

# Usporedba sedimenata i sedimentnih stijena iz Ledene jame i jame Nedam na Sjevernom Velebitu

---

Marinić, Maja

Master's thesis / Diplomski 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:217:182720>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-31**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Maja Marinić

**USPOREDBA SEDIMENATA I SEDIMENTNIH  
STIJENA IZ LEDENE JAME I JAME NEDAM NA  
SJEVERNOM VELEBITU**

Diplomski rad

**Zagreb, 2021.**

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOLOŠKI ODSJEK

Maja Marinić

**USPOREDBA SEDIMENATA I SEDIMENTNIH  
STIJENA IZ LEDENE JAME I JAME NEDAM NA  
SJEVERNOM VELEBITU**

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

Mentori:

prof. dr. sc. Darko Tibljaš

doc. dr. sc. Dalibor Paar

Zagreb, 2021.

*Zahvaljujem...*

*...mentorima prof. dr. sc. Darku Tibljašu i doc. dr. sc. Daliboru Paaru na stručnome mentorstvu i vodstvu, te na svakom savjetu, pomoći i podršci prilikom izrade i oblikovanja ovoga rada,*

*...doc. dr. sc. Maji Martinuš na pomoći pri analizi uzoraka i svakom savjetu i preporučenoj literaturi,*

*...dipl. inž. Štefci Kampić i Dejanu Vončini na pomoći prilikom pripreme uzoraka,*

*...doc. dr. sc. Kristini Pikelj i dr. sc. Frani Markoviću na pomoći analizi uzoraka i obradi rezultata,*

*...Nacionalnom parku Sjeverni Velebit na izvrsnoj suradnji i mogućnosti provođenja ovog istraživanja,*

*...Speleološkom odsjeku PDS Velebit na pomoći i suradnji tijekom prikupljanja uzoraka,*

*...Svim speleolozima koji su pomogli u transportu uzoraka na speleološkoj ekspediciji "Nedam 2020.",*

*...svojoj obitelji na nesebičnoj podršci i razumijevanju tijekom studiranja,*

*...Dini na pomoći, razumijevanju i podršci tijekom izrade ovoga rada.*

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Diplomski rad

### Usporedba sedimenata i sedimentnih stijena iz Ledene jame i jame Nedam na Sjevernom Velebitu

Maja Marinić

Rad je izrađen na Geološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta,  
Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb

Sažetak: Speleološki objekti nude pogled u geološke karakteristike koje mogu biti teško vidljive na površini. U ovom istraživanju odabrane su dvije jame Sjevernog Velebita za analizu i usporedbu stijena i sedimenata, Ledena jama i jama Nedam. U svrhu određivanja mineralnog sastava sedimenata korištena je metoda analize teške frakcije, te rendgenska difrakcija. Iz uzoraka sedimentnih stijena izrađeni su mikroskopski preparati u svrhu određivanja starosti i litoloških karakteristika uzoraka. Rezultati analiza sedimenata pokazali su razliku u mineraloškom sastavu uzoraka, ovisno o njihovoj dubini. Rezultati određivanja starosti i litoloških karakteristika stijenskih uzoraka potvrdili su pretpostavljeni slijed naslaga, uz neočekivanu prisutnost sloja karbonatnih breča na većim dubinama.

**Ključne riječi:** Sjeverni Velebit, speleološki objekti, minerali glina, teška mineralna frakcija, stratigrafija

**Rad sadrži:** 55+IV stranice, 31 sliku, 6 tablica, 42 literaturna navoda, 3 table i 1 prilog

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Rad je pohranjen u:** Središnjoj geološkoj knjižnici, Geološki odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Horvatovac 102A, 10 000 Zagreb, Hrvatska

**Mentor(i):** prof. dr. sc. Darko Tibljaš, redoviti profesor, PMF Zagreb  
doc. dr. sc. Dalibor Paar, docent, PMF Zagreb

**Ocjenjivači:** prof. dr. sc. Darko Tibljaš, redoviti profesor, PMF Zagreb  
doc. dr. sc. Dalibor Paar, docent, PMF Zagreb  
doc. dr. sc. Maja Martinuš, docentica, PMF Zagreb

**Datum završnog ispita:** 20.09.2021.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geology

### Graduate Thesis

#### Comparison of sediments and sedimentary rocks from Ledena jama and Nedam caves on the Northern Velebit

Maja Marinić

Thesis completed at the Department of Geology, Faculty of Science, Horvatovac 102a, 10 000  
Zagreb

**Abstract:** Caves offer a view of geological features that may be difficult to see on the surface. In this study, two caves of the Northern Velebit were selected for the analysis and comparison of rocks and sediments, the Ledena jama and the Nedam cave. To determine the mineral composition of sediments, the method of heavy fraction analysis and X-ray diffraction were used. Thin sections were made from sedimentary rock samples in order to determine the age and lithological characteristics of the samples. The results of sediment analyses showed a difference in the mineralogical composition of the samples, depending on their depth. The results of determining the age and lithological characteristics of the rock samples confirmed the assumed sequence of deposits, with the unexpected presence of a layer of carbonate breccias at greater depths.

**Keywords:** Northern Velebit, speleological objects, clay minerals, heavy mineral fraction, stratigraphy

**Thesis contains:** 55+IV pages, 31 figures, 6 tables, 42 references, 3 plates and 1 attachment

**Original in:** Croatian

**Thesis deposited in:** Central Library of Geology, Department of Geology, Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb, Croatia

**Supervisor:** prof. dr. sc. Darko Tibljaš, Full Professor with tenure, PMF Zagreb  
doc. dr. sc. Dalibor Paar, Assistant professor, PMF Zagreb

**Reviewers:** prof. dr. sc. Darko Tibljaš, Full Professor with tenure, PMF Zagreb  
doc. dr. sc. Dalibor Paar, Assistant professor, PMF Zagreb  
doc. dr. sc. Maja Martinuš, Assistant professor, PMF Zagreb

**Date of the final exam:** 20.09.2021.

# Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Pregled dosadašnjih istraživanja .....	2
2.1 Geografski smještaj područja .....	2
2.2. Geološka i geotektonska građa istraživnog područja .....	3
2.2.1. Stratigrafske jedinice .....	5
2.2.2. Strukturni elementi.....	9
2.3. Geospeleološka istraživanja .....	10
2.3.1. Istraživanja jame Nedam.....	11
2.3.2. Istraživanja Ledene jame .....	14
3. Metode .....	15
3.1. Terensko istraživanje i uzorkovanje .....	15
3.2. Fazna analiza .....	19
3.2.1. Osnovne karakteristike rendgenske difrakcije .....	19
3.2.2. Priprema orijentiranih preparata .....	20
3.2.3. Tretiranje orijentiranih preparata .....	21
3.2.4. Neorijentirani preparati .....	22
3.3. Granulometrijska analiza .....	22
3.4. Separacija i analiza teške mineralne frakcije.....	24
3.4.1. Priprema uzoraka za separaciju teške mineralne frakcije .....	24
3.4.2. Separacija teške mineralne frakcije, izrada i analiza mikroskopskog preparata.....	25
3.5. Obrada i analiza uzoraka stijena.....	26
4. Rezultati istraživanja.....	27
4.1. Rezultati makroskopske analize uzoraka.....	27
4.2. Rezultati analize stijenskih izbrusaka.....	29
4.3. Rezultati granulometrijske analize .....	33
4.4. Rezultati analize teške mineralne frakcije .....	35
4.5. Rezultati rendgenske difrakcijske analize .....	40
4.5.1. Cjelostjenski preparati.....	40
4.5.2. Orijetirani preparati .....	41
4.5.3. Neorijentirani preparati .....	45
5. Rasprava.....	46
6. Zaključak.....	52
7. Literatura.....	53

## 1. Uvod

Područje Sjevernog Velebita poznato je po razvijenim krškim oblicima, uključujući i duboke speleološke objekte. Aktivna tektonika, glacijalna razdoblja i izloženost atmosferskim uvjetima utjecali su na eroziju stijena i razvoj krša na ovim područjima. Osim analiza stijena i na njima razvijenog reljefa, rezultati analize sedimenata iz speleoloških objekata također mogu doprinijeti razumijevanju nastanka objekta i geoloških procesa na užem području.

U svrhu ovog istraživanja odabrane su dvije jame s područja Sjevernog Velebita, jama Nedam na Hajdučkim i Rožanskim kukovima, te Ledena jama u Lomskoj dolini. Jama Nedam treći je najdublji speleološki objekt u Hrvatskoj s dubinom 1226 m, te se u njenoj neposrednoj blizini nalaze i ostali hrvatski najdublji objekti: Lukina jama – Trojama (-1431 m), Slovačka jama (-1324 m), jamski sustav Velebita (-1026 m) i dr. Jama Nedam zanimljiva je zbog izmjene uskih meandara i širokih vertikalna, te specifičnog nepristupačnog terena Hajdučkih i Rožanskih kukova gdje je smješten ulaz u objekt. Ledena jama smještena je u glacijalnoj dolini Lomska dolina, okružena visokim planinskim vrhovima, specifična po debelom sloju leda na dubini od 50 do 90 metara, prisutom tijekom cijele godine.

Jedan od ciljeva ovog istraživanja bio je utvrđivanje prisutnih stratigrafskih jedinica i utvrđivanje njihovih kontakata u jami Nedam, te utvrđivanje stratigrafske jedinice na ulaznim dijelovima Ledene jame. Uzroci koji pripadaju istim stratigrafskim jamicama u obje jame su međusobno i uspoređeni. Drugi cilj istraživanja bio je mineraloška analiza sedimenata iz obje jame, te njihova usporedba. Ovisno o veličini frakcije, provedene su različite analize u svrhu dobivanja što iscrpnijih informacija o mineralnom sastavu i mogućoj provenijenciji sedimenata.

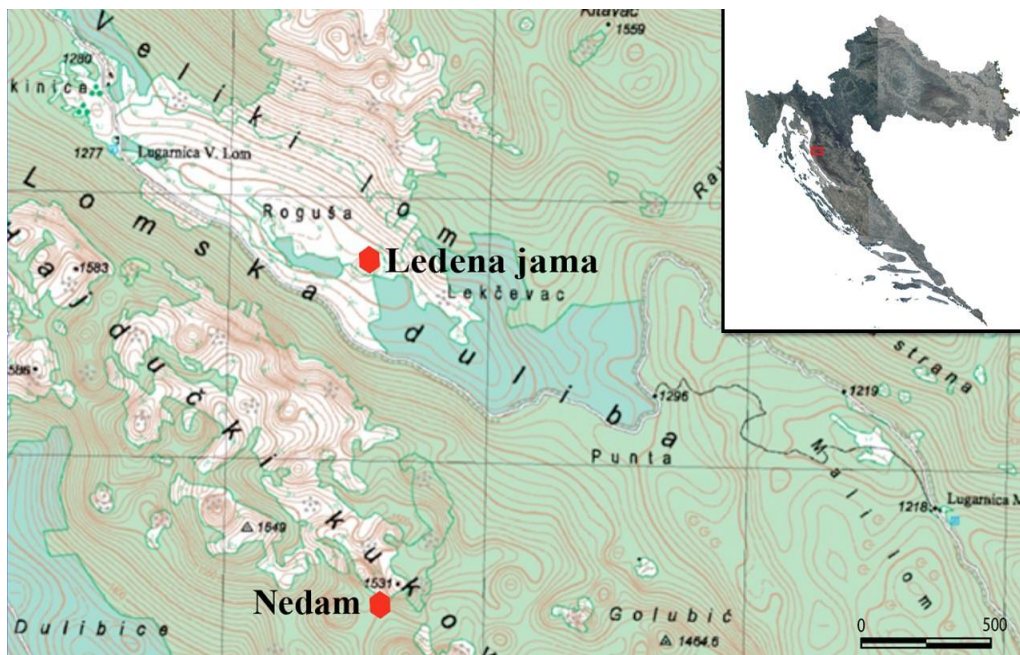
Uzorci su prikupljeni u okviru dopuštenja nadležnog ministarstva za speleološka istraživanja tijekom speleološke ekspedicije "Nedam 2020." u organizaciji Speleološkog odsjeka PDS Velebit, Komisije za speleologiju Hrvatskog planinarskog saveza, te Nacionalnog parka Sjeverni Velebit. U jami Nedam speleološka istraživanja su i dalje u tijeku, a u ovom radu korišteni su podaci koji su bili aktualni prilikom prikupljanja uzoraka (srpanj i kolovoz 2020. god.)



## 2. Pregled dosadašnjih istraživanja

### 2.1 Geografski smještaj područja

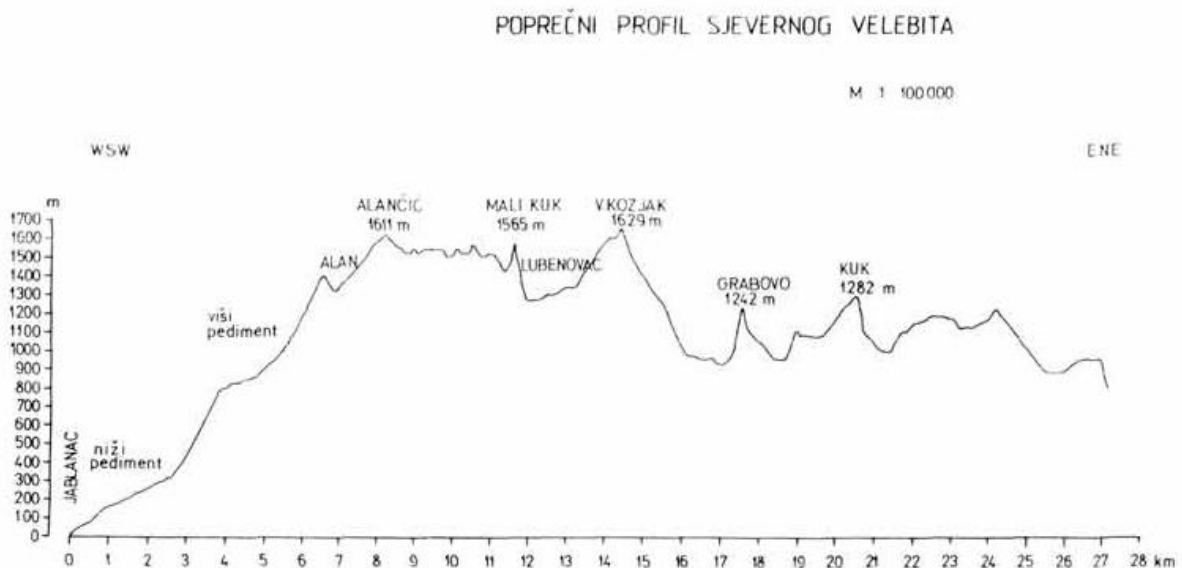
Speleološki objekti odabrani za istraživanje smješteni su na Sjevernom Velebitu. Jama Nedam nalazi se u strogom prirodnom rezervatu Hajdučki i Rožanski kukovi, a Ledena jama nalazi se u glacijalnoj dolini Lomska duliba (Slika 1).



