

# Litološke, sedimentološke i kemijske karakteristike sedimenta utisnutog u vodonosnike uslijed pojave potresa

---

Lukačević, Tin

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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:217:165989>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-04**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki i biološki odsjek

Litološke, sedimentološke i kemijske karakteristike sedimenta  
utisnutog u vodonosnike uslijed pojave potresa  
Lithological, sedimentological and chemical characteristics of  
sediment pressed into aquifers due to earthquakes

Završni rad

Tin Lukačević  
Preddiplomski studij Znanosti o okolišu  
(Undergraduate Study of Environmental Science)

Zagreb, 2021.

Ovaj rad izrađen je na Geološko-paleontološkom zavodu Geološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu pod voditeljstvom doc. dr.sc. Kristine Pikelj i Laboratoriju za anorgansku geokemiju okoliša i kemoskinamiku nanočestica, Zavoda za istraživanje mora i okoliša na Institutu Ruđer Bošković pod vodstvom dr.sc. Nede Vdović.

# Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. RAZRADA TEME</b> .....	2
<b>2.1 Geološka osnova područja</b> .....	2
<b>2.2 Materijali i metode</b> .....	6
<b>2.2.1 Terenski rad</b> .....	6
<b>2.2.2 Laboratorijski rad</b> .....	6
2.2.2.1 Analiza veličine zrna .....	6
2.2.2.2 Fazna analiza .....	7
2.2.2.3 Multielementna analiza .....	7
2.2.2.4 Analiza udjela karbonata .....	7
2.2.2.5 Mikroskopiranje .....	8
<b>2.2.3 Statistička obrada podataka</b> .....	8
<b>2.3 Rezultati</b> .....	9
<b>2.3.1 Analiza veličine zrna</b> .....	9
<b>2.3.2 Fazna analiza</b> .....	10
<b>2.3.3 Multielementna analiza</b> .....	13
<b>2.3.4 Analiza udjela karbonata</b> .....	14
<b>2.3.5 Mikroskopiranje</b> .....	15
<b>2.4 Rasprava</b> .....	18
<b>3. ZAKLJUČAK</b> .....	21
<b>Literatura</b> .....	22
<b>Sažetak</b> .....	25
<b>Summary</b> .....	25
<b>Životopis</b> .....	26
<b>Dodatci</b> .....	27

# 1. UVOD

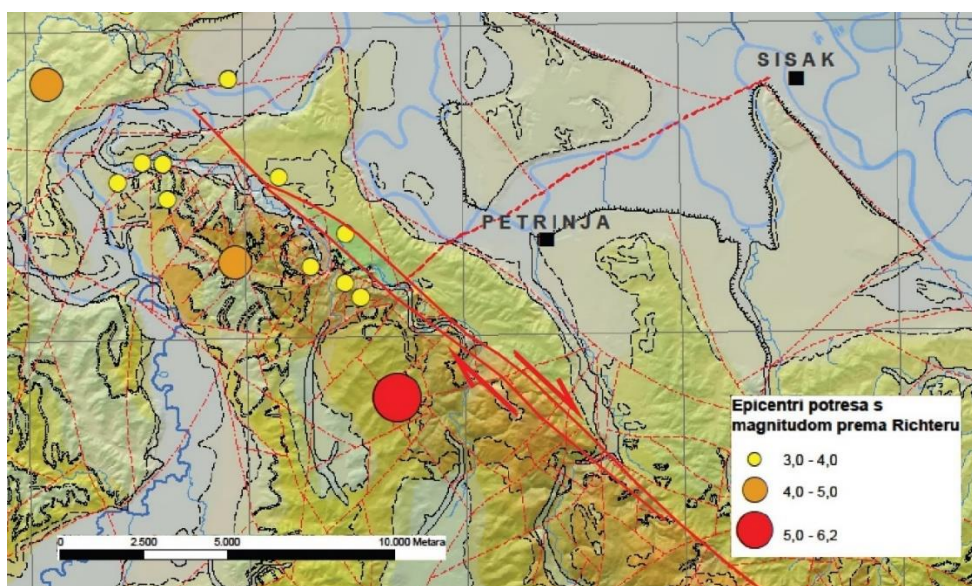
29.12.2020. godine u 12 sati i 19 minuta, razoran potres magnitude 6,2 prema Richteru pogodio je Petrinju i okolno područje (u nastavku petrinjski potres). Epicentar ovog potresa Seizmološka služba pri Geofizičkom odsjeku PMF-a u Zagrebu zabilježila je na području Hrastovačke gore, 5 km jugozapadno od Petrinje ( $45^{\circ}24'0''N$   $16^{\circ}13'7''E$ ) na dubini od 11,5 km (Seizmološka služba 2020). Podrhtavanja su se osjetila i u okolnim državama te su ih zabilježile mnoge svjetske institucije (EMSC, USGS...), a intenzitet u epicentru određen je na VIII-IX stupnjeva EMS ljestvice (USGS 2020, EMSC 2021, Ojeda 2021). Ovaj je potres doveo do pojave različitih sekundarnih pojava seizmičkih procesa, među kojima su najznačajniji pojava nekoliko vrsta klizišta (klizišta, bočno razmicanje i odronjavanje), likvefakcija te ubrzavanje procesa formiranja urušnih vrtača ili vrtača usijedanja (Arbanas i sur. 2021). U okviru ovog rada najveću pažnju privukao je proces likvefakcije, koja se pojavljuje pri potresima magnitude veće od M6 prema Richteru, a predstavlja nagli gubitak čvrstoće rahlih slojeva pijeska zasićenih vodom uslijed djelovanja seizmičkih valova izazvanih potresom (Arbanas i sur. 2021). Posljedice likvefakcije raznolike su, od slijeganja terena i formiranja klizišta do pojave bočnog razmicanja tla, a navedene pojave mogu biti iznimno štetne za građevine i infrastrukturu. Slijeganje terena uslijed likvefakcija nakon potresa oštećuje temelje građevina, izdiže i lomi ukopane instalacije, a može dovesti i do urušavanja na nestabilnim terenima (Markušić i sur. 2021). Također se pri likvefakciji na rasjednim pukotinama pojavljuju stošci sedimenta istisnutog iz dubljih slojeva, dok je tijekom petrinjskog potresa sediment izlazio na površinu i kroz mnogobrojne bunare na bližem području oko epicentra (Pollak i sur. 2021). Do pojave stožaca sedimenta i oštećenja dolazi jer sloj koji je izgubio čvrstoću u trenutku širenja potresnih valova ne može podržati površinske slojeve pa oni počinju tonuti, a istovremeno nevezani sediment izbija na površinu na mjestima najmanjeg otpora (Arbanas i sur. 2021). Ovo svojstvo likvefakcije omogućilo je direktno prikupljanje uzoraka i istraživanje svojstava podzemnih sedimenata bez potrebe za korištenjem složenijih alata, poput istražnog bušenja.

Cilj ovog rada utvrditi je kakve su opće karakteristike sedimenta savskog aluvija, koji je na površinu izašao nakon potresa kao njegova posljedica (sekundarna pojava potresa). Sediment je uzorkovan na području bunara u sklopu privatnih kuća na 4 lokaliteta u gradu Sisku i okolici (Nova Drenčina). Karakteristike sedimenta ispitane su klasičnim sedimentološkim metodama: analizom veličine zrna, analizom udjela karbonata, faznom analizom, pregledom uzoraka pod mikroskopom i određivanjem geokemijskog sastava sedimenta. Dodatni je cilj na temelju sastava sedimenta te postojećih podataka o površinskom sedimentu područja pokušati odrediti može li se izbačeni sediment koristiti kao pozadinska vrijednost u geokemijskim analizama pri procjeni antropogenog onečišćenja.

## 2. RAZRADA TEME

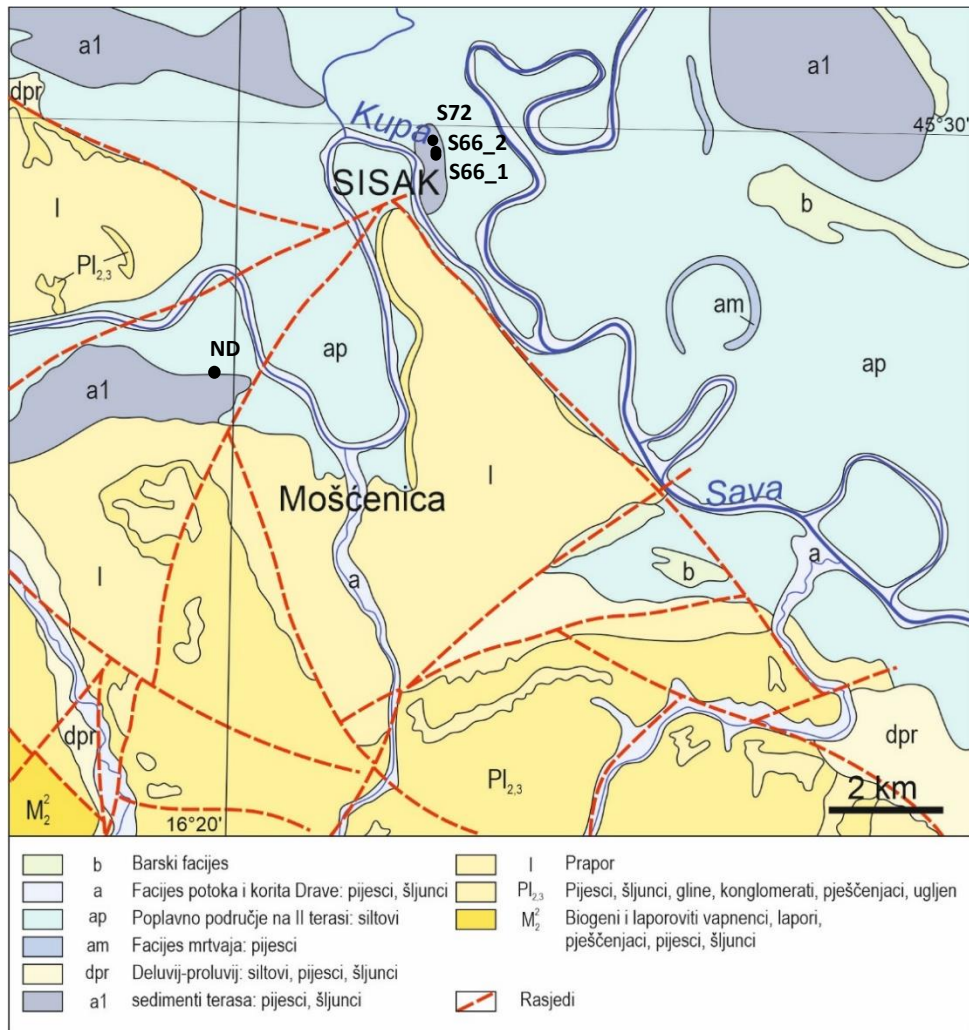
### 2.1 Geološka osnova područja

Hrvatska se nalazi na području Mediterana, tektonski vrlo aktivnog područja, pa su potresi uobičajena pojava. Kretanje Afričke tektonske ploče prema sjeveru i stabilnoj Euroazijskoj ploči uzrokuje kompresiju i translataciju Jadranske mikroploče, koja joj se pritom nalazi na putu, a taj se proces odvija tijekom posljednjih 160 milijuna godina. Velika naprezanja masa do kojih pritom dolazi dovela su do sudaranja Jadranske mikroploče i okolnih struktura s Euroazijskom pločom tijekom posljednjih 80-40 milijuna godina (Vukovski 2021). Osim planinskih lanaca koji pritom nastaju, na rubovima tih struktura nastaju tektonski kontakti koji predstavljaju geološki oslabljene zone podložne rasjedanju (Vukovski 2021). Sisak i okolno područje kao prostor istraživanja ovog rada geotektonski pripadaju Unutarnjim Dinaridima i poklapaju se s OGK 1:100 000 list Sisak (Pikija 1987a). Na ovom se području pojavljuju dva tipa rasjeda, poprečni do dijagonalni rasjedi iz razdoblja kvartara s generalnim pružanjem SI-JZ (mediteranski smjer) te uzdužni rasjedi pravca pružanja SZ-JI (dinarski smjer), za koje se navodi kako su pretežno recentno aktivni (Pikija 1987b). Pokupska rasjedna zona odgovara vrlo izraženim uzdužnim rasjedima iz pliocena (pružanje SZ-JI) i desnog je pomaka. S druge strane, Petrinjski rasjed predstavlja poprečni rasjed pružanja SI-JZ (Slika 1.). Nakon petrinjskog potresa na okolnom je području postavljen niz dodatnih i privremenih seizmografa te akcelerometara, čime je precizno određeno da je aktivirani dio Petrinjskog rasjeda (SZ-JI) subvertikalni desni rasjed s horizontalnim pomakom te da mu dubina doseže gotovo 20 km (Dasović i sur. 2020). Bočić (2021) u svojem radu analizom površinskih struktura i morfolineamenata objašnjava da tektonsku aktivnost Pokupske rasjedne zone uzrokuje izdizanje Hrastovačke gore tijekom neogena i kvartara.



**Slika 1.** Isječak geološke karte šireg epicentralnog područja petrinjskog potresa (29.12.2020., M6,2). Pokupski rasjed prikazan je punom crvenom linijom, petrinjski debljom crvenom iscrtanom linijom, a ostali rasjedi tanjom. Prilagođeno prema Vukovski (2021) i preuzeto s URL1.

