

Mineraloško-sedimentološke značajke pijesaka rijeke Save iz šire okolice Zagreba

Blatančić, Matteo

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:073626>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-17**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij geologije

**MINERALOŠKO-SEDIMENTOLOŠKE ZNAČAJKE PIJESAKA RIJEKE SAVE
IZ ŠIRE OKOLICE ZAGREBA**

Diplomski rad

Matteo Blatančić
(G449)

Zagreb, 2022.



KLASA: 602-01/22-01/190
URBROJ: 251-70-15-22-2
U Zagrebu, 10. 10. 2022.

Matteo Blatančić, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/22-01/190, URBROJ: 251-70-15-22-1 od 7. 10. 2022. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

MINERALOŠKO-SEDIMENTOLOŠKE ZNAČAJKE PIJESAKA RIJEKE SAVE IZ ŠIRE OKOLICE ZAGREBA

Za mentora ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Izv. prof. dr. sc. Uroš Barudžija nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

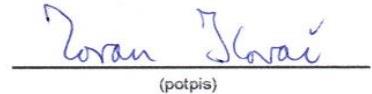
Mentor:


(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Uroš Barudžija

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite:


(potpis)

Doc. dr. sc. Zoran Kovač

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:


(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Borivoje
Pašić

(titula, ime i prezime)

**MINERALOŠKO-SEDIMENTOLOŠKE ZNAČAJKE PIJESKA RIJEKE SAVE
IZ ŠIRE OKOLICE ZAGREBA**

MATTEO BLATANČIĆ

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Cilj ovog diplomskog rada je granulometrijska i mineraloško-petrografska analiza, te morfometrijski opis uzoraka pijesaka rijeke Save. Ukupno je uzorkovano i analizirano šest uzoraka sa sljedećih lokacija idući od zapada prema istoku: Zaprešićki most, Podsusedski most, Jankomirski most, Domovinski most, Ikea (Drenje Ščitarjevsko) i Sisak. U Laboratoriju za analizu geoloških materijala na Rudarsko-geološko-naftnome fakultetu su rađene sljedeće analize: granulometrijska analiza suhim sijanjem laboratorijskim sitima, granulometrijska analiza laserskim granulometrom, separacija magnetske i nemagnetske mineralne frakcije Frantzovim izodinamskim magnetskim separatorom i separacija lake i teške mineralne frakcije tekućinama velike gustoće. Frakcije izdvojene separacijama su promatrane binokularnom stereoskopskom lupom kako bi se odredio mineraloško-petrografski sastav uzoraka i morfometrijske značajke zrna. Četiri uzorka su dominantno karbonatni pijesci, jedan uzorak je karbonatno-silikatni pijesak i posljednji uzorak je silikatnog sastava. Na temelju morfometrijskih karakteristika vidljivo je da su čestice dospjele iz različitih izvorišnih područja i da je vrijeme transporta bilo različito.

Ključne riječi: Rijeka Sava, granulometrijska analiza, mineraloško-petrografska analiza, morfometrijske karakteristike, uzorci pijesaka

Završni rad sadrži: 62 stranice, 22 tablice, 52 slike i 13 reference.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentori: Dr. sc. Uroš Barudžija, izvanredni profesor RGNF

Ocjenjivači: Dr. sc. Uroš Barudžija, izvanredni profesor RGNF
Dr. sc. Dunja Aljinović, redovni profesor RGNF
Dr. sc. Duje Smirčić, docent RGNF

**MINERALOGICAL AND SEDIMENTOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE SAND
OF THE SAVA RIVER FROM THE WIDER SURROUNDINGS OF ZAGREB**

MATTEO BLATANČIĆ

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Institute of Mineralogy, Petrology and Mineral deposits
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

The aim of this master's thesis is the granulometric and mineralogical-petrographic analysis, and morphometric description of Sava River sediment samples. Six samples were collected and analyzed from the following locations, going from west to east: Zaprešićki bridge, Podsusedski bridge, Jankomirski bridge, Domovinski bridge, Ikea (Drenje Ščitarjevsko) and Sisak. In the Laboratory for the Analysis of Geological Materials at the Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering were performed following analyzes: granulometric analysis by dry sieving with laboratory sieves, granulometric analysis by a laser granulometer, separation of magnetic and non-magnetic mineral fractions by Frantz's isodynamic magnetic separator and separation of light and heavy mineral fractions by high-density liquids. Fractions separated by separation were observed with a binocular stereoscopic magnifying glass to determine the basic mineralogical and petrographic composition of the samples and morphometric features of grains. Four samples are dominantly carbonate sands, one sample is carbonate-silicate sand, and the last sample is of silicate composition. Based on the morphometric features, it is evident that the particles arrived from different source areas and that time of deposition was different.

Keywords: Sava River, granulometric analysis, mineralogical-petrographic analysis, morphometric features, sand samples

Thesis contains: 62 pages, 22 tables, 52 figures, and 13 references.

Original in: Croatian

Archived in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisors: Associate Professor Uroš Barudžija, PhD

Reviewers: Associate Professor Uroš Barudžija, PhD
Full Professor Dunja Aljinović, PhD
Assistant Professor Duje Smirčić, PhD

Defence date: October 14, 2022, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. PREGLED REZULTATA DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA	2
3. METODE RADA	6
3.1. <i>Terenski rad</i>	6
3.1.1. Lokacija 1: Podsusedski most.....	7
3.1.2. Lokacija 2: Jankomirski most.....	7
3.1.3. Lokacija 3: Zaprešićki most	8
3.1.4. Lokacija 4: Domovinski most.....	8
3.1.5. Lokacija 5: Ikea	9
3.1.6. Lokacija 6: Sisak	9
3.2. <i>Laboratorijski rad</i>	10
3.2.1. Određivanje veličine zrna sisanjem	10
3.2.2. Određivanje veličine zrna laserskom granulometrijom.....	11
3.2.3. Magnetska separacija.....	13
3.2.4. Separacija u tekućinama velike gustoće	14
3.3. <i>Kabinetski rad</i>	15
4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA.....	16
4.1. <i>Uzorak 9453 – Zaprešićki most</i>	19
4.2. <i>Uzorak 9451 – Podsusedski most</i>	24
4.3. <i>Uzorak 9452 – Jankomirski most</i>	30
4.4. <i>Uzorak 9454 – Domovinski most</i>	36
4.5. <i>Uzorak 9455 – Ikea</i>	42
4.6. <i>Uzorak 9493 – Sisak</i>	48
5. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK	54
6. LITERATURA	62

POPIS SLIKA

Slika 2–1. <i>Tri spojena lista OGK mjerila 1:100 000 (list Zagreb gore lijevo, list Ivanić-Grad gore desno, list Sisak dolje desno). Modificirano prema Basch, 1983a, Pikija, 1987a i Šikić i dr., 1987.</i>	5
Slika 3–1. <i>Položajna karta svih lokacija uzorkovanja pijesaka.</i>	6
Slika 3–2. <i>Lokacija 1: Podsusedski most (foto. U. Barudžija).</i>	7
Slika 3–3. <i>Lokacija 3: Zaprešićki most (foto. U. Barudžija).</i>	8
Slika 3–4. <i>Lokacija 4: Domovinski most.</i>	8
Slika 3–5. <i>Lokacija 5: Ikea.</i>	9
Slika 3–6. <i>Lokacija 6: Sisak.</i>	9
Slika 3–7. <i>Set laboratorijskih sita s otvorom rupica od 4 mm (na vrhu) do 0,032 mm.</i>	11
Slika 3–8. <i>Mjerni uređaj Mastersizer 3000.</i>	12
Slika 3–9. <i>Natapanje uzoraka u destiliranoj vodi 24 sata prije mjerenja s Mastersizerom 3000.</i>	12
Slika 3–10. <i>Frantzov izodinamski magnetski separator.</i>	14
Slika 3–11. <i>Aparatura za separaciju uzorka natrijevim volframatom.</i>	15
Slika 3–12. <i>Binokularna stereoskopska lupa.</i>	15
Slika 4–1. <i>Uzorak 9453. Desno u laboratorijskoj čaši se nalazi količina uzorka koja se prosijavala kroz sita, lijevo u zdjelici je ostatak uzorka nakon četvrtanja.</i>	19
Slika 4–2. <i>Kumulativna granulometrijska krivulja za uzorak 9453.</i>	20
Slika 4–3. <i>Krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna za uzorak 9453.</i>	21
Slika 4–4. <i>Histogram distribucije granulometrijskih frakcija za uzorak 9453.</i>	21
Slika 4–5. <i>Krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna za uzorak 9453 dobivena laserskom granulometrijom.</i>	22
Slika 4–6. <i>Mikrofotografije uzorka 9453. Dužina mjerila u donjem desnom kutu iznosi 0,2 mm. (a) Laka frakcija; (b) teška frakcija; (c) magnetska frakcija 0,8 A; (d) magnetska frakcija 0,4 A. Kratice: Q – kvarc, Pj – pješčenjak, Sl – silit, Cal – kalcit, Dol – dolomit, Bt – biotit, Ef – efuziv, Chl – klorit, Ep – epidot, Amph – amfibol, Il – ilmenit.</i>	23
Slika 4–7. <i>Uzorak 9451. Lijevo od pincete se nalazi količina uzorka koja se sijala kroz set laboratorijskih sita, a desno se nalazi ostatak uzorka izdvojen četvrtanjem.</i>	24
Slika 4–8. <i>Kumulativna granulometrijska krivulja za uzorak 9451.</i>	25
Slika 4–9. <i>Krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna uzorka 9451.</i>	26
Slika 4–10. <i>Histogram distribucije granulometrijskih frakcija za uzorak 9451.</i>	27

Slika 4–11. Krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna za uzorak 9451 dobiven laserskom granulometrijom.	27
Slika 4–12. Mikrofotografije uzorka 9451. Dužina mjerila na mikrofotografijama iznosi 0,2 mm. (a) Laka frakcija; (b) teška frakcija; (c) magnetska frakcija 0,4 A; (d) magnetska frakcija 0,8 A. Kratice: Pj – pješčenjak, Ms- muskovit, Q – kvarc, Sd – siderit, Cal – kalcit, Dol – dolomit, Chl – klorit, Mgt – magnetit, Tur – turmalin.	29
Slika 4–13. Uzorak 9452. Lijevo od pincete u zdjelici se nalazi količina uzorka koja se prosijavala kroz set laboratorijskih sita, a desno se nalazi ostatak uzorka izdvojen četvrtanjem.	30
Slika 4–14. Kumulativna granulometrijska krivulja za uzorak 9452.	31
Slika 4–15. Krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna za uzorak 9452.	32
Slika 4–16. Histogram distribucije granulometrijskih frakcija za uzorak 9452.	33
Slika 4–17. Krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna za uzorak 9452 dobiven laserskim granulometrom.	33
Slika 4–18. Mikrofotografije uzorka 9452. Duljina mjerila na mikrofotografijama iznosi 0,2 mm. (a) Teška frakcija; (b) i (c) magnetska frakcija 0,8 A; (d) magnetska frakcija 1,2 A; (e) laka frakcija. Kratice: Chl – klorit, Ef – efuziv, Pj – pješčenjak, Dol – dolomit, Ep – epidot, Met – metamorfit, Q – kvarc, Tur – turmalin, AF – K-feldspat, Pl – plagioklas.	35
Slika 4–19. Uzorak 9454. Lijevo u laboratorijskoj čaši se nalazi količina uzorka koja se prosijavala kroz set sita, desno se nalazi hrpa koja je odvojena četvrtanjem.	36
Slika 4–20. Kumulativna granulometrijska krivulja za uzorak 9454.	37
Slika 4–21. Krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna za uzorak 9454.	38
Slika 4–22. Histogram distribucije granulometrijskih frakcija za uzorak 9454.	39
Slika 4–23. Krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna za uzorak 9454 dobivena laserskim granulometrom.	39
Slika 4–24. Mikrofotografije mineraloško-petrografski sastav uzorka 9454. Dužina mjerila za mikrofotografije je 0,2 mm. (a) Magnetska frakcija 0,8 A; (b) laka frakcija; (c) i (d) magnetska frakcija 1,2 A. Kratice: Rž – rožnjak, Pl – plagioklas, Ef – efuziv, Spn – spinel, Px – piroksen.	41
Slika 4–25. Uzorak 9455. Lijevo u laboratorijskoj čaši se nalazi količina uzorka koja je prosijavana kroz set sita, desno u zdjelici se nalazi količina uzorka izdvojena četvrtanjem koja se nije prosijavala.	42
Slika 4–26. Kumulativna granulometrijska krivulja uzorka 9455.	43
Slika 4–27. Krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna za uzorak 9455.	44

Slika 4–28. Histogram distribucije granulometrijskih frakcija za uzorak 9455.	45
Slika 4–29. Krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna za uzorak 9455 dobiven laserskom granulometrijom.	45
Slika 4–30. Mikrofotografije uzoraka 9455. Mjerilo na mikrofotografijama iznosi 0,2 mm. (a) Magnetska frakcija 0,4 A; (b) i (d) teška frakcija; (c) Magnetska frakcija 1,2 A. Kratice: Ef – efuziv, Zr – cirkon, Tur – turmalin, Rž – rožnjak, Pr – pirit.	47
Slika 4–31. Uzorak 9493. U laboratorijskoj čaši se nalazi količina uzorka izdvojena četvrtanjem za sijanje kroz set sita.	48
Slika 4–32. Kumulativna granulometrijska krivulja za uzorak 9493.	49
Slika 4–33. Krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna za uzorak 9493.	50
Slika 4–34. Histogram distribucije granulometrijskih frakcija za uzorak 9493.	51
Slika 4–35. Krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna za uzorak 9493 dobivena laserskom granulometrijom.	51
Slika 4–36. Mikrofotografije uzorka 9493. Mjerilo na mikrofotografijama iznosi 0,2 mm. (a) Teška frakcija; (b) laka frakcija; (c) magnetska frakcija 1,2 A. Kratice: Amph – amfibol, Dol – dolomit, Grt – granat, Mt – metamorfit, Q – kvarc, AF – K-feldspat, Pl- plagioklas, Tur – turmalin.	53
Slika 5–1 Kumulativne granulometrijske krivulje za sve analizirane uzorke.	54
Slika 5–2 Histogrami distribucije granulometrijskih frakcija za sve analizirane uzorke. ...	55
Slika 5–3 Histogrami mineraloško-petrografskog sastava za sve analizirane uzorke.	58

POPIS TABLICA

Tablica 3-1. <i>Popis oznaka uzoraka s pripadajućim geografskim koordinatama uzorkovanja.</i>	7
Tablica 4-1. <i>Pregled koeficijenata sortiranosti s vrijednostima pojedinih kategorija (npr. Aljinović. 2019.).</i>	17
Tablica 4-2. <i>Rezultati granulometrijske analize sijanjem uzorka 9453 laboratorijskim sitima.</i>	19
Tablica 4-3. <i>Parametri očitani i izračunati iz kumulativne granulometrijske krivulje (Slika 4-2) za uzorak 9453.</i>	20
Tablica 4-4. <i>Rezultati mineraloško-petrografske analize uzorka 9453 (tumač: dominantno (+ + +), podređeno (+ +) i u tragovima (+)).</i>	22
Tablica 4-5. <i>Rezultati granulometrijske analize sijanjem uzorka 9451 laboratorijskim sitima.</i>	25
Tablica 4-6. <i>Parametri očitani i izračunati iz kumulativne granulometrijske krivulje (Slika 4-8) za uzorak 9451.</i>	26
Tablica 4-7. <i>Mineraloško-petrografski sastav uzorka 9451. Tumač: dominantno (+ + +), podređeno (+ +) i u tragovima (+).</i>	28
Tablica 4-8. <i>Rezultati granulometrijske analize sijanjem uzorka 9452 laboratorijskim sitima.</i>	31
Tablica 4-9. <i>Parametri očitani i izračunati iz kumulativne granulometrijske krivulje (Slika 4-14) za uzorak 9452.</i>	32
Tablica 4-10. <i>Mineraloško-petrografski sastav uzorka 9452 određen stereoskopskom lupom. Tumač: dominantni (+ + +), podređeni (+ +) i u tragovima (+).</i>	34
Tablica 4-11. <i>Rezultati granulometrijske analize sijanjem uzorka 9454 laboratorijskim sitima.</i>	37
Tablica 4-12. <i>Parametri očitani i izračunati iz kumulativne granulometrijske krivulje (Slika 4-20) za uzorak 9454.</i>	38
Tablica 4-13. <i>Mineraloško-petrografski sastav uzorka 9454. Tumač: dominantno (+ + +), podređeno (+ +) i u tragovima (+).</i>	40
Tablica 4-14. <i>Rezultati granulometrijske analize sijanjem uzorka 9455 laboratorijskim sitima.</i>	43
Tablica 4-15. <i>Parametri očitani i izračunati iz kumulativne granulometrijske krivulje (Slika 4-26) za uzorak 9455.</i>	44

Tablica 4-16. <i>Mineraloško-petrografski sastav uzorka 9455. Tumač: dominantni (+ + +), podređeni (+ +) i u tragovima (+).</i>	46
Tablica 4-17. <i>Rezultati granulometrijske analize sijanjem uzorka 9493 laboratorijskim sitima.</i>	49
Tablica 4-18. <i>Parametri očitani i izračunati iz kumulativne granulometrijske krivulje (Slika 4-32) za uzorak 9493.</i>	50
Tablica 4-19. <i>Mineraloško-petrografski sastav uzorka 9493. Tumač: dominantno (+ + +), podređeno (+ +) i u tragovima (+).</i>	52
Tablica 5-1. <i>Sumarni prikaz mineraloško-petrografskog sastava za sve uzorke. Tumač: dominantno (+++), podređeno (++) i u tragovima (+).</i>	60
Tablica 5-2. <i>Granulometrijski sastav i mineraloško-petrografska klasifikacija analiziranih uzoraka.</i>	61

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA

Oznaka	Jedinica	Opis
A	Amper	Mjerna jedinica za jakost električne struje
m	Metar	Mjerna jedinica za duljinu
m ²	Četvorni metar	Mjerna jedinica za površinu
kg	Kilogram	Mjerna jedinica za masu
l	Litra	Mjerna jedinica za volumen

1. UVOD

Sava je europska rijeka, desni pritok Dunava. Duga je 946 km, s porječjem od 95835 km² koje je izduljenog oblika, uglavnom u smjeru zapad–istok i s blagim nagibom prema jugoistoku. Sava nastaje sutokom dvaju izvorišnih tokova u Julijskim Alpama (Slovenija) – Save Dolinke i Save Bohinjke. Zbog hidrografskih osobina Sava se dijeli na gornju Savu (od izvora do Sutle), srednju Savu (od ušća Sutle do ušća Bosne) i donju Savu (od ušća Bosne do utoka Save u Dunav).

Kao bi se dobio uvid u sastav sedimenata te moguće odredio mehanizam transporta i izvorišno područje analizirani su pijesci rijeke Save na sljedećim lokacijama u široj okolini Zagreba, idući nizvodno od zapada prema istoku: Zaprešićki most, Podsusedski most, Jankomirski most, Domovinski most, Ikea (Drenje Ščitarjevsko) i Topolovac (u blizini Siska). Analizom je obuhvaćen potez od 66,18 km zračne udaljenosti. Međutim, uzorkovanje duž tog poteza nije ravnomjerno raspoređeno, već je najveći dio uzoraka uzet iz okolice Zagreba.

Cilj ovoga diplomskog rada je određivanje granulometrijskih, mineraloško-petrografskih i morfometrijskih sličnosti i razlika pijesaka uzorkovanih uz obalu Save na području grada Zagreba, Zagrebačke županije i Sisačko-Moslavačke županije, te definiranje načina transporta i izvorišnoga područja.

Diplomski rad je izrađen u Zavodu za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta u Zagrebu, u okviru diplomskog studija geologije.

2. PREGLED REZULTATA DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Do sada je objavljeno nekoliko radova koji su se bavili ovom problematikom, odnosno definiranjem mineraloško-sedimentoloških karakteristika sedimenata rijeke Save (**Crnković i Bušić (1970), Matovinović (2015) i Barudžija i dr. (2020)**).

Još 1970. godine su **Crnković i Bušić** opisivali mineraloško-petrografske karakteristike sedimenata rijeke Save čime su obuhvatili dimenzije zrna i valutica od 0,12 mm do 31,5 mm. Analizirani su uzorci sedimenata rijeke Save na lokalitetima Krško Polje (SR Slovenija), Zaprešić, Rakitje, Novo Čiče, Jarun, Dugo Selo i Slavonski Šamac (SR Hrvatska). Zaključili su da mineraloško-petrografski sastav sedimenata postupno varira od tipičnog karbonatnog (dolomitno-vapnenačkog) blizu Krškog Polja do tipično kvarceno-silikatnog blizu Slavanskog Šamca.

Matovinović (2015) u svome diplomskom radu, te **Barudžija i dr. (2020)** opisuju morfometrijske i petrološke karakteristike valutica šljunaka rijeke Save u Zagrebačkoj županiji. Analizirano je osam uzoraka sa šest lokacija: šljunčara IGM Trstenik u okolici Ivanje Reke, dva uzorka iz okolice Novog Petruševca, šljunčara Hidrel Novo Čiče, jezero Orešje i tri uzorka s lokaliteta Medsave. Najzastupljeniji litotipovi u sastavu detritusa su vapnenci, stoga su svi analizirani uzorci po sastavu definirani kao dominantno karbonatni šljunci. Dalje, po zastupljenosti se nalaze breče, dolomiti, efuzivi, konglomerati, kvarc, pješčenjaci, rožnjaci, tufovi, lapori i šejlovi.

Podaci o geološkim karakteristikama aluvijalnih sedimenata rijeke Save mogu se pronaći u osnovnim geološkim kartama SFRJ mjerila 1:100 000 (list Zagreb, list Ivanić-Grad i list Sisak) (**Slika 2–1**), te pripadajućim tumačima.