Slika 1 Topografska karta područja s označenim ulazima u Ledenu jamu i jamu Nedam.  
Izvor karte: <http://preglednik.arkod.hr/ARKOD-Web/>

Velebit predstavlja najdužu planinu u Hrvatskoj (145km) smještenu uz samu jadransku obalu, s pružanjem SZ-JI. Prostire se od prijevoja Vratnik na sjeverozapadu, pa sve do kanjona rijeke Zrmanje na jugoistoku. Najviši vrh Velebita je Vaganski vrh (1757 m), no po visini je tek četvrta planina u Hrvatskoj. Zajedno s Dinarom, Biokovom, Kamešnicom i brojnim drugim planinama hrvatskog primorja pripada Dinaridima, mladom ulančanom gorju jugoistočne Europe koje karakterizira karbonatna građa i specifičan krški reljef (*Dinarski krš*). Jedna od prepoznatljivih morfoloških karakteristika Velebita je njegova asimetričnost, odnosno značajno strmija jugozapadna primorska padina i blaža istočna kontinentska (Slika 2). Područje Sjevernog Velebita duljine je oko 30 km, širine od 10 do 30 km, a južna granica je prijevoj Veliki Alan. Područje Sjevernog Velebita poznato je i po glacijaciji koja se na tom području odvijala u prošlosti i imala ključan utjecaj na razvoj reljefa. Danas ga karakteriziraju specifični vremenski uvjeti koji su posljedica sukobljavanja mediteranske i kontinentske klime. Glavne

klimatske karakteristike su velike količine oborina, orkanske bure, velik broj dana u godini s prisutnom maglom, česta grmljavinska nevremena i niske prosječne temperature. Takvi klimatski uvjeti pogodni su za formiranje krškog reljefa i raznih krških oblika po čemu je nacionalni park poznat. Neki od površinskih krških oblika su škrape, kukovi, grižine, žljebovi, kamenice itd. Podzemni krški oblici su jame, špilje i kaverne. Jame su speleološki objekti dublji od 5 m s nagibom kanala većim od 45° (RNJAK et al., 2019). Prirodni rezervat Hajdučki i Rožanski kukovi svoju posebnost krije upravo u krškim oblicima koji su se na tom području razvili, zbog tektonskih, glacijalnih i atmosferskih djelovanja u prošlosti i danas, te je to područje jedno od najnepristupačnijih u cijelom parku. Upravo zbog toga je i poprilično neistraženo područje, speleološki i geološki, te se iz godine u godinu na tom području provode nova istraživanja.

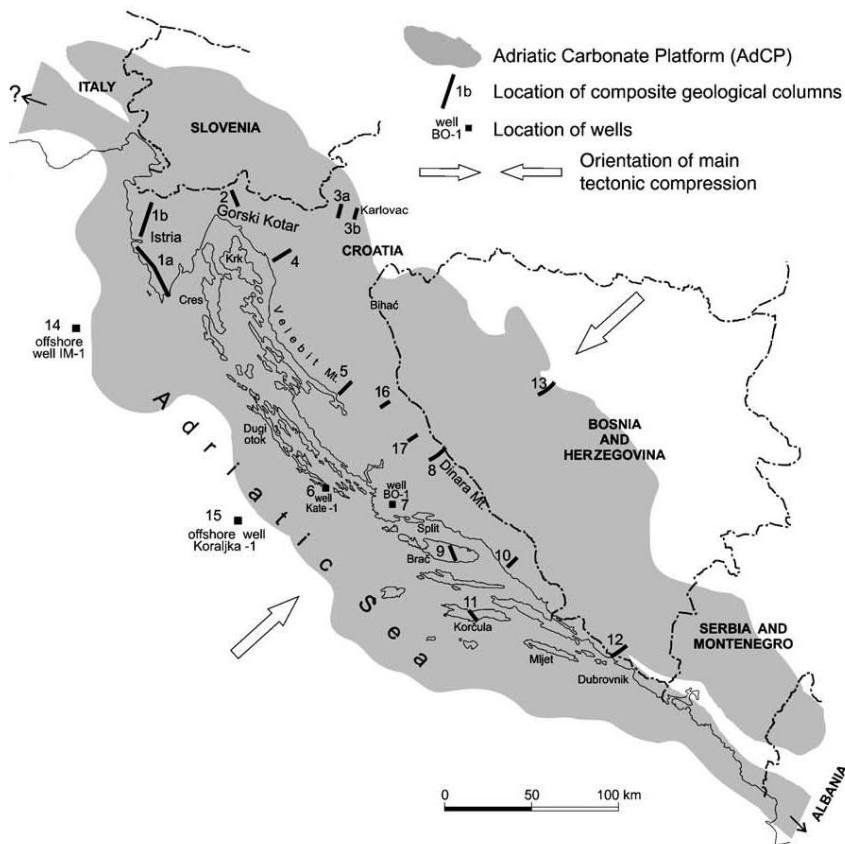


Slika 2 Poprečni profil Sjevernog Velebita (Bognar, 1991).

## 2.2. Geološka i geotektonska građa istraživanog područja

Na području Sjevernog Velebita prevladavaju karbonatne naslage koje su nastale na nekadašnjoj Jadranskoj karbonatnoj platformi (AdCP – *Adriatic Carbonate Platform*). AdCP bila je jedna od najvećih mezozojskih karbonatnih platformi s kompleksnom geološkom evolucijom pod utjecajem brojnih tektonskih događaja (VLAHOVIĆ et al., 2005). Naslage nastale na karbonatnoj platformi prisutne su u Italiji, Sloveniji, Bosni i Hercegovini, Hrvatskoj, Srbij, Crnoj Gori i Albaniji, što je ujedno i područje obuhvaćeno Vanjskim Dinaridima (Slika 3). Vanjski Dinaridi, poznati i kao Krški Dinaridi, pružaju se uz Jadransko more i dio su

planinskog lanca Dinarida. Podina AdCP nastala je dok je još bila dio gondwanskog šelfa, a čine ju permski siliciklastiti i dolomiti, donjotrijaske klastično-karbonatne naslage i plitkovodni vapnenci s proslojcima vulkanoklastita srednjeg trijasa (VLAHOVIĆ et al., 2005). Tijekom srednjeg trijasa na području Gondwane dolazi do riftovanja i odvajanja velikog fragmenta (mikrokontinenta) pod nazivom Jadranska mikroploča (VLAHOVIĆ et al., 2005). Na granici mlađeg trijasa i starije jure na Jadranskoj mikroploči kao posljedica ekstenzijske tektonike dolazi do diferencijacije taložnih okoliša i nastaju tri manje karbonatne platforme – Jadranska, Apeninska i Apulijska, te dolazi do formiranja budućeg Jadranskog bazena (VLAHOVIĆ et al., 2005). Također, tijekom starije jure mjestimice su zabilježeni anoksični uvjeti taloženja, koji su usporili taloženje karbonatnih naslaga. Tijekom srednje jure-starije krede dolazi do slijeganja podine platforme, što omogućuje daljnju akumulaciju karbonatnih naslaga debljine nekoliko kilometara (BUCKOVIĆ, 2006). Mlađa krede označava početak kraja postojanja AdCP jer dolazi do njenog postupnog raspadanja zbog kolizijskih procesa s Eurazijskom pločom. Ujedno se diferenciraju i taložni uvjeti, te se do kraja krede postupno smanjuje plitkomorski taložni prostor uslijed emerzije većih dijelova platforme (VLAHOVIĆ et al., 2005).

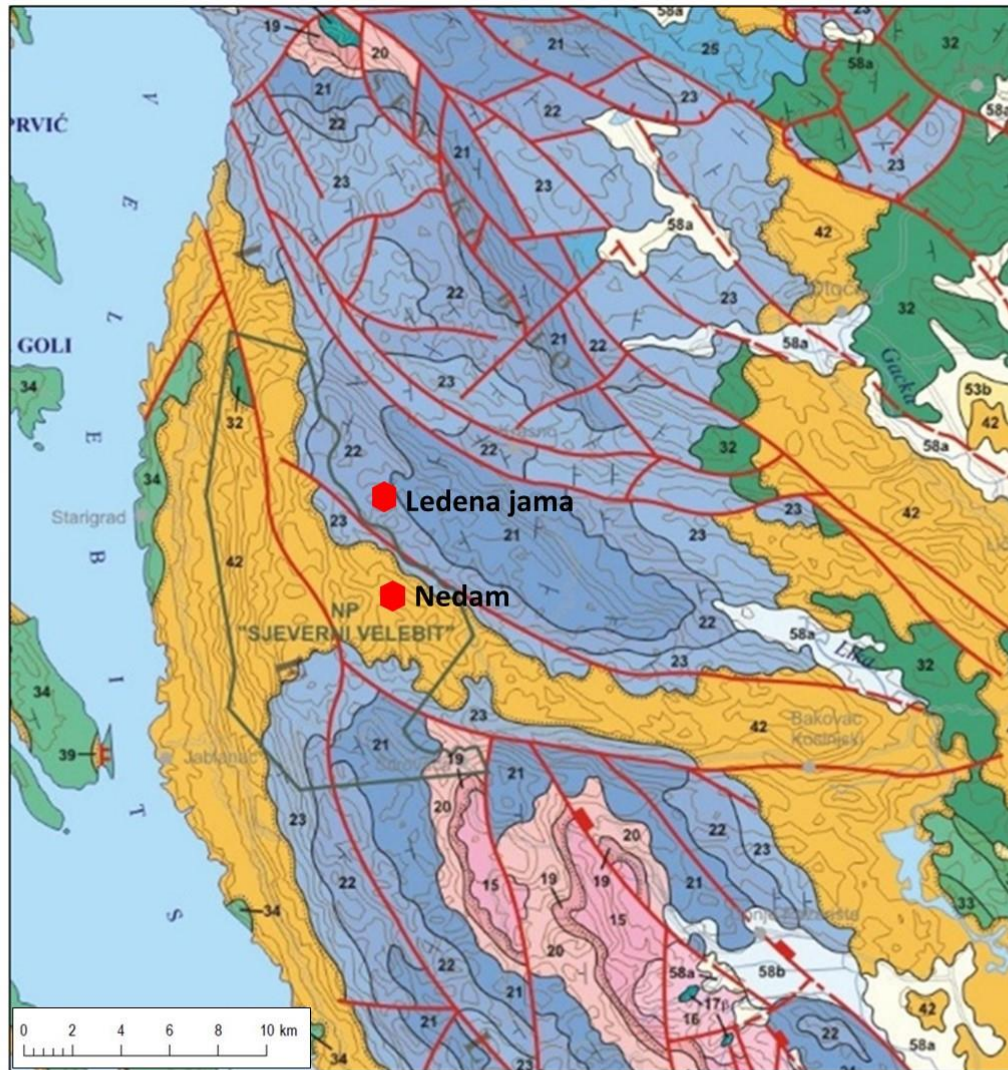


Slika 3 Današnji raspored naslaga nastalih na nekadašnjoj Jadranskoj karbonatnoj platformi (AdCP) (Vlahović et al., 2005).

Daljnjom subdukcijom tijekom eocena dolazi do transgresije i obnove plitkovodnih taložnih uvjeta na jednom dijelu platforme, te izdizanja Krških Dinarida na drugom (BUCKOVIĆ, 2006). Time je stratigrafski raspon AdCP ograničen na razdoblje od starije jure pa sve do krede, odnosno na period dok je cijela platforma bila jedan veliki taložni prostor (VLAHOVIĆ et al., 2005). Kraj krede/početak paleogena označava početak alpske orogeneze koja traje i danas. Kolizijom Afrike i Indije s Eurazijom, osim emerzije, dolazi i do izdizanja velikih planinskih lanaca uključujući i Alpe i Dinaride. To uključuje i izdizanje Velebita i prisutnost jakih tektonskih događaja koji utječu na formiranje njegovog reljefa (BUCKOVIĆ, 2006). Procesi tektonskog izdizanja i erozijski procesi odvijali su se paralelno i tako utjecali na razvoj denudacijskih zaravnavanja, što je vidljivo u stepeničastom poprečnom profilu Velebita (BOGNAR, 1994) (Slika 2). Osim primarne poroznosti u karbonatnim stijenama nastale tijekom taloženja i litifikacije, nastaje i sekundarna poroznost kao posljedica tektonike. Sekundarna poroznost u karbonatnim stijenama uvelike utječe i pospješuje razvoj krša i krških oblika. Posljednji veliki događaj koji je utjecao na formiranje krškog reljefa Velebita bila je pleistocenska oledba koja je zahvatila gotovo 120 km<sup>2</sup> područja Sjevernog Velebita (BOGNAR et al., 1991). Dva glavna "izvorišta" velikih ledenjaka bila su u Zavižanskoj zaravni i u Lubenovačkom polju, zbog reljefne predispozicije za zadržavanje velikih količina snijega, što se i danas može uočiti po njihovom blagom i zaobljenom reljefu (BOGNAR et al., 1991). Pretpostavlja se da se iz mreže ponikvi Hajdučkih i Rožanskih kukova led "slijevao" u spomenute doline i time također oblikovao reljef (BOGNAR et al., 1991). Najpoznatija ledenjačka dolina ovog područja impozantnog izgleda je Lomska duliba omeđena Hajdučkim kukovima na jugu i Velikim Rajincem na sjeveru, duljine 1 km. Velike količine vode nastale tijekom otapanja ledenjaka rezultirale su brojnim vodenim tokovima koji su utjecali na okršavanje i formiranje velikih podzemnih tokova.

### 2.2.1. Stratigrafske jedinice

Na području Sjevernog Velebita prisutan je čitav slijed naslaga AdCP starijejurske do kredne starosti, uključujući i naslage trijasa, te paleogena i neogena (SOKAČ et al., 1974) (Slika 4). Za ovaj rad značajne su naslage trijasa, jure i paleogena-neogena, te će one biti pomnije opisane.