Iz geološke perspektive, područje lista Sisak L33-93 OGK 1:100 000 moguće je podijeliti na nekoliko glavnih cjelina, karakterističnih po tektonskim svojstvima i režimu sedimentacije. Prvenstveno su to prostor Savske potoline i kredno-tercijarni pojas Unutrašnjih Dinarida, koji se dalje dijeli na strukturne jedinice Vukomeričkih gorica te oboda Petrove i Zrinske gore (Pikija 1987b). Najstarije stijene na ovom području predstavljaju paleozojski metamorfiti, pretežno škriljavci i eruptivi formirani tijekom hercinske orogeneze. Tijekom senona ovo je područje bilo sedimentacijski bazen koji se pružao paralelno s generalnim smjerom pružanja Dinarida, a bilo je omeđeno panonskom masom sa sjeveroistoka i karbonatnom platformom Vanjskih Dinarida na jugozapadu. Krajem senona dolazi do izdizanja planinskih masa na području panonske mase, čime su stvorena izvorišta sedimenta koji je taložen tijekom paleocena i eocena. Nakon eocena dolazi do duge faze bez taloženja sedimenta, kada je ovaj prostor dio kopna, a zatim u srednjem miocenu dolazi do ponovne transgresije mora i pojačanja tektonske aktivnosti. Tektonska aktivnost miocena dovodi do razbijanja dotadašnjih struktura, boranja i izdizanja starijih naslaga i početka formiranja Savske potoline. Tijekom helveta se talože klastiti proluvijalnog i aluvijalnog porijekla i to najviše upravo na prostoru Savske potoline kao najnovijeg sedimentacijskog prostora. Za vrijeme badena dolazi do nove marinske transgresije koja zahvaća čitav prostor. Pritom se na području Savske potoline talože klastične naslage, na obodima Petrove i Zrinske gore pojačana je karbonatna sedimentacija, a lokalno se talože i terigeni klastiti i biogeni sedimenti. Sedimentacija se nastavlja i tijekom sarmata, ali u taložnom okolišu pada salinitet i marinsku faunu zamjenjuje brakična. Za vrijeme panona i ponta događaju se ingresivna nalijeganja mlađih naslaga na paleogenske, kao i smanjenog taloženja uslijed pojačanja tektonske aktivnosti. Za sedimentaciju u donjem panonu karakteristični su vapnenci i vapnenački lapori sa specifičnom faunom tipa „croatica“, a u sedimentima gornjeg panona i donjeg ponta prevladava lapor. Na području Savske potoline u naslagama lapora počinju se pojavljivati pijesci kao ležišta ugljikovodika. Tijekom gornjeg ponta talože se pretežno lapori i pijesci, dok se dolaskom pliocena lapori zamjenjuju glinama i šljuncima. Naslage pliocena poznate su i kao paludinske naslage područja Savske potoline, a karakteristične su po slojevima ugljena koji se isprepliću s glinama, pijescima i šljuncima. Tijekom levanta i pleistocena ponovno jača tektonska aktivnost kojom nastaju suvremene reljefne strukture i odnosi. Tektonska aktivnost tijekom srednjeg pleistocena uzrokuje dodatno spuštanje nizinskih terena te Sava počinje formirati tok na ovom području, čime dolazi do intenzivnog nasipavanja aluvijalnog materijala, pretežno šljunka i pijeska (Orešković 2010). Na karbonatnoj platformi kredno-tercijarnog pojasa taloži se prapor, a u Savskoj potolini močvarni prapor i aluvijalni klastiti. Dolaskom holocena Sava formira današnje riječne terase te počinju prevladavati aluvijalni sedimenti različitih okoliša, koji se talože oko vodotoka i u nizinama (Slika 2.) (Pikija 1987b, Orešković 2010).



**Slika 2.** Isječak OGK SFRJ 1:100 000 list Sisak L33-93 (Pikija 1987a) s legendom geoloških jedinica koje se pojavljuju. Isječak prikazuje područje istraživanja s označenim lokacijama uzorkovanja sedimenata.



**Slika 3.** Prikaz uzorkovanja na lokaciji Nova Drenčina (uzorak ND).





**Slika 4.** Nanos sedimenta izbačenog iz bunara likvefakcijom uslijed petrinjskog potresa (29.12.2020., M6,2). Na lokaciji je prikupljen uzorak S66\_1.



**Slika 5.** Bunar zatrpan sedimentom na lokaciji S66\_1.

## 2.2 Materijali i metode

Za potrebe ovog rada na sedimentu su provedene metode: analiza veličine zrna, analiza udjela karbonatne komponente, multielementna analiza, određivanje mineralnog sastava (fazna analiza) i mikroskopiranje.

### 2.2.1 Terenski rad

Terenski dio istraživanja proveden je 25.1.2021. godine prikupljanjem uzoraka na području Siska i Nove Drenčine (Slika 2., Tablica 1.). Uzorci su prikupljeni na četiri lokacije pomoću plastičnog (PVC) cilindra za uzimanje uzoraka i plastične lopatice (Slike 3., 4. i 5.). Uzorci su na tri lokacije (S66\_1, S72 i ND) prikupljeni iz sedimentom zatrpanih bunara te na jednoj lokaciji (S66\_2) iz pješčanog vulkana u dvorištu privatne kuće. Pritom je površinski sloj uklonjen jer je sediment neko vrijeme bio izložen vremenskim uvjetima. Uzorci su pohranjeni u plastične vrećice i označeni, a po povratku s terena od svakog je uzorka uzet alikvot i prebačen u plastičnu posudicu za daljnju analizu.

**Tablica 1.** Lokacije uzorkovanja sedimenta s oznakama uzoraka

Oznaka uzorka	Adresa	Mjesto uzorkovanja	Geolokacija
S66_1	Ulica Vatroslava Lisinskog 66, Sisak	bunar	N 45°29'45" E 16°22'33"
S66_2	Ulica Vatroslava Lisinskog 66, Sisak	pješčani vulkan u dvorištu	N 45°29'45" E 16°22'34"
S72	Ulica Vatroslava Lisinskog 72, Sisak	bunar	N 45°29'46" E 16°22'33"
ND	Nova Drenčina 14, Nova Drenčina	bunar	N 45°27'21" E 16°18'55"

### 2.2.2 Laboratorijski rad

Po povratku s terena dio uzoraka odvojen je za analizu veličine zrna, a ostatak je zaleđen i osušen tijekom 48 sati metodom liofilizacije u liofilizatoru FreeZone 2.5 (Labconco, SAD). Nakon sušenja od uzoraka su uzeti alikvoti za potrebe geokemijskih i mineraloških analiza te su usitnjeni u ahatnom kugličnom mlincu (Pulverisette 7, Fritsch).

#### 2.2.2.1 Analiza veličine zrna

Analiza veličine zrna provedena je pomoću laserskog granulometra s rasponom mjerenja od 40 nm do 2 mm (LS 13 320 Particle Size Analyser, Beckman Coulter). Prije same analize uzorci su dispergirani u 20 ml deionizirane vode, 3 min tretirani ultrazvukom i konstantno miješani pomoću magnetskog mješača da bi se spriječilo njihovo taloženje. Provedene su tri replike za svaki uzorak. Rezultati analize preneseni su u statistički paket GRADISTAT Ver. 6.0. (Blott i Pye 2001) za daljnju statističku analizu.

### 2.2.2.2 Fazna analiza

Metoda difraktometrije zasniva se na poklapanju valnih duljina rendgenskih zraka s udaljenostima ponavljanja ravnina kristalne rešetke minerala. Pri interakciji s pravilnom strukturom kristalne rešetke rendgenske se zrake raspršuju, a kako je razlika u hodu među ravninama kristalne rešetke jednaka cijelom broju valnih duljina, dolazi do pojačanja raspršenog zračenja, odnosno do difrakcije. Ovo je svojstvo objašnjeno Braggovim zakonom:  $n\lambda = 2dhk\sin\theta$ , gdje vrijedi:  $n$  = cijeli broj,  $\lambda$  = valna duljina zračenja,  $dhkl$  = međumrežni razmak hkl tipa mrežnih ravnina,  $\theta$  = kut upada zrake na mrežnu ravninu.

Fazna analiza provedena je na Mineraloško-petrografskom zavodu PMF-a Sveučilišta u Zagrebu. Uzorci prethodno usitnjeni u ahatnom mlincu postavljeni su na aluminijski nosač i postavljeni u difraktometar. Za snimanje je korišten rendgenski difraktometar Philips 39 X'Pert PRO PW 3040/60 s bakrenom cijevi i grafitnim monokromatorom pri 40 kV i 40 mA. Provedeno je kontinuirano snimanje u rasponu  $4 - 65^\circ 2\theta$ . Za analizu snimljenih rendgenograma korišten je računalni program X'Pert HighScore Plus v. 2.1., a mineralni sastav cjelokupnog uzorka kvantificiran je na temelju difrakcijskih maksimuma određenih minerala (Slike 7. - 10.).

### 2.2.2.3 Multielementna analiza

Koncentracije glavnih elemenata, elemenata u tragovima i elemenata rijetkih zemalja određene su pomoću metode spektrometrije masa visoke razlučivosti uz induktivno spregnutu plazmu HR ICP-MS (Element 2, Thermo) u Laboratoriju za anorgansku geokemiju okoliša i kemosinamiku nanočestica, pri Zavodu za istraživanje mora i okoliša, Instituta Ruđer Bošković, prilagođeno prema Lučić (2019). U uzorcima su analizirane koncentracije ukupno 53 elementa: glavni elementi – Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, S, Ti; elementi u tragovima – As, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Ga, Ge, Li, Mn, Mo, Nb, Ni, Pb, Rb, Sb, Sc, Sn, Sr, Te, Tl, Th, U, V, Zn, W, Y; te elementi rijetkih zemalja – La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu. Za kvantifikaciju je korištena vanjska kalibracija pomoću multielementnih standarda uz korištenje internog standarda In, a kontrola kvalitete mjerenja koncentracije svih elemenata je utvrđena istovremenim mjerenjem odgovarajućih certificiranih referentnih materijala (CRM).

### 2.2.2.4 Analiza udjela karbonata

Određivanje udjela karbonata u uzorcima sedimenta provedeno je volumetrijom ugljikovog dioksida ( $\text{CO}_2$ ) Scheiblerovom metodom na Scheiblerovoj aparturi. Prvo je provedeno vaganje uzoraka i standarda, čistog kalcijeveg karbonata ( $\text{CaCO}_3$ ), za dvije replike mjerenja. U plastične je posudice odvagano po oko 300 mg standarda i uzoraka na analitičkoj vagi. Zatim je svaki uzorak pojedinačno

prebačen u Erlenmeyerovu tikvicu uz magnetiće i 5 mL 10%-tne klorovodične kiseline (HCl) u zasebnoj plastičnoj čašici. Erlenmeyerova je tikvica zatim dobro zatvorena gumenim čepom spojenim na Scheiblerovu aparaturu pa je uključena magnetna mješalica, koja prolije klorovodičnu kiselinu i pokrene reakciju. Po završetku reakcije očitana je volumen razvijenog ugljikovog dioksida te je na temelju formule:  $\%CaCO_3 = \frac{V(CO_2) \cdot F_{pt} \cdot F_{st} \cdot 100}{m(\text{uzorka})}$ . Određena je aritmetička sredina dvaju dobivenih vrijednosti za svaki uzorak i za standard te je izvršena korekcija pomoću rezultata za standard (Tablica 4.).

#### 2.2.2.5 Mikroskopiranje

Mikroskopiranje uzoraka provedeno je na Mineraloško-petrografskom zavodu PMF-a na Zeiss-ovom Axiolab mikroskopu pri povećanju 2,5x. Fotografije su snimljene fotoaparatom Canon 500D montiranim na okular mikroskopa, pomoću programa EOS Utility, uređene su programom ZoomBrowser EX te je mjerilo naknadno dodano u programu AxioVision Rel.4.8 (Slike 12. - 15.). Fotografije su pregledane kako bi se vizualno približio sadržaj analiziranog sedimenta.

#### **2.2.3 Statistička obrada podataka**

Rezultati analize veličine zrna (Dodatak 1.) obrađeni su pomoću statističkog paketa GRADISTAT Ver. 6.0. (Blott i Pye 2001) koji se koristi unutar računalnog programa Microsoft® Office Excel. Volumni udio svake frakcije (srednja vrijednost triju replika) upisan je u tablicu programa te je provedena obrada podataka. Standardni statistički granulometrijski parametri (prosječna i srednja veličina zrna, koeficijent sortiranosti, koeficijent asimetrije i zaoštrenost krivulje) izračunati su preko formula Folk i Ward (1957) te prikazani tablično (Tablica 2.). Prema udjelima navedenih frakcija određen je tip sedimenta prema Folkovoj klasifikaciji šljunak-pijesak-mulj (1954) te su podatci prikazani grafički, trokomponentnim dijagramom (Slika 6.). Rezultati su prikazani i granulometrijskim krivuljama (histogramima) (Dodatci 2. - 5.).

Rezultati multielementne analize uspoređeni su s literaturnim vrijednostima za sedimente Save i Kupe kod Siska (Frančišković-Bilinski 2007) te za sedimente Save kod Zagreba (Lučić 2019) (Dodatak 6.). Količine elemenata u navedenih istraživanja zasnivaju se na analizi frakcije < 63 μm pa rezultate nije moguće sasvim pouzdano usporediti. Stoga je rezultate ove analize svakako potrebno sagledati kritički.