Na osnovnoj geološkoj karti SFRJ 1:100 000 – list Zagreb (**Šikić i dr., 1978**) i pripadajućem tumaču (**Šikić i dr., 1979**) aluvij rijeke Save je podijeljen na četiri dijela: aluvijalni sedimenti treće savske terase (a_3), aluvijalni sedimenti druge savske terase (a_2), aluvijalni sedimenti prve savske terase (a_1) i aluvijalni sedimenti recentnih tokova Save (a). Prema istim autorima aluvijalni sedimenti treće savske terase (a_3) sačuvan je u južnom dijelu Krškog polja, visina terase varira od 0,5 do 4 m. Terasa je izgrađena od slabo vezanog krupnozrnatog konglomerata. Konglomerat je dobro uslojen, debljina slojeva iznosi 30–40 cm. Druga savska terasa je razvijena uz manje prekide duž čitavog toka rijeke Save na listu Zagreb. Terasa je najviša u području Krškog polja, gdje iznosi 3–5 m, nakon tog području visina pada od zapada prema istoku. Druga savska terasa se sastoji od izmijene krupnozrnatih šljunaka i pijesaka. Količina pijeska u odnosu na šljunak se povećava u smjeru toka Save,

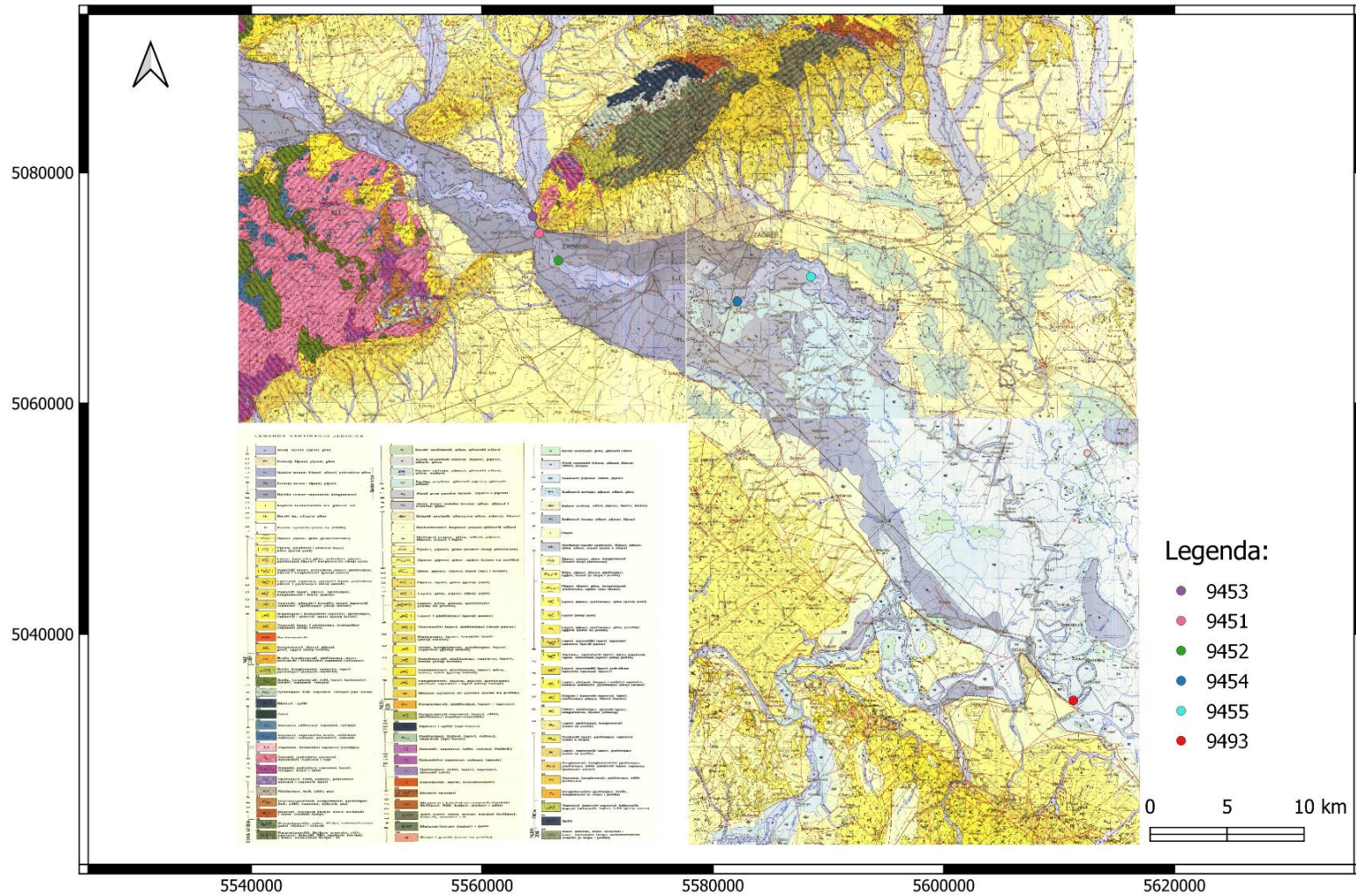
odnosno od sjeverozapada prema jugoistoku. Petrografski sastav valutica je različit, najzastupljenije su dobro zaobljene i izdužene valutice karbonata, zatim valutice rožnjaka, kvarcita, pješčenjaka i efuziva. Pijesak je krupnozrnat i vrlo dobro sortiran. Među teškim mineralima u sastavu pješčenjaka prevladavaju granat, epidot i aktinolit, dok se sporedno pojavljuju staurolit, disten, rutil i titanit. U lakoj frakciji uvijek dominira kvarc, dok feldspata, muskovita i čestica stijena ima podređeno ili u tragovima. Debljina druge savske terase dosta varira, jer su sedimenti taloženi nakon intenzivne erozije. Isto tako na debljinu ovih naslaga znatno su utjecali neotektonski pokreti koji su bili vrlo intenzivni u Savskoj dolini. Prva savska terasa je razvijena duž čitavog toka rijeke Save. Nakon taloženja šljunka i pijeska koji čini drugu savsku terasu nastupila je faza erozije i denudacije. U ovoj terasi prevladava krupnozrnati šljunak, koji je pomiješan s pijeskom, dok su slojevi čistog pijeska tanji i rjeđe se pojavljuju. Pod pojmom aluvijalni sedimenti recentnih tokova Save podrazumijevaju se sedimenti na području neposredno uz Savu, koje ona plavi za vrijeme višeg vodostaja i poplava. U recentnim sedimentima prevladava krupnozrnati pijesak, dok je šljunak slabije zastupljen.

Aluvij rijeke Save na osnovnoj geološkoj karti 1:100 000 – list Ivanić-Grad (**Basch, 1983a**) i pripadajućem tumaču (**Basch, 1983b**) je podijeljen na šest dijelova: aluvij prve savske terase (a_1), aluvij druge savske terase (a_2), aluvij treće savske terase (a_3), sedimenti poplava (ap), aluvij mrtvaja (am) i aluvij recentnih tokova (a). Prema istom autoru sedimente prve i druge savske terase sačinjavaju nevezani sedimenti aluvijalnog porijekla. Dominiraju šljunci i pijesci, a podređeno se nalaze pjeskovite ili siltozne gline. Valutice šljunka su raznolikog petrografskog sastava i uvijek su pomiješane s pijescima. U teškoj mineralnoj frakciji pijeska prevladavaju granat, epidot, amfibol i monoklinski piroksen. U lakoj mineralnoj frakciji dominiraju kvarc i feldspati. Poplavni sedimenti kao tanki pokrivač, leže na gotovo cijelom području doline rijeke Save. Sedimenti poplava nastali su taloženjem sitnozrnatog materijala, koji je zaostao na širokom prostranstvu riječne doline nakon poplava i vraćanja riječnog korita u matično korito. Izgrađeni su od sitnozrnatih, nevezanih sedimenata, koje su determinirane kao pjeskovito-glinoviti ili glinoviti siltovi s prijelazom u siltozne gline. U vršnim dijelovima, pod utjecajem procesa raspadanja, prešli su u humusom onečišćen, pedološki pokrivač. Sedimenti mrtvaja se nalaze na širokom, zatravnjenom području južnih i jugoistočnih dijelova lista Ivanić-Grad, u obliku uskih, izduženih pojaseva malog prostiranja. Sedimenti mrtvaja i starih vodenih tokova su sitnozrnate, nevezane naslage predstavljene muljevima, izgrađenim od glinovitih siltova i siltoznih glina, koji sadrže znatne količine neraspadnutih organskih ostataka. Sedimente

recentnog toka Save okolice Zagreba izgrađuju pijesci i šljunci. Nizvodno veličina valutica se postupno smanjuje, od Rugvice nizvodno sedimente recentnog toka Save čine isključivo pijesci.

Na osnovnoj geološkoj karti SFRJ 1:100 000 – list Sisak (**Pikija, 1987a**) i pripadajućem tumaču (**Pikija, 1987b**) aluvij rijeke Save je podijeljen na sedimente terasa (a_1), sediment mrtvaja (am), sediment poplava (ap) i aluvij recentnih tokova (a). Prema istom autoru sedimente terasa izgrađuju siltovi, pijesci i šljunci. Prevladavaju siltovi, obično pjeskoviti, a habitusom mjestimice podsjećaju na prapor. Pijesci su različitog granulometrijskog i mineralnog sastava, dok su šljunci sitnozrnati i najzastupljenije su dobro zaobljene valutice kvarca. Sedimenti mrtvaja su onečišćeni pijesci različite veličine zrna, te siltovi i siltozne gline s različitim sadržajem organske komponente. Sedimenti poplava su nastali taloženjem sitnozrnatog materijala iz vodene suspenzije nakon poplava. Prevladavajući sedimenti su glinoviti i pjeskoviti siltovi, a podređeno su zastupljeni sitnozrnati pijesci. Najzastupljeniji litološki član aluvija recentnih tokova su pijesci. U granulometrijskom smislu osim čistih pijesaka zastupljeni su siltni i siltno-glinoviti, te rijetko šljunkoviti pijesci obično dobro do srednje sortirani. Najzastupljeniji je kvarc, zatim ima manje zastupljenih fragmenata stijena i feldspata. Uspoređujući sastav prozirnih teških minerala pijesaka većih tokova, uočava se ovisnost o sastavu izvorišnih stijena, odnosno direktno izražen utjecaj većih pritoka.

Geološka karta



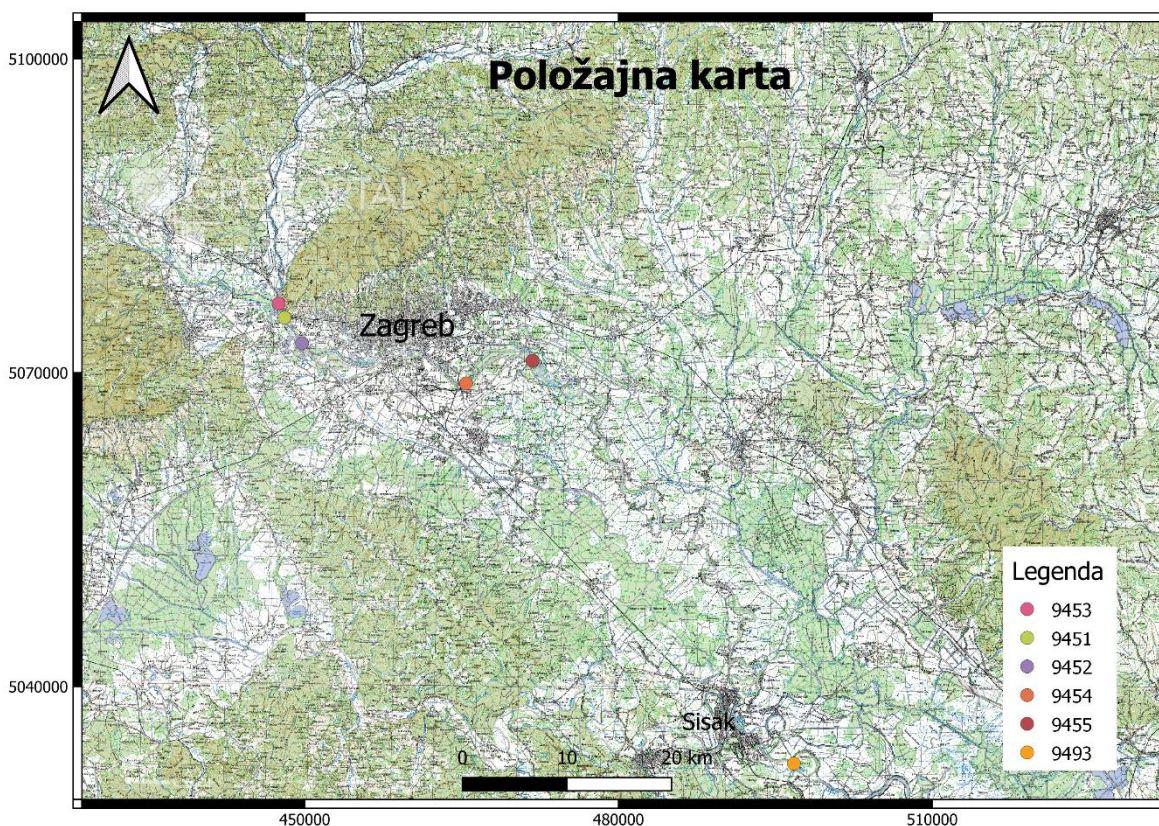
Slika 2–1. Tri spojena lista OGK mjerila 1:100 000 (list Zagreb gore lijevo, list Ivanić-Grad gore desno, list Sisak dolje desno). Modificirano prema *Basch, 1983a, Pikija, 1987a* i *Šikić i dr., 1987*.

3. METODE RADA

U ovome poglavlju prikazan je skup postupaka i metoda rada koji su korišteni prilikom izrade ovoga diplomskog rada. Svakom postupku je dodana teorijska osnova kako bi se dobio uvid u provedeni postupak.

3.1. Terenski rad

Prije odlaska na teren bilo je potrebno provjeriti vremenske prilike i vodostaj rijeke Save za odabrane dane, kao i unaprijed predvidjeti moguće poteškoće i opasnosti. Za teren je bilo potrebno: geološki čekić, lopatica za uzimanje uzoraka, vrećice za uzorke, flomasteri, mobitel (za dobivanje GPS koordinata i uzimanje fotografija) i pribor za vođenje bilješki. Na svakoj lokaciji je uzorkovano otprilike 4–5 kg frakcije pijeska koja predstavlja reprezentativni uzorak za određenu lokaciju. Lokacije uzorkovanja su prikazane na položajnoj karti na **slici 3–1**. U **tablici 3-1** navedene su laboratorijske i terenske oznake uzoraka i pripadajuće koordinate mjesta uzorkovanja u HTRS96/TM (Hrvatski Terestrički Referentni sustav za epohu 1995.55/poprečne Mercatorove projekcije) koordinatnom sustavu.



Slika 3–1. Položajna karta svih lokacija uzorkovanja pijesaka.

Tablica 3-1. *Popis oznaka uzoraka s pripadajućim geografskim koordinatama uzorkovanja.*

Oznaka uzorka		Koordinate (HTRS96/TM)	
Terenska oznaka	Laboratorijski broj	E	N
1 – Sava Podsused	9451	448079,93	5075186,58
2 – Sava Jankomir	9452	449924,19	5072626,22
3 – Sava Zaprešić	9453	447162,77	5076738,34
4 – Sava Domovinski	9454	465329,62	5068919,41
5 – Ikea	9455	471386,61	5071575,00
6 – Sava Sisak	9493	496688,65	5032685,95

3.1.1. Lokacija 1: Podsusedski most

Prva lokacija uzorkovanja se nalazi kod Podsusedskog mosta (**Slika 3-2**). Uzorkovanje je obavljeno 24. 2. 2022. kada je uzeto otprilike 5 kg uzorka frakcije pijeska uz rijeku Savu.



Slika 3-2. *Lokacija 1: Podsusedski most (foto. U. Barudžija).*

3.1.2. Lokacija 2: Jankomirski most

Dana 24. 2. 2022. obavljeno je uzimanje uzorka frakcije pijeska kod Jankomirskog mosta uz korito rijeke Save. Izuzeto je otprilike 4 kg uzorka.

3.1.3. Lokacija 3: Zaprešićki most

Treća lokacija uzorkovanja se nalazi u neposrednoj blizini Zaprešićkoga mosta (**Slika 3–3**) uz korito rijeke Save. Uzorkovanje je obavljeno dana 24. 2. 2022. godine kada je izuzeto otprilike 4–5 kg uzorka frakcije pijeska.



Slika 3–3. Lokacija 3: Zaprešićki most (foto. U. Barudžija).

3.1.4. Lokacija 4: Domovinski most

Četvrta lokacija uzorkovanja se nalazi 1 600 metara jugozapadno od Domovinskog mosta (**Slika 3–4**). Uzeto je otprilike 5 kg uzorka frakcije pijeska na pješčanom sprudu u neposrednoj blizini Save na dan 14. 2. 2022. godine.



Slika 3–4. Lokacija 4: Domovinski most.

3.1.5. Lokacija 5: Ikea

Na dan 5. 3. 2022. godine obavljeno je uzorkovanje pijeska na petoj lokaciji na sprudu rijeke Save (**Slika 3–5**) udaljenom oko 2 kilometra jugozapadno od robne kuće Ikee u neposrednoj blizini Zagreba.



Slika 3–5. Lokacija 5: Ikea.

3.1.6. Lokacija 6: Sisak

Šesta lokacija uzorkovanja se nalazi u selu Topolovac (**Slika 3–6**), kod Siska, nizvodno od ušća Kupe u Savu. Uzorkovano je 27. 3. 2022. godine.



Slika 3–6. Lokacija 6: Sisak.

3.2. Laboratorijski rad

Na prikupljenim uzorcima pijeska s terena u laboratoriju su rađene sljedeće laboratorijske analize: granulometrijska analiza suhim sijananjem pomoću laboratorijskih sita, granulometrijska analiza pomoću laserskog granulometra, izdvajanje magnetske i nemagnetske mineralne frakcije, te izdvajanje lake i teške mineralne frakcije. Sve analize su napravljene u Laboratoriju za analizu geoloških materijala (Lagema) na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu. Opis ovih metoda je preuzet iz **Tišljar (1994)**, **Slovenec (2011)** i **Aljinović (2019)**.

3.2.1. Određivanje veličine zrna sijananjem

Sijanje je najvažnija metoda pomoću koje se određuje veličina zrna odnosno granulometrijski sastav srednjozrnatih klastičnih sedimenata. Sijanje se obavlja tako da se uzorak prosije kroz određeni broj sita prilikom čega se razdjeli u više frakcija. Obično se sije kroz 5 do 7 sita. Postoje razna sita za sijanje uzoraka, najčešće se u praksi primjenjuju rupičasta, pletena ili laboratorijska sita i mikrosita. U okviru ovog rada sijanje je obavljeno laboratorijskim sitima koja imaju okrugli oblik i kvadratne otvore, odnosno metalnu pletenu kvadratnu mrežicu postavljenu u limenom okviru. Na **slici 3–7** prikazana su sita poslagana jedan na drugog po veličini otvora od 4 mm (najviše sito) do 0,032 mm (najniže sito), na dnu se nalazi posudica za skupljanje prosjeva, odnosno zrna manja od 0,032 mm.

Svaki uzorak je od terenske količine postupkom četvrtanja reducirana tako da bi se dobila masa od oko 100 g uzorka koja se onda prosijala kroz set sita (**Slika 3–7**). Najprije se odredila ukupna masa uzorka preostala četvrtanjem pomoću tehničke i laboratorijske vage. Nakon toga se uzorak presuo na najviše sito, te su se ručno protresla sita. Kada je završeno sijanje skida se najviše sito i sav se materijal pažljivo prenese u papirnatu vrećicu i izvaže pomoću laboratorijske ili tehničke vage. Ovaj postupak se ponavlja za svako sljedeće sito i prosjev. U konačnici, pri sijanju dobivamo rezultate ostatka na sitima i rezultat prolaza količine materijala kroz sito najmanjih otvora (prosjev). Točnom se smatra ona analiza kod koje se zbroj masa svih ostataka na sitima i prosjeva ne razlikuje od mase uzorka prije sijanja za više od 1%. Općenito, masa uzorka koja je prošla kroz neko sito izračuna se prema **jednadžbi 3-1**.

$$P_n = P_{n+1} - O_n, \quad (3-1)$$

gdje je:

P_n – masa uzorka koja je prošla kroz sito n ,

P_{n+1} – masa uzorka koja je prošla kroz prethodno sito s krupnijim otvorima,

O_n – masa uzorka ostala na situ n .



Slika 3–7. Set laboratorijskih sita s otvorom rupica od 4 mm (na vrhu) do 0,032 mm.

3.2.2. Određivanje veličine zrna laserskom granulometrijom

Metoda laserske difrakcije se pojavila kao jedna od najvažnijih i najučinkovitijih tehnika u svijetu određivanja veličine zrna srednje i sitnozrnatih sedimenata zahvaljujući svojoj brzini, nedestruktivnim karakteristikama, svojoj primjenjivosti za širok raspon veličina čestica i svojoj sposobnosti da bude u potpunosti automatizirana (**URL 1**).

Laserska granulometrijska analiza uzoraka je izvršena pomoću uređaja Mastersizer 3000 (**Slika 3–8**) nizozemsko-britanske tvrtke Malvern Panalytical. Mastersizer 3000 je uređaj za određivanje veličine zrna i raspodjele veličine zrna materijala. On radi na principu laserske difrakcije, a kao rezultat daje volumni udio čestica određenih veličina u uzorku. Sam instrument sastoji se od izvora crvenog i plavog svjetla, niza detektora, mjerne ćelije i precizne optike.



Slika 3–8. Mjerni uređaj Mastersizer 3000.

Uzorke je bilo potrebno prije samoga mjerenja pripremiti. Zbog ograničenja instrumenta oko 10 g uzorka se prosijalo kroz sito s otvorom rupica od 2 mm. Zatim su uzorci ostavljeni 24 sata da odstoje u 30 ml destilirane vode (**Slika 3–9**). Nakon 24 sata uzorci se stavljaju u ultrazvuk na 5 minuta kako bih se odvojila sitnija zrna od krupnijih zrna.