42	<b>Pg, Ng</b>	Vapnenačke breče (paleogen, neogen)	20	<b>T<sub>3</sub><sup>2,3</sup></b>	Dolomiti (gornji norik, ret)
34	<b>K<sub>2</sub><sup>1-6</sup></b>	Rudistni vapnenci (cenoman–mastiht)	19	<b>T<sub>2-3</sub></b>	Klastične naslage (?gornji ladinik–donji norik)
33	<b>K<sub>1</sub><sup>6</sup>, K<sub>2</sub><sup>1</sup></b>	Dolomiti i postsedimentacijske dijagenetske breče	17	<b>T<sub>2-3</sub></b>	Magmatske stijene (srednji–gornji trijas)
32	<b>K<sub>1</sub></b>	Vapnenci i dolomiti (donja kreda)	16	<b>T<sub>2</sub></b>	Klastične i piroklastične naslage (srednji trijas)
23	<b>J<sub>3</sub></b>	Vapnenci i dolomiti (gornja jura)	15	<b>T<sub>2</sub></b>	Karbonatne naslage (srednji trijas)
22	<b>J<sub>2</sub></b>	Debeloslojeviti vapnenci i dolomiti (srednja jura)			
21	<b>J<sub>1</sub></b>	Vapnenci i dolomiti (donja jura)			

Slika 4 Pojednostavljena geološka karta područja sjevernog i dijela srednjeg Velebita, s legendom. Izvor: HGI (2009): Geološka karta Republike Hrvatske, 1:300000, Zagreb.

### 2.2.1.1. Trijas

Na najjužnijem dijelu Sjevernog Velebita prisutni su izdanci trijaskih naslaga, iako je vjerojatno cijelom dužinom prisutan u podini jurskih naslaga. Prema SOKAČ et al. (1974) najstarije stijene trijasa su ladinički masivni, okršeni vapnenci s brojnim fosilima foraminifera, alga, koralja i ostalih grebenotvornih organizama. Vapnenci su izrazito raspucali i okršeni što pogoduje razvitku krškog reljefa. Osim vapnenaca, prisutne su i klastične naslage, također ladiničke starosti. To su piroklastični sedimenti i tufitični vapnenci vulkanogenog karaktera s primjesama klasta karbonatnog porijekla i vulkanskih čestica. Morfološke karakteristike ovih naslaga dokazuju da su izravni produkt vulkanske aktivnosti, a jedna od zamjetnih karakteristika je crvena boja sedimenata zbog prisutnih željezovih oksida i hidroksida. Frakcije teških minerala ovih tufita obilježava visok udio cirkona u obliku idiomorfni kristalića oštih bridova. Vršne dijelove gornjeg trijasa čine naslage dolomita nastalih uslijed plitkomorskih uvjeta, aridne klime i bez dotoka slatke vode, što je pogodovalo stvaranju alkalnih uvjeta. Dolomiti su laminirani s prisutnim modrozelenim algama (stromatolitima), poznati i pod nazivom *Hauptdolomit* (SOKAČ et al., 1974; VELIĆ, 2007).

### 2.2.1.2. Jura

Najveći dio Velebitskog masiva tvore jurske karbonatne naslage. Uvjeti sedimentacije bili su veoma slični tijekom cijele jure i naslage su kontinuirane. Donja jura (hetangij i sinemurij) započinje mikritnim vapnencima u izmjeni s ranodijagenetskim dolomitima (TIŠLJAR et al., 2002). Od prisutnih provodnih mikrofosila najznačajniji su ostaci alge roda *Palaeodasycladus*, dok se od ostalih rodova javljaju i *Thaumatoporella*, *Accicularia* i dr. (SOKAČ et al., 1974). Prisutni su i makrofosili, uglavnom gastropoda, ali su presitni i bez provodne vrijednosti. Gornji dio donje jure (toarcij) prepoznatljiv je po tankouslojenim mrljastim vapnencima (SOKAČ et al., 1974). To su vapnenci nastali intenzivnom bioturbacijom, a sam izgled posljedica je razlike u količini organske tvari u stijeni domaćinu (madston) i bioturbacijskom zapunjenju (vekstoni i pekstoni) (TIŠLJAR et al., 2002). Tijekom njihovog taloženja sedimentacija je bila izrazito usporena zbog anoksičnih uvjeta, pa je fosilna zajednica jako siromašna ili čak odsutna (TIŠLJAR et al., 2002; VELIĆ, 2007). Starost mrljastih vapnenaca iz tog razloga određena je superpozicijski između slojeva poznatih starosti. Tijekom srednje jure uglavnom se talože sivi i tamnosivi vapnenci s ulošcima dolomita. Dolomiti su sekundarnog porijekla, a prisutni su i prijelazni oblici iz vapnenaca (SOKAČ et al., 1974). Vapnenci uglavnom dolaze u obliku pekstona/vekstona ili madstona (TIŠLJAR et al., 2002). Mjestimice se pojavljuju i vapnenačko

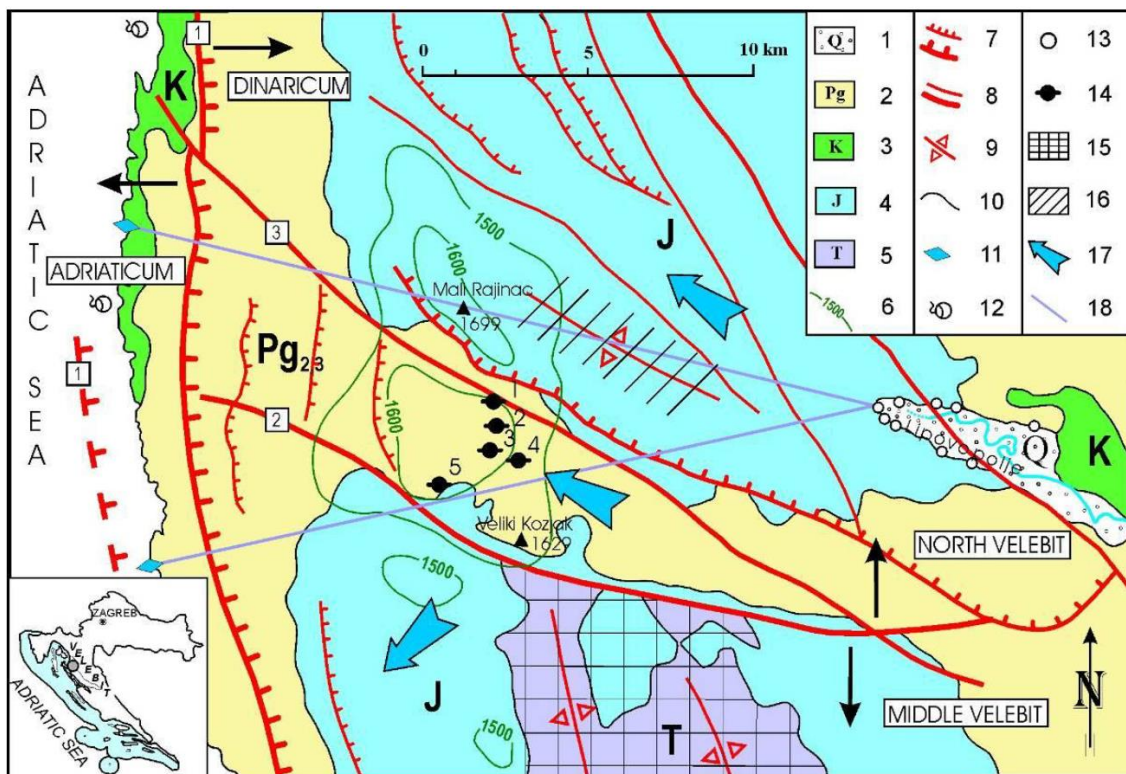
dolomitne breče debljine nekoliko desetaka metara. Prema TIŠLJARU (1990) karakteriziraju ih tamnosivi fragmenti vapnenaca u pepeljasto sivom dolomitnom vezivu. Fragmenti su često bez oštrih rubova i jasnih kuteva, već djeluju mozaično, što je posljedica otapanja i korozije, odnosno potiskivanja vapnenca dolomitom. Vapnenci koji čine fragmente ovakvih breča su zapravo nepotpuno dolomitizirani relikti raspucanih i tektonski razdrobljenih vapnenaca (TIŠLJAR, 1990). Naslage gornje jure kontinuirano naliježu na srednju juru. U nižem dijelu prevladavaju vapnenci, mjestimično rekristalizirani, dok se u gornjim dijelovima povećava udio dolomita (SOKAČ et al., 1974). Značajni provodni fosili gornje jure su *Kurnubia palastiniensis*, *Clypeina jurassica*, *Salpingoporella sellii*, *Cladocorpsis mirabilis*, *Alveospta jaccardi* i dr. Glavne facijesi gornje jure ovog područja, krenuvši od donjeg dijela gornje jure su vapnenci i dolomiti, klipeinski vapnenci, pseudogrebenski vapnenci i dolomiti. Dolomiti su najslabije zastupljeni, te se najčešće pronalaze s tankim lećama vapnenaca i to oolitičnih biokalkarenita. S obzirom na fosilnu sterilnost dolomita, njihova starost određena je na temelju fosilne zajednice prisutne u lećama vapnenaca (SOKAČ et al., 1974).

#### 2.2.1.3. Paleogen – Neogen

Stratigrafska jedinica koja obuhvaća raspon starosti od paleogena do neogena pristuna je u obliku vapnenačkih breča poznatih pod nazivom "Jelar breče" ili "Velebitske breče" (HERAK & BAHUN, 1979). Transgresivno naliježu na naslage gornje jure, a na južnom Velebitu i na kredne naslage (SOKAČ et al., 1974). To su loše sortirane vapnenačke breče koje mjestimice dosežu debljinu i do 300 m. Klasti su uglavnom jurske i kredne starosti, a rjeđe se pojavljuju i klasti eocenske starosti, pa je starost samih breča određena kao oligocensko-miocenska. Matriks je kalcitni mikrokristalinični, sive do crne boje. S obzirom na lošu sortiranost i zaobljenost valutica, breče su vjerojatno lokalnog porijekla, nastale uslijed dugotrajne tektonske aktivnosti, erozijom i trošenjem u kopnenim uvjetima (HERAK & BAHUN, 1979). Breče su trošne i porozne, tako da je površina koju prekrivaju izrazito okršena.

## 2.2.2. Strukturni elementi

Na području Sjevernog Velebita ističu se tri glavna rasjeda: Velebitski rasjed, Bakovački rasjed i rasjed Lomska duliba (KUHTA & BAKŠIĆ, 2001) (Slika 5). Velebitski rasjed je uzdužni reversni rasjed pružanja SZ-JI. Širina rasjedne zone na površini procjenjuje se na oko 4–6 km, s tangencijalnim pomakom 6–8 km. Ovaj rasjed predstavlja i granicu s Dinarskim megatektonskim jedinicama (PRELOGOVIĆ, 1989). Bakovački rasjed pružanja je gotovo I-Z, s vertikalnim pomakom oko 1500 m uz površinu. Nalazi se južno od Hajdučkih i Rožanskih kukova i često se postavlja kao granica sjevernog i srednjeg Velebita. Pretpostavlja se da je najveću aktivnost imao u neogenu, te je presječen manjim rasjedima (PRELOGOVIĆ, 1989). Sjeverno od Hajdučkih i Rožanskih kukova nalazi se rasjed Lomska duliba koji je gotovo paralelan Bakovačkom rasjedu. Tangencijalni pomak iznosi oko 4–5 km, a vertikalni se pretpostavlja oko 150 m (na površini). Najaktivniji bio je u pliocenu i kvartaru. PRELOGOVIĆ, (1989) je vertikalne pomake procijenjenio na temelju deformacija Jelar naslaga, te pliocenskih i kvartarnih sedimenata.



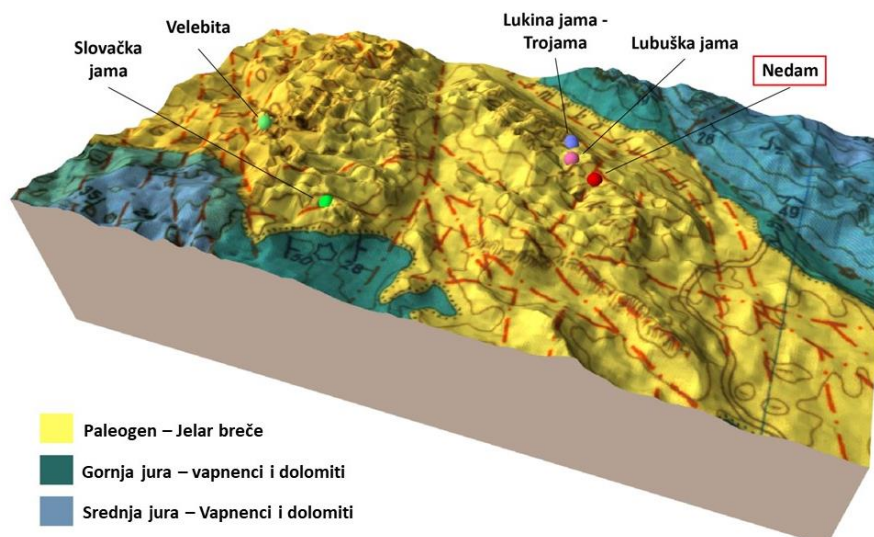
Slika 5 Pojednostavljena geološka karta s prisutnim strukturnim elementima za područje sjevernog Velebita. Legenda: 1- kvartarne naslage, 2-paleogenske naslage, 3-kredne naslage, 4-jurske naslage, 5-trijaske naslage, 6-izohipse, 7-reversni rasjedi (Velebitski rasjed (1)), 8-normalni rasjedi (Bakovački rasjed (2)), rasjed Lomska duliba (3)), 9-os antiokline, 10-geološka granica, 11-obalni izvori, 12-podmorski izvori, 13-vrtače, 14-duboki speleološki objekti, 15-složena barijerna područja Velebita, 16-relativne barijere, 17-tok podzemnih voda, 18-tok podzemnih voda utvrđen trasiranjem (Kuhta & Bakšić, 2001).



Uz rasjede, kao posljedice tektonskih pokreta prisutne su i borane strukture. Najizraženije su antiklinale Jezera-Lipovo polje i Štirovačka antiklinala. Antiklinalna struktura Jezera-Lipovo polje smještena je između Krasnog polja na sjeveru i Bakovačkog rasjeda na jugu. Jezgru antiklinale čine naslage srednjeg dijela donje jure, s osi pružanja približno I-Z. Uz Bakovački rasjed naslage su suprotnog nagiba što ukazuje na plitku sinklinalu (SOKAČ et al., 1974). Južno od Bakovačkog rasjeda razvijena je Štirovačka antiklinala s osi pružanja SZ-JI čiju jezgru izgrađuju vapnenci ladinika (srednji trijas). Štirovačka antiklinala nastala je sekundarnim boranjem uslijed pomaka na Bakovačkom rasjedu (SOKAČ et al., 1974). Cijelo istraživano područje poremećeno je uslijed tektonskih pomaka na vertikalnim rasjedima različitih orijentacija što daje prividnu mozaičnu građu terena.

