, 560–578.
- TRAJANOVA, M., PECSKAY, Z., ITAYA, T. (2008): K-Ar geochronology and petrography of the Miocene Pohorje Mountains batholith (Slovenia). *Geologica Carpathica-Bratislava*, 59(3), 247.
- VELIĆ, J. (2007): Geologija ležišta nafte i plina. Udžbenik, University of Zagreb. 342.
- WACHA, L., GALOVIĆ, L., KOLOSZÁR, L., MAGYARI, Á., CHIKÁN, G., MARSI, I. (2013): The chronology of the Šarengrad II loess-palaeosol section (Eastern Croatia). *Geologia Croatica*, 66(3), 191–203.
- WACHA, L., MATOŠ, B., KUNZ, A., LUŽAR-OBERITER, B., TOMLJENOVIC, 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. *Quaternary International*, 1–18.

ZDELAR, D. (2018): Diplomski rad: Sastav i porijeklo kvartarnih sedimenata Bilogore. PMF, Sveučilište u Zagrebu.

[1]

<https://www.google.com/maps/> (31.1.2022.)

[2]

[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiAvbb4m9L1AhXD\\_KQKHW\\_AB9kQFnoECA4QAQ&url=https%3A%2F%2Fkckzz.hr%2Fwp-content%2Fuploads%2F2013%2F03%2FKlara\\_sazetak\\_rasprava.pdf&usg=AOvVaw3NXWvOaaUsOzpcpYvz2zD8](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiAvbb4m9L1AhXD_KQKHW_AB9kQFnoECA4QAQ&url=https%3A%2F%2Fkckzz.hr%2Fwp-content%2Fuploads%2F2013%2F03%2FKlara_sazetak_rasprava.pdf&usg=AOvVaw3NXWvOaaUsOzpcpYvz2zD8) (20.1.2022.)



## 9 TABLE

### TABLA 1

1 Makrouzorak valutice NP1.

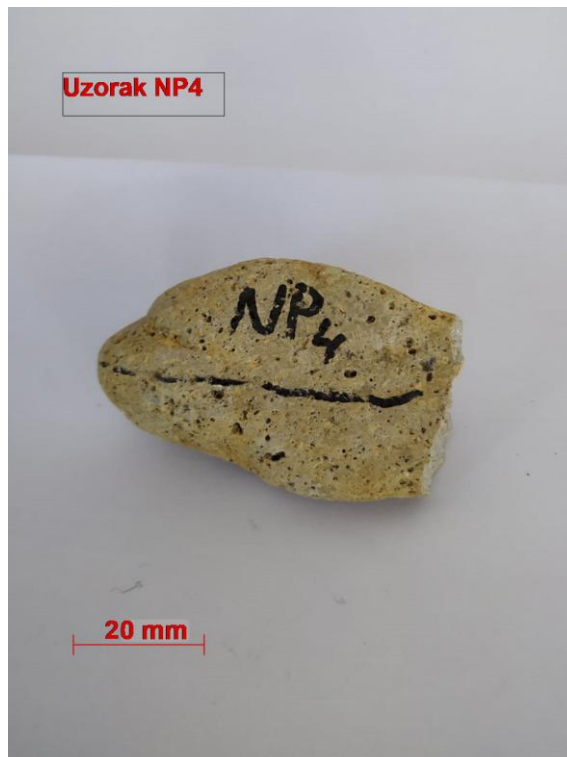
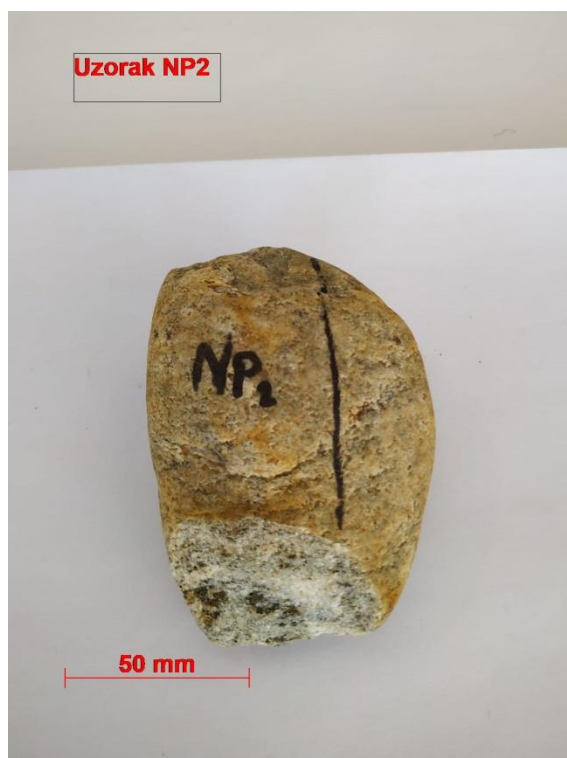
2 Makrouzorak valutice NP2.

3 Makrouzorak valutice NP3.

4 Makrouzorak valutice NP4.

5 Makrouzorak valutice NP5.

**TABLA 1**





## **TABLA 2**

1 Makrouzorak valutice D1.

2 Makrouzorak valutice D2.

3 Makrouzorak valutice D3.

4 Makrouzorak valutice D4.

5 Makrouzorak valutice D5.

6 Makrouzorak valutice D6.

7 Makrouzorak valutice D8.

**TABLA 2**





## 10 PRILOZI

### PRILOG 1

1 Najdublji dio snimljenog profila kopa u Novigradu Podravskom. Sediment je rastresit ikrupnozrnat, valutice su veličina šljunka uronjenog u pješčani matriks (uz dopuštenje Karle Vlatković).