Slika 3–9. Natapanje uzoraka u destiliranoj vodi 24 sata prije mjerenja s Mastersizerom 3000.

Instrument je bilo potrebno prvo očistiti kako ne bi bilo stranih čestica koja su zaostala tijekom prošlih mjerenja i čestica prašine. Nakon što je unesen laboratorijski broj uzorka bilo je potrebno definirati sfericitet čestica, u ovom slučaju odabrane su nesferične čestice. Sfericitet zrna je „ugrubo” definiran na temelju sfericiteta valutica krupnog i sitnog šljunka

prije samog promatranja sastojaka pijeska pod binokularnom stereoskopskom lupom. Na posljetku je definiran generalni mineralni sastav uzorka također na temelju valutica šljunka, pri čemu je u ovom slučaju odabran kvarc (silikatna zrna). Kada je za materijal odabran kvarc automatski su za mjerenje određeni indeks loma i apsorpcijski indeks, kao i gustoća čestica. Za disperzijsko sredstvo odabrana je voda čime je automatski određen i indeks loma.

Kada je instrument očišćen i nakon što su namješteni svi parametri mjerenja može se započeti s mjerenjem. Uzorak se iz čaše uzima pomoći šprice tako da se ravnomjerno uzmu sve veličine zrna. Uzorak se tako dodaje pomoću šprice u instrument dok saturacija uzorka u vodi ne bude od 5 do 6%. Nakon što je zadovoljena saturacija uzorkom instrument mjeri pet uzastopnih mjerenja pri čemu srednja pogreška između mjerenja ne smije biti veća od 5% kako bi se mjerenje smatralo statističkim ispravnim. Nakon mjerenja instrument se očisti i ovaj se postupak ponovi za sve ostale uzorke.

3.2.3. Magnetska separacija

Magnetska separacija se zasniva na djelovanju sile magnetskoga polja na mineralne čestice koje se međusobno razlikuju po magnetskoj susceptibilnosti, odnosno po mogućnosti minerala da se u magnetskom polju djelomično magnetiziraju. Instrument koji se najčešće koristi u mineraloškoj praksi za separaciju minerala na temelju magnetskog susceptibiliteta je izodinamički magnetski separator po S. G. Frantzu (**Slika 3–10**). Taj magnetski separator se sastoji od dva elektromagneta s dva specijalno oblikovana raznoimena magnetska pola između kojih je dugački uski zračni procjep. U taj procjep se stavlja vibrirajući žlijeb koji se nakon približno jedne trećine njegove dužine razdvaja u dva uzdužna žlijeba. Elektromagnet se može, zajedno sa žlijebom, nagnuti za određeni broj stupnjeva oko poprečne i oko uzdužne osi. Za potrebe ovoga rada poprečni i uzdužni nagib su postavljeni na 20°, dok se jačina struje mijenjala na 0,4 A, 0,8 A i 1,2 A. Određena količina uzorka veličine zrna 0,5–0,25 mm (cca 10 g) se nasipa kroz lijevak i dolazi u žlijeb, na mineralna zrna tada djeluju istovremeno dvije sile suprotnih smjerova (magnetska sila i sila teža). Tako će se ona zrna koja su manje magnetična kretati kroz donji žlijeb, dok će ona zrna koja su magnetičnija biti privučena magnetom i kretat će se kroz gornji žlijeb. Na kraju žljebova nalaze se dvije kantice u kojoj se skupljaju separirana mineralna zrna.



Slika 3–10. Frantzov izodinamski magnetski separator.

3.2.4. Separacija u tekućinama velike gustoće

Separacija u tekućinama velike gustoće radi se kako bi se odredio mineralni sastav tzv. „lake frakcije” kojoj pripada većina zrna u sastavu (cca. 95%) i tzv. „teške frakcija” (cca. 5%). Za separaciju uzoraka u tekućinama velike gustoće je korišten natrijev volframata koji je razrijeđen s destiliranom vodom kako bi se dobila otopina približne gustoće 2,7–2,8 g/cm³. Postupak se provodi tako da se u kivetu se stavi oko 10 g uzorka frakcije s promjerom zrna 0,5–0,25 mm, zatim se u kivetu ulije oko 7 ml pripremljene otopine natrijevog volframata. Kiveta se zatvori i dobro promućka, zatim se kiveta stavlja u aparat za centrifugu na oko 15 minuta. Nakon toga se kivete stavlja u zamrzivač na 24 sata. Kada prođu 24 sata može se započeti sa separacijom. Prvo se posloži aparatura tako da se na stalak stave dva lijevka s filter papirima, jedan u koji će se sakupljati teška frakcija i drugi za laku frakciju, ispod lijevaka se stave staklene čaše za sakupljane natrijevog volframata (**Slika 3–11**). Pomoću destilirane vode u kiveti se otopi gornji sloj zaleđenog natrijevog volframata gdje se koncentrirala laka frakcija i to se kvantitativno prenese na lijevi lijevak. Kada se otopio cijeli natrijev volframata iz kivete taj dio se zajedno s mineralnim zrnima koji su ostali na dnu kivete kvantitativno prenese na desni lijevak. Zrna se u lijevcima ispiru pet puta s destiliranom vodom kako bi se sav natrijev volframata isprao s njih. U konačnici se uzorci stave na vodenu kupelju da se osuše i pospreme se u pripadajuće petrijeve zdjelice.



Slika 3–11. Aparatura za separaciju uzorka natrijevim volfratomom.

3.3. Kabinetski rad

Minerala zrna izdvojena pomoću Frantzovog magnetskog separatora i separacijom teškim tekućinama (natrijev volframat) promatraju se pomoću binokularne stereoskopske lupe Leica MZ 75, na povećanju od 5 puta (Slika 3–12). U svakoj frakciji određuju se dominantna, podređena i zrna u tragovima, te morfometrijske karakteristike zrna.



Slika 3–12. Binokularna stereoskopska lupa.

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

U ovome poglavlju će biti prikazani rezultati analiza i mjerenja koja su opisana u trećem poglavlju. Rezultati su prikazani u obliku grafičkih, tabličnih i slikovnih prikaza. Rezultati će biti opisani na sljedeći način, za svaki uzorak su prikazani rezultati granulometrijskih analiza sijanjem i laserskim granulometrom, te mineraloško-petrografski sastav. Uzorci su poredani u podpoglavljima tako da idu od najzapadnije (Zaprešić) do najistočnije (Sisak) pozicije.

Rezultati sijanja prikazani su histogramom, krivuljom učestalosti raspodjele i kumulativnom granulometrijskom krivuljom. Histogram je grafički i brojčani prikaz količine svake pojedine frakcije u obliku stupaca. Prema obliku histogram može biti asimetričnog oblika, ovisno o tome prevladavaju li sitnija ili krupnija zrna i simetričnog oblika ako sitnijih i krupnijih frakcija ima podjednako. U slučajevima kada prevladava samo jedna frakcija, tada je to unimodalni granulometrijski sastav, međutim u slučajevima kada prevladavaju dvije ili više frakcija tada je to bimodalni odnosno polimodalni granulometrijski sastav. Krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna konstruira se tako da se na apscisu nanose veličine zrna, odnosno grafičke granične vrijednosti svake pojedine frakcije, a na ordinatu se nanose njihova količina izražena u postocima. Najčešći i glavni način prikazivanja rezultata granulometrijske analize je kumulativnom granulometrijskom krivuljom, zato što se iz nje mogu izravno očitati udjeli bilo kojih frakcija, prikazuje cjelokupni sastav i raspored zrna, a iz nje se mogu očitati ili izračunati i važni granulometrijski parametri. Kumulativna granulometrijska krivulja se konstruira tako da se na apscisu nanose odgovarajuće veličine zrna u Wentworthovoj semilogaritamskoj ljestvici, a na ordinati kumulativni zbroj udjela pojedinih frakcija izraženih u postocima ili gramima.

Iz konstruirane kumulativne granulometrijske krivulje mogu se izravno očitati i izračunati granulometrijski parametri i koeficijenti koji matematički određuju najvažnija svojstva veličine zrna i granulometrijskog sastava uzorka, a to su prema **Aljinović (2019)**:

(1) Medijan ili srednja veličina čestica (M_d) je ona veličina koji imaju zrna u kumulativnoj granulometrijskoj krivulji na 50. percentilu, tj. na 50%. Određuje tako da se od presjecišta kumulativne granulometrijske krivulje i linije 50% spusti okomica na apscisu i na tom mjestu se očita njezina vrijednost.

(2) Srednja veličina zrna (M) je prosječna vrijednost veličine zrna, uzimajući u obzir veličine zrna na 16. (Φ_{16}), 50. (Φ_{50}) i 84. (Φ_{84}) percentilu (**jednadžba 4-1**):

$$M = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}}{3} \quad (4-1)$$

Gdje je:

Φ_n – veličina zrna na n-tom percentilu,

M – srednja veličina zrna.

(3) Mod je milimetarska vrijednost sredine najzastupljenije klase, tj. klase s najvećim brojem zrna.

(4) Sortiranost (S_o) je mjera standardne devijacije, tj. širina raspodjele veličine zrna (**jednadžba 4-2**). Ukazuje na efikasnost taložnog medija u razdvajanju zrna različitih veličina. U **tablici 4-1** prikazana je podjela koeficijenta sortiranosti s numeričkim vrijednostima pojedinih kategorija. Što je koeficijent sortiranosti veći to je sortiranost uzorka lošija, tj. uzorak sadrži veliki raspon zrna od najmanjih do najvećih. Što je koeficijent sortiranosti manji, uzorak je bolje sortiran, tj. sadrži zrna sličnih dimenzija.

$$S_o = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{4} + \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{6,6} \quad (4-2)$$

Gdje je:

S_o – koeficijent sortiranosti,

Φ_n – veličina zrna na n-tom percentilu.

Tablica 4-1. Pregled koeficijenata sortiranosti s vrijednostima pojedinih kategorija (npr. *Aljinović. 2019.*).

Kategorija sortiranosti	Vrijednosti S_o
Vrlo dobra sortiranost	< 0,35
Dobra sortiranost	0,35 – 0,50
Srednja sortiranost	0,50 – 0,71
Slaba sortiranost	0,71 – 2,00
Vrlo slaba sortiranost	> 2,00

(5) Koeficijent asimetrije (S_k) pokazuje prevladavaju li u uzorku frakcija krupnijih i sitnijih zrna u odnosu na medijan, tj. je li kumulativna krivulja asimetrična na strani krupnijih ili sitnijih zrna. Izraz za određivanje koeficijenta asimetrije je dan **jednadžbom 4-3**. Ako u uzorku prevladavaju krupnija zrna od medijana, tada je S_k manji od 1, u suprotnom ako prevladavaju sitnija zrna od medijana, S_k je veći od 1.

$$S_k = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{84} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_5 + \Phi_{95} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)} \quad (4-3)$$

Gdje je:

S_k – koeficijent asimetrija,

Φ_n – veličina zrna na n-tom percentilu.

Rezultati granulometrijske analize pomoću laserskog granulometra Mastersizer 3000 su prikazani pomoću krivulje učestalosti raspodjele veličine zrna za pet mjerenja koja zadovoljavaju uvjet da je srednja pogreška između mjerenja manja od 5%.

Rezultati promatranja mineraloško-petrografskog sastava pomoću binokularne stereoskopske lupe frakcija prethodno izdvojenih pomoću magnetskog separatora i tekućine velike gustoće tablično su sumirani kao: (a) dominantna, (b) podređena i (c) zrna u tragovima. Dio mineralnih faza popraćen je i s mikrofotografijama.

4.1. Uzorak 9453 – Zaprešićki most

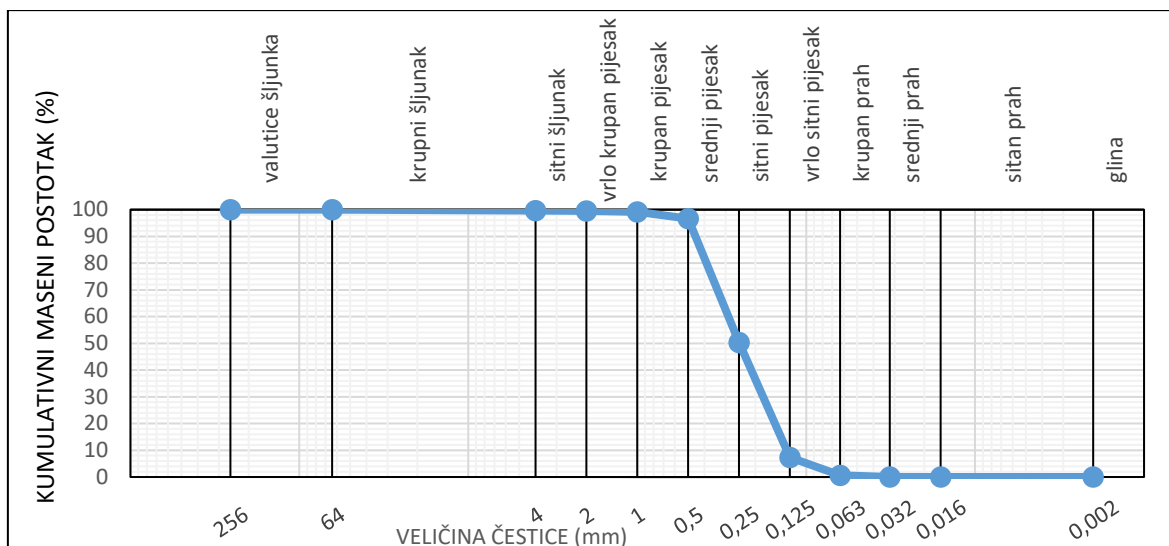
Četvrtanjem je dobivena masa od 115,6 g uzorka koji se prosijavao kroz sita kako bi se dobio granulometrijski sastav uzorka (**Slika 4–1**). Početna masa uzorka je iznosila 115,6 g, dok zbroj svih masa ostataka na situ iznosi 115,0 g, što daje razliku od 0,006%. U **tablici 4-2** su prikazani rezultati granulometrijske analize sijanjem uzorka na osnovu kojih je konstruirana kumulativna granulometrijska krivulja (**Slika 4–2**), krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna (**Slika 4–3**) i histogram (**Slika 4–4**). **Tablica 4-3** prikazuje sve parametre koji su izračunati i očitani iz kumulativne granulometrijske krivulje. Na **slici 4–5** je prikazana krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna dobivena mjerenjem laserskim granulometrom. Mineralni i petrografski sastav uzorka je prikazan u **tablici 4-4**.



Slika 4–1. Uzorak 9453. Desno u laboratorijskoj čaši se nalazi količina uzorka koja se prosijavala kroz sita, lijevo u zdjelici je ostatak uzorka nakon četvrtanja.

Tablica 4-2. Rezultati granulometrijske analize sijanjem uzorka 9453 laboratorijskim sitima.

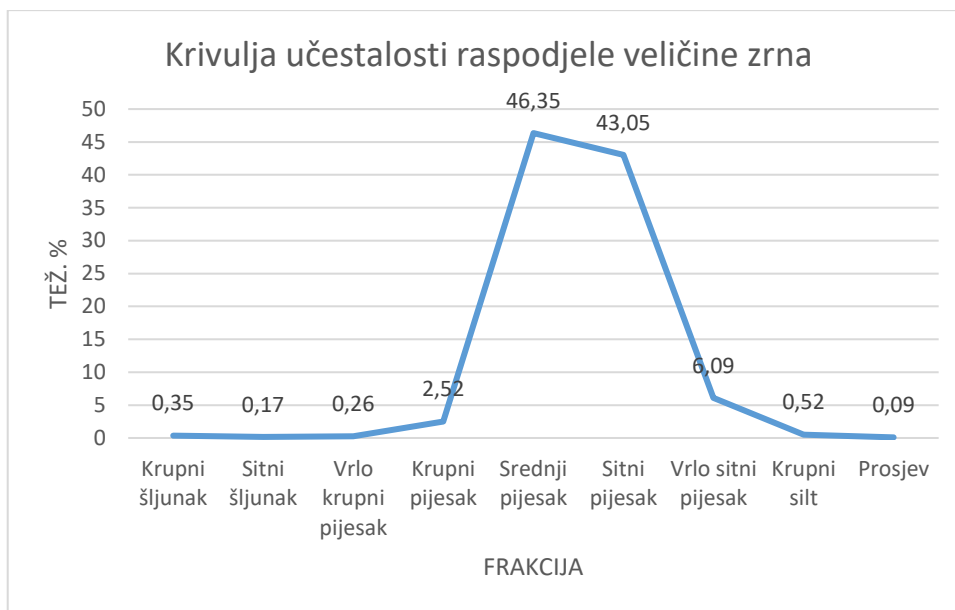
Promjer sita (mm) Ostatak na situ (g)	4	2	1	0,500	0,250	0,125	0,063	0,032	Prosjev
Ostatak na situ (g)	0,4	0,2	0,3	2,9	53,3	49,5	7,7	0,6	0,1
Prolaz kroz sito (g)	114,6	114,4	114,1	111,2	57,9	8,4	0,7	0,1	–
Prolaz kroz sito (%)	99,65	99,48	99,22	96,70	50,35	7,30	0,61	0,09	–



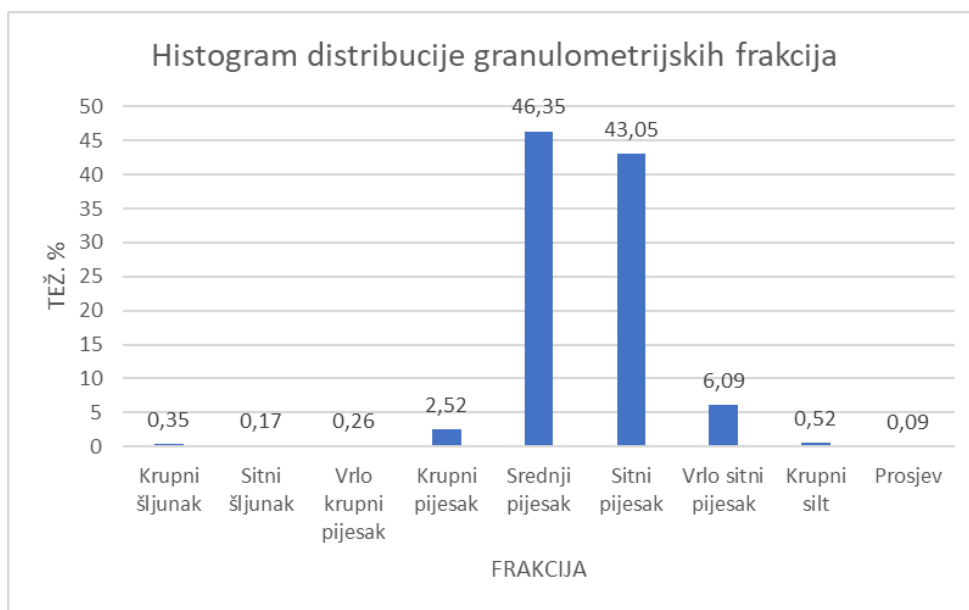
Slika 4-2. Kumulativna granulometrijska krivulja za uzorak 9453.

Tablica 4-3. Parametri očitani i izračunati iz kumulativne granulometrijske krivulje (Slika 4-2) za uzorak 9453.

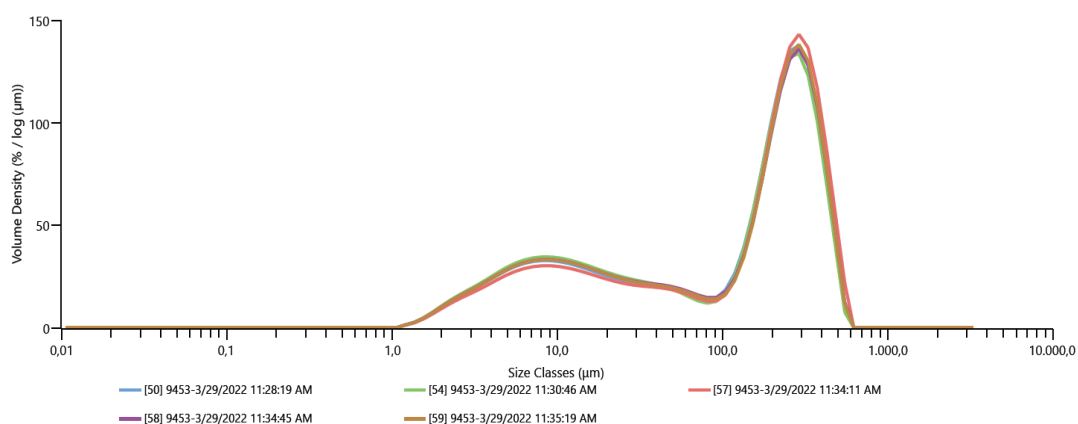
Parametar	Vrijednost
Φ_5	0,1135 mm
Φ_{16}	0,14375 mm
Md	0,25 mm
Φ_{84}	0,417 mm
Φ_{95}	0,46 mm
Mod	0,5 – 0,25 mm
M	0,27025 mm
So	0,121 (<0,35)
Sk	0,217 (<1)



Slika 4–3. Krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna za uzorak 9453.



Slika 4–4. Histogram distribucije granulometrijskih frakcija za uzorak 9453.