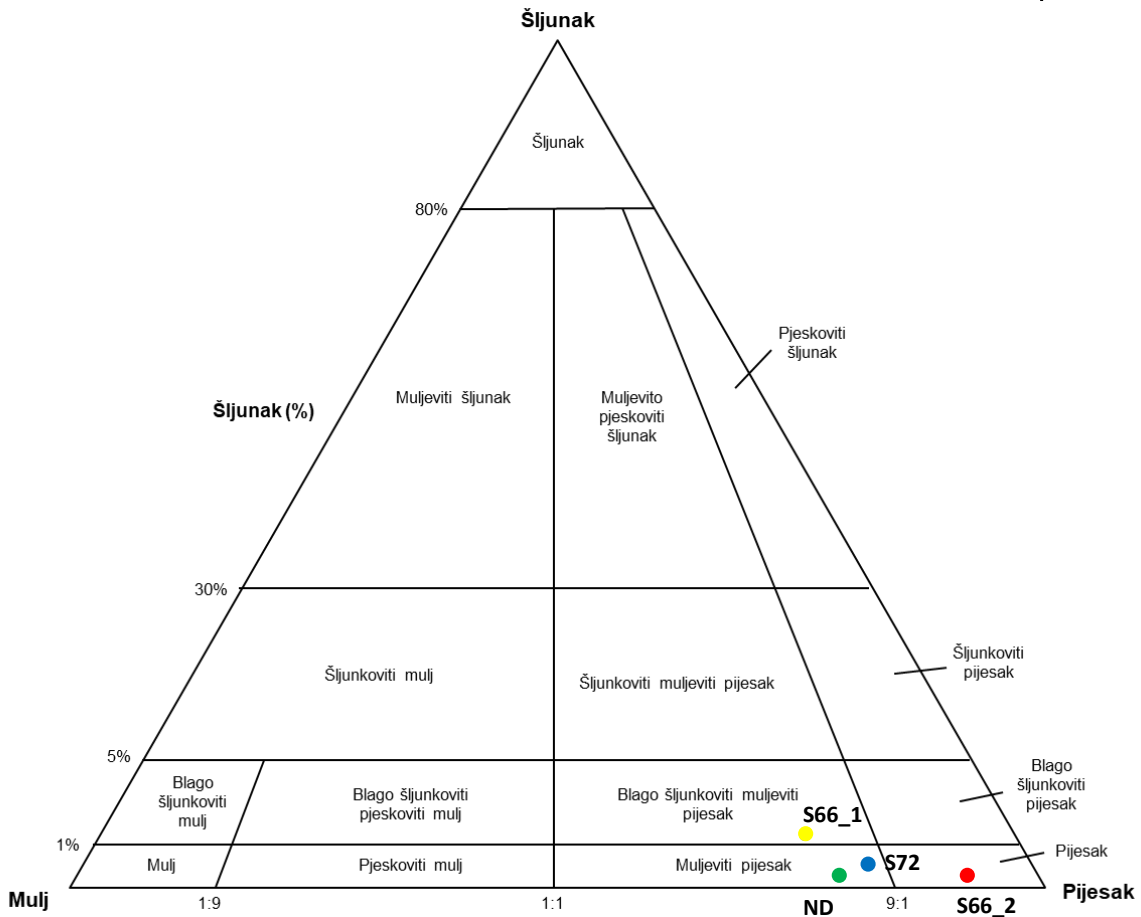
## 2.3 Rezultati

### 2.3.1 Analiza veličine zrna

Rezultati analize veličine zrna (Tablica 2.) pokazali su da se veličina zrna (M) kreće od 154,0  $\mu\text{m}$  na lokaciji Nova Drenčina do 549,0  $\mu\text{m}$  u Sisku (S66\_2). Uzorak S66\_2 sadrži i najveći udio pjeskovite frakcije (94,6%), a zanimljivo je da uzorak S66\_1, koji je prikupljen vrlo blizu, sadrži najmanje (79,0%). Uzorak S66\_1 jedini sadrži šljunkovitu frakciju (1,4%). Najveću srednju veličinu zrna (Md) također sadrži uzorak S66\_2 (620,4  $\mu\text{m}$ ), a uzorak ND najmanju (180,5  $\mu\text{m}$ ). Sediment je u svim uzorcima loše sortiran, odnosno sadrži zrna mnogo različitih veličina. Svi su uzorci imali vrlo pozitivno zakošenu krivulju asimetričnosti raspodjele, što znači da je svugdje prevladavala krupnija frakcija (pjesak), a iskošenost je bila prema sitnijim sedimentima. Krivulja zaoštrenosti kod svih je uzoraka bila zaoštrena ili vrlo zaoštrena. Trokomponentni dijagram šljunka, pijeska i mulja (Slika 6.) pokazuje da su uzorci uzorkovani u bunarima blago muljeviti (S66\_1, S72 i ND), dok je uzorak S66\_2, koji je prikupljen iz pješčanog vulkana u dvorištu, gotovo u potpunosti sačinjen od pijeska, sa svega 5,4% ostalih frakcija.

**Tablica 2.** Standardni statistički granulometrijski parametri za uzorke sedimenata koji su na površinu izašli likvefakcijom uslijed petrinjskog potresa (29.12.2020., M6,2). M - prosječna veličina zrna, Md - srednja veličina zrna (medijan), So - koeficijent sortiranosti, Sk - koeficijent asimetrije, K - zaoštrenost krivulje.

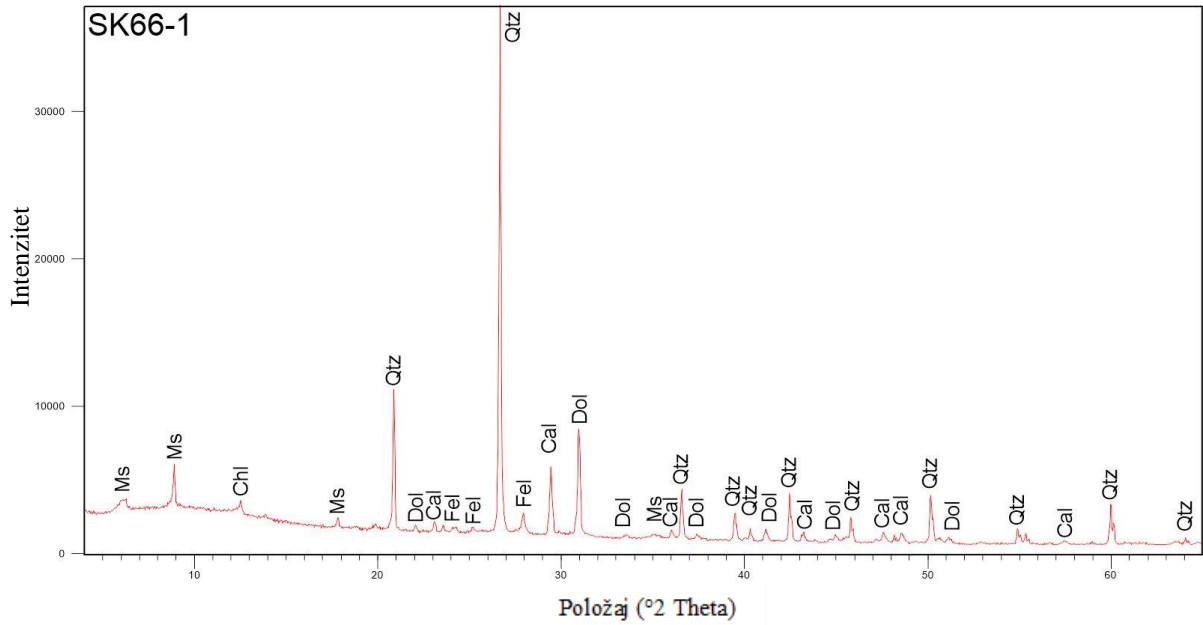
	Šljunak (%)	Pijesak (%)	Mulj (%)	M ( $\mu\text{m}$ )	Md ( $\mu\text{m}$ )	So ( $\phi$ )	Sk ( $\phi$ )	K ( $\phi$ )
S66_1	1,4	79,1	19,5	202,9	311,1	2,206	0,491	1,339
S66_2	0	94,6	5,4	549,0	620,4	1,57	0,484	1,856
S72	0	86,1	13,9	289,6	361,7	1,813	0,465	1,666
ND	0	83,1	16,9	154,0	180,5	1,62	0,413	1,56



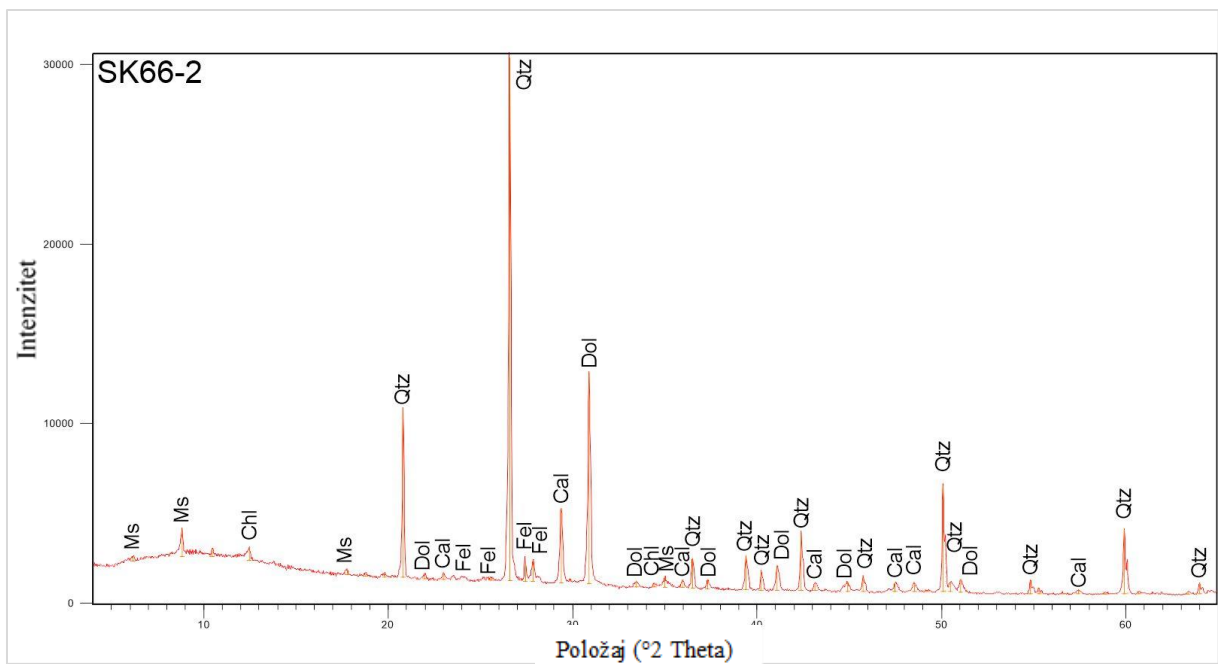
**Slika 6.** Granulometrijski sastav uzoraka sedimenata koji su na površinu izašli likvefakcijom uslijed petrinjskog potresa (29.12.2020., M6,2) u trokomponentnom dijagramu šljunka, pijeska i mulja, prilagođeno iz Blott i Pye (2001) prema Folk (1954).

### 2.3.2 Fazna analiza

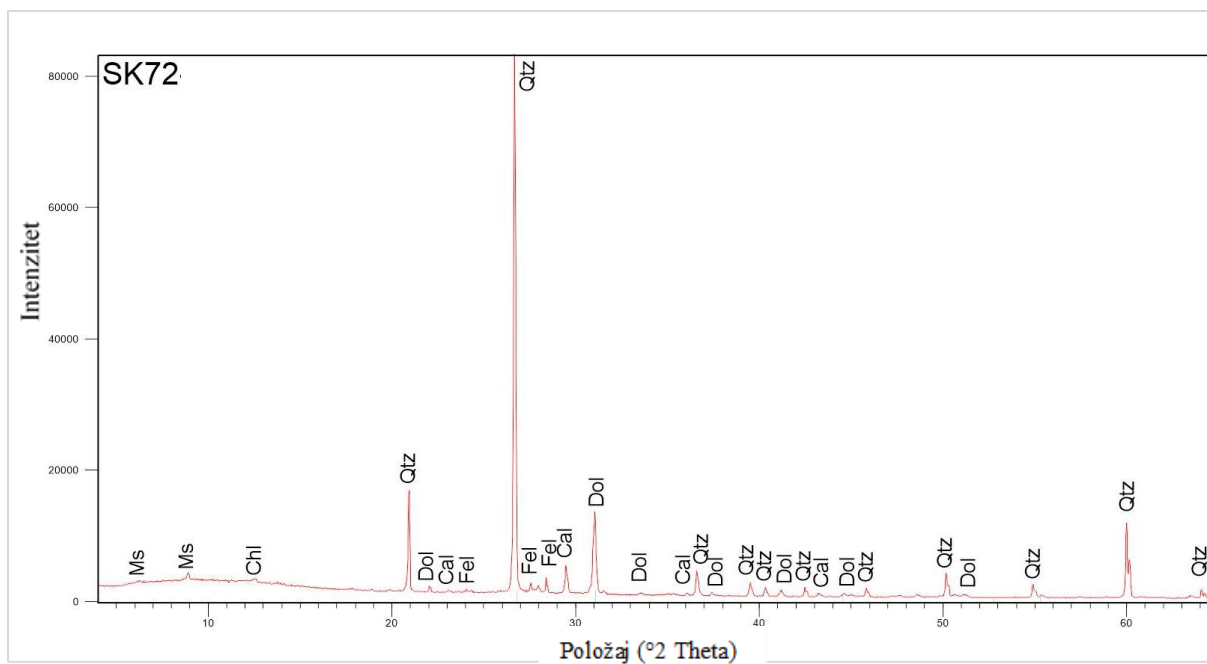
Rezultati fazne analize pokazuju da u svim uzorcima dominira kvarc (Slike 7. -10.). Kod uzoraka iz Siska (S66\_1, S66\_2 i S72) uz kvarc se kao sporedni minerali pojavljuju kalcit i nešto manje dolomit (Tablica 3.), a uzorci sadrže i nešto muskovita i minerala glina (klorit; naročito S66\_1 i S72). U manjoj se mjeri pojavljuju i feldspati (albit) te plagioklasi (ortoklas i mikroklin). U uzorku ND izrazitije dominira kvarc, sa značajnije manjim količinama karbonata, a sadrži i nešto klorita i muskovita te plagioklasi (albita). Uzorak S66\_1 jedini sadrži i augit u tragovima.



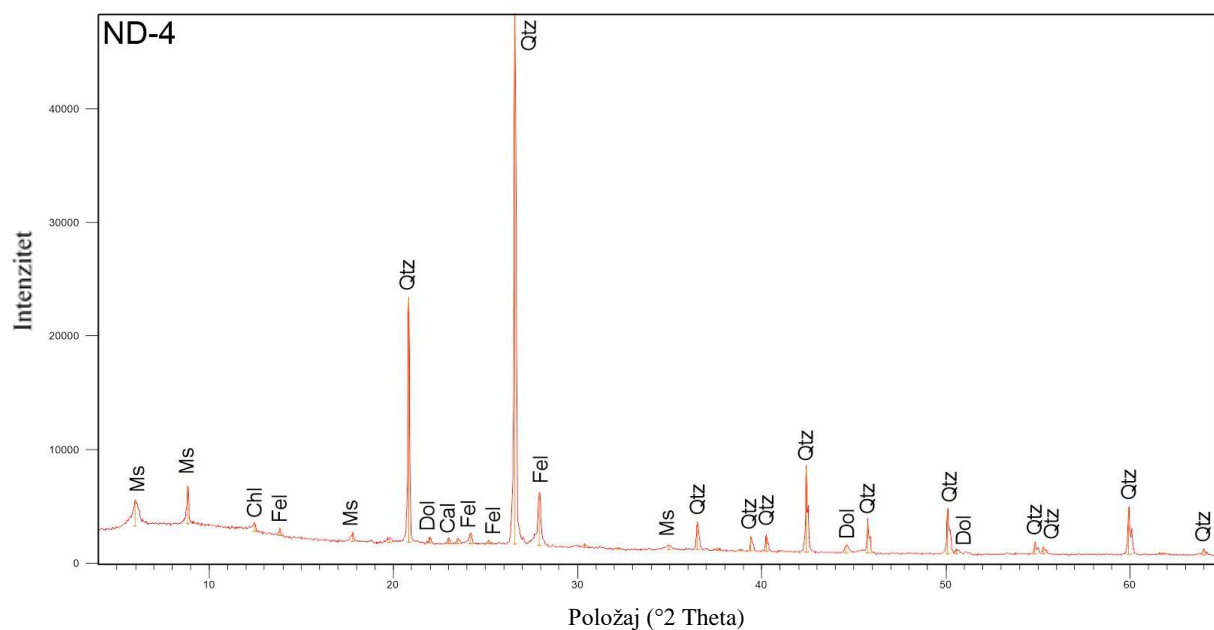
**Slika 7.** Rendgenska difrakcijska slika za orijentirani preparat uzorka S66\_1 sedimenta koji je na površinu izašao likvefakcijom uslijed petrinjskog potresa (29.12.2020., M6,2). (Ms - muskovit, Chl - klorit, Qtz - kvarc, Dol - dolomit, Cal - kalcit, Fel - feldspat)



**Slika 8.** Rendgenska difrakcijska slika za orijentirani preparat uzorka S66\_2 sedimenta koji je na površinu izašao likvefakcijom uslijed petrinjskog potresa (29.12.2020., M6,2). (Ms - muskovit, Chl - klorit, Qtz - kvarc, Dol - dolomit, Cal - kalcit, Fel - feldspat)



**Slika 9.** Rendgenska difrakcijska slika za orijentirani preparat uzorka S72 sedimenta koji je na površinu izašao likvefakcijom uslijed petrinjskog potresa (29.12.2020., M6,2). (Ms - muskovit, Chl - klorit, Qtz - kvarc, Dol - dolomit, Cal - kalcit, Fel - feldspat)



**Slika 10.** Rendgenska difrakcijska slika za orijentirani preparat uzorka ND sedimenta koji je na površinu izašao likvefakcijom uslijed petrinjskog potresa (29.12.2020., M6,2). (Ms - muskovit, Chl - klorit, Qtz - kvarc, Dol - dolomit, Cal - kalcit, Fel - feldspat)



**Tablica 3.** Mineralni sastav sedimenata sa zastupljenošću pojedinih minerala (+ - sadržan, ++ - učestao, +++ - jako učestao, (+) - u tragovima) za uzorke S66\_1, S66\_2, S72 i ND.