### 2.3. Geospeleološka istraživanja

Područje Sjevernog Velebita, a posebice strogi rezervat Hajdučki i Rožanski kukovi oduvijek su privlačili pažnju speleologa i geologa zbog jake okršenosti terena i mnoštva speleoloških objekata, te je s razlogom uvršteno u najzanimljivije speleološke lokalitete svijeta. Na ovom području nalaze se i najdublji speleološki objekti Hrvatske (Lukina jama – 1431 m, Slovačka jama – 1326 m, Velebita – 1026 m), a na samom prostoru parka Sjeverni Velebit do sada je otkriveno i istraženo više od 600 speleoloških objekata, pretežno jama. U okrugu manjem od kilometar nalaze se gotovo sve najdublje jame Sjevernog Velebita (Slika 6). Jame daju uvid u unutrašnju građu terena koja često nije vidljiva na površini. Iako su i dubine najdubljih jama zanemarive u odnosu na debljinu naslaga u kojima su jame razvijene, one nam svejedno daju mogućnost istraživanja dubinskih naslaga *in situ*, te je lakše uočiti druge geološke strukture i detalje koje možda ne bi bile opažane istražnim bušotinama (RNJAK, 2019). Geološka istraživanja jama olakšavaju interpretaciju geoloških događaja kao i tijekom speleogeneze, odnosno procesa nastanka i razvoja speleološkog objekta koji je dio sveukupnog procesa okršavanja (RNJAK, 2019). Na području Sjevernog Velebita provedena su brojna geospeleološka istraživanja od kojih su najznačajniji geološki profili izrađeni na profilima (nacrtima) jame. Tako su geološki profili izrađeni za najdublju Lukinu jamu (STROJ & VELIĆ, 2015), Slovačku jamu (ŠARC, 2018) te jamu Olimp (BOČIĆ et al., 2012). Razvoj jama pod utjecajem glacijacija opisali su BOČIĆ et al. (2012), uz analize sedimenata i geomorfološka opažanja u jami Ledenici kod Štirovače. Na području u kojem su u ovom radu istraživane jame nisu provedene detaljne mineraloške analize sedimenata speleoloških objekata.



*Slika 6 Trodimenzionalni model reljefa preklopljen sa geološkom kartom za područje Hajdučkih i Rožanskih kukova, te naznačenim ulazima u najdublje speleološke objekte ovog područja.*

### 2.3.1. Istraživanja jame Nedam

Jama Nedam je otkrivena 1997. godine, te se do 2019. godine u nekoliko navrata istražila do dubine nešto manje od 300 m. Prepreka na koju su speleolozi naišli bilo je suženje koje je tada bilo nemoguće proći no pretpostavljalo se da se dalje pružaju dugački kanali zbog jakog strujanja zraka u suženju. 2019. godine započela su intenzivna istraživanja, te se 2020. godine jama istražila do dna, odnosno do trenutno najdublje točke od 1226 m što ju čini trećom najdubljom jamom u Hrvatskoj. Ulaz u jamu Nedam nalazi se na  $44.762^{\circ}$  N,  $15.032^{\circ}$  E i nadmorskoj visini od 1430 m. Morfologija jame je malo drugačija u odnosu na druge duboke jame Velebita, čije su najčešće karakteristike duboke široke vertikale, po kojima su i u svijetu poznate (Jama Velebita – najdublja podzemna vertikala na svijetu - 513 m). Morfologija jame Nedam može se opisati kao splet uskih, dugačkih i skokovitih meandara s vertikalama dubokim do 80 m (GRANDIĆ & KUKULJAN, 2020). Uz takvu morfologiju, prolazak jame je prilično zahtjevan, te otežava provođenje istraživanja. U ulaznim dijelovima jame prisutna su mjestimična procjeđivanja vode bez značajnijih vodenih tokova. Na dubinama ispod 650 m, vodeni tok je stalno prisutan te na samom dnu (-1226 m) ponire između velikih kamenih blokova. Oscilacije u vodenim tokovima još se ne mogu sa sigurnošću utvrditi zbog nedostatka podataka, iako su u Lukinoj jami poznate oscilacije vodnog lica i do nekoliko desetaka metara (PAAR et al., 2019). S obzirom da je Nedam veoma blizu Lukine jame, može se pretpostaviti da do sličnih oscilacija visine vodnog lica dolazi i u jami Nedam. Jedini dokaz oscilacija i

pojačanog protoka vode kroz jamu Nedam je razneseni bivak na -600 m (2019. god) gdje je voda raznijela hranu i opremu ostavljenu za buduća istraživanja, te su ostaci opreme pronađeni na dubinama i do -900m. Na 1192 m dubine nalazi se tzv. "viseći sifon", odnosno potopljeni kanal iznad najdublje točke jame ( Slika 7). Na tlocrtu jame Nedam može se uočiti usporednost pružanja kanala na dnu s kanalima na manjim dubinama. Također, na profilu jame Nedam vide se i formirane koljeničaste vertikale odnosno vertikalni skokovi koji su najizraženiji na dubini -500 do -950 m. Istraživanja u jami i dalje traju te je sljedeći korak istraživanje suhog kanala iza sifona, te istraživanje suhih kanala na manjim dubinama (-300 i -600 m).

# NEDAM

Hajdučki kukovi, Sjeverni Velebit

1997., 1998., 2005.  
lipanj 2019. - kolovoz 2020.

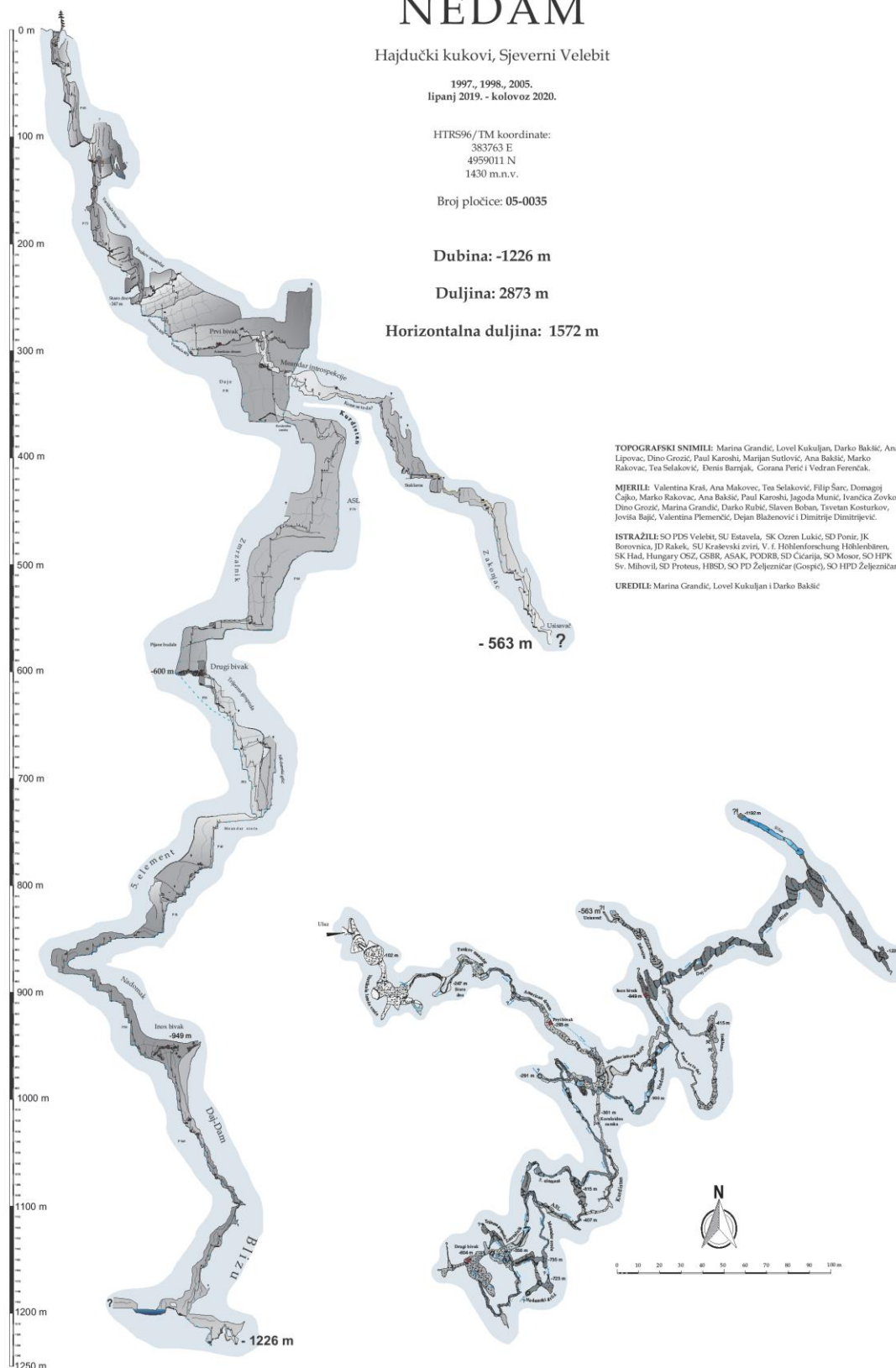
HTRS96/TM koordinate:  
383763 E  
4959011 N  
1430 m.n.v.

Broj pločice: 05-0035

Dubina: -1226 m

Duljina: 2873 m

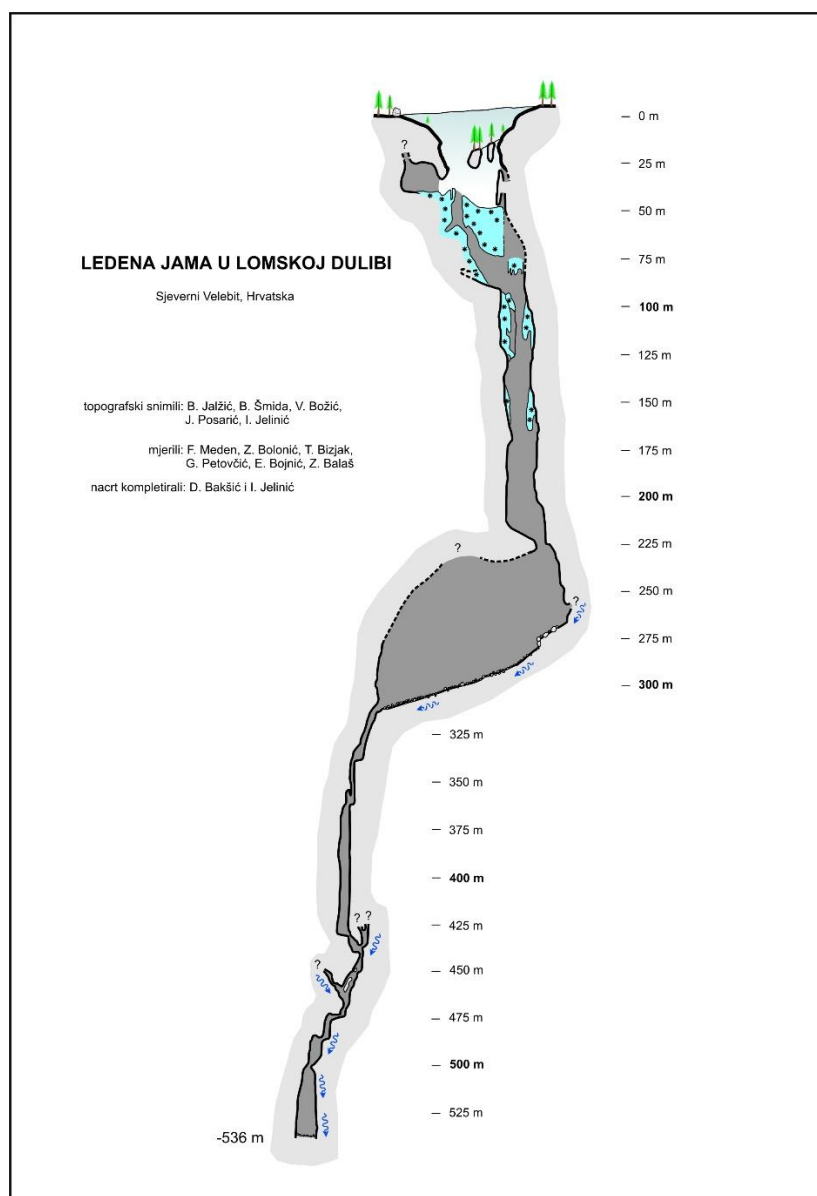
Horizontalna duljina: 1572 m



Slika 7 Profil i tlocrt jame Nedam. Izvor: GRANDIĆ et al., (2020)..

### 2.3.2. Istraživanja Ledene jame

Ledena jama smještena je u ledenjačkoj dolini Lomska duliba. Otkrivena je 1962. godine, a najznačajnija istraživanja provodila su se u periodu 1992–1998. godine. Ulaz u jamu nalazi se na  $44.773^\circ$  N i  $15.027^\circ$  E i nadmorskoj visini 1235 m u obliku velike vrtače. Jama je izuzetno jednostavne morfologije (šire vertikale bez uskih kanala), no najveća prepreka u istraživanjima je prisutnost leda (permafrosta) koji je ondje prisutan tijekom cijele godine, na dubini od 50 do 90 m (Slika 8). Speleološka istraživanja oko ili ispod leda su iznimno opasna zbog mogućnosti urušavanja leda uslijed zagrijavanja zraka, te se takva istraživanja danas uglavnom izbjegavaju. Stoga je Ledena jama istražena samo do dubine -536 m.



Slika 8 Profil Ledene jame. Izvor: <http://speleologija.eu/ledenajama/index.html>.

### 3. Metode

#### 3.1. Terensko istraživanje i uzorkovanje

Uzorci analizirani u svrhu izrade ovog diplomskog rada prikupljeni su u sklopu speleološke ekspedicije "Sjeverni Velebit" 2020. godine u organizaciji SO PDS Velebit. Uzorci stijena odlomljeni su geološkim čekićem direktno sa stijene, dok su uzorci sedimenta uzeti lopaticom sa sipara ili polica u vertikalama. Dubina uzorkovanja određivana je pomoću nacрта jame i barometarskog altimetra na ručnom satu. Popis uzoraka sedimenta s kratkim opisima mjesta uzorkovanja i samog sedimenta nalazi se u Tablica 1, dok se popis uzoraka stijena s kratkim makroskopskim opisom uzorka i opisom mjesta uzorkovanja nalazi u Tablica 2.