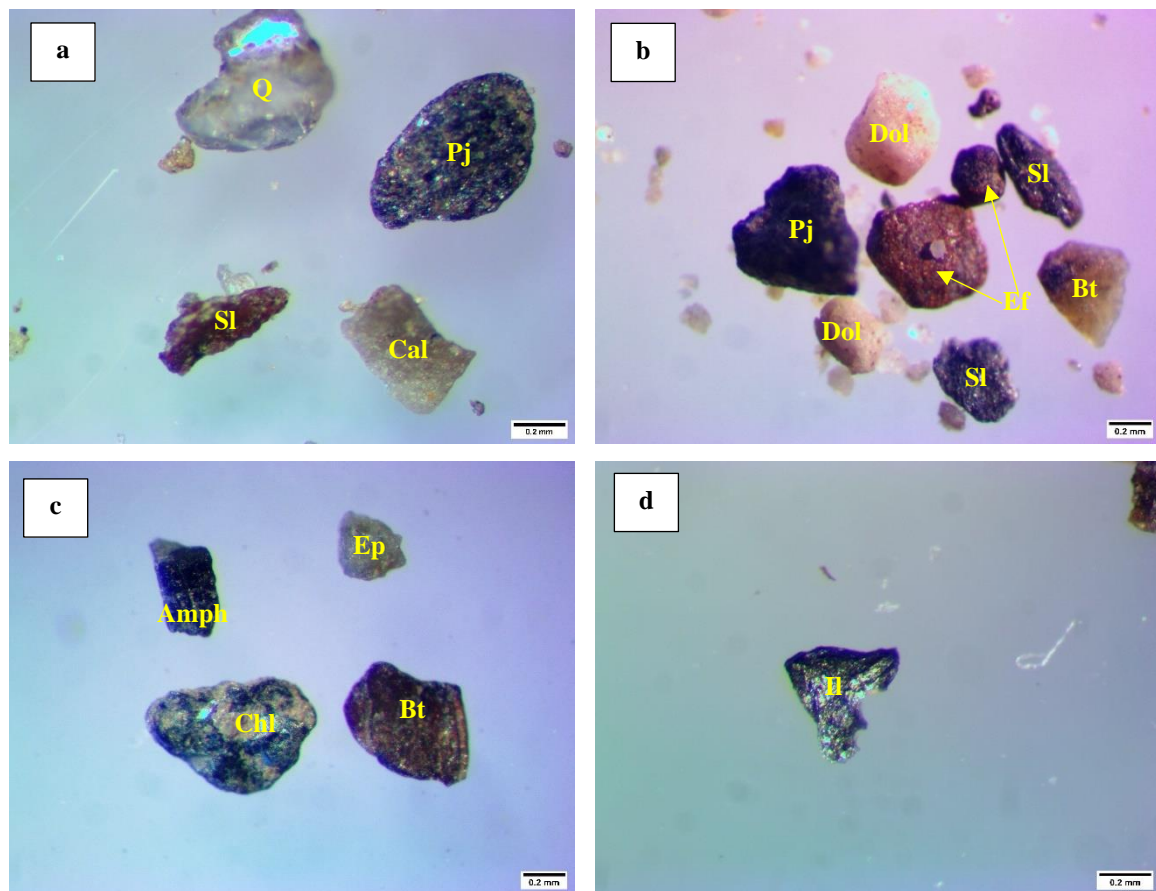


Slika 4-5. Krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna za uzorak 9453 dobivena laserskom granulometrijom.

Tablica 4-4. Rezultati mineraloško-petrografske analize uzoraka 9453 (tumač: dominantno (+ + +), podređeno (+ +) i u tragovima (+)).

Mineraloško-petrografski sastav	Separacija teškim tekućinama		Magnetska separacija			
	Laka frakcija	Teška frakcija	Magnetska frakcija (0,4 A)	Magnetska frakcija (0,8 A)	Magnetska frakcija (1,2 A)	Nemagnetska frakcija
Biotit	++			++		
Karbonati	+++	+++				+++
Intruzivi	+		++	+		
Klorit	+					
Muskovit		+			+	
Pješčenjaci	++	++	+++	+++	+++	+
Siltiti	++	++	+++	+++	+++	+
Efuzivi	+		++			+
Kvarc		+				++
Ilmenit			+			
Kloritoid			+			
Epidot		+		++		
Amfibol		+		+		
Magnetit				+		
Grafit						+

Iz **tablice 4-4** je vidljivo da su u svim izdvojenim frakcijama zastupljeni fragmenti pješčenjaka i silita (**Slike 4-6a i 4-6b**). Karbonati su pronađeni u teškoj i lakoj frakciji, te u nemagnetskoj frakciji (**Slike 4-6a i 4-6b**), pri čemu je dolomit zastupljen u teškoj frakciji, dok se u lakoj frakciji nalazi dominantno kalciti i sporadično dolomit. Od silikata najzastupljeniji su fragmenti magmatskih stijena, dok su manje zastupljeni biotit, muskovit, kvarc, epidot, amfibol, kloritoid i klorit (**Slika 4-6c**). Nadalje, u tragovima se nalaze minerali iz skupine oksida: magnetit i ilmenit (**Slika 4-6d**), te nemetalni mineral grafit.



Slika 4-6. Mikrofotografije uzorka 9453. Dužina mjerila u donjem desnom kutu iznosi 0,2 mm. (a) Laka frakcija; (b) teška frakcija; (c) magnetska frakcija 0,8 A; (d) magnetska frakcija 0,4 A. Kratice: Q – kvarc, Pj – pješčenjak, Sl – silit, Cal – kalcit, Dol – dolomit, Bt – biotit, Ef – efuziv, Chl – klorit, Ep – epidot, Amph – amfibol, Il – ilmenit.

4.2. Uzorak 9451 – Podsusedski most

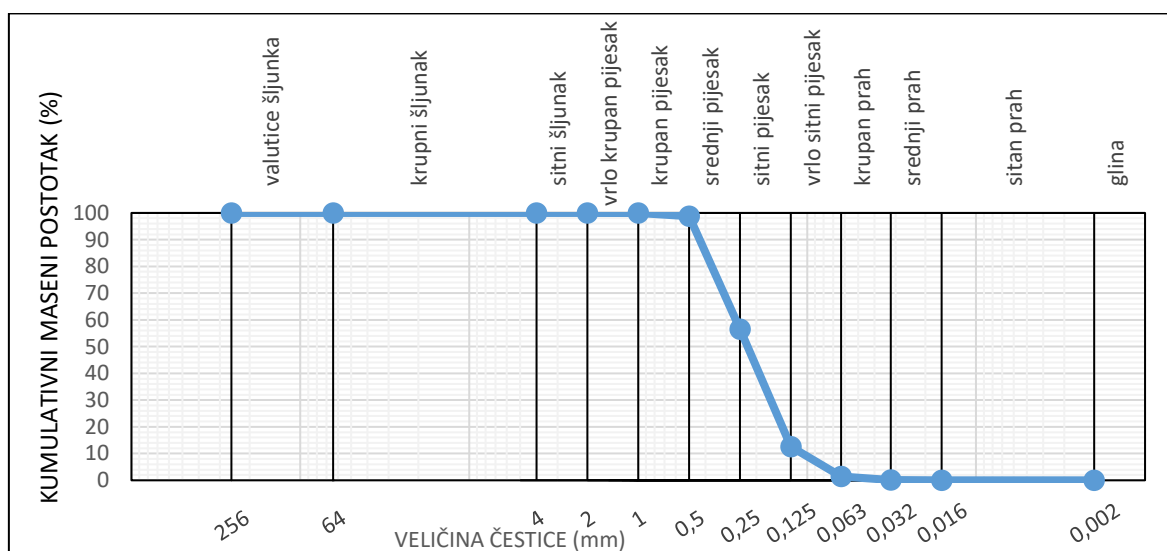
Početna masa uzorka koja je dobivena četvrtanjem uzorka iznosi 97,79 g, te je ta masa uzeta za granulometrijsku analizu suhim sijanjem laboratorijskim sitima (**Slika 4-7**). U **tablici 4-5** su prikazani rezultati granulometrijske analize sijanjem uzorka laboratorijskim sitima na osnovu kojih je konstruirana kumulativna granulometrijska krivulja (**Slika 4-8**), krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna (**Slika 4-9**) i histogram (**Slika 4-10**). **Tablica 4-6** prikazuje sve parametre koji su izračunati i očitani iz kumulativne granulometrijske krivulje. Na **slici 4-11** je prikazana krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna dobivena mjerenjem laserskim granulometrom. Početna masa uzorka je iznosila 97,79 g, dok zbroj svih masa ostataka na situ iznosi 96,54 g, što daje razliku od 0,0125%. **Tablica 4-7** sumarno prikazuje mineraloško-petrografski sastav uzorka ovisno o metodi separacije.



Slika 4-7. Uzorak 9451. Lijevo od pincete se nalazi količina uzorka koja se sijala kroz set laboratorijskih sita, a desno se nalazi ostatak uzorka izdvojen četvrtanjem.

Tablica 4-5. Rezultati granulometrijske analize sijanem uzorka 9451 laboratorijskim sitima.

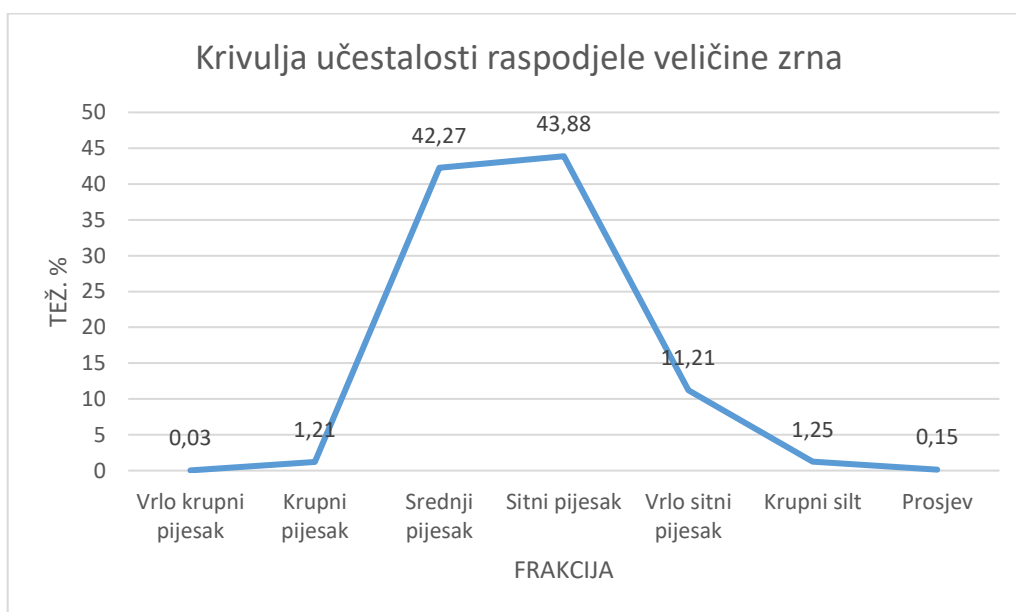
Promjer sita Ostatak na situ (g)	4	2	1	0,500	0,250	0,125	0,063	0,032	Prosjev
Ostatak na situ (g)	–	–	0,03	1,16	40,81	42,37	10,81	1,21	0,15
Prolaz kroz sito (g)	96,54	96,54	96,51	95,35	54,54	12,17	1,36	0,15	–
Prolaz kroz sito (%)	100	100	99,97	98,76	56,49	12,61	1,40	0,15	–



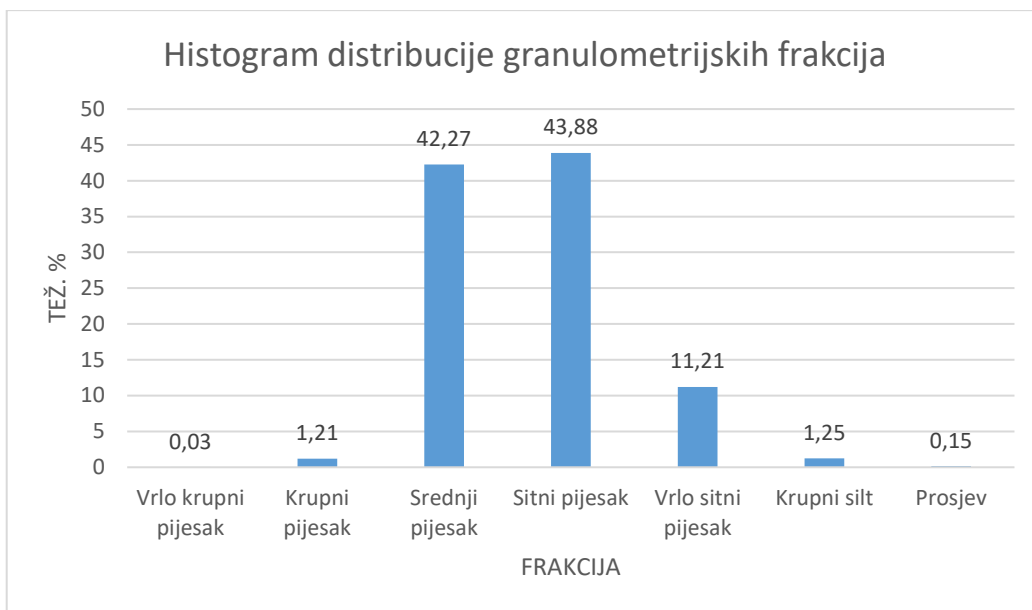
Slika 4-8. Kumulativna granulometrijska krivulja za uzorak 9451.

Tablica 4-6. Parametri očitani i izračunati iz kumulativne granulometrijske krivulje (Slika 4-8) za uzorak 9451.

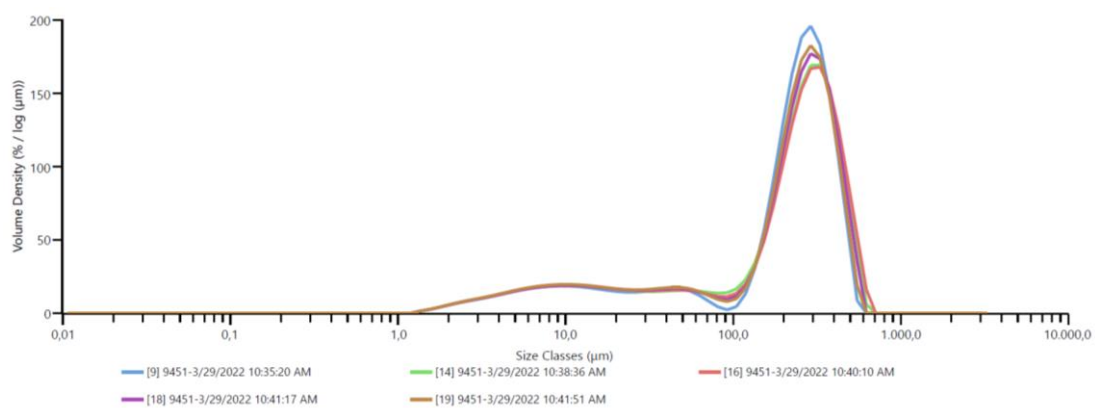
Parametar	Vrijednost
Φ_5	0,0878 mm
Φ_{16}	0,125 mm
Md	0,225 mm
Φ_{84}	0,410 mm
Φ_{95}	0,450 mm
Mod	0,25 – 0,125 mm
M	0,253 mm
So	0,126 (<0,35)
Sk	0,270 (<1)



Slika 4-9. Krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna uzorka 9451.



Slika 4–10. Histogram distribucije granulometrijskih frakcija za uzorak 9451.

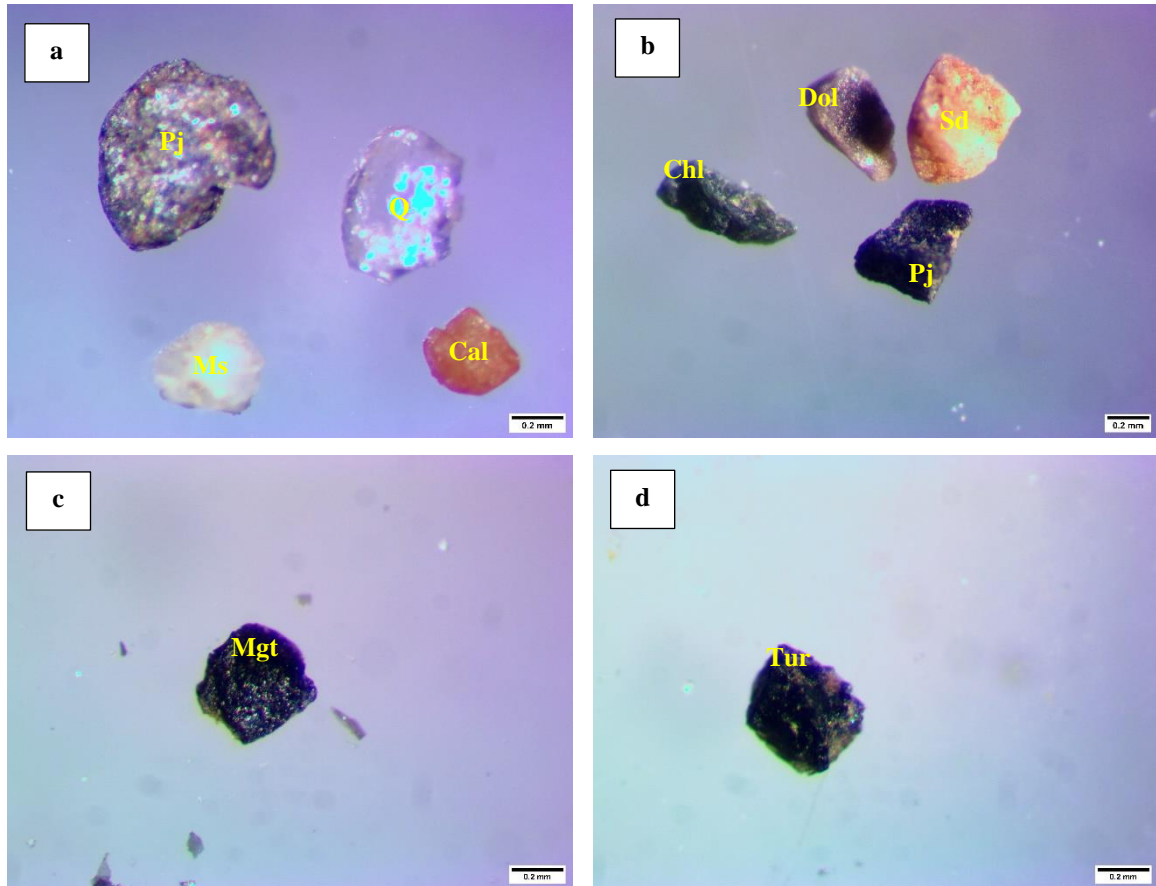


Slika 4–11. Krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna za uzorak 9451 dobiven laserskom granulometrijom.

Tablica 4-7. Mineraloško-petrografski sastav uzorka 9451. Tumač: dominantno (+ + +), podređeno (+ +) i u tragovima (+).

Mineraloško-petrografski sastav	Separacija teškim tekućinama		Magnetska separacija			
	Teška frakcija	Laka frakcija	Magnetska frakcija (0,4 A)	Magnetska frakcija (0,8 A)	Magnetska frakcija (1,2 A)	Nemagnetska frakcija
Karbonati	+ + +	+ + +				+ + +
Pješčenjaci	+ +	+ +	+ + +	+ + +	+ +	+
Siliti	+ +	+ +	+ + +	+ + +	+ + +	+
Efuzivi	+ +		+ +	+ + +	+	+
Intruzivi		+		+ +	+	
Kvarc		+				+ +
Muskovit		+			+	
Biotit				+	+	
Klorit	+					
Epidot	+			+		
Plagioklas		+				
Turmalin				+		
Magnetit	+		+			
Ilmenit			+			

U uzorku su od fragmenata stijena najzastupljeniji fragmenti pješčenjaka i silita, dok su manje zastupljeni fragmenti magmatskih stijena i karbonata (**Slika 4-12a** i **4-12b**). Od karbonata u lakoj frakciji se dominantno nalaze kalcitna zrna, dok se dolomit sporadično pojavljuje, u teškoj frakciji od karbonata su zastupljeni dolomit i manje siderita. Silikatni minerali i minerali oksida su zastupljeni u tragovima u ovome uzorku (**Slika 4-12c** i **4-12d**).



Slika 4–12. Mikrofotografije uzorka 9451. Dužina mjerila na mikrofotografijama iznosi 0,2 mm. (a) Laka frakcija; (b) teška frakcija; (c) magnetska frakcija 0,4 A; (d) magnetska frakcija 0,8 A. Kratice: Pj – pješčenjak, Ms- muskovit, Q – kvarc, Sd – siderit, Cal – kalcit, Dol – dolomit, Chl – klorit, Mgt – magnetit, Tur – turmalin.

4.3. Uzorak 9452 – Jankomirski most

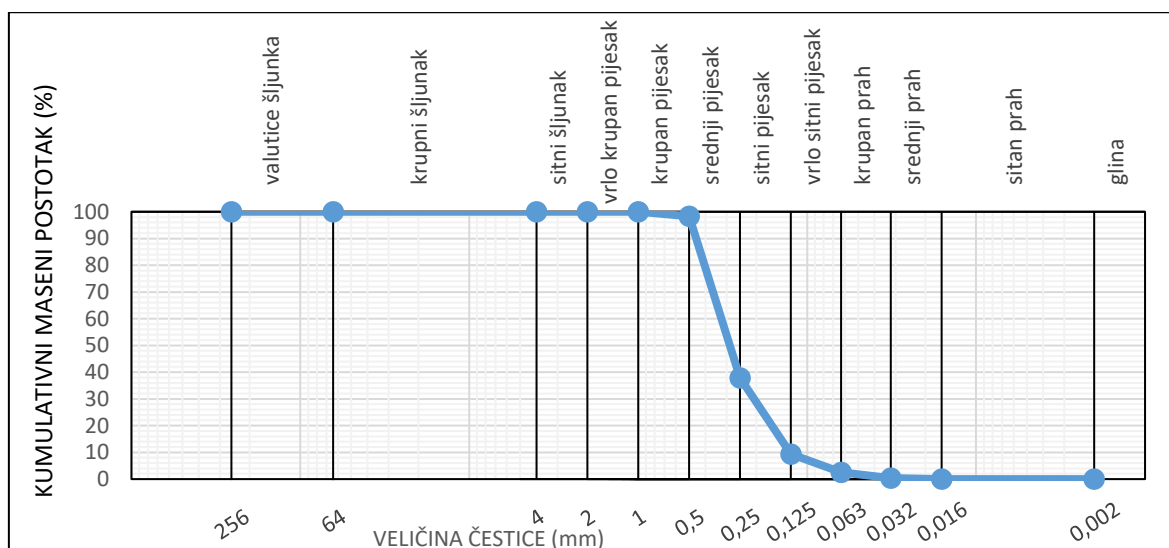
Početna masa uzorka koja je izdvojena četvrtanjem uzorka za granulometrijsku analizu suhim sijananjem laboratorijskim sitima iznosi 110,39 g (Slika 4–13). U tablici 4-8 su prikazani rezultati granulometrijske analize sijananjem uzorka laboratorijskim sitima na osnovu kojih je konstruirana kumulativna granulometrijska krivulja (Slika 4–14), krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna (Slika 4–15) i histogram (Slika 4–16). Parametri koji su očitani i izračunati na temelju očitanih parametara s kumulativne granulometrijske krivulje su prikazani u tablici 4-9. Na slici 4–17 je prikazana krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna dobivena mjerenjem laserskim granulometrom. Početna masa uzorka je iznosila 110,39 g, dok zbroj svih masa ostataka na situ iznosi 109,33 g, što daje razliku od 0,0125%. Mineraloško-petrografski sastav koji je određen pomoću stereoskopske lupe je prikazan u tablici 4-10.