	Uzorci			
	S66_1	S66_2	S72	ND
Kvarc	+++	+++	+++	+++
Kalcit	++	++	++	(+)
Dolomit	++	++	++	(+)
Plagioklasi	+	+	+	+
Feldspati	-	++	+	+
Klorit	+	+	+	+
Muskovit	+	+	+	+
Augit	+	-	-	-

### 2.3.3 Multielementna analiza

Uzorak sedimenta iz Nove Drenčine (ND) od glavnih je elemenata sadržavao dvostruko više Na, Al, K, Ti i Fe u odnosu na sedimente prikupljene na području Siska (S66\_1, S66\_2 i S72) te mnogo manje količine Ca i Mg (Dodatak 6.). Prosječna količina tih je elemenata u sedimentima Siska bila 4,5 puta viša za Mg i 22 puta viša za Ca u odnosu na količine u sedimentu Nove Drenčine. Količine glavnih elemenata u uzorcima sedimenta prikupljenima za ovo istraživanje dosta su se razlikovale u odnosu na literaturne vrijednosti, naprimjer, količine Ca i Mg u sedimentima Siska odlično su se podudarale s vrijednostima Frančišković-Bilinskog (2007), ali su se zato sasvim razlikovali po količini Na, K i Ti. Isto tako, sediment uzorkovan u Zagrebu (Lučić 2019) bolje odgovara sedimentu Nove Drenčine po količinama K, Ti i Fe, ali odudara po količinama Ca i Mg.

U slučaju elemenata u tragovima, uzorak ND sadrži povišene koncentracije većine elemenata u odnosu na uzorke S66\_1, S66\_2 i S72, za većinu elemenata prosječno 1,9 puta više, a otprilike 3 puta više za Ni i Cr. Najveća se odstupanja pojavljuju kod Cu i Bi. U Novoj je Drenčini koncentracija Cu 20 puta veća nego u sedimentima Siska (107,75 ppm u odnosu na 5,32 ppm) te otprilike 3 puta u odnosu na literaturne vrijednosti (prosječno 30,7 ppm prema Frančišković-Bilinski (2007) i 35,75 ppm Lučić (2019)). Pritom je količina Cu na sve tri lokacije uzorkovanja u Sisku mnogo manja od količina dobivenih u navedenim radovima (3,38 - 8,02 ppm u odnosu na 30,7 - 35,75 ppm). Konačno, iznimno je velika količina Bi zabilježena na lokaciji S66\_2 (7,07 ppm), što je značajno više nego na bilo kojoj drugoj lokaciji (0,06 ppm na S66\_1, 0,27 ppm na S72, 0,22 ppm na ND, prosječno 0,5 ppm prema Frančišković-Bilinski (2007), prosječno 0,41 ppm prema Lučić (2019)).

Elementi rijetkih zemalja također su prosječno dvostruko više zastupljeni u sedimentu Nove Drenčine. U odnosu na literaturne vrijednosti (Frančišković-Bilinski 2007, Lučić 2019), količine

elemenata rijetkih zemalja najniže su u sedimentima Siska istraživanim u sklopu ovog istraživanja, zatim nešto više u sedimentima oko Siska prema istraživanju Frančišković-Bilinski (2007) (prosječno 36%), onda u sedimentima Nove Drenčine (prosječno 85%) te su najviše u sedimentima kod Zagreba (prosječno 150%) prema Lučić (2019).

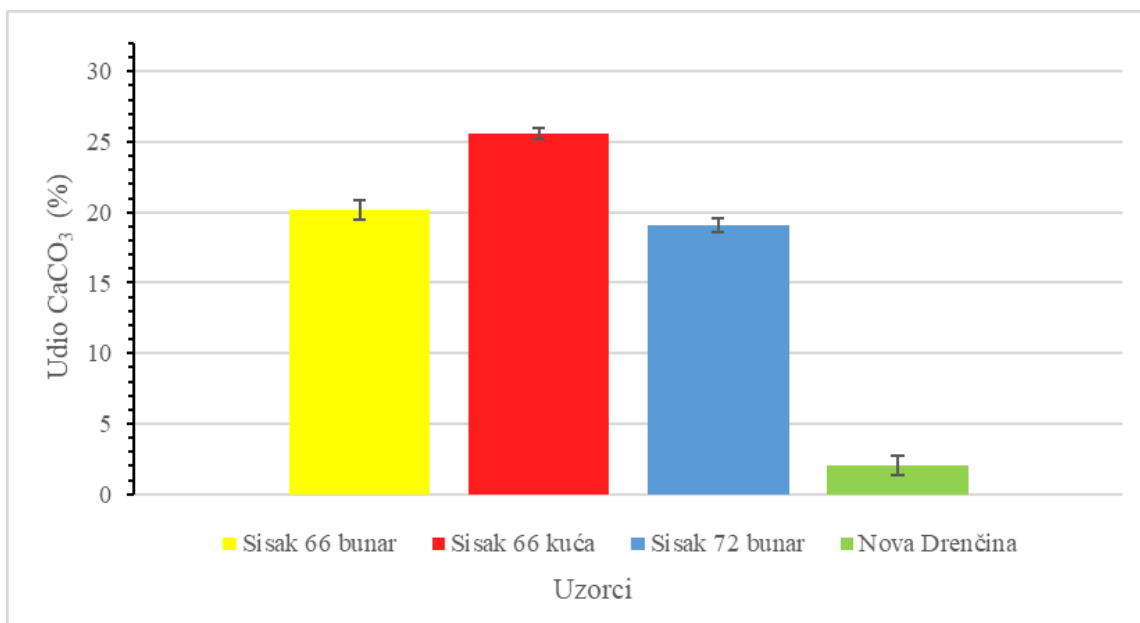
Zanimljivo je da uzorci u Sisku (S66\_1, S66\_2 i S72) imaju primjetno manje količine svih „antropofilnih“ elemenata (Fe, Mo, Cd, Sn, Pb, Bi, Cr, Cu, Zn, As, Gd; Chen i sur. 2014, Lučić 2019), čiji je glavni izvor čovjekovo djelovanje (prosječno 53% manje nego u uzorku ND, prosječno 51% manje od Frančišković-Bilinski (2007) i prosječno 69% manje nego Lučić (2019)).

### 2.3.4 Analiza udjela karbonata

Rezultati kalcimetrijske analize (Tablica 4. i Slika 11.) pokazali su da udio karbonata u analiziranim uzorcima iznosi 2,00 - 25,62%. Oni na prostoru Siska imaju od 19,05% do 25,62%, prosječno 22% CaCO<sub>3</sub>, dok uzorak iz Nove Drenčine sadrži svega 2,00%.

**Tablica 4.** Standardizirane vrijednosti udjela CaCO<sub>3</sub> u uzorcima sedimenta istisnutog likvefakcijom uslijed petrinjskog potresa (29.12.2020., M6,2).

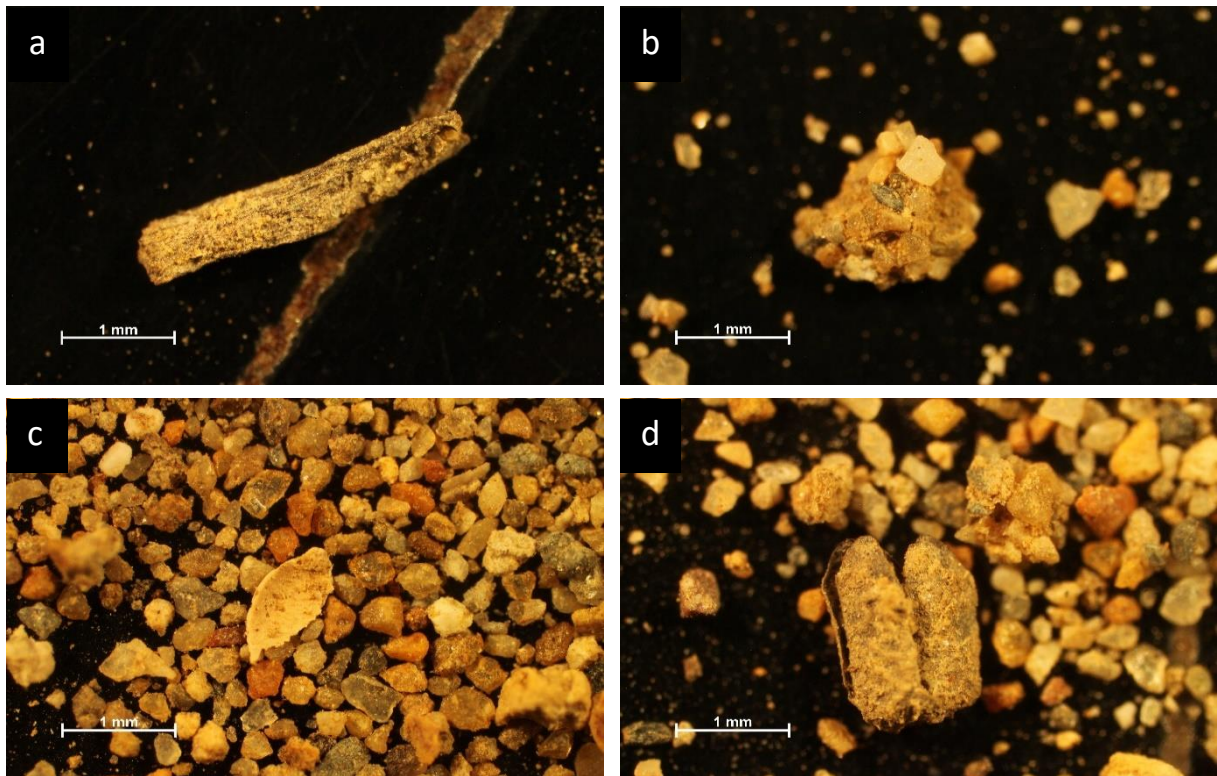
Uzorak		Masa (mg)	p (mbar)	t (°C)	pt <sub>faktor</sub>	ml (CO <sub>2</sub> )	Udio (%)	Avg (%)	ST. CaCO <sub>3</sub> (%)
Standard	1	304,3	1000	24	1,829	75,5	103,19	103,02	100
	2	305,3	1000	24	1,829	75,5	102,85		
Sisak 66 bunar	3	300	1000	24	1,829	14,5	20,10	20,80	20,189
	4	298,9	1000	25	1,823	15,5	21,50		
Sisak 66 kuća	5	302,8	1000	25	1,823	19	26,01	26,39	25,619
	6	301,9	1000	25	1,823	19,5	26,78		
Sisak 72 bunar	7	303,2	1000	25	1,823	14	19,14	19,63	19,050
	8	298,9	1000	25	1,823	14,5	20,11		
Nova Drenčina	9	299,9	1000	25	1,823	2	2,76	2,06	2,004
	10	304	1000	25	1,823	1	1,36		



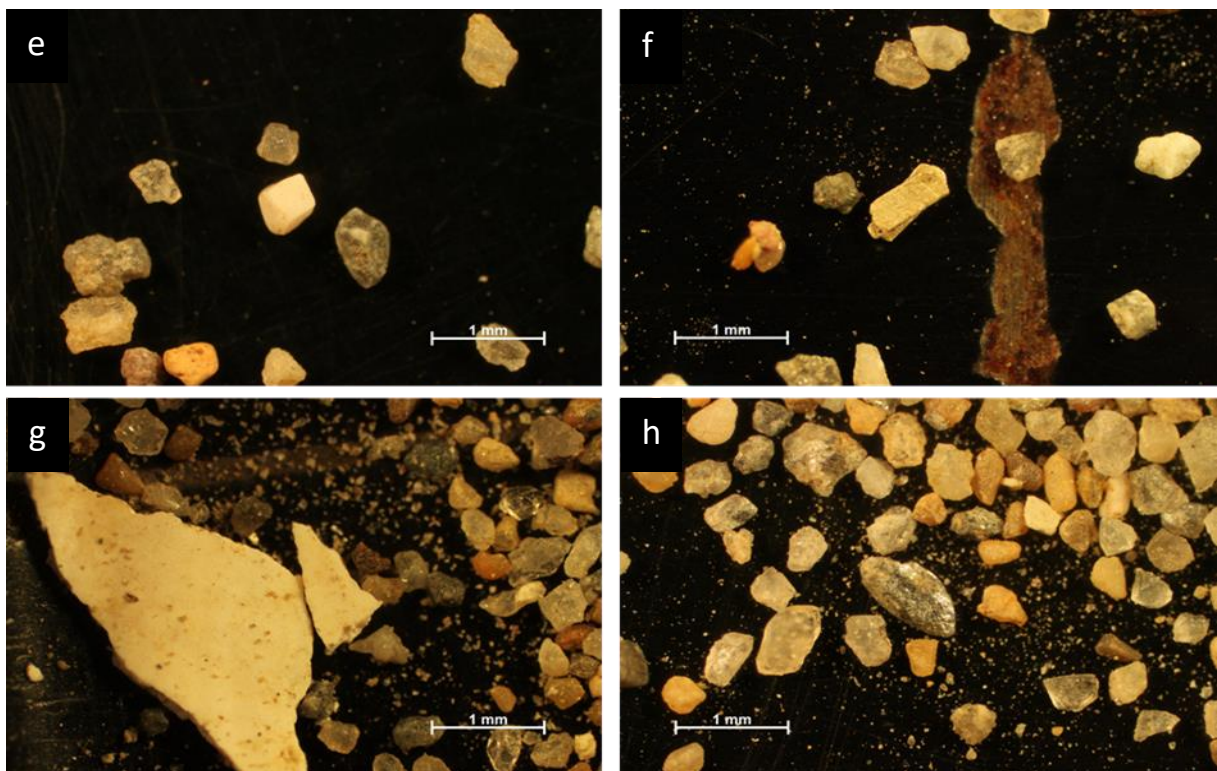
**Slika 11.** Udio karbonata u uzorcima sedimenata koji su na površinu izašli likvefakcijom uslijed petrinjskog potresa (29.12.2020., M6,2). Rezultati su prikazani kao srednja vrijednost dvaju replika  $\pm$  standardna pogreška.