*Tablica 1 Popis uzoraka sedimenta (i radnim nazivima korištenim prilikom snimanja cjelotjenskih preparata), dubinom uzorkovanja, vremenom uzorkovanja i kratkim opisom sedimenta i mjesta uzorkovanja. Uzorci s oznakom SN - uzorci iz jame Nedam, uzorak s oznakom LT- uzorak iz Ledene jame.*

OZNAKA UZORKA	DUBINA	VRIJEME	OPIS
SN-1 (MM24)	290m	27.07.2020. 15:40	Sediment sastrugan sa zida u meandru, svjetlo smeđe boje -u blizini manji slap, ali visok
SN-2 (MM25)	300m	27.07.2020. 17:40	Relativno suh sediment, svjetlo smeđe boje. Nema vode u blizini. Veća polica kod vertikale, nakon odvajanja za meandar introspekcije.
SN-3 (MM26)	310m	27.07.2020. 18:00	Sediment uzet s police na vertikali, nema tekuće vode po zidovima, trusniji, suhi
SN-4 (MM27)	330m	27.07.2020. 18:20	Sediment uzet s police na vertikali, nema tekuće vode po zidovima, masniji i tamniji od prethodnog
SN-5 (MM28)	510m	27.07.2020. 23:10	Sediment uzet s police na vertikali, gljivaste forme "strše" horizontalno od stijene. Kompaktnije i tvrđe, lome se rukom.
SN-6 (MM29)	545m	27.07.2020. 23:40	Glina zaostala u škrapama u vertikali.
SN-7 (MM30)	550m	28.07.2020. 00:00	Glina sastrugana sa stijene – polica uz jezero gdje se slijeva voda, prije prečnica u meandru
SN-8 (MM31)	1220m	29.07.2020. 00:20	Dno s glondama – pijesak skoro suh, istaložen između kamenih blokova, zapunio međuprostor.
LT-4 (MM23)	50m	01.08.2020.	Sipar na dnu ulazne vertikale. Blizu leda, nema vode u blizini.

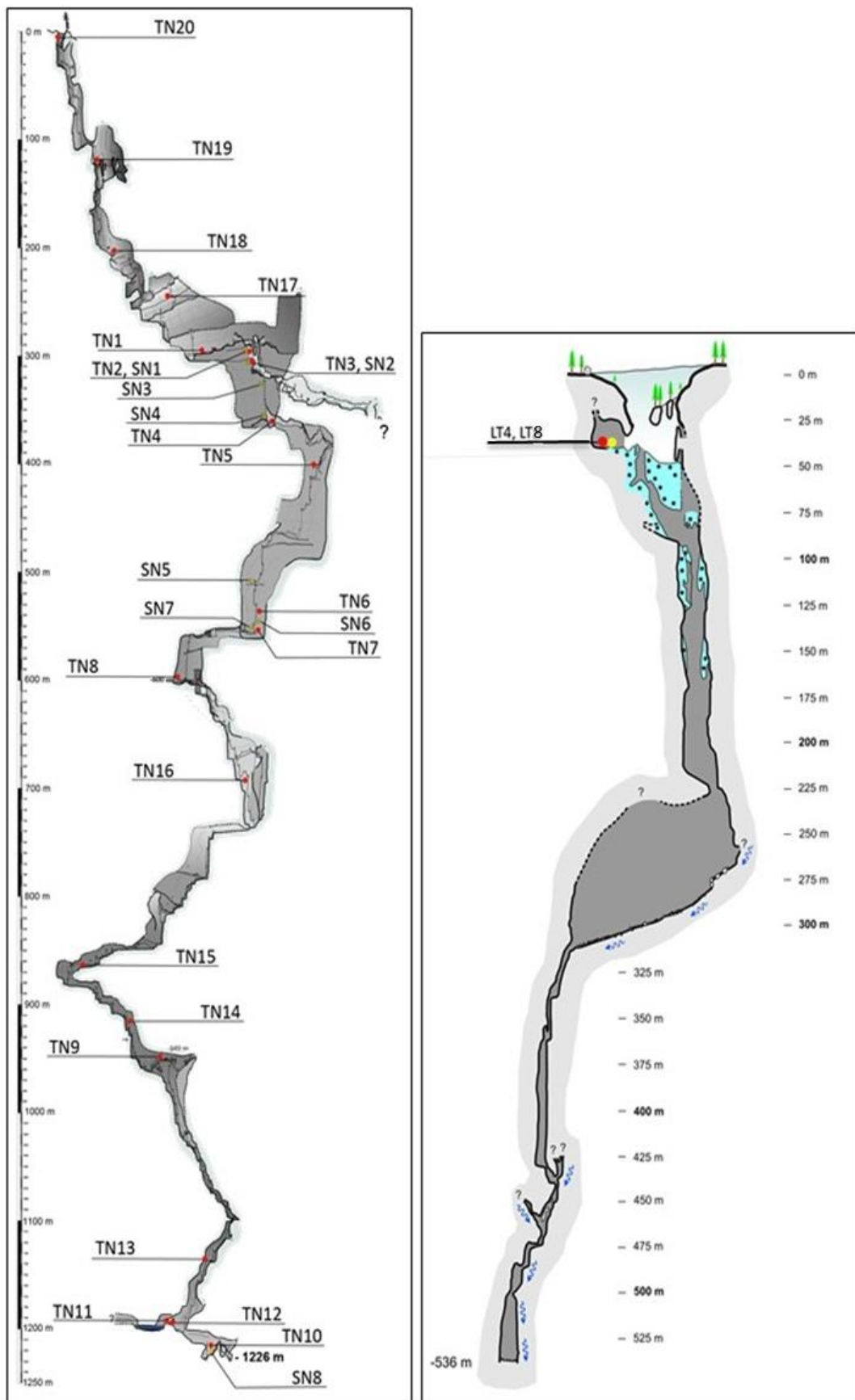
Tablica 2 Popis uzoraka stijena, dubinom uzorkovanja, vremenom uzorkovanja i kratkim opisom makroskopskih karakteristika uzoraka i mjesta uzorkovanja. Uzorci s oznakom TN - uzorci iz jame Nedam, uzorak s oznakom LT - uzorak iz Ledene jame.

OZNAKA UZORKA	DUBINA	VRIJEME	OPIS
TN1 (MM6)	290m	27.07.2020. 15:40	Trošna stijena, iskri i smrdi pri udarcu. Tamni vapnenac s kalcitnim žilama Kod bivka 300.
TN2 (MM19)	300m	27.07.2020. 17:30	Poslije bivka 300. Crni prošarani kalcitnim žilama, zrnati matriks. Na polici gdje je uzet i SN2. izmjeren nagib 210/43.
TN3 (MM14)	310m	27.07.2020. 18:00	Uzorkovano sa špage, kod sidrišta. S police gdje je uzet i SN3. Manji- kompaktniji, teže za odlomit, desni kompaktniji.
TN4 (MM21)	380m	27.07.2020. 19:00	Izmjeren nagib 215/55. Lako se odlama. Tamni vapnenci sa žilama kalcita.
TN5 (MM11)	405m	27.07.2020. 19:40	Crno-smeđi uslojeni vapnenci sa žilama. Slojevi decimetarskih dimenzija.
TN6 (MM22)	540m	27.07.2020. 23:30	Uzorak u vertikali. Svjetliji vapnenci bez toliko žila. Kompaktni, teško se odlamaju. Nisu toliko uslojeni.
TN7 (MM7)	550m	28.07.2020. 00:10	Uzorak iz žile/sloja – svjetliji i trusniji. Polica s vodom prije ulaska u prečkane meandre prije bivka 600.
TN8 (MM10)	600m	28.07.2020. 12:20	Stijena po kojoj curi voda kod bivka 600. Tamni vapnenci s kalcitnim žilama, odlomljen vrh škrape 1m od poda.
TN9a (MM16)	945m	28.07.2020. 20:20	Meandar u kojem je bivak 900. Tamniji uzorak iz sloja iznad TN9b. Crni vapnenci sa kalcitnim žilama.
TN9b (MM17)	945m	28.07.2020. 20:20	Meandar u kojem je bivak 900. Svjetliji uzorak s vrha pukotine, trošan.
TN10 (MM13)	1220m	29.07.2020. 00:30	Dno s kamenim blokovima. Trošni svjetlo do tamnosivi vapnenci, mjestimice tanke žile. Površinski crveni sloj oksidirane gline. Blago subhorizontalno uslojeno (zbog gline teško procjeniti)
TN11 (MM9)	1200m	29.07.2020. 1:40	Dno kod sifona – nije uslojeno. Trošnja strana kanala, izbrazdana vodom. Iznad razine vode sifona koraloidi. Tamni vapnenci.
TN12 (MM4)	1200m	29.07.2020. 1:30	Dno kod sifona – masivna, ravnih površina, nije toliko trošna od vode – madston?
TN13 (MM1)	1130m	29.07.2020. 2:40	Polica nakon devijatora. Trošniji, svjetliji vapnenci.

TN14 (MM2)	925m	30.07.2020. 19:10	Karbonatna breča. Uzorak iz vertikale. Stijene ravnih površina, mjestimice blago izbrazdane od vode.
TN15 (MM3)	865m	30.07.2020. 21:30	Karbonatna breča u meandru. Tamniji fragmenti u svijetlijem matriksu. Teško se odlama, nije toliko izbrazdana od vode.
TN16 (MM5)	695m	30.07.2020. 01:10	Uzorak s police u vertikali. Tamni vapnenci bez žila. Nisu uslojeni.
TN17 (MM20)	250m	31.07.2020. 09:30	Meandar prije ulaska u breče. Trošni vapnenci, neugodnog mirisa prilikom udaranja čekićem.
TN18 (MM18)	205m	31.07.2020. 10:20	Površina prekrivena sigovinom, teško opaziti promjenu. Odlomljeni uzorci izgledaju kao breče – trošni, teško je makroskopski utvrditi.
TN19 (MM8)	120m	31.07.2020. 11:00	Moguće Jelar breče. Polica nakon fosilnog kanala. Mjestimice trošni, uglavnom kompaktni. Tamno vezivo s nepravilno raspoređenim i loše sortiranim valuticama.
TN20 (MM15)	5m	31.07.2020. 12:15	Škrape na ulazu. Teško se odlama. Tamno vezivo, nepravilne valutice.
LT-8 (MM12)	50m	01.08.2020.	Zid na kojem je prečka na vrhu sipara ispod ulazne vertikale.

Uzorkovanje u Ledenoj jami bilo je jednostavno, zbog same morfologije jame, kao i male dubine na kojoj je provedeno istraživanje (Slika 9). Uzorkovanje u jami Nedam zahtijevalo je više logističke pripreme zbog kompleksne morfologije kanala jame i njezine dubine (Slika 9). Uzorci su prikupljeni na temelju opažanih promjena u morfologiji kanala, promjena u makroskopskim karakteristikama stijene i same mogućnosti uzorkovanja (široke vertikale, teško dostupni zidovi).





Slika 9 Profili jame Nedam (lijevo) i Ledene jame (desno) s lokacijama uzorkovanja stijena (crvene točke s nazivima uzoraka) i lokacijama uzorkovanja sedimenata (žute točke s nazivima uzoraka).

## 3.2. Fazna analiza

Za faznu analizu korištena je metoda rendgenske difrakcije na prahu (XRD) pomoću rendgenskog difraktometra. Ova metoda jedna je od osnovnih metoda fazne analize stijena i sedimenata, posebice za analizu minerala glina. Prilikom analize korišten je difraktometar Phillips X'Pert Pro, a za obradu difraktograma korišten je program X'Pert HighScore Plus (PANALYTICAL, 2004) s ICDD (1996) bazom podataka. Uzorci stijena i sedimenata snimljeni su kao cjeloviti uzorci nakon drobljenja u ahatnom tarioniku, a od rastresitih uzoraka sedimenata, izdvojena je frakcija < 2 µm te su izrađeni i snimljeni orijentirani i neorijentirani preparati.

### 3.2.1. Osnovne karakteristike rendgenske difrakcije

Metoda rendgenske difrakcije temelji se na difrakciji (ogibu) rendgenskih zraka na mrežnim ravninama kristala. Svaki kristalizirani materijal ima karakterističan rendgenogram praha tako da se svaki dobiveni rendgenogram nepoznatog uzorka uspoređuje s već poznatim rendgenogramima (standardima) pohranjenim u bazama podataka. Osim metode praha, koristi se i metoda monokristala, a odabir metode ovisi o tome kakav je uzorak. Osnovni dijelovi difraktometra su rendgenska cijev, nosač s uzorkom, detektor difraktiranog zračenja i divergentne pukotine. Rendgenske cijevi su izvor rendgenskog zračenja koje nastaje prilikom udara elektrona u metu (antikatodu). Na cijevi nastalo zračenje je karakteristično i kontinuirano. Snop rendgenskih zraka pada na površinu uzorka koji je prethodno zdrobljen do čestica veličina praha. Čestice su u uzorku orijentirane na različite načine kako bi se dobili intenziteti reprezentativni za sve mrežne ravnine. Kod orijentiranih preparata čestice su zbog svoje slojevite strukture posložene na isti način, odnosno paralelno slojevitosti. Prilikom snimanja uzorka mijenja se kut pod kojim snop zraka udara u uzorak koji se nalazi na metalnom nosaču, a detektor difraktiranog zračenja bilježi promjene u intenzitetu s promjenom kuta. Da bi uopće došlo do difrakcije na mrežnoj ravnini kristala, moraju biti zadovoljeni određeni geometrijski uvjeti koji su izraženi pomoću Braggovog zakona (jednadžbe):

$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin\theta_{hkl} \quad (n=1,2,3,\dots)$$

gdje  $n$  predstavlja cijeli broj, odnosno red difrakcije,  $\lambda$  valnu duljinu zračenja,  $d_{hkl}$  međumrežni razmak, a  $\theta$  kut difraktiranog odnosno upadnog snopa rendgenskih zraka na mrežnu ravninu indeksa  $hkl$ . Konačno, do difrakcije na skupu mrežnih ravnina  $hkl$  doći će samo ako je za kut

upadnog snopa  $\theta_{hkl}$  razlika u hodu između zraka difraktiranih s dviju susjednih međumrežnih ravnina jednaka cijelom broju valnih dužina.