Slika 4–13. Uzorak 9452. Lijevo od pincete u zdjelici se nalazi količina uzorka koja se prosijavala kroz set laboratorijskih sita, a desno se nalazi ostatak uzorka izdvojen četvrtanjem.

Tablica 4-8. Rezultati granulometrijske analize sijanjem uzorka 9452 laboratorijskim sitima.

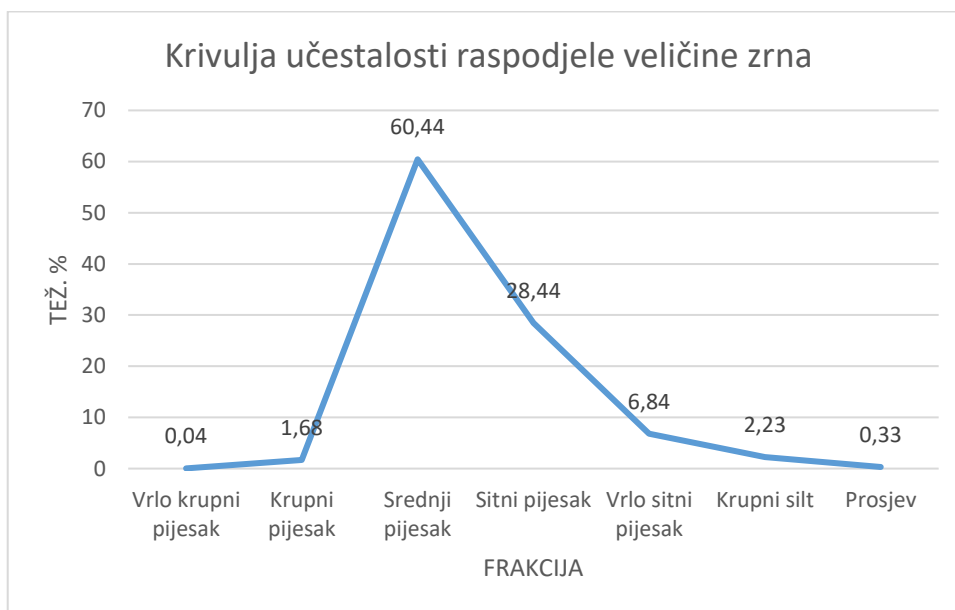
Promjer sita Ostatak na situ (g)	4	2	1	0,500	0,250	0,125	0,063	0,032	Prosjev
Ostatak na situ (g)	–	–	0,04	1,83	66,08	31,09	7,48	2,44	0,36
Prolaz kroz sito (g)	109,32	109,32	109,28	107,45	41,37	10,28	2,80	0,36	–
Prolaz kroz sito (%)	100	100	99,96	98,28	37,84	9,40	2,56	0,33	–



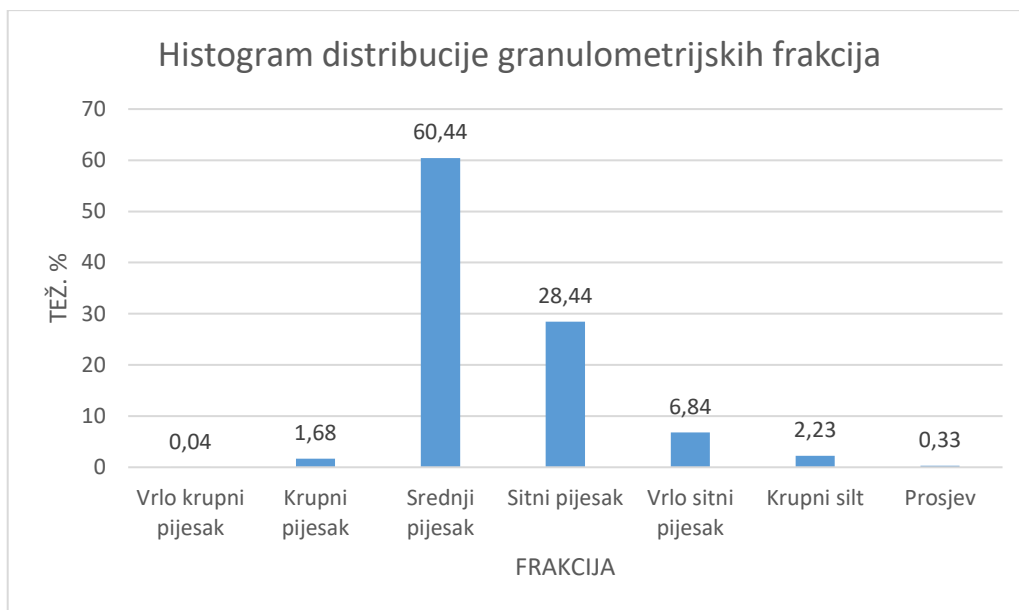
Slika 4-14. Kumulativna granulometrijska krivulja za uzorak 9452.

Tablica 4-9. Parametri očitani i izračunati iz kumulativne granulometrijske krivulje (Slika 4-14) za uzorak 9452.

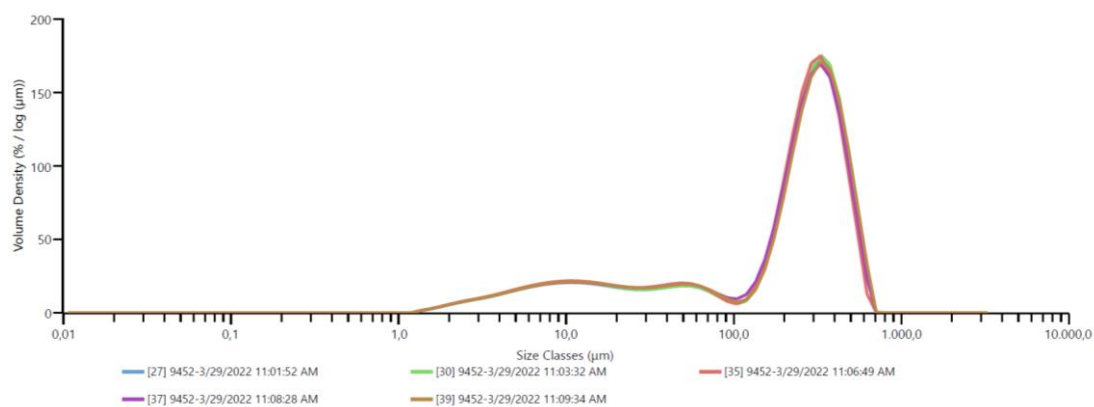
Parametar	Vrijednost
Φ_5	0,0878 mm
Φ_{16}	0,15 mm
Md	0,2575 mm
Φ_{84}	0,417 mm
Φ_{95}	0,455 mm
Mod	0,5 – 0,25 mm
M	0,275 mm
So	0,122 (<0,35)
Sk	0,135 (<1)



Slika 4-15. Krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna za uzorak 9452.



Slika 4–16. Histogram distribucije granulometrijskih frakcija za uzorak 9452.

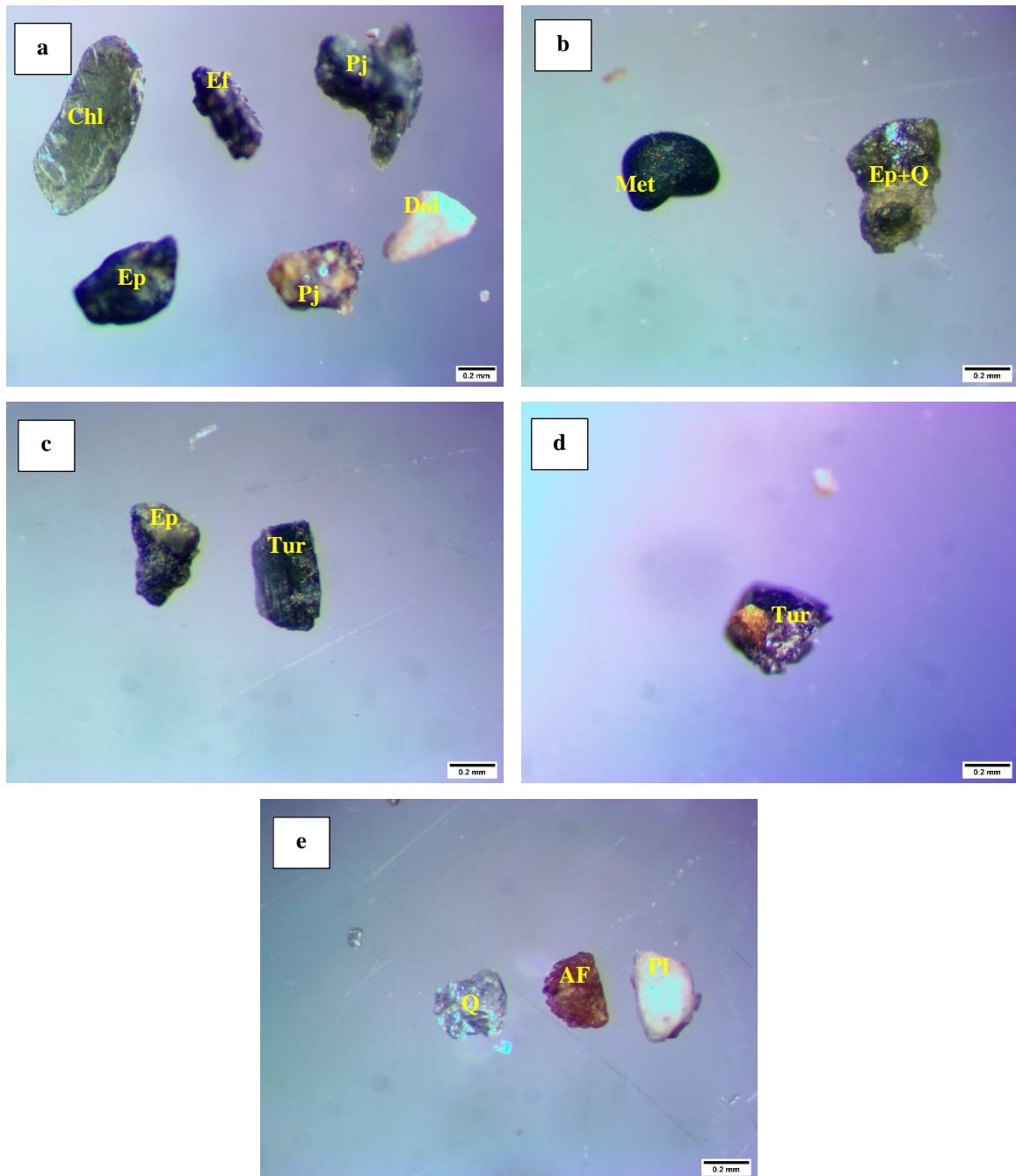


Slika 4–17. Krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna za uzorak 9452 dobiven laserskim granulometrom.

Tablica 4-10. Mineraloško-petrografski sastav uzorka 9452 određen stereoskopskom lupom. Tumač: dominantni (+++), podređeni (++) i u tragovima (+).

Mineraloško-petrografski sastav	Separacija teškim tekućinama		Magnetska separacija			
	Laka frakcija	Teška frakcija	Magnetska frakcija (0,4 A)	Magnetska frakcija (0,8 A)	Magnetska frakcija (1,2 A)	Nemagnetska frakcija
Karbonati	+++	+++				+++
Pješčenjaci	++	++	+++	+++	+++	++
Siltiti	+	++	+++	+++	+++	+
Efuzivi	+	++	+++	+++		+
Metamorfiti		++	++			+
Kvarc	+					++
Muskovit	+				+	
Biotit				+	+	
Olivin				+		
Epidot		+		+		
Klorit				+		
Feldspati	+					+
Granat		+	+			
Turmalin				+	+	
Amfibol				++	+	
Magnetit			++	+		
Barit		+				
Fluorit						+

Kao i u prethodno opisanim uzorcima, dominantno se pojavljuju fragmenti pješčenjaka i siltita (**Slika 4-18a**) čiji je sadržaj nešto veći u odnosu na prethodne uzorke. Dalje su zastupljeni fragmenti karbonata, efuziva i ima pojave fragmenata metamornih stijena (**Slika 4-18b**). Povećava se sadržaj silikatnih minerala i minerala oksida (**Slike 4-18c i 4-18d**), te dolazi do pojave fluorita, barita, fedspata (**Slika 4-18e**), granata i olivina. Podređeno se nalaze zrna magnetita i Fe silikatnih fragmenata prekrivenih koricama željeza i limonita.



Slika 4–18. Mikrofotografije uzorka 9452. Duljina mjerila na mikrofotografijama iznosi 0,2 mm. (a) Teška frakcija; (b) i (c) magnetska frakcija 0,8 A; (d) magnetska frakcija 1,2 A; (e) laka frakcija. Kratice: Chl – klorit, Ef – efuziv, Pj – pješčenjak, Dol – dolomit, Ep – epidot, Met – metamorfit, Q – kvarc, Tur – turmalin, AF – K-feldspat, Pl – plagioklas.

4.4. Uzorak 9454 – Domovinski most

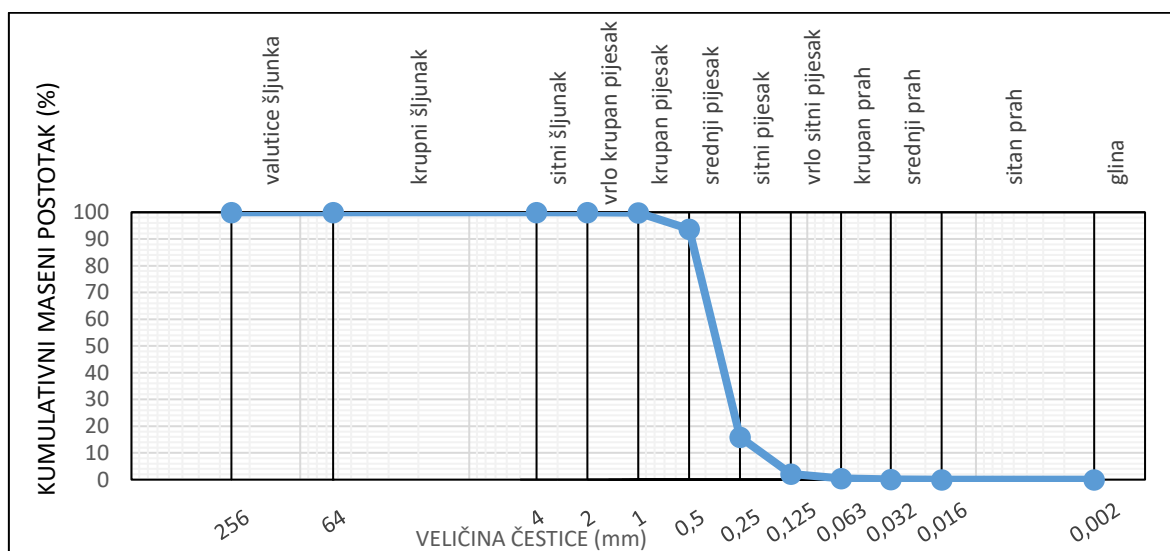
Početna masa uzorka koja je ostala nakon četvrtanja uzorka iznosi 114,3 g, te je ta masa uzeta za granulometrijsku analizu suhim sijanjem pomoću laboratorijskih sita (**Slika 4–19**). U **tablici 4-11** su prikazani rezultati granulometrijske analize sijanjem uzorka laboratorijskim sitima na temelju kojih je konstruirana kumulativna granulometrijska krivulja (**Slika 4–20**), krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna (**Slika 4–21**), te histogram (**Slika 4–22**). **Tablica 4-12** prikazuje sve parametre koji su izračunati i očitani iz kumulativne granulometrijske krivulje. Rezultati mjerenja laserskim granulometrom su prikazani na **slici 4–23** kao krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna. Početna masa uzorka je iznosila 114,3 g, dok zbroj svih masa ostataka na situ iznosi 114,1 g, što daje razliku od 0,002%. U **tablici 4-13** prikazan je mineraloško-petrografski sastav uzorka.



Slika 4–19. Uzorak 9454. Lijevo u laboratorijskoj čaši se nalazi količina uzorka koja se prosijavala kroz set sita, desno se nalazi hrpa koja je odvojena četvrtanjem.

Tablica 4-11. Rezultati granulometrijske analize sijaanjem uzorka 9454 laboratorijskim sitima.

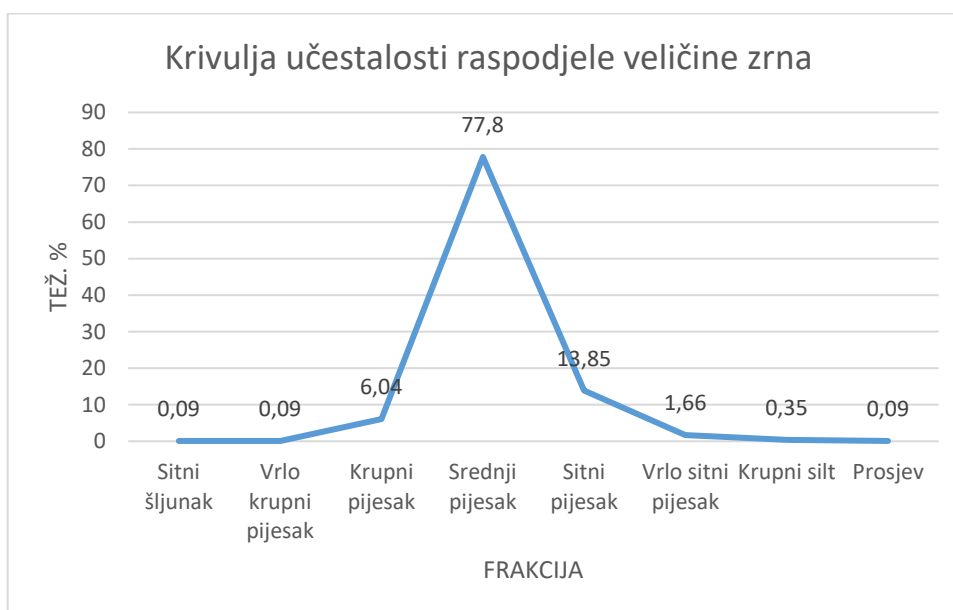
Promjer sita Ostatak na sita (g)	4	2	1	0,500	0,250	0,125	0,063	0,032	Prosjev
Ostatak na sita (g)	–	0,1	0,1	6,9	88,8	15,8	1,9	0,4	0,1
Prolaz kroz sito (g)	114,1	114,1	113,9	107,0	18,2	2,4	0,5	0,1	–
Prolaz kroz sito (%)	100	99,91	99,82	93,78	15,95	2,10	0,44	0,09	–



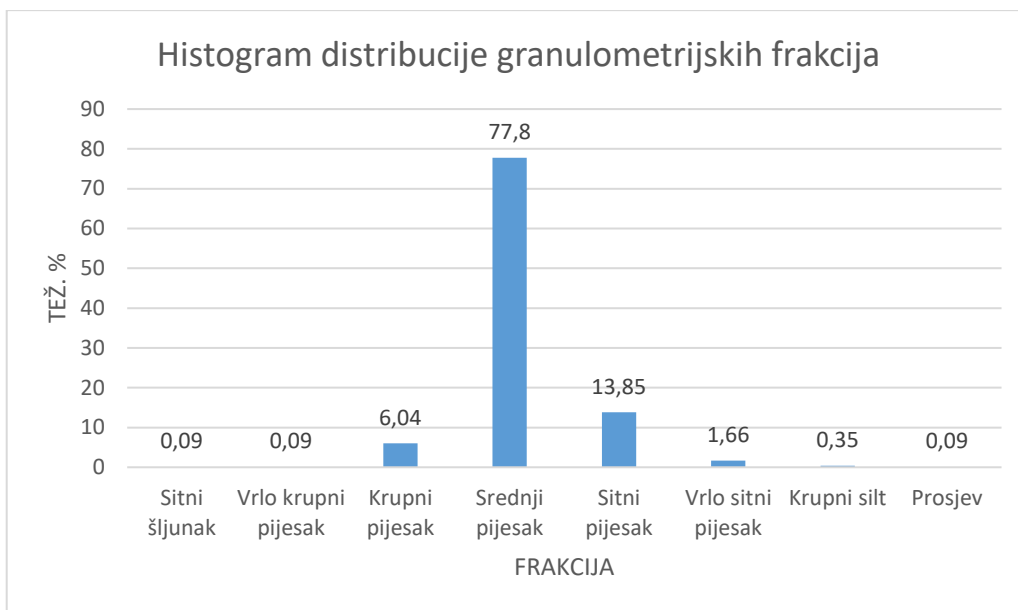
Slika 4–20. Kumulativna granulometrijska krivulja za uzorak 9454.