### 2.3.5 Mikroskopiranje

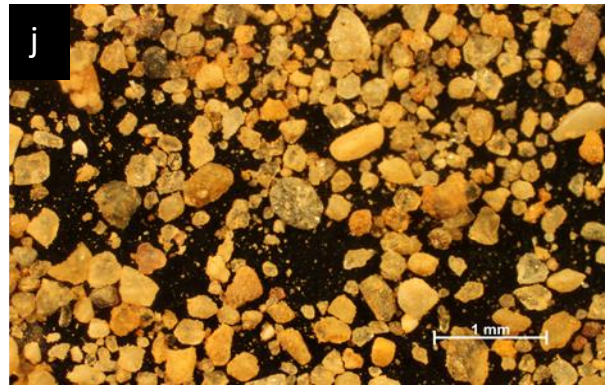
Fotografije uzorka prikupljenih na području Siska pokazale su da sedimenti sadrže velike količine kvarca, najčešće mutnog ili poluprozirnog te često s različitim primjesama, zbog čega je obojan (Slike 12c, 13e i 14i). U uzorku S66\_1 bili su prisutni i različiti biogeni materijali (Slika 12c i 12d). U Uzorcima S66\_1 i ND bila su učestala i slijepljena zrna, sačinjena od istog materijala kao i okolni nekonsolidirani materijal (Slike 12b i 15l). U uzorcima sedimenata prikupljenih u Sisku bili su prisutni različiti tinjčasti minerali (Slike 13h i 14j). Uzorak S66\_2 sadržavao je pravilan feldspat ili plagioklas (Slika 13e), sraslac (Slika 13f) te otkrhnute komadiće vapenačke stijene (Slika 13g). U svim je uzorcima sferičnost i zaobljenost zrna (Pettijohn i sur., 1987) bila osrednja, ali pojavljivala su se i dobro zaobljena zrna (Slike 13h i 14j).



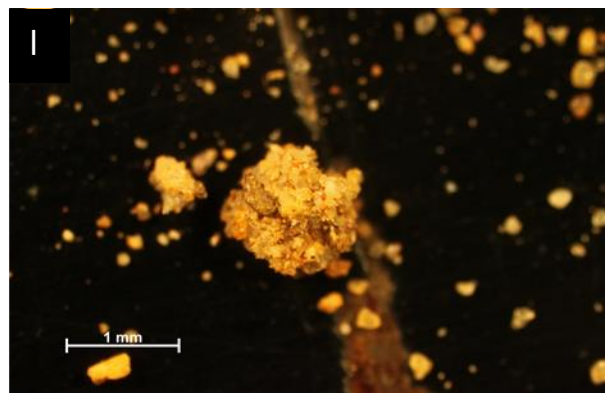
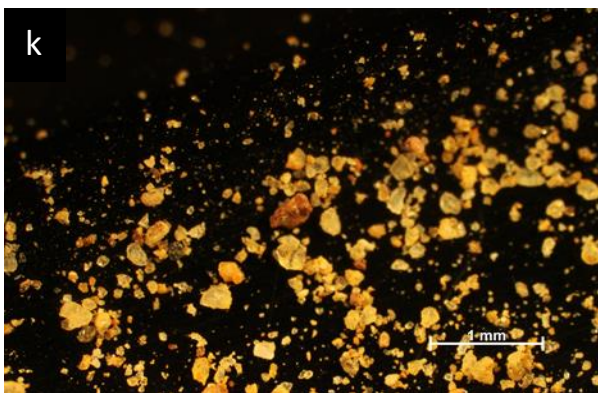
**Slika 12.** Fotografije zrna u uzorku S66\_1 (a - nepoznat mineral, b - slijepljena zrna, c - ostatak ljušturice, d - biogeni materijal, ljušturica ostrakoida ili biljno podrijetlo).



**Slika 13.** Fotografije zrna u uzorku S66\_2 (e - zrno feldspata ili plagioklasa okruženo kvarcom, f - mineral sraslac, g - otkrhnuti komadići karbonatne stijene, h - zrno tinjca okruženo različitim mineralima).



**Slika 14.** Fotografije zrna u uzorku S72 (i - zrno kvarca narančaste boje (nepotvrđeno), j - zrno tinjca u središtu okruženo kvarcom).



**Slika 15.** Fotografije zrna u uzorku ND (k - sitnozrnati pijesak, l - slijepljena zrna).

## 2.4 Rasprava

Rezultati analize veličine zrna pokazali su da su svi ispitivani uzorci sačinjeni prvenstveno od pijeska, a da je sediment na području Nove Drenčine sitnozrnatiji u odnosu na sedimente uzorkovane u Sisku (Tablica 2.). Također, analiza je pokazala da uzorci koji su na površinu izašli kroz bunare (S66\_1, S72, ND) sadrže više muljevite komponente u odnosu na sediment koji je na površinu izašao izbijanjem kroz pukotinu nastalu uslijed potresa (S66\_2; Slika 6.). Razlog tome mogao bi biti to što dubinski sediment pri izlasku kroz bunar prikuplja i miješa se sa slojem muljevitog sedimenta koji se u trenutku izlaska nalazio u rezervoaru bunara, a koji se u bunarima taložio kroz određeno razdoblje (sva su tri bunara dulje vrijeme nekorištena). Ovo bi zapažanje svakako bilo dobro detaljnije istražiti u budućnosti. To bi značilo da je sediment iz pukotine (S66\_2) manje kontaminiran površinskim sedimentima, a time i pogodniji za analizu pozadinskih vrijednosti koncentracija elemenata u dubinskim sedimentima Siska i okolice. U svom je diplomskom radu Orešković (2010) analizirala granulometrijska svojstva sedimenata vertikalnog profila riječne terase dubokog 320 cm na lokaciji Hrastelnica kod Siska. Istraživani je sediment odgovarao recentnom sedimentu rijeke Save i u gornjem su dijelu profila (prvih 150 cm) prevladavale čestice veličine mulja, a ispod toga veličine pijeska. Usporedbom standardnih statističkih granulometrijskih parametara (srednje i prosječne veličine zrna, koeficijenta sortiranosti, koeficijenta asimetrije i zaoštrenosti krivulje) ustanovljeno je da se sedimenti uzorkovani u ovom istraživanju (Tablica 2.) ne podudaraju s rezultatima navedenog istraživanja te je time zaključeno da bi mogli dolaziti iz dubljih slojeva. Prema Tumaču OGK 1:100 000 list Sisak, pješćani sedimenti na ovom su prostoru taloženi od punta nadalje, a najviše tijekom razdoblja pliocena (Pikija 1987b), stoga je moguće da istraživani sediment odgovara tome remenskom rasponu.

Rezultati analize udjela karbonata (Tablica 4., Slika 11.) pokazali su da se sedimenti uzorkovani u Sisku (S66\_1, S66\_2 i S72) po količini karbonata značajno razlikuju od sedimenta uzorkovanog u Novoj Drenčini (ND). Pri usporedbi površinskih sedimenata istraživanog područja (Pikija 1987a), oba područja čine kvartarni terasni sedimenti, a okruženi su poplavnim sedimentima Kupe i Save (Slika 2.). Kako se Sisak i Nova Drenčina nalaze na relativno malenoj fizičkoj udaljenosti i kako su pod direktnim utjecajem rijeke Kupe te prema rezultatima Frančišković-Bilinski (2007), može se pretpostaviti da se recentni površinski sedimenti istraživanih lokacija bolje međusobno podudaraju po udjelu karbonata u odnosu na sedimente prikupljene u okviru ovog rada. Stoga je moguće da su prikupljeni uzorci na površinu došli s veće dubine. Pavlović i sur. (2004) u svojem su radu analizirali karakteristike površinskog sedimenta savskih terasa duž toka, pri čemu je jedan uzorak prikupljen na prostoru Siska (S10). Prema navedenom se istraživanju razlikuju dvije populacije sedimenta: prva (SI populacija) koja doseže otprilike 1 m u dubinu, koja je karakterizirana povišenim koncentracijama elemenata i koja se taloži tijekom posljednjeg dijela holocena, te druga (CA populacija), iz razdoblja donjeg holocena, kada je donos materijala s karbonatnih platformi bio značajno povećan zbog otapanja ledenjaka i koja doseže mnogo dublje. U usporedbi s prosječnim koncentracijama dobivenima za elemente Ca, Fe, P, Sr, Cr, Al

i Pb; ustanovljeno je da se koncentracije dobivene multielementnom analizom u ovom istraživanju znatno razlikuju od literaturnih podataka, naročito manjom količinom Ca (prosječno 76000 ppm Ca u sedimentima u Sisku te 3537 ppm kod ND u odnosu na prosječno 110600 ppm kod Pavlović i sur. 2004). Važno je naglasiti da je u tome radu korištena frakcija manja od 0,125 mm, što je različito od ovog rada (manje od 2 mm), što može imati utjecaja na rezultat analize. Kako se koncentracije karbonata u uzorcima ovog rada ne poklapaju s literaturnim vrijednostima (Pavlović i sur. 2004, Frančišković-Bilinski 2007) za recentne naslage ovog područja, moguće je pretpostaviti da su sedimenti istraživani u ovom radu mogli doći s većih dubina.

Rezultati fazne analize pokazali su da su sedimenti uzorkovani u Sisku (S66\_1, S66\_2 i S72) mineralnim sastavom relativno ujednačeni i da se njihov sastav razlikuje u odnosu na sastav sedimenta u Novoj Drenčini (ND). Zanimljivo je dobivene rezultate usporediti s istraživanjem Frančišković-Bilinskog (2007), gdje je prikupljeni sediment riječnih terasa Save (uzorci S42 i S43), uz kvarc kao najzastupljeniji mineral, imao velike količine kalcita i dolomita, dok je uzorak S44, prikupljen na prostoru posljednjeg meandra Kupe prije ulaska u Savu, imao vrlo malo kalcita, a dolomit niti nije sadržavao, što se po omjerima podudara s omjerima minerala u istraživanim uzorcima (Tablica 3.). Kod ove usporedbe također je važno naglasiti da su istraživanja provedena na različitim frakcijama sedimenta (frakcija < 63  $\mu$ m u Frančišković-Bilinski 2007, < 2 mm u ovom istraživanju), ali odnosi glavnih minerala i dalje bi trebali odražavati generalne odnose unutar sedimenta. Prema toj bi usporedbi sediment u uzorku ND predstavljao primjer sedimentacijskog okoliša rijeke Kupe u prošlosti, dok bi sediment u Sisku bio vezan za savske sedimente, bogatije karbonatom zbog donosa velikih količina taložnog materijala s karbonatnih platformi u Sloveniji (Pavlović i sur. 2004). To bi sedimente uzorkovane u Sisku moglo smjestiti na početak holocena, kada je Sava počela formirati današnje riječne terase (Orešković 2010). S druge strane, sedimentacijski okoliš bogat karbonatima ne isključuje niti sedimentaciju tijekom pliocena ili pleistocena.

Geokemijski sastav uzoraka prati rezultate ostalih analiza provedenih u ovom radu. Povišene koncentracije većine elemenata u tragovima u uzorku ND (Dodatak 6.) upućuju na to da bi bilo dobro provesti dodatna mjerenja na tom području. Moguće je da je razlika u koncentracijama elemenata u ND u odnosu na uzorke prikupljene u Sisku odraz većeg udjela sitne frakcije, za koju je tipično da na sebe može vezati veće količine dodatnih elemenata (Aagaard 1974, Montgomery 2020). S druge strane, moguće je i to da su analizirani sedimenti mješavine materijala s različitih dubina. U tom bi slučaju razlika u količinama elemenata upućivala na razlike u taložnom okolišu u trenutku nastanka sedimenta. U budućnosti bi bilo dobro ponoviti analizu uzoraka ND, zbog povećane količine Cu (107,75 ppm), i S66\_2, zbog iznimno visoke koncentracije Bi (7,07 ppm), jer su njihove koncentracije daleko veće nego u ostalim uzorcima te literaturnim podacima (Frančišković-Bilinski 2007, Lučić 2019). Također bi ubuduće rezultate trebalo usporediti s podacima koji sadrže koncentracije elemenata pri jednakim rasponima veličina frakcija. Konačno, niske koncentracije elemenata čiji je glavni izvor čovjek

(„antropofilni elementi“, Chou i sur. 2014) u uzorcima prikupljenima na području Siska upućuju na to da bi se dobivene koncentracije elemenata mogle koristiti kao pozadinska vrijednost za istraživanja antropogenog utjecaja na ovom području, ali potrebno je dodatno istražiti i usporediti navedene rezultate.

Pri analizi uzoraka pod mikroskopom dodatno je potvrđen mineralni i granulometrijski sastav proučavanih sedimenata. U uzorcima S66\_1 i S66\_2 pronađeni su otkrhnuti komadići karbonatnih stijena (Slike 12 i 13.), što bi moglo upućivati na to da se sediment nalazio na većim dubinama i da potječe iz donjeg pliocena, jer tada završava taloženje miocenskih laporovitih vapnenaca i vapnenačkih lapora. Činjenica da uzorak ND sadrži više sitnozrnate frakcije od ostalih uzoraka (Slika 15.), manju zaobljenost zrna, kao i drugačiji geokemijski sastav, mogla bi upućivati na to da je taj sediment taložen u različitom okolišu u odnosu na sedimente prikupljene u Sisku, ili da im je izvorišni prostor različit. U uzorku S66\_1 pronađen je biogeni materijal koji bi mogao upućivati na karakterističnu floru ili faunu određenog razdoblja (Slika 12), ali potrebna su daljnja istraživanja koja bi to točnije odredila.