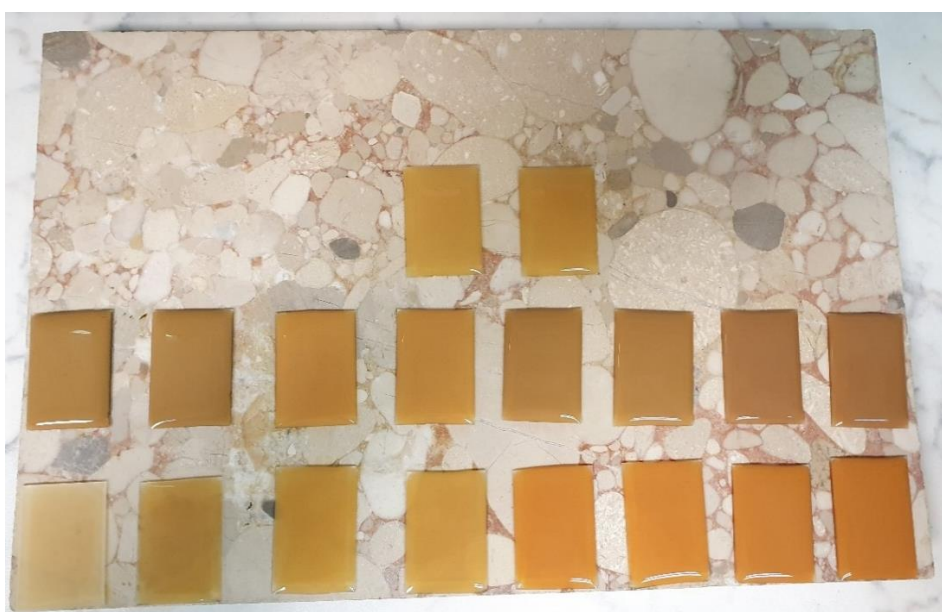
### 3.2.2. Priprema orijentiranih preparata

Prema GUGGENHEIM & MARTIN (1995) minerali glina su filosilikati i ostali minerali koji uzrokuju plastičnost i postaju kruti nakon sušenja i pečenja. Zbog specifične slojevite građe filosilikata i specifičnog međumrežnog razmaka između slojeva za pojedine grupe, minerali glina najčešće se analiziraju rendgenskom difrakcijom. Za određivanje grupa i vrsta minerala glina prisutnih u uzorku potrebna je izrada orijentiranih preparata i analiza istih XRD-om. Orijetirani preparati sadrže čestice koje su preferirane orijentacije, odnosno čestice su poslagane na isti način. Minerali glina obično su pločastih habitusa, odnosno izražene bazalne mrežne ravnine. Zbog preferirane orijentacije bazalni refleksi (001) biti će pojačani i jasnije razlučivi, a uklonit će se neželjeni maksimumi. Za izdvajanje glinovite frakcije ( $< 2 \mu\text{m}$ ) uzorci sedimenta prvo su razmuljeni u destiliranoj vodi, dobro izmiješani staklenim štapićem i ostavljeni da se istalože. Taloženje je trajalo nekoliko dana zbog visokog udjela glina. Kada je voda postala bistra, višak je izdekantiran. Uzorci su ponovno dobro izmiješani u destiliranoj vodi kako bi se dobila homogena smjesa. Kivete od 50 mL označene su na visine od 6 i 10 cm od dna, te je u njih preliveno nekoliko mililitara uzorka i do vrha napunjeno destiliranom vodom. Kivete su dobro izmiješane i centrifugirane brzinom od 1000 rpm (okrataja u minuti) u trajanju od 2 min 45 s. Za sve analize korištena je centrifuga tipa TECHTNICA/CENTRIC 322A. Nakon centrifuge, špicom je odvojen dio suspenzije između 6 i 10 cm. Postupak se ponavlja dok god se ne dobije željena količina suspenzije. Na taj način izdvojena je frakcija manja od  $2 \mu\text{m}$ , a cijeli postupak odvija se po principu Stokesovog zakona sedimentacije po kojem čestica promjera  $d$  i gustoće  $\rho$ , tone pod utjecajem gravitacije  $g$ , a otpor joj pruža tekućina viskoznosti  $\eta$  i gustoće  $\delta$  u kojoj dolazi do sedimentacije. Sile su u ravnoteži pa nema akceleracije već čestica tone stalnom brzinom  $v$ , u određenom vremenu  $t$ , kroz stupac visine  $h$ . Navedene vrijednosti računaju se pomoću formula:

$$v = \frac{g(\rho - \delta)d^2}{18\eta} \quad t = \frac{18\eta h}{g(\rho - \delta)d^2}$$

Dobivena suspenzija ostavljena je u laboratorijskoj čaši nekoliko dana kako bi se glinovita frakcija u potpunosti istaložila. Nakon taloženja, bistra tekućina je dekantirana, no ne pretjerano

kako bi suspenzija koja se nakapava bila idealne gustoće. Orijentirani preparati izrađeni su nakapavanjem preostale suspenzije na mikroskopska stakalca, koja su prethodno matirana na prahu 500 kako ne bi došlo do razlijevanja suspenzije, odnosno odvajanja sedimentiranog materijala od stakalca (Slika 10). Preparati su ostavljeni da se posuše na sobnoj temperaturi (na njima snimljeni rendgenogrami označeni su kraticom AD – air dried), te je postupak nakapavanja po potrebi ponovljen kako bi se postigla idealna gustoća uzorka, što iznosi oko  $3,5 \text{ mg/cm}^3$ . Za pojedine uzorke bilo je potrebno ponoviti cijeli proces nakapavanja zbog "frkanja" preparata što može biti posljedica preguste suspenzije. Za svaki uzorak izrađena su po dva orijentirana preparata, za slučaj potrebe ponavljanja nekih postupaka i tretiranja.



*Slika 10 Orijentirani preparati dobiveni nakapavanjem spremni za sušenje na zraku.*

### 3.2.3. Tretiranje orijentiranih preparata

Orijentirane preparate osušene na zraku stavi se u eksikator s parama etilen-glikola koji je polarna molekula i ulazi u strukture minerala koji imaju svojstvo "bubrenja", odnosno uklapanja vode ili polarnih organskih molekula u međuslojeve unutar svojih kristalnih struktura. Preparati se idealno ostave na temperaturi od oko  $60^{\circ}\text{C}$  u trajanju do 8 sati (STARKEY et al., 1984), no u ovom slučaju su ostavljeni na radijatoru otprilike dva dana. Tretiranje etilen-glikolom je naknadno ponovljeno zbog neadekvatne temperature u laboratoriju tijekom zimskog perioda. Preparati se vade jedan po jedan i odmah snimaju (tako dobiveni rendgenogrami označeni su nastavkom EG). Preparati se zatim žare na temperaturi od  $400^{\circ}\text{C}$  i ponovno snime. Iduće žarenje je na temperaturi od  $550^{\circ}\text{C}$  i zatim snimanje. Sljedeće tretiranje bilo je zasićenje dimetil-sulfoksidom (DMSO), u svrhu lakšeg razlikovanja kaolinita i klorita.

Uzorci SN-2 i SN-3 naknadno su žareni na 300°C zbog sumnje na prisutnost minerala u čijim strukturama dolazi do promje već na toj temperaturi.

#### 3.2.4. Neorijentirani preparati

Neorijentirani preparati izrađuju se u svrhu dobivanja informacija koji minerali su prisutni uz minerale glina u sitnoj frakciji (< 2 μm). Ne koriste se za identifikaciju minerala glina zato što su bazalni refleksi preslabi i često prekriveni maksimumima drugih minerala prisutnih u uzorku, no mogu se koristiti u svrhu određivanja podgrupa minerala glina, ovisno o vrsti slojeva unutar strukture (di- ili trioktaedarski). Poželjno je da su čestice nasumično orijentirane kako bi se dobili intenziteti reprezentativni za sve mrežne ravnine. Pripremaju se iz ostatka glinovite frakcije koja je ostala nakon nakapavanja i izrade orijentiranih preparata. Suspenzija se ostavi da se istaloži i u potpunosti osuši. Suhi agregat se zatim sastruže iz čaše i razbije u ahatnom tarioniku. Prilikom razbijanja agregata ne treba koristiti preveliku silu kako ih ne bi previše zdrobili. Kada se dovoljno razbiju, uzorci se stavljaju u metalne nosače i snimaju XRD-om.

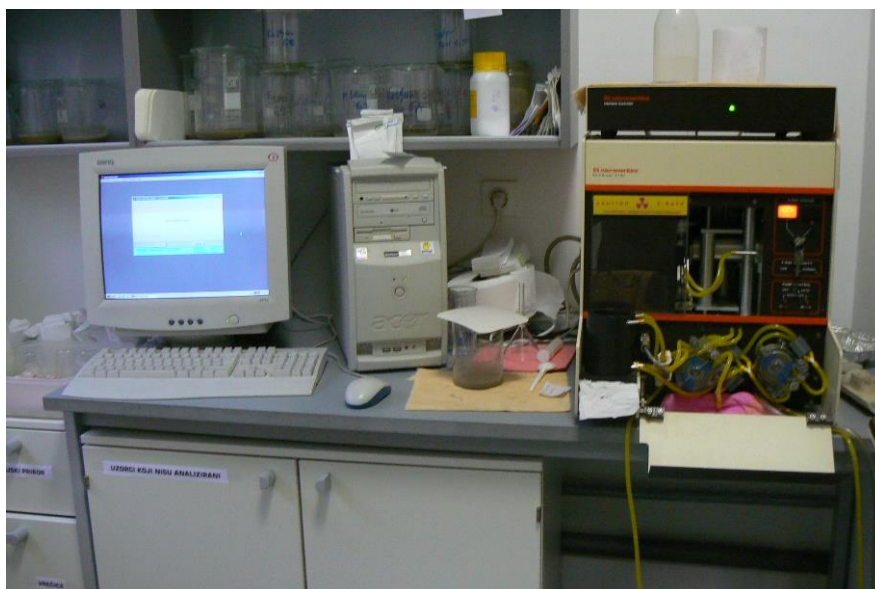
#### 3.3. Granulometrijska analiza

Granulometrijskom analizom određuje se granulometrijski sastav sedimenata, odnosno udio pojedine veličinske frakcije u uzorku. Svaka frakcija određena je rasponom veličina zrna sedimenta unutar nje. Za određivanje granulometrijskog sastava rastresitih uzoraka korištena metoda mokrog sijanja. Uzorci su najprije temeljito osušeni, uzeti su reprezentativni uzorci svakog sedimenta i izvagani. Uzorci su zatim prosijani kroz set od sedam sita, uz korištenje vibracijskog aparata (Slika 11).



*Slika 11 Sita i vibracijski aparat korišteni za mokro sijanje sedimenata.*

Odozgo prema dolje, uzorci su prolazili kroz sita promjera otvora 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm i 0,063 mm. Tijekom sijanja se materijal zaostao na sitima temeljito ispiru destiliranom vodom kako sitne čestice ne bi zaostale. Frakcije sa sita su isprane u staklene zdjelice, u kojima su se posušile i zatim izvagale. Frakcija manja od 0,063 mm zajedno s vodom odlazila je u veće staklene posude u obliku suspenzije gdje su se s vremenom i istaložile. Višak vode je dekantiran, kako bi u posudi ostala visina stupca vode jednaka debljini istaloženog sedimenta, jer je iskustvo pokazalo da se na taj način dobije idealna gustoća suspenzije za analizu na sedigrafu. Sedigraf je instrument za određivanje granulometrijskog sastava suspenzija čiji se rad temelji na sedimentaciji pod utjecajem gravitacije (koju opisuju ranije opisani Stokesov zakon) i apsorpciji rendgenskih zraka. Prije analize uzoraka na sedigrafu je potrebno analizirati čistu sedimentacijsku tekućinu (u ovom slučaju je to destilirana voda s natrijevim heksametafosfatom kao antikoagulansom) čime se dobije bazna linija koja pokazuje prolaznost rendgenskih zraka u sedimentacijskoj tekućini. Prolaznost za našu tekućinu bila je 135 Kcnts/s, a da bi analize suspenzija bile valjane, njihove krivulje prolaznosti rendgenskih zraka moraju biti 50–70% bazne linije (dakle 67–94 Kcnts/s) (BLOTT & PYE, 2001). Uzorci su analizirani na SediGraphu 5100 (MICROMERITICS, 2002) (Slika 12) koji radi uz pomoć računalnog programa SediGraphWin 5100. Nakon analize frakcija <0,063 mm na sedigrafu, dobiveni podaci spojeni su s podacima dobivenim mokrim sijanjem i zajedno obrađeni uz pomoć statističkog paketa Gradistat® (BLOTT & PYE, 2001).



*Slika 12 SediGraph 5100 korišten za granulometrijske analize frakcija <63  $\mu$ m.*

### 3.4. Separacija i analiza teške mineralne frakcije

Izdvajanje teških minerala vrši se na frakciji 0,063–0,125 mm izdvojenoj morkim sijanjem. Mikroskopiranjem teških minerala možemo pobliže odrediti u kakvim uvjetima je došlo do trošenja matične stijene od koje potječe naš uzorak, te mineralni sastav i vrstu matične stijene. Prije samog procesa separacije, uzorke je bilo potrebno pripremiti, odnosno "očistiti" od prisutnih čestica gline, hidroksida, karbonata i organske tvari. Na temelju dubine uzorkovanja, odabrana su tri uzorka iz jame Nedam i jedan uzorak iz Ledene jame za izdvajanje teške frakcije: SN-2, SN-6, SN-8, LT-4. Uzorci iz jame Nedam odabrani su na način da se obuhvate plići dijelovi jame (SN-2 s dubine -300m), dno jame (uzorak SN-8 s dubine -1226 m) i otprilike polovica poznate dubine jame (SN-6 s dubine -600 m). Uzorak LT-4 iz Ledene jame jedini je prikupljeni uzorak sedimenta.

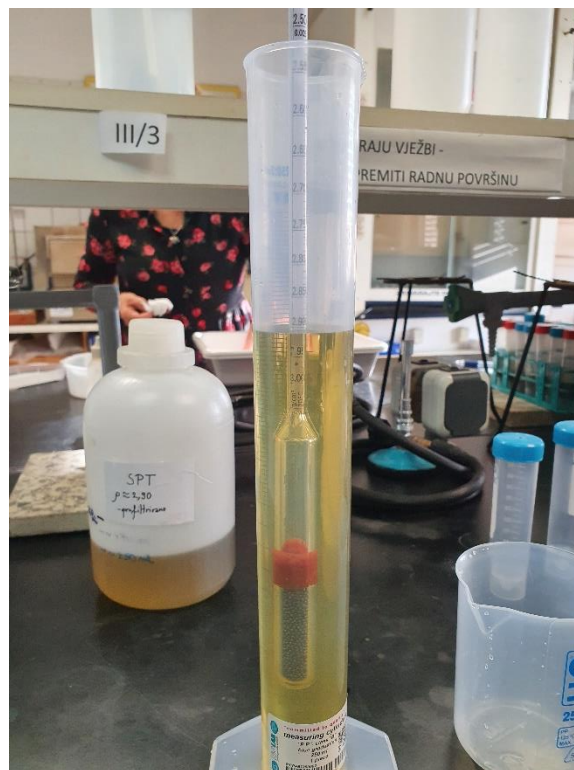
#### 3.4.1. Priprema uzoraka za separaciju teške mineralne frakcije

Prvi korak je uklanjanje karbonata, što treba odraditi vrlo pažljivo kako ne bi oštetili ostale minerale, te se iz tog razloga koristi blaga kiselina. Uzorak se uroni u 5 %-tnu octenu kiselinu i ostavi preko noći uz povremeno miješanje. Kada u uzorku nema više reakcije, svi karbonati su otopljeni i on se ispere destiliranom vodom nekoliko puta. U svim uzorcima bila je prisutna i glina koja se vjerojatno zalijepila za zrna i nije ju bilo lako isprati. Postupak odglinjavanja vrši se uranjanjem čaše s uzorkom i destiliranom vodom u ultrazvučni bazen na nekoliko minuta uz konstatno miješanje. Vibracijama u ultrazvučnom bazenu odvajaju se čestice gline od čestica pijeska. Zatim se destilirana voda odlijeva kroz sito kako ne bi izgubili čestice uzorka, te se sve zaostalo na situ ispiranjem vrati nazad u staklenu čašu i ponovno zalije destiliranom vodom. Postupak odglinjavanja se ponavlja sve dok destilirana voda ne postane bistra. Odglinjeni uzorci su zatim stavljeni u čiste staklene čaše i pomiješani s 50 mL destilirane vode i 50 mL vodikovog peroksida koncentracije 15%  $H_2O_2$ , ostavljeni da reagiraju pet minuta. Čaše s uzorcima koji su imali burnu reakciju s peroksidom uranja se u veću posudu s hladnom vodom zbog prekomjernog zagrijavanja, kako bi se izbjeglo moguće pucanje staklene čaše. Po završetku reakcije, uzorke izlijemo na sito promjera 0,063 mm i temeljito isperemo destiliranom vodom. Po potrebi, uzorke se može dodatno odgliniti, ako su prethodnim postupkom odglinjavanja pokazali velik udio gline, pošto se ovom reakcijom moglo naknadno potaknuti "odljepljivanje" zaostalih čestica gline. Uzorci LT-4, SN-6 i SN-8 prebačeni su u keramičke posude i stavljeni u sušionik na 60°C na nekoliko sati. Iz uzorka SN-2 bilo je potrebno ukloniti hidrokside postupkom kuhanja u oksalnoj kiselini. Korišten je dehidrat oksalne kiseline, te je 5 g kiseline pomiješano s 100 mL vode. U otopinu su stavljeni uzorak i aluminijski limovi.