Tablica 4-12. Parametri očitani i izračunati iz kumulativne granulometrijske krivulje (Slika 4-20) za uzorak 9454.

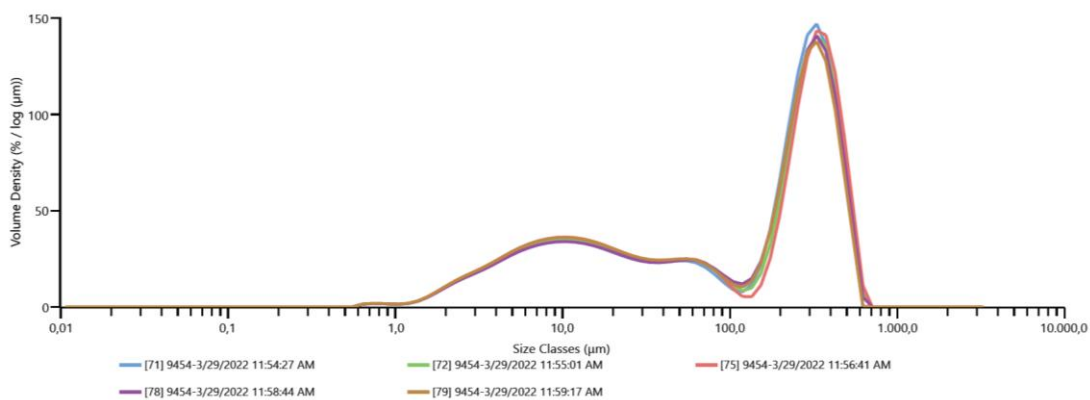
Parametar	Vrijednost
Φ_5	0,1436 mm
Φ_{16}	0,2 mm
Md	0,33 mm
Φ_{84}	0,417 mm
Φ_{95}	0,455 mm
Mod	0,5 – 0,25 mm
M	0,316 mm
So	0,101 (<0,35)
Sk	- 0,198 (<1)



Slika 4-21. Krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna za uzorak 9454.



Slika 4–22. Histogram distribucije granulometrijskih frakcija za uzorak 9454.



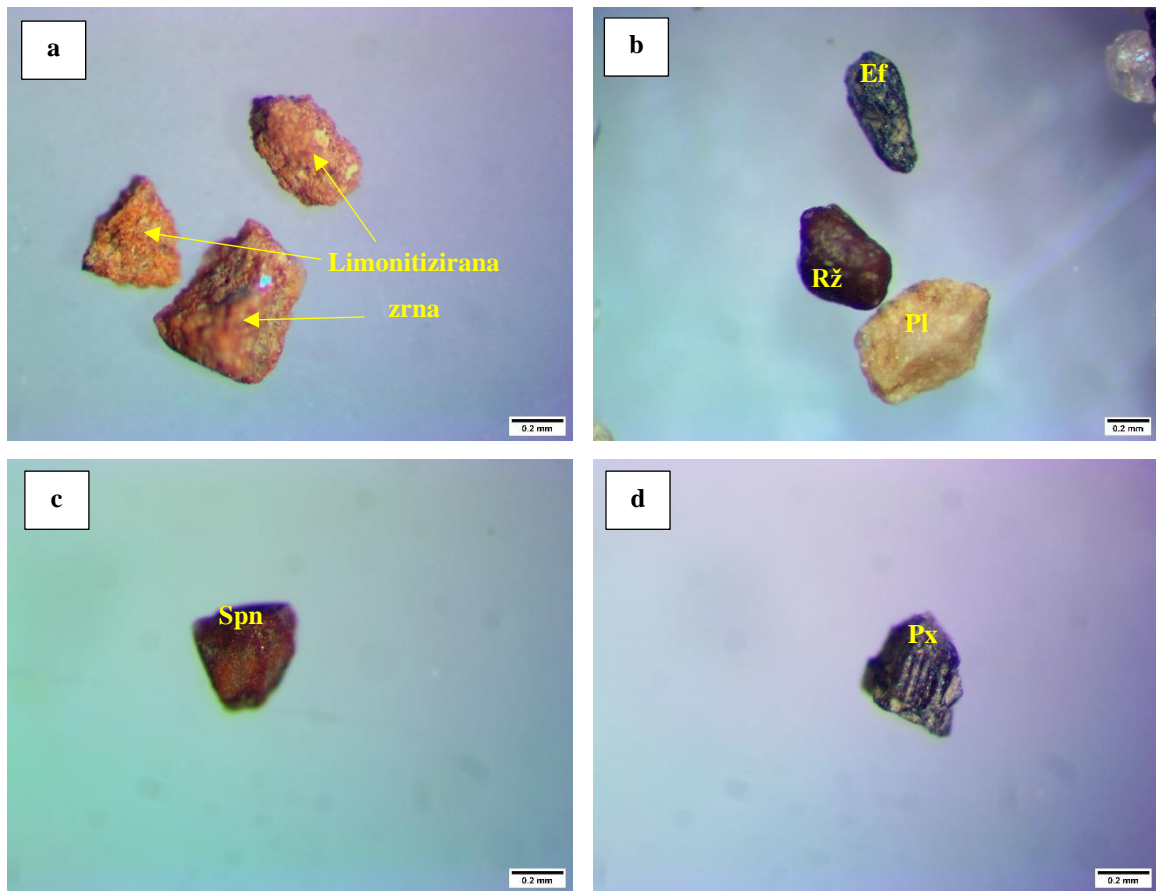
Slika 4–23. Krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna za uzorak 9454 dobivena laserskim granulometrom.

Tablica 4-13. Mineraloško-petrografski sastav uzorka 9454. Tumač: dominantno (+ + +), podređeno (+ +) i u tragovima (+).

Mineraloško-petrografski sastav	Separacija teškim tekućinama		Magnetska separacija			
	Teška frakcija	Laka frakcija	Magnetska frakcija (0,4 A)	Magnetska frakcija (0,8 A)	Magnetska frakcija (1,2 A)	Nemagnetska frakcija
Karbonati	+ + +	+ + +				+ + +
Pješčenjaci	+ +	+ +	+ + +	+ + +	+ + +	+ +
Siltiti	+ +	+ +	+ +	+ + +	+ + +	+ +
Efuzivi	+ +		+ + +	+ + +	+	+
Intruzivi		+	+ +	+ +		
Kvarc		+ +				+ +
Biotit				+	+	
Muskovit		+ +		+		
Klorit	+			+		
Kloritoid			+			
Amfibol				+ +		
Piroksen					+ +	
Feldspati		+				+
Turmalin			+			
Granat	+		+			
Cirkon	+					+
Korund (?)					+	
Magnetit				+		
Rožnjak		+				
Epidot	+			+	+	

U usporedbi s ostalim uzorcima ovaj uzorak sadrži znatno manji udio minerala u teškoj mineralnoj frakciji. Nalaze se zrna pješčenjaka, siltita i efuziva koja su više zaobljena i sferičnija, dok se karbonati i ostali minerali nalaze u različitim oblicima i različitog su sfericiteta. Silikatna zrna i Fe minerali su trošeni i prekriveni prevlakama trošenja i limonita (Slika 4-24a). Pojavljuju se rožnjaka (Slika 4-24b), spinela (korund(?)) (Slika 4-24c) i

cirkona. Udio ostalih silikatnih mineralnih zrna (Slika 4–24d) se povećava u odnosu na prethodno opisane uzorke.



Slika 4–24. Mikrofotografije mineraloško-petrografski sastav uzorka 9454. Dužina mjerila za mikrofotografije je 0,2 mm. (a) Magnetska frakcija 0,8 A; (b) laka frakcija; (c) i (d) magnetska frakcija 1,2 A. Kratice: Rž – rožnjak, Pl – plagioklas, Ef – efuziv, Spn – spinel, Px – piroksen.

4.5. Uzorak 9455 – Ikea

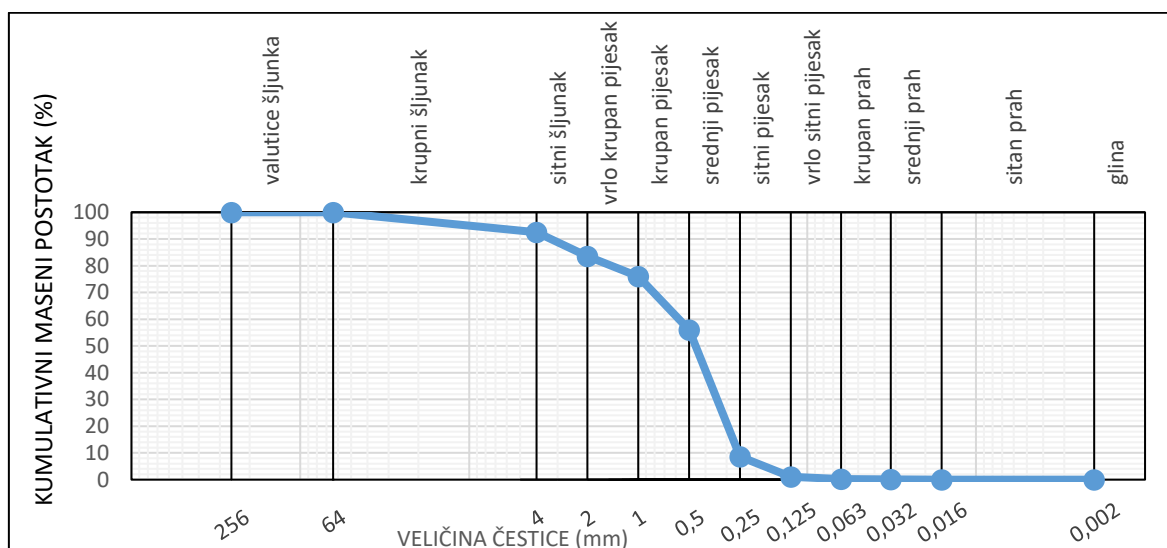
Četvrtanjem uzorka je izdvojena masa uzorka od 125,7 g uzorka koji se prosijavao kroz set sita kako bi se dobio granulometrijski sastav uzorka (**Slika 4–25**). U **tablici 4-14** su prikazani rezultati granulometrijske analize sijanjem uzorka na temelju kojih je konstruirana kumulativna granulometrijska krivulja (**Slika 4–26**), krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna (**Slika 4–27**) i histogram (**Slika 4–28**). U **Tablici 4-15** su prikazani parametri koji su izračunati i očitani s kumulativne granulometrijske krivulje. Na **slici 4–29** je prikazana krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna dobivena mjerenjem laserskim granulometrom. Početna masa uzorka je iznosila 125,7 g, dok zbroj svih masa ostataka na situ iznosi 125,6 g, što daje razliku od 0,001% u masama. Pomoću stereoskopske lupe je određen mineraloško-petrografski sastav uzorka koji je prikazan u **tablici 4-16**.



Slika 4–25. Uzorak 9455. Lijevo u laboratorijskoj čaši se nalazi količina uzorka koja je prosijavana kroz set sita, desno u zdjelici se nalazi količina uzorka izdvojena četvrtanjem koja se nije prosijavala.

Tablica 4-14. Rezultati granulometrijske analize sijaanjem uzorka 9455 laboratorijskim sitima.

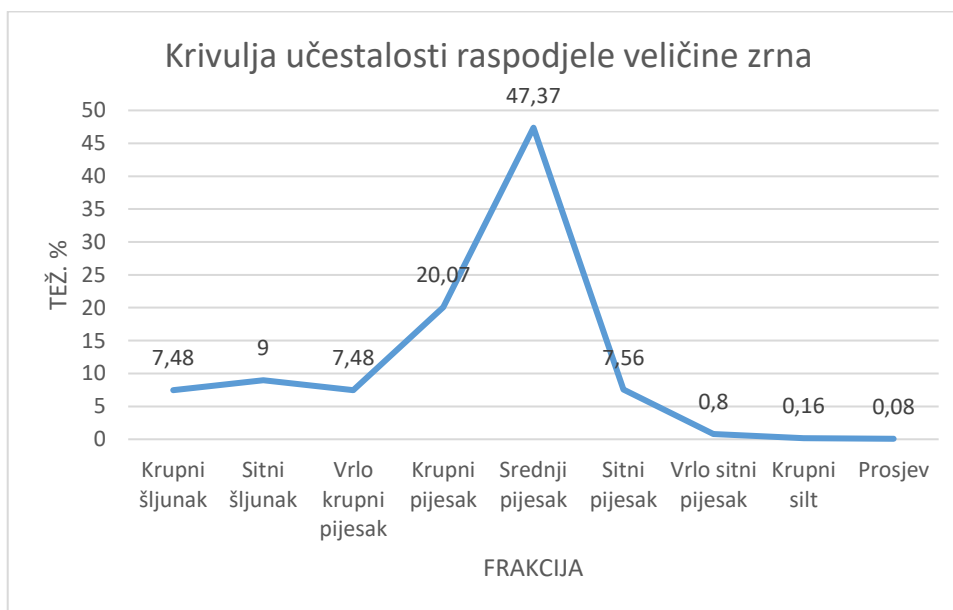
Promjer sita Ostatak na sita (g)	4	2	1	0,500	0,250	0,125	0,063	0,032	Prosjev
Ostatak na sita (g)	9,4	11,3	9,4	25,2	59,5	9,5	1,0	0,2	0,1
Prolaz kroz sito (g)	116,2	104,9	95,5	70,3	10,8	1,3	0,3	0,1	–
Prolaz kroz sito (%)	92,52	83,52	76,04	55,97	8,60	1,04	0,24	0,08	–



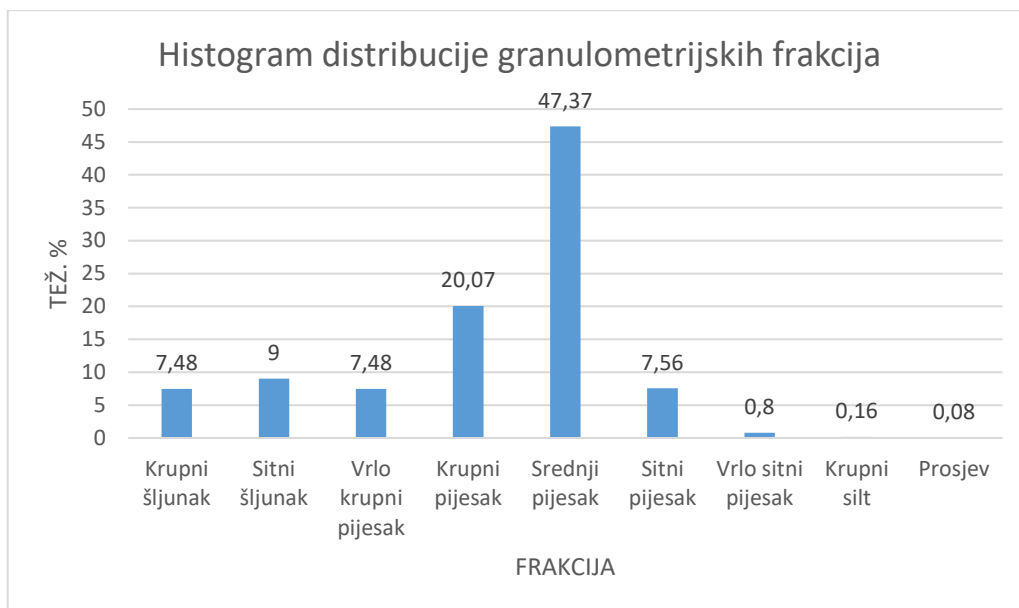
Slika 4-26. Kumulativna granulometrijska krivulja uzorka 9455.

Tablica 4-15. Parametri očitani i izračunati iz kumulativne granulometrijske krivulje (Slika 4-26) za uzorak 9455.

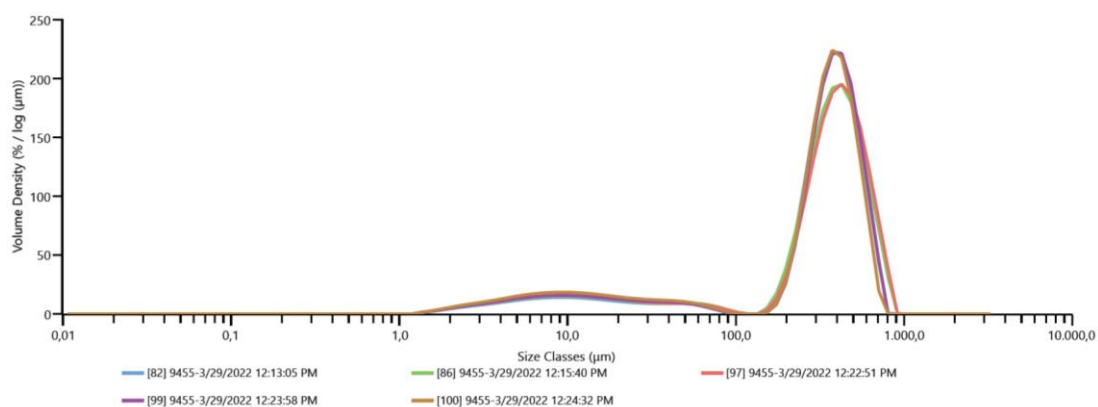
Parametar	Vrijednost
Φ_5	0,215 mm
Φ_{16}	0,26 mm
Md	0,425 mm
Φ_{84}	2,0 mm
Φ_{95}	4,5 mm
Mod	0,5 – 0,25 mm
M	0,895
So	1,084 (<0,71 , 2>)
Sk	0,856 (<1)



Slika 4-27. Krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna za uzorak 9455.



Slika 4–28. Histogram distribucije granulometrijskih frakcija za uzorak 9455.

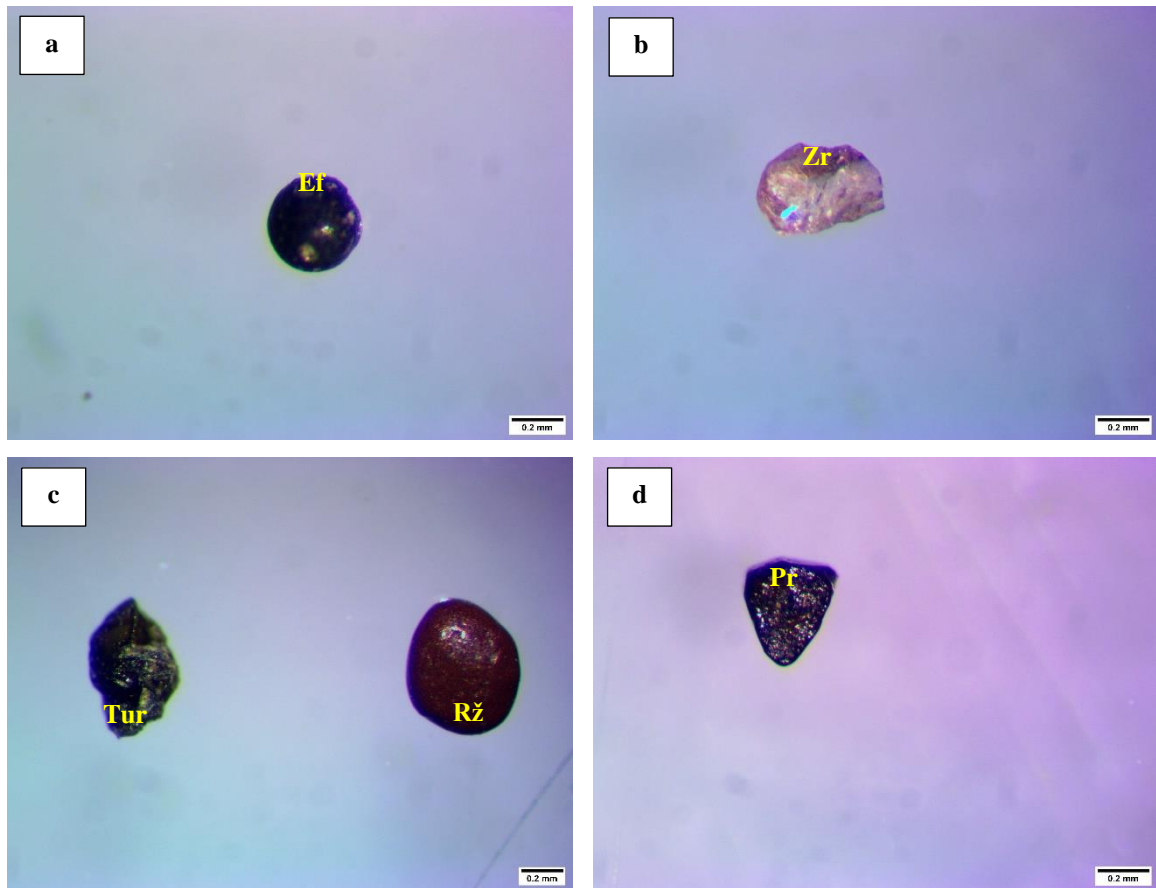


Slika 4–29. Krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna za uzorak 9455 dobiven laserskom granulometrijom.

Tablica 4-16. Mineraloško-petrografski sastav uzorka 9455. Tumač: dominantni (+ + +), podređeni (+ +) i u tragovima (+).

Mineraloško-petrografski sastav	Separacija teškim tekućinama		Magnetska separacija			
	Teška frakcija	Laka frakcija	Magnetska frakcija (0,4 A)	Magnetska frakcija (0,8 A)	Magnetska frakcija (1,2 A)	Nemagnetska frakcija
Karbonati	++	+++				+++
Pješčenjaci	+++	++	++	+++	+++	++
Siliti	+++	++	++	+++	+++	++
Efuzivi	+++	+	+++	++	++	
Intruzivi				++		
Metamorfiti	++			++		
Kvarc		++				+++
Muskovit		++			+	
Klorit	+			++		
Amfibol	+			++	+	
Turmalin					+	
Feldspati		++				
Granat			+			
Magnetit				+		
Cirkon	++		+			+
Pirit	+					
Rožnjak	+				++	

Udio silikatnih minerala i fragmenata stijena se povećava u odnosu na karbonate. Zrna su više zaobljenija i višeg stupnja sferičnosti (**Slika 4-30a**). Nadalje, povećava se zastupljenost i drugih silikatnih minerala i minerala oksida u uzorku (**Slike 4-30b i 4-30c**). U teškoj mineralnoj frakciji je nađeno zrno pirita (**Slika 4-30d**).