Na temelju svega navedenog da se zaključiti da je analizirani sediment vjerojatno različit u odnosu na površinske sedimente (Pavlović i sur. 2004, Frančišković-Bilinski 2007, Orešković 2010, Lučić 2019) i da je došao iz dubine. Teško je na temelju dobivenih rezultata odrediti točno s koje, ali postoje neke naznake koje sužuju područje od interesa. Uzorkovani sediment ne odgovara recentnima i vjerojatno je, prema usporedbama s literaturnim vrijednostima (Pavlović 2004), taložen prije razdoblja holocena. S druge strane, prema podacima Tumača OGK 1:100 000 list Sisak, pijesci se kao taloženi sediment na ovom području pojavljuju od gornjeg ponta nadalje, dakle na prijelazu iz miocena u pliocen (Pikija 1987b). Kasnije, tijekom pleistocena, počinju prevladavati sitnozrnati sedimenti poput glinovitih prahova (Pikija 1987a). Prema tome razdoblje pliocena za sad najbolje odgovara kriterijima koji bi odgovarali okolišu u kojem je mogao nastati istraživani sediment. Hipocentar potresa bio je na dubini od otprilike 11,5 km (Seizmografska služba, 2020), što na ovom području odgovara dubini sedimenata paleogena, gdje su sedimenti većinom konsolidirani u stijene (Pikija 1987a). Također, likvefakcija je proces ovisan o akviferima, odnosno sedimentima natopljenima vodom, a upravo takve i jesu pliocenske naslage na ovom području (Brkić 2017). Konačno, prema informacijama stanovnika na mjestima uzorkovanja, sediment je iz bunara i pukotine počeo izlaziti nedugo nakon početka potresa (prosječna procjena 15 s), dok je sam potres trajao 26 s (Wikipedia 2021). To znači da je sedimentu trebalo neko vrijeme od početka trešnje da dospije do površine, a opet nije mogao biti toliko duboko da ne uspije izaći na površinu tijekom trajanja potresa, pa je moguće da je sediment došao s otprilike 200 - 800 m dubine.



### 3. ZAKLJUČAK

Ovaj završni rad bavio se istraživanjem karakteristika sedimenata istisnutih na površinu procesom likvefakcije uslijed djelovanja potresa. Uzorci su prikupljeni na tri lokacije u Sisku (S66\_1, S66\_2 i S72) i okolici (Nova Drenčina, ND) i na njima su provedene metode: analiza veličine zrna, analiza udjela karbonata, fazna analiza, određivanje geokemijskog sastava sedimenta i pregled uzoraka pod mikroskopom. Analiza veličine zrna pokazala je da su uzorci pretežno sačinjeni od pijeska i da su loše sortirani. Uzorci uzorkovani u bunarima sadržavali su više muljevite komponente od uzorka istisnutog iz pukotine u dvorištu. Analiza udjela karbonata pokazala je da se prema udjelu karbonata sedimenti uzorkovani na prostoru Siska značajno razlikuju od sedimenta uzorkovanog u Novoj Drenčini. Fazna analiza potvrdila je rezultate kalcimetrijske analize te pokazala kako uzorci na području Siska osim minerala kvarca, dolomita i kalcita, sadrže i muskovit, feldspate te plagioklase, dok uzorak ND gotovo ne sadrži dolomit i kalcit, ali zato sadrži mnogo klorita i muskovita. Multielementna analiza pokazala je da se po svojem geokemijskom sastavu uzorci razlikuju od dosadašnjih literaturnih vrijednosti. Kao i kod ostalih analiza, uzorci prikupljeni na području Siska razlikovali su se u odnosu na uzorak iz Nove Drenčine, a na temelju niskih koncentracija elemenata vezanih uz antropogene utjecaje zaključeno je kako bi se sedimenti uzorkovani u Sisku možda u budućnosti mogli koristiti kao pozadinske vrijednosti za procjenu čovjekovog utjecaja na istraživanom području, ali potrebna su dodatna istraživanja. Mikroskopiranje je vizualno približilo neke karakteristike sedimenata, a njime su i nadopunjeni rezultati ostalih analiza. Na temelju provedenih analiza, općih geoloških karakteristika istraživanog područja i seizmičkih karakteristika petrinjskog potresa (29.12.2020., M6,2), pretpostavljeno je da uzorkovani sedimenti potječu iz razdoblja pliocena sa različitih dubina.

## Literatura

1. Aagaard P. (1974): Rare earth elements adsorption on clay minerals. *Bulletin du Groupe français des Argiles* 26 (2), 193-199.
2. Blott S. J., Pye K. (2001): GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms* 26, 1237-1248.
3. Bočić, N. (2021): Strukturno-geomorfološki aspekti petrinjskog potresa M6.2 (Hrvatska) – preliminarna razmatranja/Structural-geomorphological aspects of the Petrinja earthquake M6.2 (Croatia) - preliminary considerations. *Hrvatski geografski glasnik* 83 (1), 4-7.
4. Brkić Ž. (2017): The relationship of the geological framework to the Quaternary aquifer system in the Sava River valley (Croatia). *Geologia Croatica* 70 (3), 201-213.
5. Chen J. B., Gaillardet J., Bouchez J., Louvat P., Wang Y. N. (2014): Anthropophile elements in river sediments: overview from the Seine River, France. *Geochemistry Geophysics Geosystems* 15, 4526-4546.
6. Dasović I., Herak D., Herak M., Stipčević J. (2021): Niz potresa na Baniji. *Vijesti Hrvatskog geološkog društva* 57 (2), 8-15.
7. Dragun Z., Roje V., Mikac N., Raspor B. (2009): Preliminary assessment of total dissolved trace metal concentrations in Sava River water. *Environmental Monitoring and Assessment* 159, 99-110.
8. European-Mediterranean Seismological Centre (2021): M6.4 CROATIA on December 29th 2020 at 11:19 UTC. <https://www.emsc-csem.org/Earthquake/264/M6-4-CROATIA-on-December-29th-2020-at-11-19-UTC> (pristupljeno 15.8.2021.)
9. Fiket T. (2021): Pregled podataka o Petrinjskim potresima dobivenih sustavom automatske lokacije. [https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska\\_sluzba/potresi\\_kod\\_petrinje/automatska\\_lokacija\\_potresa](https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska_sluzba/potresi_kod_petrinje/automatska_lokacija_potresa) (pristupljeno 13.4.2021.)
10. Folk R. L. (1954): The Distinction between Grain Size and Mineral Composition in Sedimentary-Rock Nomenclature. *The Journal of Geology* 62 (4), 344-359.
11. 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.
12. Frančišković-Bilinski S. (2007): An assessment of multielemental composition in stream sediments of Kupa river drainage basin, Croatia for evaluating sediment quality guidelines. *Fresenius Environmental Bulletin* 16 (5), 561-575.
13. Frančišković-Bilinski S. (2008): Detection of geochemical anomalies in stream sediments of the upper Sava river drainage basin (Slovenia, Croatia). *Fresenius Environmental Bulletin* 17 (2), 188-196.
14. Frankol D. (2015): Granulometrijske karakteristike i kalcimetrija sedimenata iz jezgre u delti rijeke Neretve. Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet. <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:189722>

15. Halamić J., Galović L., Šparica M. (2003): Heavy Metal (As, Cd, Cu, Hg, Pb and Zn) Distribution in Topsoil Developed on Alluvial Sediments of the Drava and Sava Rivers in NW Croatia. *Geologia Croatica* 56 (2), 215-232.
16. Herak D., Herak M. (2010): The Kupa Valley (Croatia) Earthquake of 8 October 1909—100 Years Later. *Seismological Research Letters* 81 (1), 30-36.
17. URL1: Hrvatski geološki institut (2021): Isječak geološke karte šireg epicentralnog područja. <https://www.hgi-cgs.hr/wp-content/uploads/2021/01/slika-7.png> (pristupljeno 28.8.2021.)
18. Lučić M. (2019): Geokemijske i mineraloške značajke sitnozrnatog sedimenta gornjeg toka rijeke Save i njenih pritoka. Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet. <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:146158>
19. Markušić S., Stanko D., Penava D., Ivančić I., Bjelotomić Oršulić O., Korbar T., Sarhosis V. (2021): Destructive M6.2 Petrinja Earthquake (Croatia) in 2020—Preliminary Multidisciplinary Research. *Remote Sensing* 13 (6), 1095.
20. Mihalić Arbanas S., Arbanas Ž., Krkač M., Bernat Gazibara S., Damjanović V., Sinčić M., Jagodnik P., Jagodnik V. (2021): Potres u Petrinji M6,2 od 29.12.2020: izvješće o inženjerskogeološkoj i geotehničkoj prospekciji. <https://www.rgn.unizg.hr/hr/izdvojeno/2797-potres-u-petrinji-m6-2-od-29-12-2020-izvjesce-o-inzenjerskogeoloskoj-i-geotehnickoj-prospekciji> (pristupljeno 13.4.2021.)
21. Montgomery C. W. (2020): Environmental geology. McGraw-Hill Education, New York
22. Ojeda H. (2021): Earthquake Watch December: Petrinja Mw 6.4, European Geosciences Union. <https://blogs.egu.eu/divisions/sm/2021/01/25/earthquake-watch-december-2020/> (pristupljeno 15.8.2021.)
23. Orešković M. (2010): Mineraloški sastav i granulometrijska obilježja poplavnog sedimenta Save kod Siska. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet.
24. Pavlović G., Barišić D., Lovrenčić I., Oreščanin V., Prohić E. (2005): Use of fallout <sup>137</sup>Cs for documenting the chronology of overbank sediments from the river Sava, Croatia, and interpreting their geochemical patterns. *Environmental Geology* 47, 475-481.
25. Pavlović G., Prohić E., Tibljaš D. (2004): Statistical assessment of geochemical pattern in overbank sediments of the river Sava, Croatia. *Environmental Geology* 46, 132-143.
26. Pettijohn F. J., Potter P. E., Siever R. (1987): Sand and sandstone. Springer-Verlag, New York
27. Pikija M. (1987a): Osnovna geološka karta 1:100 000, list Sisak L33-93. Hrvatski geološki institut Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
28. Pikija M. (1987b): Osnovna geološka karta 1:100 000, Tumač za list Sisak L33-93. Hrvatski geološki institut Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
29. Pollak D., Gulam V., Novosel T., Avanić R., Tomljenović B., Hećej N., Terzić J., Stipčević J., Bačić M., Kurečić T. (2021): The preliminary inventory of coseismic ground failures related to December 2020 – January 2021 Petrinja earthquake series. *Geologia Croatica: Journal of the Croatian Geological Survey and the Croatian Geological Society* 74 (2), 189-208.

30. Prevolnik S. (2021): Analiza akcelorograma za potrese kod Petrinje. [https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska\\_sluzba/potresi\\_kod\\_petrinje\\_2020](https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska_sluzba/potresi_kod_petrinje_2020) (pristupljeno 13.4.2021.)
31. Seizmološka služba pri Geofizičkom odsjeku PMF-a (2021): Preliminarni rezultati serije potresa kod Petrinje od 28. prosinca 2020. do 28. siječnja 2021. [https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska\\_sluzba/mjesec\\_dana\\_od\\_glavnog\\_petrinjskog\\_potresa](https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska_sluzba/mjesec_dana_od_glavnog_petrinjskog_potresa) (pristupljeno 13.4.2021.)
32. Seizmološka služba pri Geofizičkom odsjeku PMF-a (2020): Obavijesti o potresima kod Petrinje. [https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska\\_sluzba/izvjesca\\_o\\_potresima?@=1m692#news\\_4522\\_5](https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska_sluzba/izvjesca_o_potresima?@=1m692#news_4522_5) (pristupljeno 28.8.2021.)
33. Tomljenović B., Stipčević J., Sečanj M. (2021): Izvješće o zabilježenim pojavama koseizmičkih površinskih deformacija na području Pokuplja i Banovine nastalih potresnom serijom od 28.12.2020. do 5.1.2021. <https://www.rgn.unizg.hr/hr/izdvojeno/2790-izvjesce-o-zabiljezenim-pojavama-koseizmickih-povrsinskih-deformacija-na-podrucju-pokuplja-i-banovine-nastalih-potresnom-serijom-od-28-12-2020-do-5-01-2021> (pristupljeno 13.4.2021.)
34. United States Geological Survey (2020): Magnitude 6.4 Earthquake in Croatia. <https://www.usgs.gov/news/magnitude-64-earthquake-croatia> (pristupljeno 15.8.2021.)
35. Vidmar J., Zuliani T., Novak P., Drinčić A., Ščančar J., Milačić R. (2017): Elements in water, suspended particulate matter and sediments of the Sava River. *Journal of Soils and Sediments* 17, 1917-1927.
36. Vukovski M. (2020): Kratki osvrt na potrese u Banovini. *Vijesti Hrvatskog geološkog društva* 57 (2), 8-15.
37. Vukovski M. (2021): Potres u Petrinji - Preliminarno izvješće. <https://www.hgi-cgs.hr/potres-u-petrinji-preliminarno-izvjesce/> (pristupljeno 13.4.2021.)
38. Wikipedia (2021): 2020 Petrinja earthquake. [https://en.wikipedia.org/wiki/2020\\_Petrinja\\_earthquake](https://en.wikipedia.org/wiki/2020_Petrinja_earthquake) (pristupljeno 18.9.2021.)

## Sažetak

Tijekom potresa većih magnituda ( $M \geq 6$ ) dolazi do pojave likvefakcije, procesa pri kojem rahli slojevi pijeska zasićeni vodom kratkotrajno gube čvrstoću uslijed djelovanja seizmičkih valova uzrokovanih potresom, pri čemu dolazi do istiskivanja sedimenta prema površini. Cilj ovog rada bio je ispitati karakteristike sedimenta savskog aluvija istisnutog na četiri lokacije u Sisku i okolici uslijed petrinjskog potresa (29.12.2020., M6,2). Dodatni je cilj bio odrediti može li se ovaj sediment koristiti kao pozadinska vrijednost u geokemijskim analizama pri procjeni antropogenog onečišćenja. Sediment je analiziran klasičnim sedimentološkim metodama: analizom veličine zrna, udjela karbonata, faznom analizom, ispitivanjem geokemijskog sastava i mikroskopiranjem. Istraživanjem je utvrđeno da bi sediment mogao poticati iz slojeva pliocenske starosti te da ga je moguće koristiti kao pozadinsku vrijednost za buduća istraživanja.