Otopina se zagrijava dok ne zakipi i cijeli postupak se obavezno radi u digestoru. Proces kuhanja traje oko 10 minuta, te se otopina ostavi da se ohladi kako bi s njom bilo lakše dalje rukovati. Dolije se destilirane vode do oznake 200 mL i izlije u sito. Uzorak se odglini još nekoliko puta i također prebaci u porculansku zdjelicu i stavi na sušenje.

#### 3.4.2. Separacija teške mineralne frakcije, izrada i analiza mikroskopskog preparata

Separacija teške i lake frakcije bazira se na gustoći minerala. Teški minerali su svi oni čija je gustoća veća od  $2,9 \text{ g/cm}^3$ , dok su laki minerali oni s manjom gustoćom. Za separaciju se koriste teške tekućine, u ovom slučaju to je natrijev polivolframat (skraćeno SPT – sodium polytungstate). SPT se razrijedi destiliranom vodom točno do gustoće od  $2,9 \text{ g/cm}^3$ , dok se gustoća mjeri areometrom (Slika 13)



Slika 13 Razrjeđivanje SPT-a u menzuri s areometrom na točno  $2,9 \text{ g/cm}^3$ .

U plastične kivete se ulije SPT do oznake 7,5 ml, zatim se stavi uzorak za separaciju i ulije SPT do oznake 20 ml. Kivete se stave u uređaj za centrifugu na 2500 rpm u trajanju od pet minuta. Pri velikoj brzini laka frakcija ispliva na površnu, a teška potone na dno kivete. Nakon vađenja iz centrifuge, kivete su odmah stavljene u zamrzivač i ostavljene preko noći. Zamrznutu tekućinu se polagano otapa destiliranom vodom i SPT s mineralnim frakcijama se filtrira kroz filter papir, prvo za laku, a onda i tešku frakciju. Za filtriranje je korišten najgrublji Munktell® filter papir. Filtirane frakcije se osuše, izvažu i izračuna se maseni udio svake frakcije u uzorku.



Za svaki uzorak su se izradila dva mikroskopska preparata teške frakcije, a laka frakcija nije bila u ovom slučaju od interesa. Za izradu mikroskopskih preparata korišten je kanada balzam, predmetno i pokrovno stakalce. Predmetno stakalce se zagrije na peći i na njega se stavi kanada balzam koji se rastali. Kistom se u kanada balzam nanese zrna frakcije i sve se pokrije pokrovnim stakalcem, pritom pazeći da se istisnu svi mjehurići zraka. Preparati se očiste od preostalog kanada balzama i označe. Za mikroskopsku analizu korišten je polarizacijski mikroskop, a za brojanje mineralnih zrna korištena je metoda vrpce (ribbon counting). Određeno je 300 zrna uključujući i opake minerale u svrhu izračunavanja njihova udjela, i sveukupno 300 isključivo prozirnih zrna za izračunavanje udjela pojedinih prozirnih minerala. Prilikom određivanja prozirnih minerala korišten je rad MANGE & MAURER (1992).

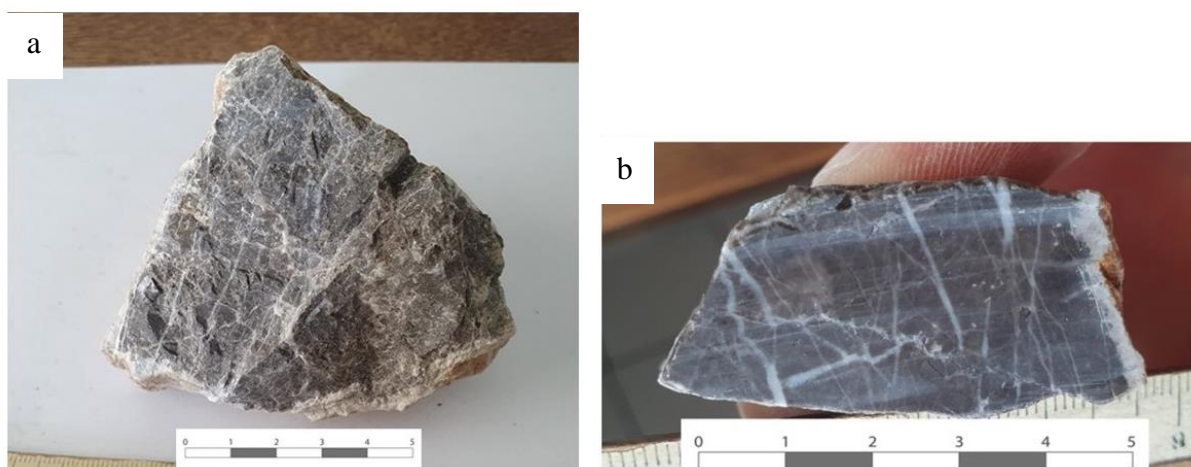
### 3.5. Obrada i analiza uzoraka stijena

Svi uzorci stijena prvo su prepiljeni u pločice debljine nekoliko milimetara za bolje opažanje makroskopskih karakteristika. Mali dijelovi pločica su usitnjeni u ahatnom tarioniku i snimljeni na difraktometru kako bi se utvrdio njihov sastav. Iz 14 uzoraka izrađeni su mikroskopski preparati, te su analizirani na polarizacijskom mikroskopu. Za značajne dijelove uzoraka snimljene su i fotomikrografije. Makroskopskim i mikroskopskim analiziranjem utvrđena je prisutnost fosila u svrhu interpretacije taložnih okoliša i određivanja starosti uzoraka. S uzorka iz jame Nedam TN-11 naknadno je sastrugan površinski sloj uzorka i analiziran XRD-om zbog specifičnog izgleda i sjaja na površini uzorka, te izrazito zaravnjene plohe na jednoj strani.

## 4. Rezultati istraživanja

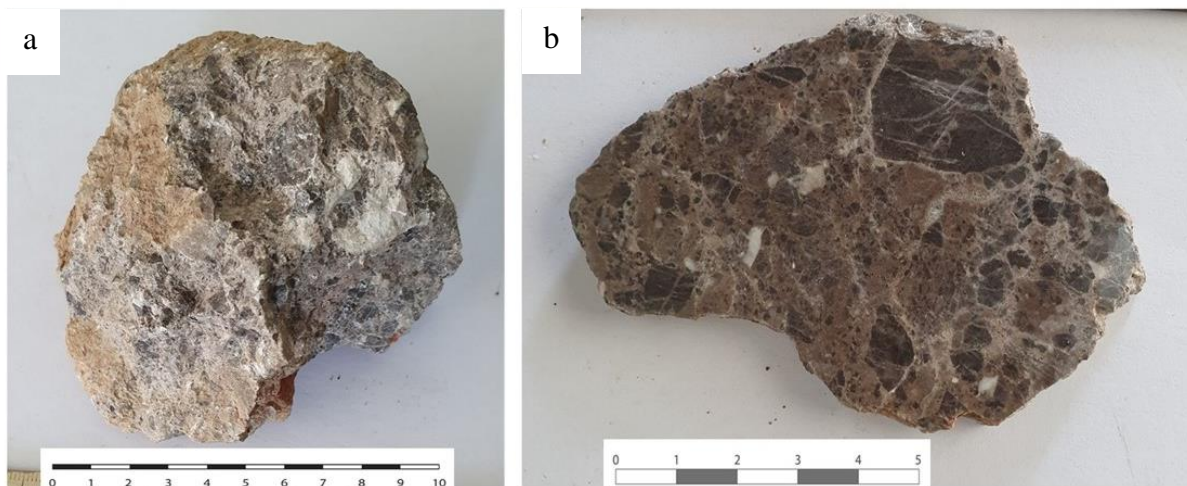
### 4.1. Rezultati makroskopske analize uzoraka

Prikupljeni uzorci su vapnenci i vapnenačke breče. Vapnenci su uglavnom masivni, sive do tamno sive boje bez značajnih makrostrukture, međusobno su vrlo slični. Većina vapnenaca prožeta je kalcitnim žilama (Slika 14).



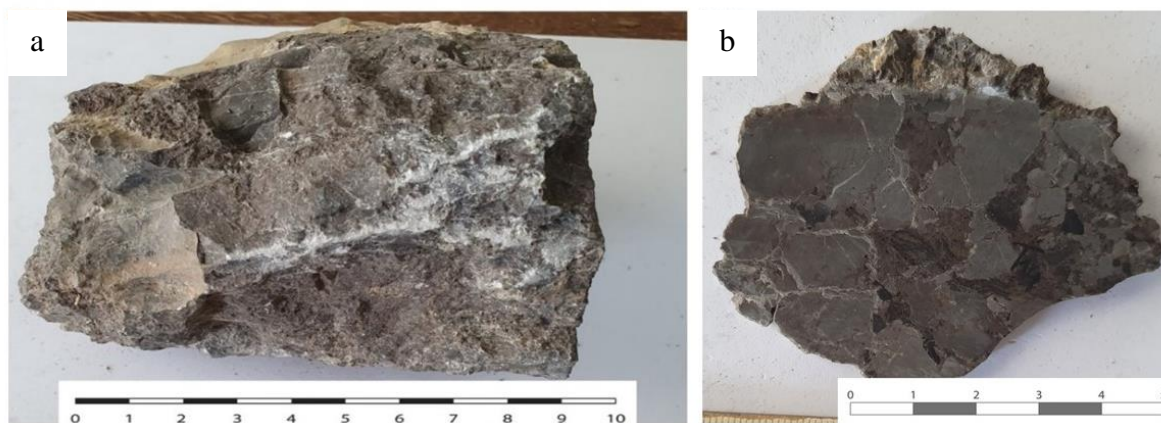
Slika 14 Uzorak vapnenca iz jame Nedam (TN-4); a – makroskopski izgled, b – izgled na prerezu (skale izražene u cm).

Uzorci uzorkovani s ulaznih dijelova jama pa do oko 300 m dubine pripadaju vapnenačkim brečama. Klasti su uglasti i mjestimice prožeti kalcitnim žilama, a u nekim se klastima mogu uočiti i mikrofosili. Uglavnom su tamnosive do tamnosmeđe boje, uz nekoliko klasta koji su heterogeni, odnosno neujednačene boje. Cement je sivo-smeđe boje, svjetliji od klasta (Slika 15). Klasti su različitih veličina, loše sortirani i nepravilno raspoređeni po uzorku. Iako djeluju masivno, breče su izrazito podložne procesima trošenja i okršavanju, te su u njima razvijene brojne škrape u objektu i području oko ulaza u objekt.



Slika 15 Uzorak karbonatne breče iz jame Nedam (TN-19); a – makroskopski izgled, b – izgled na prerezu (skale izražene u cm).

Karbonatne breče prisutne su u vršnim dijelovima obje jame, a u jami Nedam također i na dubini od oko 850 m do 950 m dubine. Ove posljednje su izrazito čvrste i bilo ih je teško odlomiti. Fragmenti breča su uglasti, nepravilnih oblika i različitih veličina sive do smeđe boje u sivom matriksu koji izgleda kao da prodire u same fragmente. Granice klata i matriksa su oštre i makroskopski jasno vidljive. Same breče imaju naizgled mozaičnu građu, te se makroskopski razlikuju od karbonatnih breča s ulaznih dijelova (Slika 16).



Slika 16 Ispiljena pločica uzorka breče iz jame Nedam (TN-14); a – makroskopski izgled, b – izgled na prerezu (skale izražene u cm).

Uzorak TN-11 ističe se zbog specifične plohe na površini uzorka (Slika 17). Sam uzorak je sa dubine 1200 m, te je na jednoj strani izrazito pravilno zaravnjen. Na tom dijelu uzorak je crn i sjajan te makroskopski izgleda kao da sadrži neki mineralni film. Zbog svih navedenih karakteristika posumnjalo se da je bio dio paraklaze u rasjednoj zoni.



Slika 17 Uzorak iz jam Nedam (TN-11). Crvena strelica značava položaj pretpostavljene paraklaze (skala izražena u cm).

#### 4.2. Rezultati analize stijenskih izbrusaka

Stijenski izbrusci mikroskopski su analizirani u svrhu identificiranja provodnih fosila i određivanja starosti uzoraka. Svakom uzorku određen je strukturni tip prema DUNHAMU (1962) i KLOVAN & EMBRY (1971) te fosilni sadržaj. U Tablica 3 prikazan je popis mikroskopski analiziranih uzoraka s dubinom uzorkovanja, određenim strukturnim tipom, fosilnim sadržajem i određenom starosti uzorka. Uzorci su u jami Nedam zbog logistike speleološke ekspedicije uzorkovani sekvencijski, te su tablici prikazani redoslijedom po dubini, dok je iz Ledene jame uzet samo jedan uzorak zbog nemogućnosti prolaska u dublje dijelove jame. Na temelju određenih stratigrafskih jedinica izrađen je geološki profil jame Nedam. S obzirom na malu gustoću mjesta uzorkovanja, granice stratigrafskih jedinica su pretpostavljene.