Slika 4–30. Mikrofotografije uzoraka 9455. Mjerilo na mikrofotografijama iznosi 0,2 mm. (a) Magnetska frakcija 0,4 A; (b) i (d) teška frakcija; (c) Magnetska frakcija 1,2 A. Kratice: Ef – efuziv, Zr – cirkon, Tur – turmalin, Rž – rožnjak, Pr – pirit.

4.6. Uzorak 9493 – Sisak

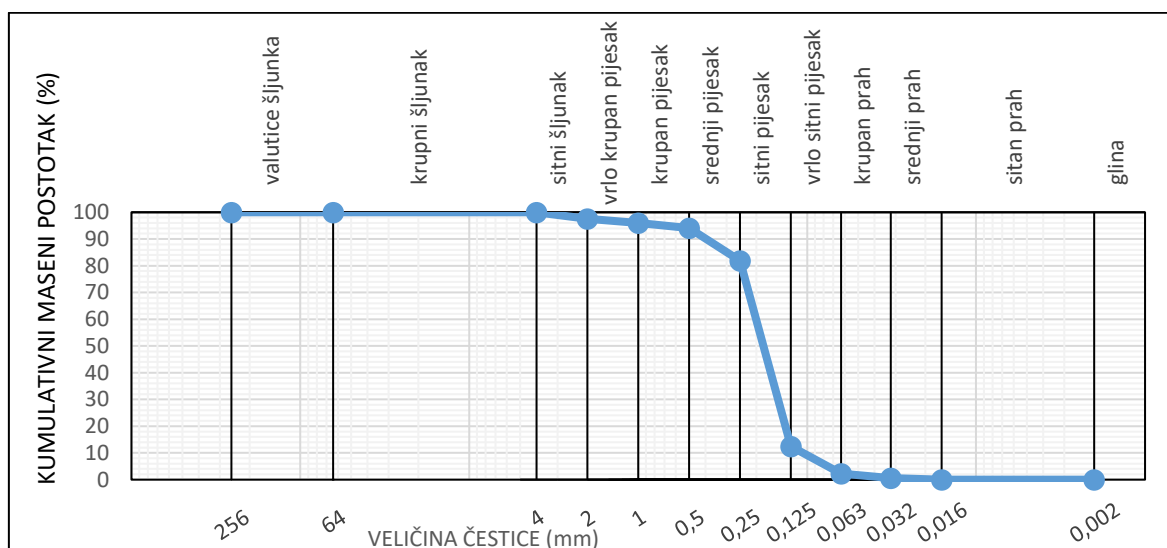
Početna masa uzorka koja je izdvojena četvrtanjem uzorka za granulometrijsku analizu sijanjem kroz set sita iznosi 111,0 g (**Slika 4–31**). U **tablici 4-17** su prikazani rezultati granulometrijske analize sijanjem uzorka laboratorijskim sitima na osnovi kojih je konstruirana kumulativna granulometrijska krivulja (**Slika 4–32**), krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna (**Slika 4–33**), te histogram (**Slika 4–34**). **Tablica 4-18** prikazuje sve parametre koji su izračunati i očitani iz kumulativne granulometrijske krivulje. Na **slici 4–35** je prikazana krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna dobivena mjerenjem laserskim granulometrom. Početna masa uzorka je iznosila 111,0 g, dok zbroj svih masa ostataka na situ iznosi 109,8 g, što daje razliku od 0,012%. **Tablica 4-19** sumarno prikazuje mineraloško-petrografski sastav uzorka definiran stereoskopskom lupom.



Slika 4–31. *Uzorak 9493. U laboratorijskoj čaši se nalazi količina uzorka izdvojena četvrtanjem za sijanje kroz set sita.*

Tablica 4-17. Rezultati granulometrijske analize sijaanjem uzorka 9493 laboratorijskim sitima.

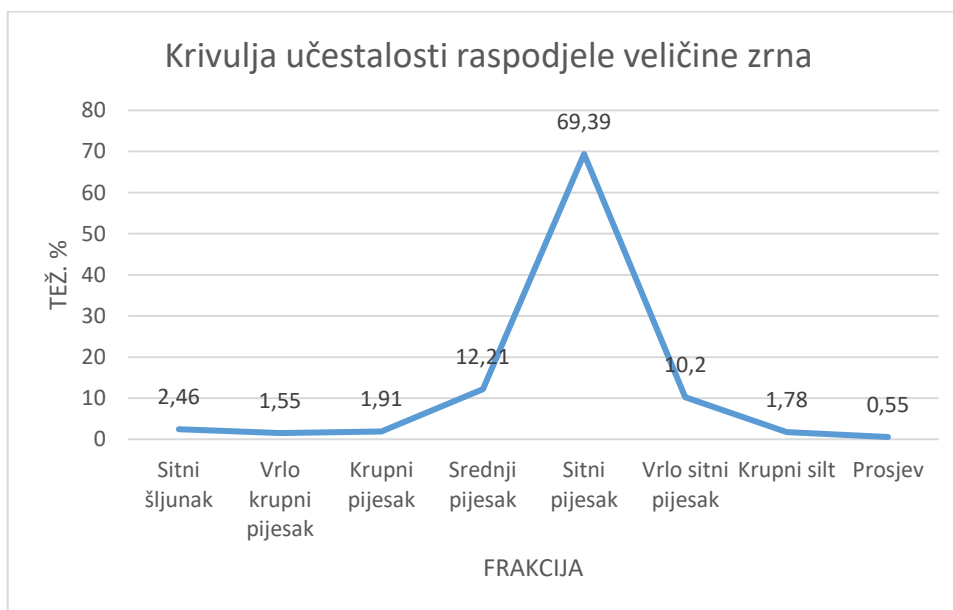
Promjer sita Ostatak na sita (g)	4	2	1	0,500	0,250	0,125	0,063	0,032	Prosjev
Ostatak na sita (g)	–	2,7	1,7	2,1	13,3	76,3	11,2	1,9	0,6
Prolaz kroz sito (g)	109,8	107,1	105,4	103,3	90,0	13,7	2,5	0,6	–
Prolaz kroz sito (%)	100	97,54	95,99	94,08	81,87	12,48	2,28	0,55	–



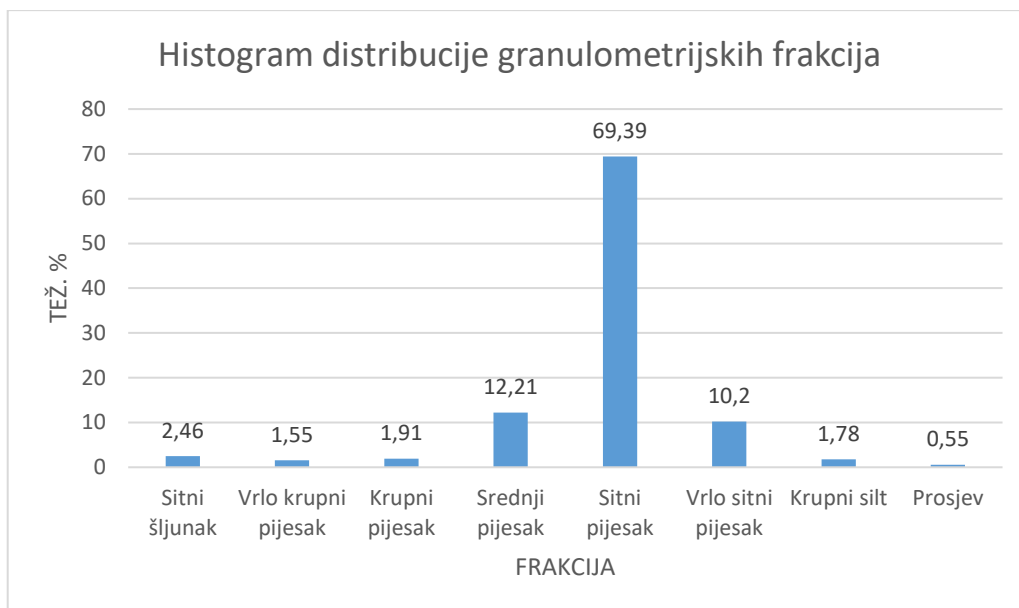
Slika 4-32. Kumulativna granulometrijska krivulja za uzorak 9493.

Tablica 4-18. Parametri očitani i izračunati iz kumulativne granulometrijske krivulje (Slika 4-32) za uzorak 9493.

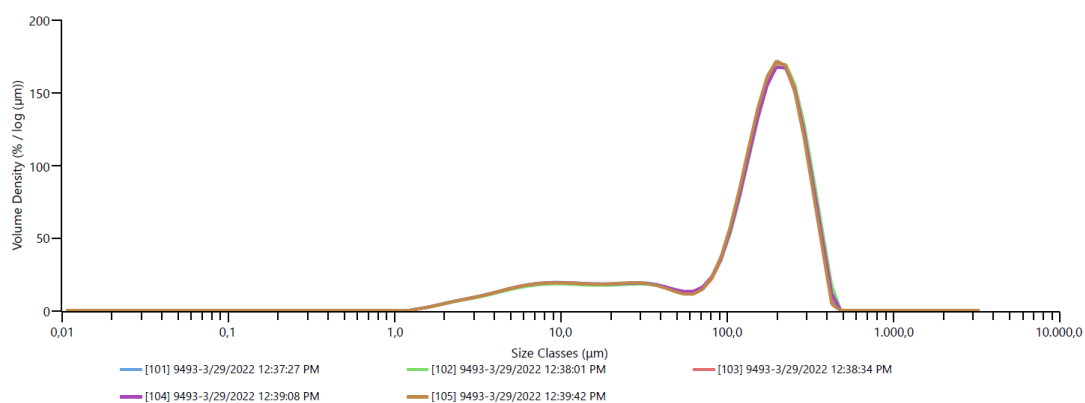
Parametar	Vrijednost
Φ_5	0,094 mm
Φ_{16}	0,128 mm
Md	0,18125 mm
Φ_{84}	0,265 mm
Φ_{95}	0,615 mm
Mod	0,25 – 0,125 mm
M	0,191 mm
So	0,113 (<0,35)
Sk	0,44 (<1)



Slika 4-33. Krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna za uzorak 9493.



Slika 4–34. Histogram distribucije granulometrijskih frakcija za uzorak 9493.

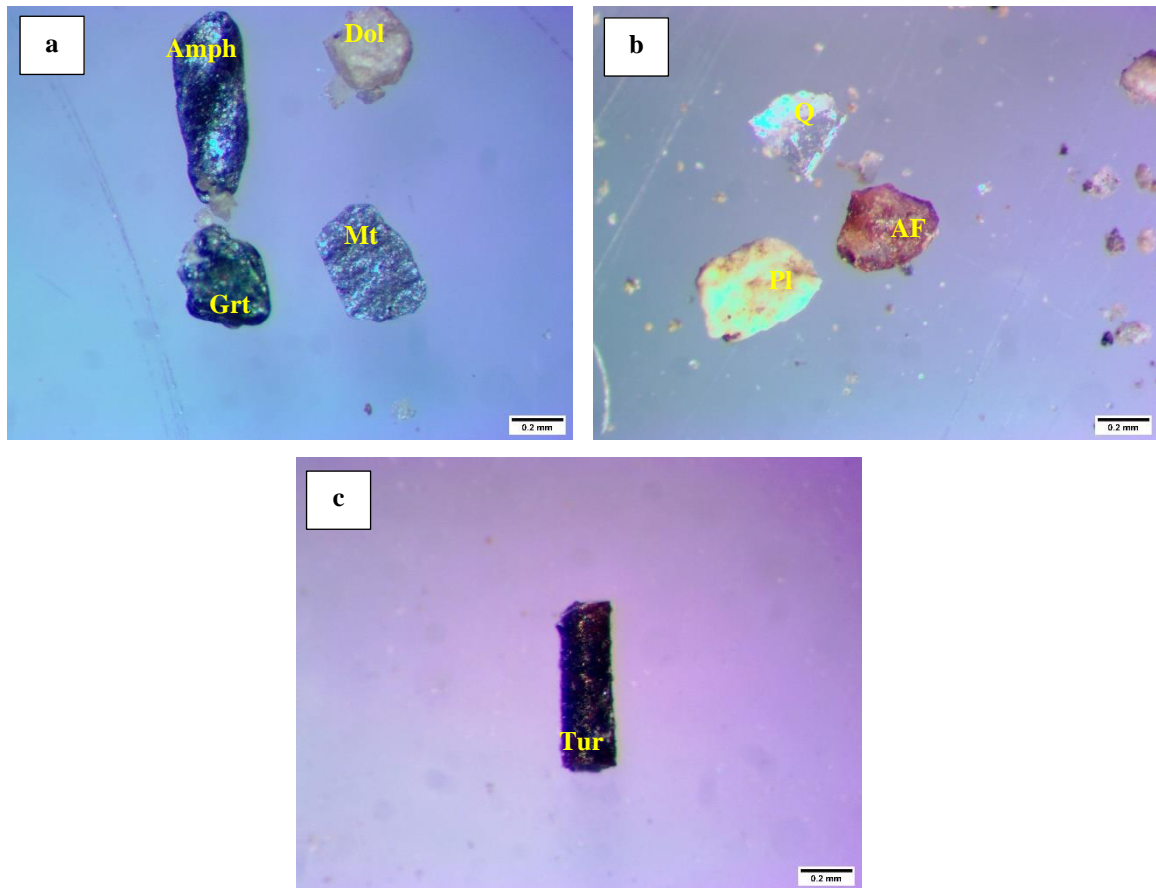


Slika 4–35. Krivulja učestalosti raspodjele veličine zrna za uzorak 9493 dobivena laserskom granulometrijom.

Tablica 4-19. Mineraloško-petrografski sastav uzorka 9493. Tumač: dominantno (+++), podređeno (++) i u tragovima (+).

Mineraloško-petrografski sastav	Separacija teškim tekućinama		Magnetska separacija			
	Teška frakcija	Laka frakcija	Magnetska frakcija (0,4 A)	Magnetska frakcija (0,8 A)	Magnetska frakcija (1,2 A)	Nemagnetska frakcija
Karbonati		+				+
Pješčenjaci	+++	++	+++	++	+++	+++
Siliti	+++	++	+++	+++	+++	++
Efuzivi	++		+++	+	++	
Metamorfiti	++		++	+		
Kvarc		+++			+	+++
Muskovit		+			++	+
Biotit		+		++		
Feldspati		++				++
Epidot				++		
Olivin				+		
Turmalin	+	+			+	
Granat			++			
Kloritoid	+		+			
Amfibol	++					
Klorit	+			++		

Kod nemagnetske i lake frakcije sva zrna su prekriveni prevlakama silta i gline. Sadržaj karbonata se znatno smanjio, pri čemu je dominantan dolomit dok se kalcit sporadično nalazi u uzorku. Fragmenti efuziva i siliciklasta su dobro zaobljeni i imaju visok sfericitet, a druga mineralna zrna su različitih oblika i stupnja sferičnosti (**Slike 4-35a i 4-35b**). Udio ostalih silikatnih minerala se nalaze kao podređena zrna do zrna u tagovima (**Slika 4-35c**).

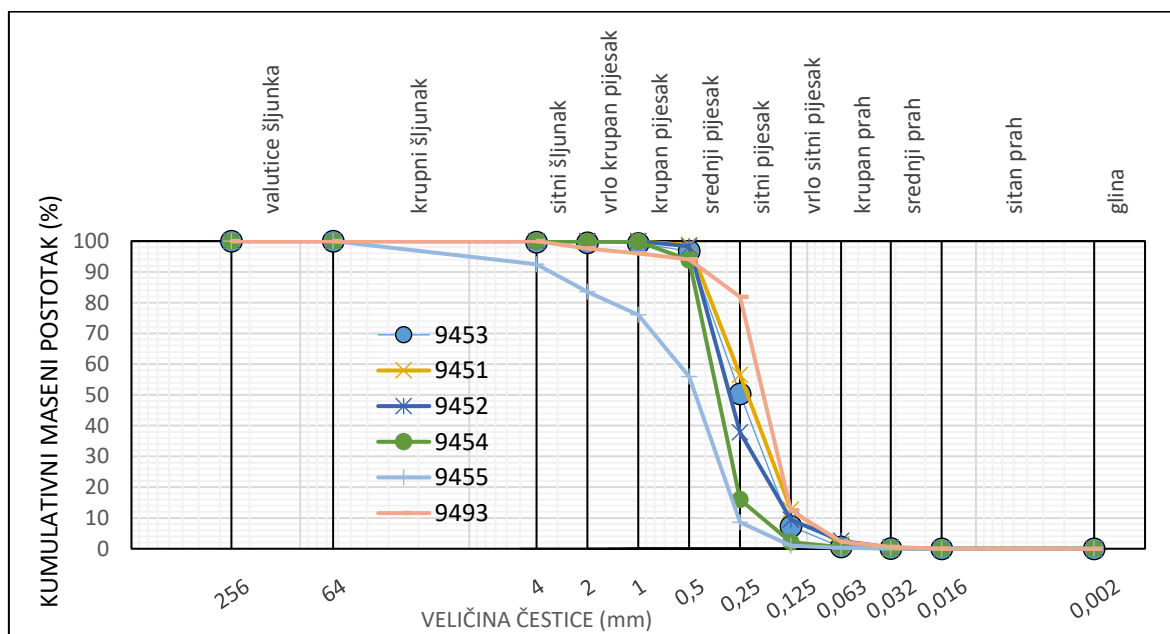


Slika 4–36. Mikrofotografije uzorka 9493. Mjerilo na mikrofotografijama iznosi 0,2 mm. (a) Teška frakcija; (b) laka frakcija; (c) magnetska frakcija 1,2 A. Kratice: Amph – amfibol, Dol – dolomit, Grt – granat, Mt – metamorfit, Q – kvarc, AF – K-feldspat, Pl- plagioklas, Tur – turmalin.

5. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

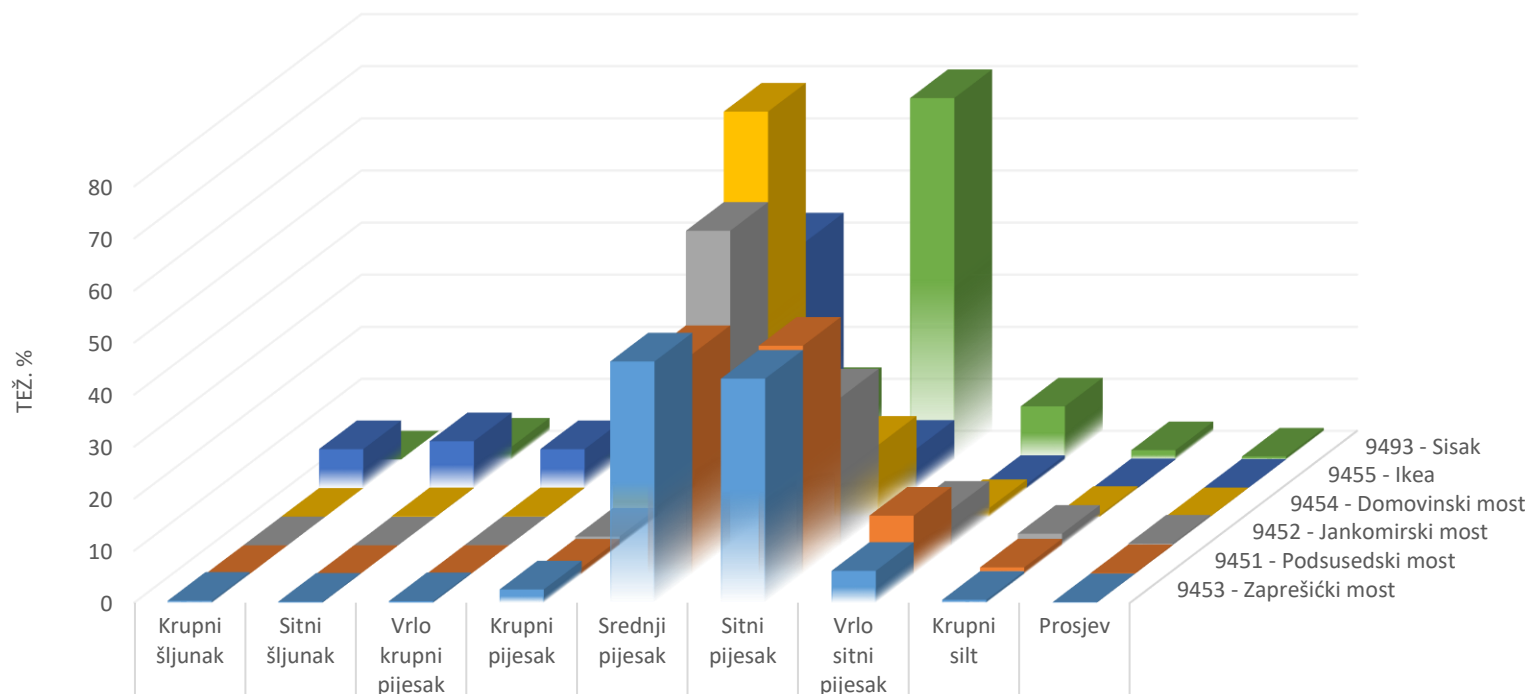
Ukupno je analizirano šest uzoraka pijesaka koji su uzorkovani uz rijeku Savu na sljedećim lokacijama: Zaprešićki most (9453), Podsusedski most (9451), Jankomirski most (9452), Domovinski most (9454), Ikea (9455) i Sisak (9493). U laboratoriju su rađene sljedeće analize: granulometrijska analiza suhim sijanjem, granulometrijska analiza laserskim granulometrom, separacija na magnetsku i nemagnetsku mineralnu frakciju Frantzovim izodinamskim separatorom i separacija na tešku i laku mineralnu frakciju pomoću tekućina velike gustoće (natrijev volframat). Pomoću binokularne stereoskopske lupe je promatran mineraloško-petrografski sastav i morfometrijske karakteristike pijesaka.