## Summary

During earthquakes of larger magnitudes ( $M \geq 6$ ), liquefaction occurs, a process in which loose layers of sand saturated with water lose their strength for a short period of time due to the action of seismic waves caused by the earthquake, whereby sediment is pushed towards the surface. The aim of this study was to examine the characteristics of the Sava alluvium sediment displaced at four locations in Sisak and its surroundings due to the Petrinja earthquake (29th December 2020, M6,2). An additional goal was to determine whether this sediment could be used as a background value in geochemical analyses in the assessment of anthropogenic pollution. Sediment was analysed by classical sedimentological methods: grain size analysis, carbonate content, phase analysis, geochemical composition examination and microscopy. This research has established that the sediment could originate from the Pliocene age strata and that it could be used as a background value for future research.

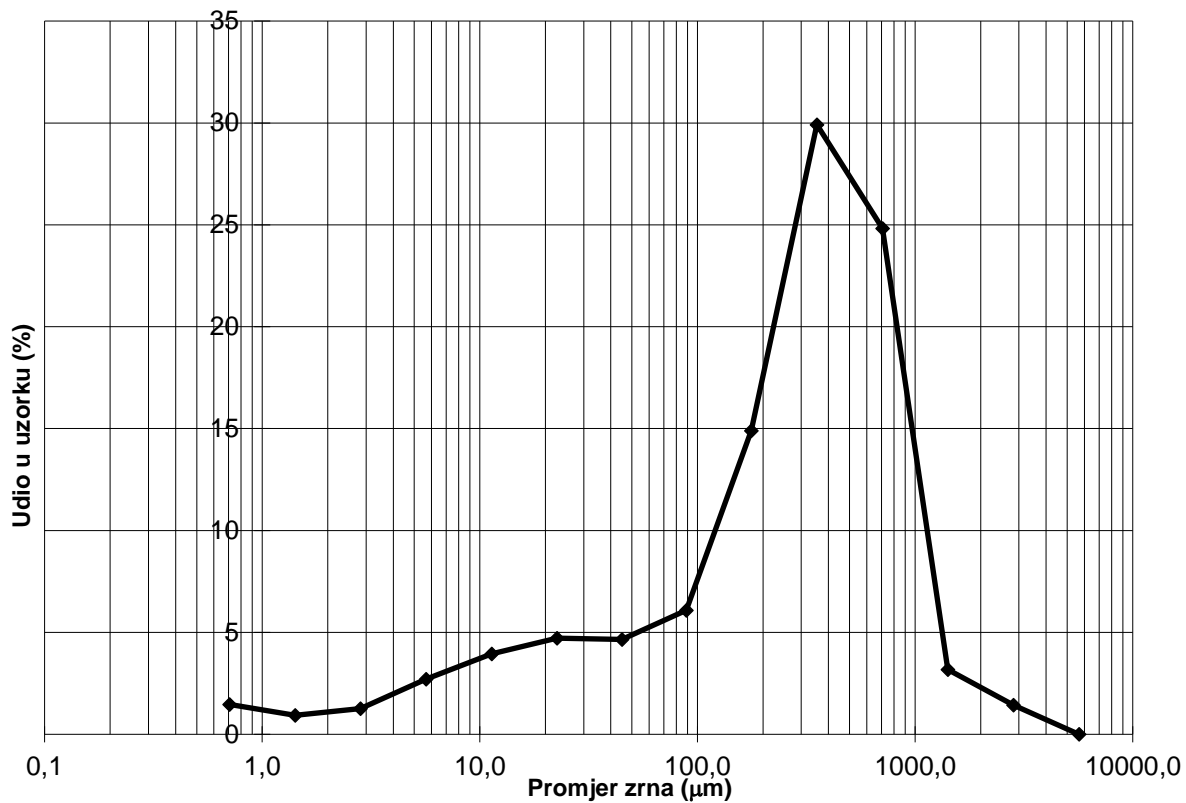
## **Životopis**

Tin Lukačević rođen je 30.7.1999. godine u Zagrebu te tamo pohađa osnovnu školu i opću gimnaziju (I.). Tijekom srednje škole sudjelovao je u međunarodnom projektu #ConnectingYouth u Italiji preko sustava razmjene Erasmus+ i stipendist je Rotary kluba Zagreb Centar. Po završetku srednje škole upisuje studij Znanosti o okolišu na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu. Tijekom studija sudjelovao je na 12. Otvorenom danu kemije na PMF-u, stipendist je STEM stipendija te 2020. godine dobiva Dekanovu nagradu za izuzetan uspjeh u studiju.

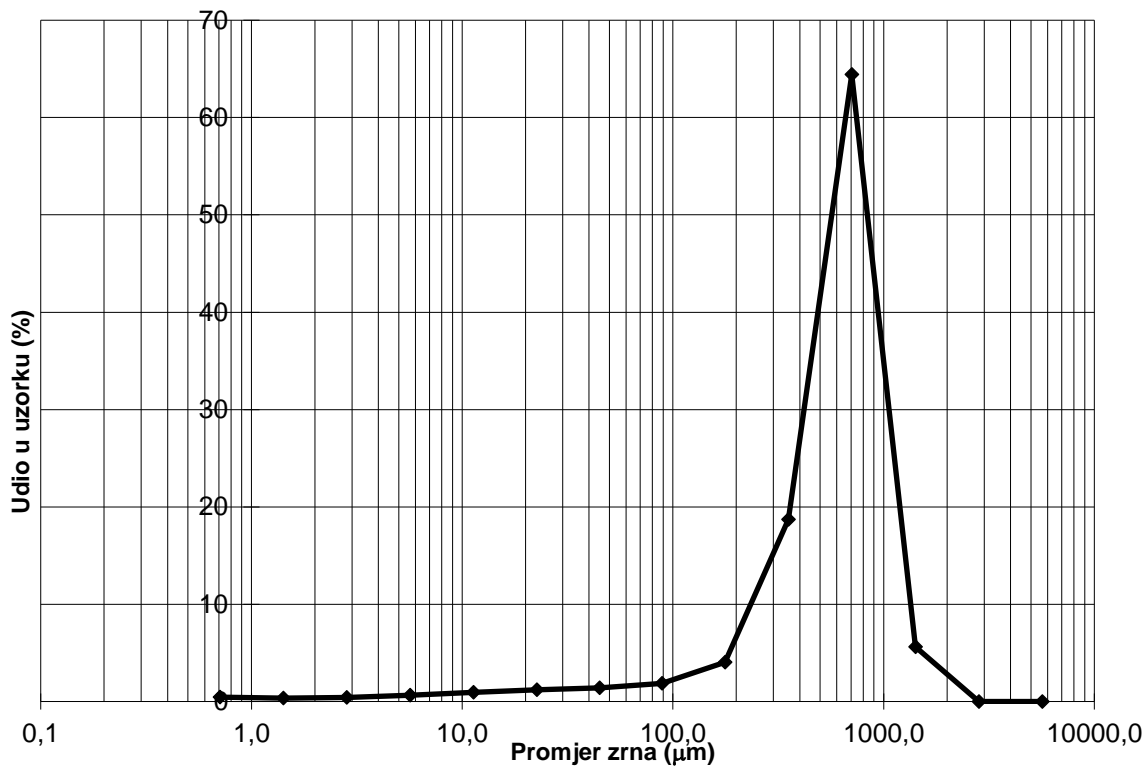
# Dodatci

Dodatak 1. Rezultati granulometrijske analize za uzorke sedimenta S66\_1, S66\_2, S72 i ND.

S66_1		S66_2		S72		ND		(nastavak)							
Channel	Diff.	Channel	Diff.	Channel	Diff.	Channel	Diff.	S66_1		S66_2		S72		ND	
Diameter	Volume	Diameter	Volume	Diameter	Volume	Diameter	Volume	Diameter	Volume	Diameter	Volume	Diameter	Volume	Diameter	Volume
(Lower)	%	(Lower)	%	(Lower)	%	(Lower)	%	(Lower)	%	(Lower)	%	(Lower)	%	(Lower)	%
µm		µm		µm		µm		µm		µm		µm		µm	
0,04	0,00066	0,04	0,00014	0,04	0,00052	0,04	0,0007	9,818	0,61	9,818	0,15	9,818	0,41	9,818	0,37
0,044	0,00084	0,044	0,00021	0,044	0,00066	0,044	0,0009	10,78	0,6	10,78	0,15	10,78	0,39	10,78	0,37
0,048	0,0013	0,048	0,00055	0,048	0,001	0,048	0,0014	11,83	0,58	11,83	0,15	11,83	0,37	11,83	0,37
0,053	0,0026	0,053	0,0015	0,053	0,002	0,053	0,0028	12,99	0,57	12,99	0,15	12,99	0,35	12,99	0,38
0,058	0,0054	0,058	0,0027	0,058	0,0043	0,058	0,0058	14,26	0,56	14,26	0,15	14,26	0,34	14,26	0,4
0,064	0,01	0,064	0,0039	0,064	0,008	0,064	0,011	15,65	0,56	15,65	0,16	15,65	0,33	15,65	0,43
0,07	0,016	0,07	0,005	0,07	0,012	0,07	0,017	17,18	0,56	17,18	0,17	17,18	0,33	17,18	0,48
0,077	0,021	0,077	0,0063	0,077	0,016	0,077	0,022	18,86	0,58	18,86	0,17	18,86	0,33	18,86	0,54
0,084	0,026	0,084	0,0077	0,084	0,02	0,084	0,027	20,71	0,6	20,71	0,17	20,71	0,34	20,71	0,64
0,093	0,031	0,093	0,0092	0,093	0,024	0,093	0,033	22,73	0,64	22,73	0,18	22,73	0,37	22,73	0,76
0,102	0,036	0,102	0,011	0,102	0,028	0,102	0,038	24,95	0,68	24,95	0,2	24,95	0,4	24,95	0,9
0,112	0,041	0,112	0,012	0,112	0,032	0,112	0,043	27,39	0,73	27,39	0,23	27,39	0,43	27,39	1,05
0,122	0,046	0,122	0,013	0,122	0,036	0,122	0,049	30,07	0,76	30,07	0,25	30,07	0,45	30,07	1,22
0,134	0,051	0,134	0,015	0,134	0,04	0,134	0,054	33,01	0,78	33,01	0,25	33,01	0,46	33,01	1,38
0,148	0,055	0,148	0,016	0,148	0,043	0,148	0,059	36,24	0,79	36,24	0,24	36,24	0,48	36,24	1,55
0,162	0,06	0,162	0,017	0,162	0,047	0,162	0,063	39,78	0,8	39,78	0,23	39,78	0,49	39,78	1,72
0,178	0,064	0,178	0,019	0,178	0,05	0,178	0,068	43,67	0,83	43,67	0,24	43,67	0,52	43,67	1,9
0,195	0,069	0,195	0,02	0,195	0,054	0,195	0,073	47,94	0,87	47,94	0,27	47,94	0,56	47,94	2,1
0,214	0,074	0,214	0,022	0,214	0,058	0,214	0,078	52,62	0,94	52,62	0,29	52,62	0,63	52,62	2,33
0,235	0,079	0,235	0,024	0,235	0,062	0,235	0,083	57,77	1,02	57,77	0,31	57,77	0,72	57,77	2,59
0,258	0,084	0,258	0,026	0,258	0,066	0,258	0,089	63,41	1,13	63,41	0,33	63,41	0,84	63,41	2,9
0,284	0,089	0,284	0,028	0,284	0,07	0,284	0,094	69,61	1,28	69,61	0,36	69,61	0,99	69,61	3,28
0,311	0,093	0,311	0,029	0,311	0,074	0,311	0,099	76,42	1,46	76,42	0,39	76,42	1,18	76,42	3,73
0,342	0,097	0,342	0,031	0,342	0,078	0,342	0,1	83,89	1,68	83,89	0,43	83,89	1,41	83,89	4,27
0,375	0,1	0,375	0,033	0,375	0,082	0,375	0,11	92,09	1,94	92,09	0,49	92,09	1,69	92,09	4,85
0,412	0,11	0,412	0,035	0,412	0,085	0,412	0,11	101,1	2,21	101,1	0,58	101,1	2,02	101,1	5,44
0,452	0,11	0,452	0,037	0,452	0,089	0,452	0,12	111	2,48	111	0,68	111	2,4	111	5,95
0,496	0,11	0,496	0,039	0,496	0,093	0,496	0,12	121,8	2,74	121,8	0,78	121,8	2,84	121,8	6,31
0,545	0,12	0,545	0,042	0,545	0,097	0,545	0,13	133,7	3,01	133,7	0,88	133,7	3,33	133,7	6,44
0,598	0,12	0,598	0,044	0,598	0,1	0,598	0,13	146,8	3,32	146,8	1	146,8	3,89	146,8	6,28
0,656	0,13	0,656	0,046	0,656	0,11	0,656	0,14	161,2	3,73	161,2	1,26	161,2	4,52	161,2	5,78
0,721	0,13	0,721	0,048	0,721	0,11	0,721	0,14	176,9	4,25	176,9	1,82	176,9	5,17	176,9	4,96
0,791	0,14	0,791	0,05	0,791	0,11	0,791	0,15	194,2	4,82	194,2	2,86	194,2	5,79	194,2	3,89
0,868	0,14	0,868	0,052	0,868	0,12	0,868	0,15	213,2	5,3	213,2	4,45	213,2	6,26	213,2	2,72
0,953	0,15	0,953	0,054	0,953	0,13	0,953	0,16	234	5,55	234	6,44	234	6,48	234	1,63
1,047	0,15	1,047	0,056	1,047	0,13	1,047	0,16	256,9	5,42	256,9	8,45	256,9	6,38	256,9	0,76
1,149	0,16	1,149	0,057	1,149	0,14	1,149	0,17	282,1	4,92	282,1	10	282,1	5,95	282,1	0,25
1,261	0,17	1,261	0,058	1,261	0,15	1,261	0,17	309,6	4,14	309,6	10,7	309,6	5,26	309,6	0,041
1,384	0,18	1,384	0,059	1,384	0,16	1,384	0,18	339,9	3,27	339,9	10,3	339,9	4,4	339,9	0,0028
1,52	0,19	1,52	0,059	1,52	0,17	1,52	0,19	373,1	2,49	373,1	8,99	373,1	3,51	373,1	0
1,668	0,2	1,668	0,06	1,668	0,18	1,668	0,19	409,6	1,9	409,6	7,17	409,6	2,68	409,6	0
1,832	0,22	1,832	0,061	1,832	0,19	1,832	0,2	449,7	1,5	449,7	5,26	449,7	1,96	449,7	0
2,011	0,24	2,011	0,063	2,011	0,21	2,011	0,21	493,6	1,24	493,6	3,6	493,6	1,37	493,6	0
2,207	0,26	2,207	0,065	2,207	0,23	2,207	0,22	541,9	1,03	541,9	2,32	541,9	0,9	541,9	0
2,423	0,29	2,423	0,069	2,423	0,25	2,423	0,23	594,8	0,82	594,8	1,42	594,8	0,55	594,8	0
2,66	0,32	2,66	0,075	2,66	0,27	2,66	0,25	653	0,6	653	0,86	653	0,3	653	0
2,92	0,35	2,92	0,082	2,92	0,29	2,92	0,26	716,8	0,38	716,8	0,56	716,8	0,13	716,8	0
3,205	0,38	3,205	0,091	3,205	0,31	3,205	0,28	786,9	0,21	786,9	0,33	786,9	0,044	786,9	0
3,519	0,42	3,519	0,1	3,519	0,34	3,519	0,29	863,9	0,094	863,9	0,1	863,9	0,01	863,9	0
3,863	0,45	3,863	0,11	3,863	0,36	3,863	0,3	948,3	0,041	948,3	0,0074	948,3	0,0014	948,3	0
4,24	0,49	4,24	0,12	4,24	0,38	4,24	0,32	1041	0,021	1041	0	1041	0,000086	1041	0
4,655	0,52	4,655	0,13	4,655	0,39	4,655	0,33	1143	0,033	1143	0	1143	0	1143	0
5,11	0,55	5,11	0,13	5,11	0,41	5,11	0,34	1255	0,075	1255	0	1255	0	1255	0
5,61	0,57	5,61	0,14	5,61	0,42	5,61	0,35	1377	0,16	1377	0	1377	0	1377	0
6,158	0,59	6,158	0,14	6,158	0,43	6,158	0,36	1512	0,27	1512	0	1512	0	1512	0
6,76	0,61	6,76	0,15	6,76	0,43	6,76	0,36	1660	0,38	1660	0	1660	0	1660	0
7,421	0,62	7,421	0,15	7,421	0,43	7,421	0,37	1822	0,5	1822	0	1822	0	1822	0
8,147	0,62	8,147	0,15	8,147	0,43	8,147	0,37	2000	0	2000	0	2000	0	2000	0
8,943	0,62	8,943	0,15	8,943	0,42	8,943	0,37								

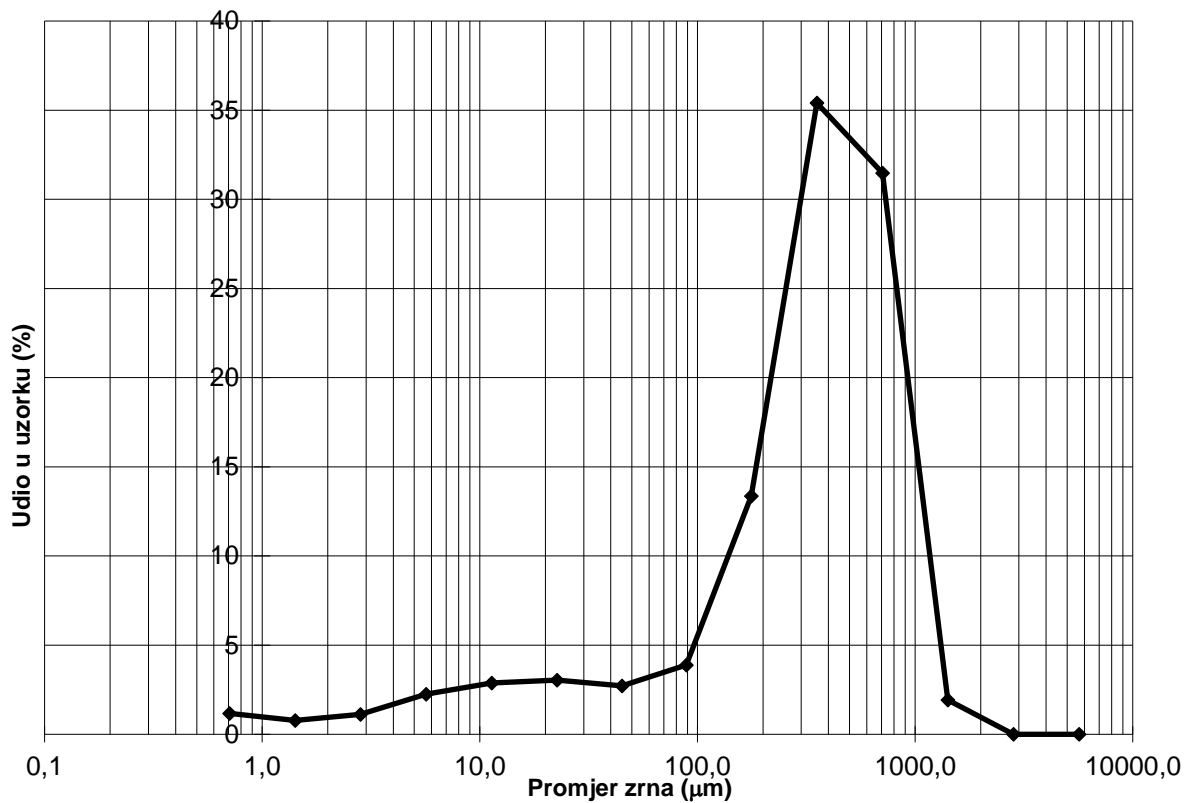


**Dodatak 2.** Raspodjela veličine zrna u uzorku S66\_1 sedimenta koji je na površinu izašao likvefakcijom uslijed petrinjskog potresa (29.12.2020., M6,2).

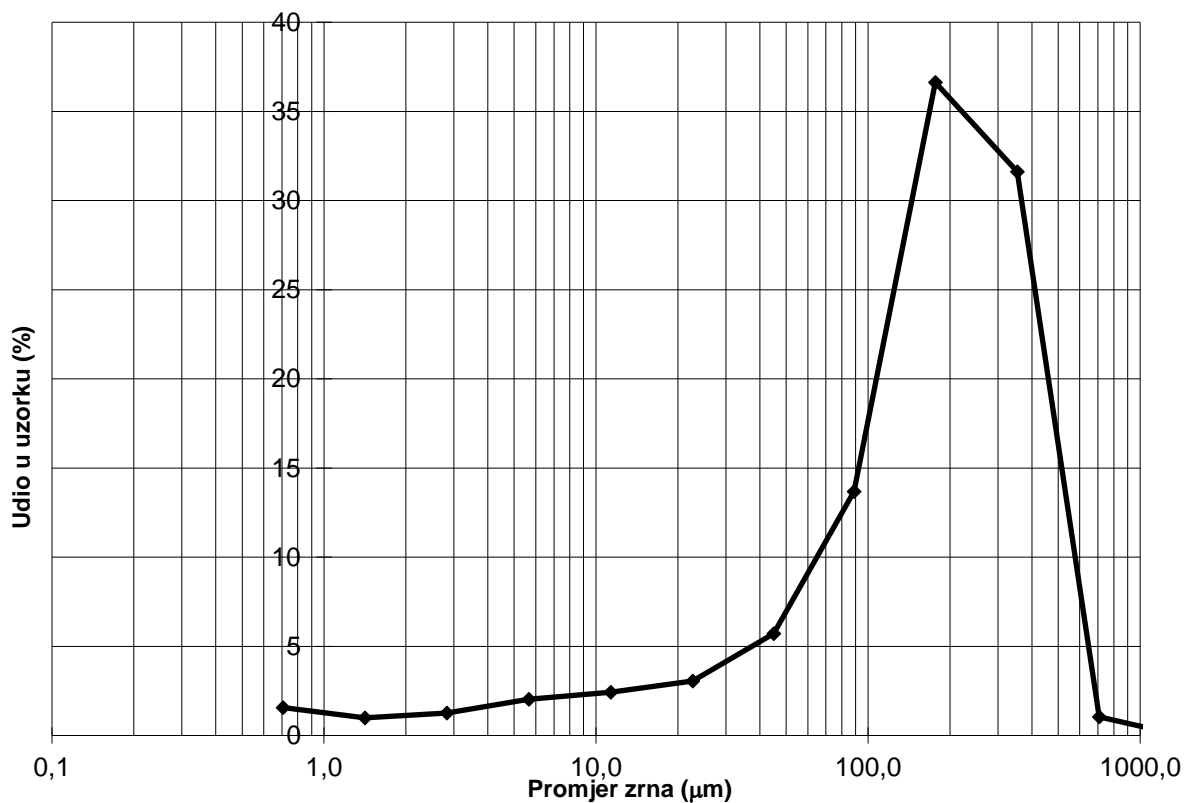


**Dodatak 3.** Raspodjela veličine zrna u uzorku S66\_2 sedimenta koji je na površinu izašao likvefakcijom uslijed petrinjskog potresa (29.12.2020., M6,2).





**Dodatak 4.** Raspodjela veličine zrna u uzorku S72 sedimenta koji je na površinu izašao likvefakcijom uslijed petrinjskog potresa (29.12.2020., M6,2).



**Dodatak 5.** Raspodjela veličine zrna u uzorku ND sedimenta koji je na površinu izašao likvefakcijom uslijed petrinjskog potresa (29.12.2020., M6,2).

**Dodatak 6.** Rezultati multielementne analize i usporedba s literaturnim vrijednostima (narančasto - „antropofilni“ elementi (Chen i sur. 2014), sivo - nije mjereno, crveno - značajno povišena koncentracija; znak minus (-) predstavlja rezultat ispod granice detekcije).

						Fančišković-Bilinski (2007)			Lučić (2019)	
		S66_1	S66_2	S72	ND	S42	S43	S44	S21	S23
Glavni elementi	Na	4910	5611	5060	10424	790	120	100	5000	4900
	Mg	15960	24758	18897	4453	33400	24300	7000	28300	26700
	Al	22604	19074	18612	40093	6500	13100	11400	56800	56700
	P	319	225	262	395	3350	1080	470	970	1200
	S	315	254	124	112	176	1770	1340	1200	1500
	Ca	70199	92006	65977	3537	98000	80500	60000	114000	129000
	K	7652	7907	7742	14090	-	1200	900	16000	16100
	Ti	1551	1318	1983	3772	300	100	200	3200	3100
	Fe	11126	7016	7717	20555	29200	20800	25500	26500	27900
Elementi u tragovima	Li	16,03	15,65	15,66	28,45	8,10	17,00	12,20	46	45,5
	Be	0,61	0,52	0,53	1,41	-	0,60	0,60	1,6	1,7
	Rb	35,54	29,04	27,83	51,94	7,70	11,60	10,40	84,3	82,9
	Nb	4,23	3,49	5,39	9,75	-	0,50	0,70	10,1	9,8
	Mo	0,28	0,45	0,58	1,35	0,62	0,77	0,54	1,6	2,8
	Cd	0,39	0,15	0,15	0,38	-	0,80	0,40	0,69	0,73
	Sn	1,78	1,37	1,52	2,51	-	1,03	0,45	7,3	10,3
	Te	0,02	0,02	0,01	0,04	-	0,03	-		
	Cs	1,75	0,99	1,02	2,17	-	1,30	0,80	7,4	7,3
	Tl	0,24	0,17	0,17	0,34	-	0,17	0,15	0,69	0,69
	Pb	12,93	6,83	10,25	17,24	22,00	65,10	17,60	56	61,1
	Bi	0,06	7,07	0,27	0,22	0,86	0,52	0,14	0,4	0,42
	U	1,09	1,06	1,14	1,73	-	1,10	1,00	3,1	3,1
	Sc	3,43	2,41	2,44	6,40	-	2,40	3,30	10,1	10,1
	V	30,01	17,85	22,50	56,96	-	23,00	28,00	82	82,8
	Cr	36,70	31,56	54,23	120,49	27,20	52,00	29,50	85,6	90,1
	Mn	448	337	177	377	1370	494	793	671	697
	Co	6,67	4,17	4,44	8,64	6,50	9,30	15,00	11,7	11,7
	Ni	16,25	10,09	12,38	36,79	23,40	37,70	36,60	45,5	48,2
	Cu	8,02	3,38	4,57	107,75	23,10	54,50	14,60	37,1	34,4
	Zn	93,33	26,44	44,05	110,05	116,00	229,00	57,60	159	188
	Ga	5,01	3,75	3,82	8,54	1,26	3,55	3,45	13	12,8
	Ge	0,90	1,08	1,00	1,37	-	-	-	1,1	1,2
Sr	72,35	86,44	67,42	60,67	75,70	94,20	48,50	249	286	
Y	8,23	6,96	6,97	14,08	5,10	8,46	12,30	16,2	15,7	
Sb	0,58	0,59	0,49	1,03	-	0,42	0,14	1,4	1,5	
Ba	159,20	134,00	134,11	238,45	169,00	140,00	65,00	347	385	
W	0,68	0,54	0,79	1,27	-	0,20	-	1,9	1,8	
Th	3,57	2,98	3,05	5,92	3,40	1,40	3,50	9,2	9,5	
As	5,68	3,07	4,41	8,78	1,90	6,10	13,00	10,3	10,7	
Elementi rijetkih zemalja	La	10,88	8,04	9,67	16,96	9,50	10,60	15,70	24	24,1
	Ce	22,29	16,78	19,64	34,55	30,30	21,40	35,20	48,2	48,7
	Pr	2,67	1,99	2,27	4,29	2,60	2,60	4,10	5,7	5,8
	Nd	10,19	7,33	8,69	16,34	10,10	10,10	16,30	22,4	23,1
	Sm	2,19	1,59	1,79	3,60	2,00	2,40	3,50	4,8	4,5
	Eu	0,46	0,31	0,33	0,69	-	0,50	0,70	0,88	0,86
	Gd	1,88	1,37	1,39	2,88	1,90	2,50	3,60	3	3,1
	Tb	0,26	0,21	0,22	0,44	-	0,30	0,40	0,55	0,56
	Dy	1,53	1,19	1,28	2,59	-	1,70	2,50	3,4	3,2
	Ho	0,31	0,24	0,26	0,51	-	0,30	0,50	0,57	0,54
	Er	0,87	0,68	0,75	1,51	-	0,80	1,10	1,7	1,7
	Tm	0,13	0,10	0,10	0,21	-	0,10	0,10	0,26	0,25
	Yb	0,81	0,68	0,68	1,44	-	0,70	0,90	1,8	1,6
Lu	0,11	0,11	0,10	0,20	-	0,10	0,10	0,43	0,4	