Razlike u granulometrijskom sastavu analiziranih uzoraka su vidljive na zajedničkom grafu s kumulativnim granulometrijskim krivuljama (**Slika 5–1**) i na složenom histogramu distribucije granulometrijskih frakcija (**Slika 5–2**).



Slika 5–1 Kumulativne granulometrijske krivulje za sve analizirane uzorke.

HISTOGRAMI DISTRIBUCIJE GRANULOMETRIJSKIH FRAKCIJA



	Krupni šljunak	Sitni šljunak	Vrlo krupni pijesak	Krupni pijesak	Srednji pijesak	Sitni pijesak	Vrlo sitni pijesak	Krupni silt	Prosjev
9453 - Zaprešički most	0,35	0,17	0,26	2,52	46,35	43,05	6,09	0,52	0,09
9451 - Podsusedski most	0	0	0,03	1,21	42,27	43,88	11,21	1,25	0,15
9452 - Jankomirski most	0	0	0,04	1,68	60,44	28,44	6,84	2,23	0,33
9454 - Domovinski most	0	0,09	0,09	6,04	77,8	13,85	1,66	0,35	0,09
9455 - Ikea	7,48	9	7,48	20,07	47,37	7,56	0,8	0,16	0,08
9493 - Sisak	0	2,46	1,55	1,91	12,21	69,39	10,2	1,78	0,55

Slika 5–2 Histogrami distribucije granulometrijskih frakcija za sve analizirane uzorke.

Na temelju rezultata granulometrijske analize suhim sijanjem laboratorijskim sitima vidljivo je da dva uzorka s najzapadnijih lokaliteta (9453 i 9451) sadrže podjednake težinske udjele sitnoga i srednjeg pijeska. Srednjeg i sitnog pijeska ima ukopno 89,4 tež. % za 9453 i 86,15 tež. % za uzorak 9451, vrlo sitnog pijeska ima 6,09 tež. % za uzorak 9453, odnosno 11,21 tež. % za uzorak 9451. Udio ostalih frakcija u uzorcima 9453 i 9451 je manji od 2 tež. %. Na temelju rezultata granulometrijske analize ovi uzorci su bimodalnog granulometrijskog sastava.

Idući nizvodno uz Savu prema jugoistoku, granulometrijska analiza pokazuje da su na tim lokalitetima zastupljene nešto krupnije frakcije pijeska u uzorcima 9452, 9454 i 9455. U tim uzorcima dominira srednji pijesak koji u težinskim udjelima iznosi 60,44 tež. %, 77,8 tež. %, odnosno 47,37 tež. % za uzorka 9455.

Za uzroke 9452 i 9454 prevladavaju čestice sitnije od srednjeg pijeska, dok čestica krupnijih od srednjeg pijeska ima manje. S druge strane u slučaju uzorka 9455, prevladavaju krupnije čestice od srednjeg pijeska, dok čestica sitnijih od srednjeg pijeska ima značajnije manje. Što je vjerojatno uzorkovano pogreškom kod uzorkovanja, jer se nisu mogle izbjeći krupnije valutice šljunka prilikom uzorkovanja. To je vidljivo i iz koeficijenta sortiranosti (S_o) čija vrijednost uzorak 9455 definira kao slabo sortirani pijesak ($0,71 < S_o > 2$), dok drugi uzorci imaju vrlo dobru sortiranost ($S_o < 0,35$). Granulometrijski sastav uzoraka 9452 i 9454 se može definirati kao unimodalni, dok je uzorak 9455 više polimodalnog granulometrijskog sastava.

Na posljednjoj lokaciji uzorkovanja u Sisku dominantna frakcija je sitni pijesak i iznosi 69,39 tež. %. Histogram je simetričnoga oblika, gdje čestica koje su krupnije i sitnije od sitnog pijeska ima podjednako, s obzirom na granulometrijski sastav ovaj uzorak je unimodalnog granulometrijskog sastava.

Rezultati mjerenja laserskim granulometrom Mastersizer 3000 su prikazani u obliku krivulje učestalosti raspodjele i to u volumnim postocima, za razliku od analize suhim sijanjem gdje se rezultati prikazuju težinskim postocima. Krivulja učestalosti raspodjele dobivena laserskim granulometrom se podudara s rezultatima granulometrijske analize suhim sijanjem laboratorijskim sitima. Laserski granulometar daje bolje podatke veličine čestica silta i gline što se nije moglo odrediti suhim sijanjem laboratorijskim sitima. Na krivulji je vidljivo područje maksimuma na području oko srednjega i sitnog pijeska (125 – 500 μm) i još jedno područje s manjim maksimumima oko 4 – 16 μm . Razlog zašto se pojavio manji maksimum na području oko sitnog silta i gline je zato što laserski granulometar preciznije mjeri dimenzije sitnijih čestica. Osim toga uzrok bi mogao biti i u

samom postupku tretiranja uzorka i mjerenja, jer su uzorci prije mjerenja bili umočeni u destiliranoj vodi i disperzirani ultrazvukom pri čemu je došlo do odvajanja sitnih čestica silta i gline od krupnijih čestica što se nije moglo u potpunosti učiniti prilikom suhog sijanja.

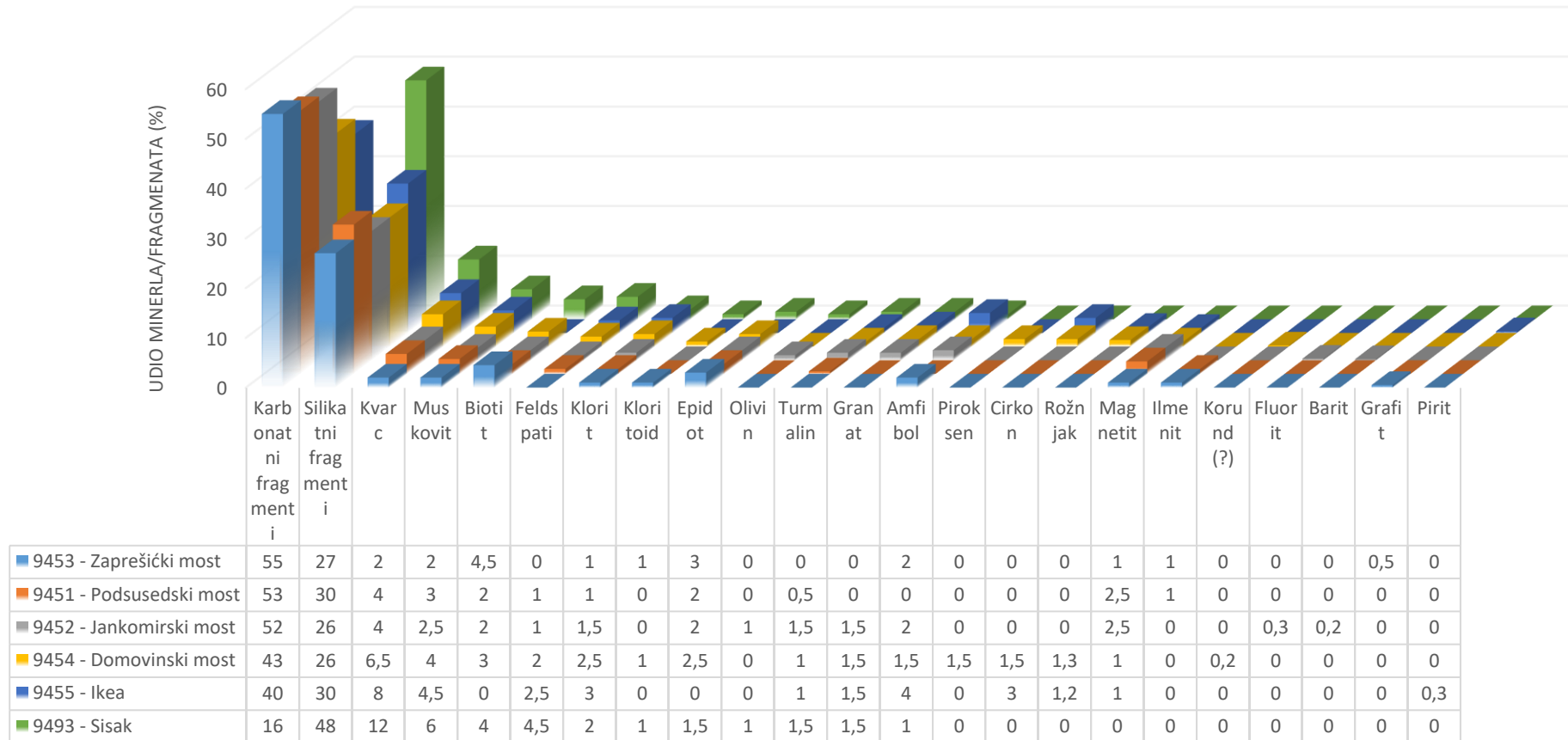
Mineraloško-petrografski sastav uzoraka je relativno sličan, međutim dolazi do promjene u udjelima i odnosima između silikatnih i karbonatnih minerala (**Slika 5-3** i **Tablica 5-1**). U uzorcima 9453 i 9451 dominantno se pojavljuju fragmenti karbonata, nadalje po zastupljenosti se nalaze fragmenti pješčenjaka, siltita, magmatskih i metamorfnih stijena. Uzorci sadrže malo, odnosno u tragovima silikatne minerale i ostale minerale oksida, metala i nemetala, osim biotita i magnetita koji su podređeno zastupljen. Čestice karbonata su sferičnog do diskoidalnog oblika i dobro su zaobljene, što ukazuje na udaljene izvore za dolomit i dio kalcita, te njihov dulji transport rijekom. Moguća su i bliža lokalna izvorišna područja odakle je dospio kalcit erodiranjem i transportom, s obzirom da je kalcit relativno male tvrdoće (Tv. 3 prema Mohsovoj skali tvrdoće) i lakše se troši, pa je brzo formirao sferične forme zrna za vrijeme kratkotrajnog transporta. Fragmenti siliciklastičnih, magmatitskih stijena i ostalih minerala su različitog oblika što ukazuje na to da materijal dolazi iz različitih izvorišnih područja, te je transportiran na kratke udaljenosti.

Nizvodno kod uzoraka 9452 i 9454 i dalje prevladavaju fragmenti karbonata, dok se udio fragmenata, pješčenjaka, siltita i magmatskih stijena nešto viši nego kod prethodna dva uzorka. Udio ostalih silikatnih minerala i nemetala i metala su podređeno zastupljeni ili u tragovima, uzorak 9454 sadrži više kvarca. Dobra sferičnost i zaobljenost karbonata (dolomit) ukazuje da su transportirani na velikoj udaljenosti rijekom s udaljenijih izvora. Siliciklasti, kristalinske stijene i ostali minerali su različitih sfericiteta i zaobljenosti što upućuje na različita izvorišna područja i vrijeme transporta.

Za uzorak 9455 dominantno su zastupljeni fragmenti pješčenjaka i siltita, dok se karbonati nalaze u manjim udjelima. Kristalinske stijene su zastupljene podređeno do dominantno u uzorku. Sadrži visok udio silikatnih i drugih minerala koji su podređeno zastupljeni u odnosu na ostale do sada opisane uzorke pijeska. Zaobljenost fragmenata stijena i ostalih minerala je viši, dok je sferičnost još niska što upućuje na nešto dulji transport čestica rijekom s nešto udaljenijih izvorišnih područja.

Sadržaj karbonata u uzorku 9493 koji se ovdje pronalazi samo u tragovima je najniži, dok s druge strane prevladavaju zrna fragmentiranih silikatnih stijena i minerala. Svi fragmenti stijena i minerala su različitog sfericiteta i zaobljenosti zrna, što ukazuje da je dio dugo transportiran rijekom Savom iz udaljenijih izvorišta, dok je dio čestica vjerojatno dospio pritokom Kupe i ostalih manjih rijeka nizvodno od Zagreba.

HISTOGRAMI MINERALOŠKO-PETROGRAFSKOG SASTAVA



Slika 5–3 Histogrami mineraloško-petrografskog sastava za sve analizirane uzorke.

Determinirani mineraloško-petrografski sastav na analiziranim uzorcima se može uspoređivati s mineraloško-petrografskim sastavom uzoraka koji su opisali **Crnković i Bušić (1970)**. Prema istim autorima na području Krškoga Polja, Zaprešića i Rakitja dominira karbonatna komponenta. To je i razumno s obzirom na petrografski sastav slivnog područja Save uzvodno od Krškoga Polja, jer je to područje izgrađeno od trijaskih dolomita i vapnenaca. Nizvodno dolazi do smanjenja karbonatne komponente na račun povećanja kvarca i kvarcnih klastičnih fragmenata u području Novog Čiča i Jaruna. U sedimentima tih lokaliteta zapaža se utjecaj petrografskog sastava Medvednice, koja je, između ostalog, izgrađena i od zelenog škriljavca, čiji je utjecaj posebno upečatljiv. Sediment kod Dugog Sela je još siromašniji karbonatnim sastojcima, prvenstveno dolomitom, da bi količina vapnenaca pala na minimum, a dolomit sasvim povukao i izgubio na lokalitetu Slavonski Šamac. Međutim kod Slavenskog Šamca se povećava sadržaj kvarca, kvarcnih klastičnih sedimenata i silikatnih stjenovitih i mineralnih sastojaka. Dodatno, sediment u blizini Slavenskog Šamca je obogaćen kalcedonskim rožnjakom, serpentinom, te magmatskim i metamorfnim fragmentima. Povećanje sadržaja kalcedonskog rožnjaka je objašnjeno transportom te komponente rijekom Kupom i ostalim južnim pritocima rijeke Save nizvodno od Siska.

Matovinović (2015) i **Barudžija i dr. (2020)** su dali detaljan opis morfometrijskih i petroloških karakteristike valutica rijeke Save u Zagrebačkoj županiji. Prema istim autorima najzastupljeniji litotipovi valutica su vapnenci, stoga su svi analizirani uzorci po sastavu definirani kao dominantno karbonatni šljunci. Dalje po zastupljenosti se nalaze breče, dolomiti, efuzivi, konglomerati, kvarc, pješčenjaci, rožnjaci, tufovi, lapori i šejlovi. Njihova distribucija uglavnom ukazuje na daleku Alpsku provenijenciju za karbonatne valutice i lokalni donos za pješčenjake i ostalih litotipova u sastavu detritusa bočno od Samoborske gore i Medvednice. Po morfologiji, karbonati su diskoidalnog i sferičnog oblika što ukazuje na udaljene izvore, dok su pješčenjaci i ostali litotipovi raznolikih oblika što ukazuje na različite izvore materijala. Smatra se da je izvorni sedimentni okoliš za glavne litotipove jezerske plaže, a zatim su mogući i morenski i riječni okoliši.

Tablica 5-1. Sumarni prikaz mineraloško-petrografskog sastava za sve uzorke. Tumač: dominantno (+++), podređeno (++) i u tragovima (+).

Uzorak	Separirana frakcija	Mineraloško-petrografski sastav																										
		Karbonati	Pješčenjaci	Siltiti	Efuzivi	Intruzivi	Metamorfiti	Kvarc	Muskovit	Biotit	Feldspati	Klorit	Kloritoid	Epidot	Olivin	Turmalin	Granat	Amfibol	Piroksen	Čirkon	Rožnjak	Magnetit	Ilmenit	Korund (?)	Fluorit	Barit	Grafit	Pirit
9453 - Zaprešićki most	Teška	+++	++	++	+	+			++		+																	
	Laka	+++	++	++				+	+				+					+										
	Magnetska (0,4 A)		+++	+++	++	++						+											+					
	Magnetska (0,8 A)		+++	+++		+				++				++					+				+					
	Magnetska (1,2 A)		+++	+++																								
	Nemagnetska	+++	+	+	+				++																		+	
9451 - Podsusedski most	Teška	+++	++	++	++						+		+									+						
	Laka	+++	++	++		+		+	+	+												+	+					
	Magnetska (0,4 A)		+++	+++	++																	+	+					
	Magnetska (0,8 A)		+++	+++	+++	++				+			+		+													
	Magnetska (1,2 A)		++	+++	+	+			+	+																		
	Nemagnetska	+++	+	+	+				++																			
9452 - Jankomirski most	Teška	+++	++	+	+					+			+			+										+		
	Laka	+++	++	++	++		++	+	+																			
	Magnetska (0,4 A)		+++	+++	+++		++									+						++						
	Magnetska (0,8 A)		+++	+++	+++					+		+		+	+		++					+						
	Magnetska (1,2 A)		+++	+++											+		+											
	Nemagnetska	+++	++	+	+		+	++	++		+														+			
9454 - Domnovinski most	Teška	+++	++	++	++						+		+			+			+									
	Laka	+++	++	++		+		++	++												+							
	Magnetska (0,4 A)		+++	++	+++	++						+			+	+												
	Magnetska (0,8 A)		+++	+++	+++	++				+	+		+				++					+						
	Magnetska (1,2 A)		+++	+++	+					+			+						++					+				
	Nemagnetska	+++	++	++	+			++			+									+								
9455 - Ikea	Teška	++	+++	+++	+++		++				+						+		++	+							+	
	Laka	+++	++	++	+			++	++		++																	
	Magnetska (0,4 A)		++	++	+++											+			+									
	Magnetska (0,8 A)		+++	+++	++	++	++				++						++					+						
	Magnetska (1,2 A)		+++	+++	++				+						+		+				++							
	Nemagnetska	+++	++	++				+++												+								
9493 - Sisak	Teška	+	+++	+++	++		++				+	+			+		++											
	Laka		++	++				+++	+	+	++				+													
	Magnetska (0,4 A)		+++	+++	+++		++					+				++												
	Magnetska (0,8 A)		++	+++	+		+			++		++		+														
	Magnetska (1,2 A)		+++	+++	++			+	++						+													
	Nemagnetska	+	+++	++				+++	+		++																	

Na temelju mineraloško-petrografskog i granulometrijskog sastava uzorci 9453, 9451, 9452 i 9454 se mogu determinirati kao karbonatni pijesci. Uzorak 9455 je karbonatno-silikatni pijesak, a uzorak 9493 je silikatni pijesak. U **tablici 5-2** su prikazani granulometrijski sastava i generalni mineraloško-petrografski naziv za analizirane uzorke.

Tablica 5-2. *Granulometrijski sastav i mineraloško-petrografska klasifikacija analiziranih uzoraka.*

Uzorak	Granulometrijski sastav	Mineraloško-petrografski naziv
9453 – Zaprešićki most	Bimodalni granulometrijski sastav	Karbonatni pijesci
9451 – Podsusedski most	Bimodalni granulometrijski sastav	Karbonatni pijesci
9452 – Jankomirski most	Unimodalni granulometrijski sastav	Karbonatni pijesci
9454 – Domovinski most	Unimodalni granulometrijski sastav	Karbonatni pijesci
9455 – Ikea	Polimodalni granulometrijski sastav	Karbonatno-silikatni pijesci
9493 – Sisak	Unimodalni granulometrijski sastav	Silikatni pijesci

Karbonatna zrna koja su dobro zaobljena i visokog sfericiteta koja su najzastupljenija u uzorcima 9453 i 9451 su vjerojatno dospjeli iz udaljenih Alpskih provincija, te manjim dijelom iz bližih lokalnih izvorišnih područja. Nizvodno se promatra povećanje sadržaja silikata i silikatima bogatih klastičnih stijena u uzorcima 9452, 9454 i 9455, koji su vjerojatno dospjeli transportom erodiranih fragmenata stijena koje čine Medvednicu i Samoborsko gorje rijekom Savom i manjih pritoka rijeke Save. U uzorku 9493 dio silikatnih minerala i fragmenata je dospio transportom manjim rijekama, prije svega Kupe, koje utječu u Savu nizvodno od Zagreba.

6. LITERATURA

- ALJINOVIĆ, D., 2019. *Metode istraživanja sedimenata*. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Interna skripta, 80. str.
- BASCH, O., 1983a. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Ivanić-Grad L33–81. Geološki zavod, Zagreb; OOUR za geologiju i paleontologiju (1969–1976); Savezni geološki institut, Beograd (1981).
- BASCH, O., 1983b. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Ivanić-Grad L33–81. Geološki zavod, Zagreb (1980); Savezni geološki institut, Beograd, 66 str.
- BARUDŽIJA, U., VELIĆ, J., MALVIĆ, T., TRENC, N., MATOVINOVIĆ, N., 2020. Morphometric Characteristics, Shapes and Provenance of Holocene Pebbles from the Sava River Gravels (Zagreb, Croatia), *Geosciences* 2020, 10, 92, <https://doi.org/10.3390/geosciences10030092>.
- CRNKOVIĆ, B., BUŠIĆ, M., 1970. Mineraloško-petrografski sastav nanosa rijeke Save. *Zbornik radova RGN fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u povodu 30 g. rada (1939–1969)*, str. 133–140.
- MATOVINOVIĆ, N., 2015. Morfometrijske i petrološke značajke valutica rijeke Save u županiji Zagrebačkoj. *Diplomski rad*, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 65 str.
- PIKIJA, M., 1987a. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Sisak L33–93. Geološki zavod, Zagreb (1975–1986); Savezni geološki institut, Beograd.
- PIKIJA, M., 1987b. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Sisak L33–93. Geološki zavod, Zagreb (1986); Savezni geološki institut, Beograd, 55 str.
- SLOVENEK, D., 2011. *Opća mineralogija*. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 350. str.
- ŠIKIĆ, K., BASCH, O., ŠIMUNIĆ, A., 1978. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Zagreb L33–80. Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1972); Savezni geološki institut, Beograd (1977).
- ŠIKIĆ, K., BASCH, O., ŠIMUNIĆ, A., 1979. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Zagreb L33–80. Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1972); Savezni geološki institut, Beograd, 81 str.
- TIŠLJAR, J., 1994. *Sedimentne stijene*. Zagreb: Školska knjiga, 433 str.

Web izvori:

URL 1: <https://www.atascientific.com.au/principles-laser-diffraction/> (20. 5. 2022.)