Tablica 3 Popis mikroskopski analiziranih uzoraka s dubinom uzorkovanja, strukturnim tipom, fosilnim sadržajem i određenom starosti: žuta boja – paleogen/neogen, svijetloplava – gornja jura, tamnoplava – srednja jura.

Uzorak	Dubina (m)	Strukturni tip	Fosilni sadržaj	Starost
LT-8	-50	Karbonatna breča	Unutar klasta: <i>Clypeina jurassica</i> Tekstularija	Paleogen/neogen? Klasti: Kimeridž - titon
TN-20	-5	Karbonatna breča	/	Paleogen/neogen?
TN-18	-205	Karbonatna breča	Unutar klasta: <i>Clypeina jurassica</i> <i>Siphovalvulina</i> sp. <i>Aeolisaccus</i> sp.	Paleogen/neogen? Klasti: stariji titon
TN-1	-290	Karbonatna breča	Unutar klasta:	Paleogen/Neogen

			<i>Siphovalvulina</i> sp. <i>Kurnubia? jurassica</i>	Klasti: oksford- stariji titon
TN-2	-300	Dolomit		
TN-5	-405	Bioklasični madston-vekston	<i>Siphovalvulina</i> sp. <i>Kurnubia? jurassica</i> <i>Thaumatoporella</i> sp. <i>Salpingoporella sellii</i>	Oksford
TN-6	-540	Bioklastični madston	<i>Kurnubia? jurassica</i> <i>Thaumatoporella</i> sp. <i>Salpingoporella sellii</i> <i>Evertycyclamina?sp.</i>	Oksford
TN-7	-550	Bioklastični madston	<i>Siphovalvulina</i> <i>variabilis</i>	Gornja jura
TN-8	-600	Fenestralni peloidno- bioklastični pekston-grejnston	<i>Thaumatoporella</i> <i>parvovesiculifera</i> <i>Salpingoporella sellii</i> <i>Kurnubia?</i> <i>palastiniensis</i>	Oksford
TN-16	-695	Sitnopeloidno- algalni vekston- pekston	<i>Thaumatoporella</i> <i>parvovesiculifera</i>	Gornja jura?
TN-15	-865	Peloidno- onkoidni vekston	<i>Thaumatoporella</i> sp. <i>Cladocorpsis?</i> <i>Siphovalvulina</i> sp. <i>Kurnubia</i> sp.	Oksford – stariji titon
TN-15	-865	Peloidno bioklastični vekston	<i>Kurnubia jurassica</i> <i>Aulotortus</i> sp. Miliolide, tekstularije, sifoalvuline	Oksford – stariji kimeridž
TN-11	-1200	Madston		Srednja jura?
TN-12	-1200	Peloidno intraklastični pekston-grejnston	<i>Mesoendothyra?</i> <i>croatica</i>	Alen - baton

TN-10	-1220	Tektonski brečirani madston	<i>Mesoendothyra croatica</i>	Alen - baton
-------	-------	--------------------------------	-------------------------------	--------------

Uzorak LT-8 uzet je u Ledenoj jami u Lomskoj dulibi na dubini od 50 m (sipar iznad ledenog čepa). Po strukturnom tipu pripada karbonatnim brečama. U fragmentu bioklastičnog vekstona prisutni su fragmenti alga i tekstularija. Jedna od algalnih vrsta najvjerojatnije je *Clypeina jurassica* čija je provodnost mlađi kimeridž-titon (VELIĆ, 2007) (Tabla 1, Slika 1).

Uzorak TN-20 uzet je na samom ulazu u jamu Nedam, na 5 m dubine. Strukturno je određen kao karbonatna breča s fragmentima mikritnih vapnenaca s kasnodijagenetskim kristalima dolomita. Provodnih fosila nema, te starost nije moguće odrediti.

Uzorak TN-18 uzet je na dubini 205 m. To je karbonatna breča, odnosno po strukturnom tipu intraklastični radston. Prevladavaju fragmenti algalnog vekstona i fragmenti peloidnog vekston-pekstona. Međuprostor je ispunjem sitnim litoklastima i druznim cementom. U algalnom vekstonu dominira *Clypeina jurassica*, uz sitne eulisakuse (*Aeolisaccus* sp.), sitne foraminifere (*Siphovalvulina* sp.) (Tabla 1, Slika 2), i krupnije foraminifere (upitna *Parurgonia caelinensis*). Također je prisutan i upitan fragment foraminifere *Alveosepta jaccardi* čiji stratigrafski raspon pripada kimeridžu (VELIĆ, 2007).

Uzorak TN-1 uzet je na dubini 290 m. To je karbonatna breča s prisutnim kasnodijagenetskim kristalima dolomita. Mjestimice su prisutne sitne bentičke foraminifere od kojih je najzastupljenija *Siphovalvulina* sp. Prisutan je i upitan presjek vrste *Kurnubia jurassica* čiji je stratigrafski raspon od oksforda do starijeg titona (VELIĆ, 2007). Prisutno je i nekoliko porostromatnih onkoida (onkoidi s ostacima algalnih filamenata). Udaranjem geološkim čekićem dolazilo je do iskrenja i poprilično jakog neugodnog mirisa.

Uzorak TN-2 uzet je na dubini 300 m. To je dolomit bez značajnih fosila i struktura. Prilikom uzorkovanja izmjeren položaj sloja 210/43.

Uzorak TN-5 uzet je na dubini 405 m i pripada bioklastičnom madston-vekstonu. Prisutne su sitne foraminifere, alge i tekstularije. Vidljive su i bioturbacije s filamentima alga. Od tekstularija prisutne su *Siphovalvulina* sp., fragment vrste *Mesoendothyra* sp., te upitan fragment vrste *Kurnubia jurassica*. Od algi su prisutne *Thaumatoporella* sp. i *Salpingoporella sellii* (stratigrafski raspon: oksford) (Tabla 1, Slika 3).

Uzorak TN-6 uzet je na dubini 540m. To je bioklastični madston s brojnim algama i foraminiferama. Od provodnih fosila zastupljene su alge *Thaumatoporella* sp. i *Salpingoporella sellii*. Od foraminifera prisutni su upitni fragmenti vrste *Kurnubia jurassica* (Tabla 1, Slika 4), te *Vernevilinidae* sp. Prisutan je i fragment trenutno neodređive foraminifere koji podsjeća na rod *Everticyclammina* sp.

Uzorak TN-7 uzet je na dubini 550 m. Određen je kao bioklastični madston sa sitnim foraminiferama, eolisakusima i rijetkim algama. Od foraminifera prisutna je vrsta *Siphovalvulina variabilis*, dok su od alga zastupljene *Thaumatoporella* sp. Rijetke su fenestralne šupljine i kristali kasnodijagenetskog dolomita. Nema provodnih fosila.

Uzorak TN-8 uzet je na dubini 600 m. To je peloidno bioklastični pekston-grejnston s algalnim onkoidima. Prevladavaju alge (*Thaumatoporella* sp., *Thaumatoporella parvovesiculifera*, *Salpingoporella sellii* (Tabla 1, Slika 5)) i filamenti cijanobakterija. Prisutne su i sitne foraminifere, uglavnom sifoalvuline. Prisutan je i teško odredivi fragment foraminifere, sličan onom u uzorku TN-6, iako ovaj fragment više liči na rod *Lituolipora*, koji ima specifičnu stijenu s krupnim porama. Uzorak sadrži i upitan presjek vrste *Kurnubia palastiniensis*. Od ostalih fosila prisutni su i fragmenti koralja (Tabla 1, Slika 6).

Uzorak TN-16 uzet je na dubini 695 m i određen je kao sitnopeloidno-algalni vekston-pekston, veoma sličan uzorku TN-8. Od alga zastupljena je vrsta *Thaumatoporella parvovesiculifera*. Rijetke su sitne foraminifere, uglavnom sifoalvuline (*Siphovalvulina colomi*). Nema provodnih fosila.

Uzorak TN-15 uzet je na dubini 865 m, te je analiziran iz dva mikroskopska preparata (TN-15-1 i TN-15-2) koji su izrađeni iz jednog komada uzorka. Prilikom rezanja uzorka za izradu preparata, izrezane su dvije pločice, s dvije strane uzorka, jer je makroskopski bilo vidljivo da je bogat fosilima. Ovisno o količini zastupljenih fosila u samom preparatu, uzorci su zasebno fosilno i strukturno određeni. Uzorak TN-15-1 određen je kao peloidno-onkoidni vekston. Prevladavaju algalni onkoidi i algalne vrste *Thaumatoporella* sp. Vidljiv je fragment hidrozoja, vjerojatno roda *Cladocoropsis* (Tabla 1, Slika 7). Od sitnih foraminifera prisutne su sifoalvuline i rod *Kurnubia* sp. (nije jasno vidljivo pripada li vrsti *Kurnubia jurassica* ili *Kurnubia palastiniensis*). Uzorak TN-15-2 određen je kao peloidno-bioklastični vekston s algalnim onkoidima. Od bioklasta prevladavaju sitne foraminifere i fragmenti bodljikaša. Prisutni rodovi foraminifera su sifoalvuline, miliolide, tekstularije, te rijetko prisutne involutinidne foraminifere (*Aulotortus* sp.). Određene vrste foraminifera su *Kurnubia jurassica*,

te jedna foraminifera slična vrsti *Paleomayncina termieri* (loše vidljiva, teško je odrediti sa sigurnošću).

Uzorak TN-11 uzet je na dubini 1200 m. Određen je kao madston bez prisutnih provodnih fosila. Vidljivi su mineralna zrna kasnodijagenetskog dolomita i limonita.

Uzorak TN-12 također je uzet na dubini 1200 m, ali s suprotnog zida kanala prema sifonu. Određen je kao peloidno-intraklastični pekston-grejnston. Foraminifere su rijetko prisutne, uglavnom sifoalvuline, uz dva djelomična presjeka vrste *Mesoendothyra croatica* (stratigrafskog raspona toarcij – stariji baton prema VELIĆ, 2007).

Uzorak TN-10 uzet je na dubini 1220 m i određen kao tektonski brečirani madston. Od provodnih fosila prisutan je jedan presjek foraminifere vrste *Mesoendothyra croatica* (Tabla 1, Slika 8).

#### 4.3. Rezultati granulometrijske analize

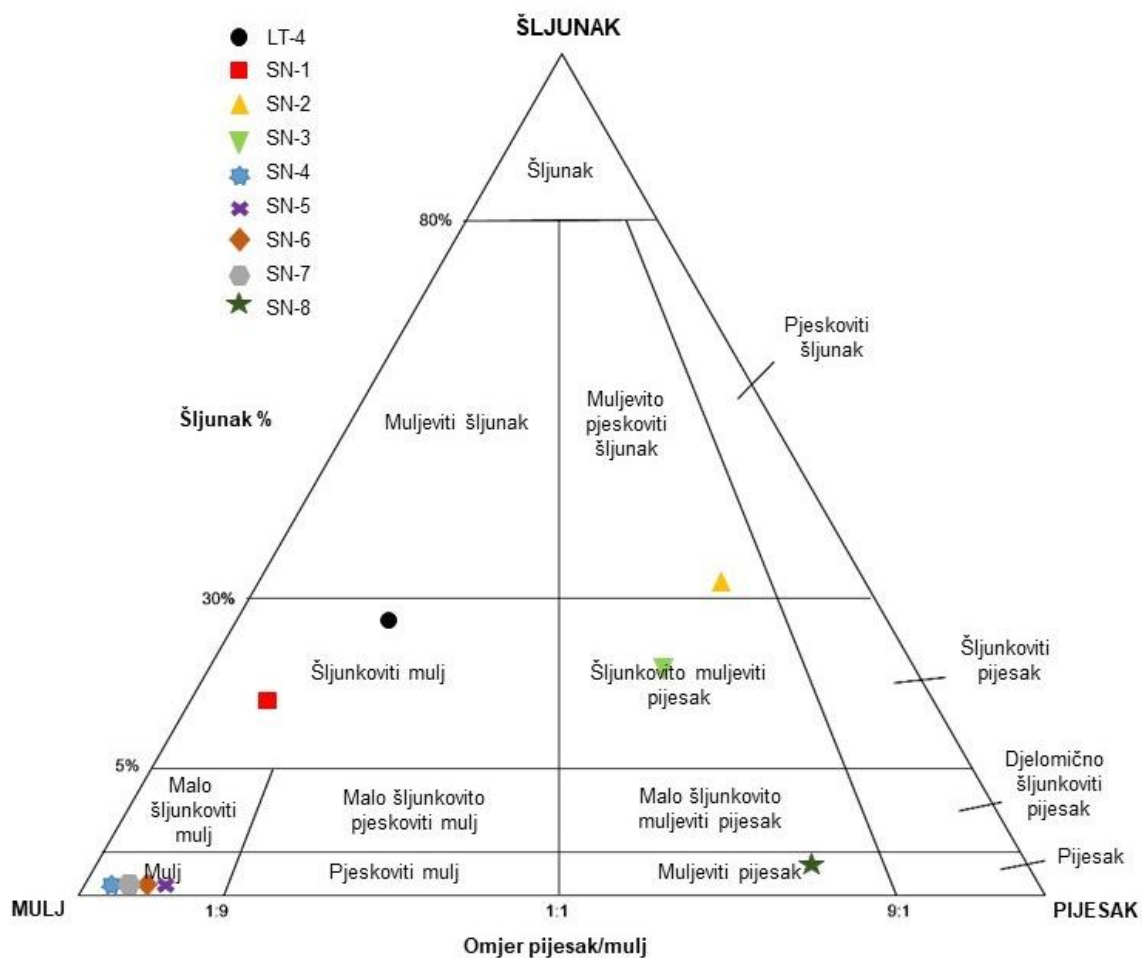
Prikaz statističkih podataka rezultata granulometrijske analize pojedinog uzorka prikazan je u Tablica 4. Statistički parametri izračunati su prema FOLK & WARD (1957), dok je klasifikacija na temelju dobivenih podataka određena prema FOLK (1954). Većina uzoraka izrazito je loše sortirana i uglavnom s visokim udjelom mulja. Uzorci s manjih dubina (do -300 m) klasificirani su uglavnom kao mješavine šljunka, pijeska i mulja, dok su sedimenti s većih dubina klasificirani više kao muljeviti sedimenti, odnosno silt (Slika 18).

Tablica 4 Statistički podaci rezultati granulometrijske analize sedimenata ( $D_{50}$  – srednja veličina čestica,  $\bar{x}$  – prosječna veličina čestica,  $\sigma$  – sortiranost,  $Sk$  – koeficijent asimetrije,  $K$  – zakrivljenost krivulje).

Uzorak	$D_{50}$ ( $\mu\text{m}$ )	$\bar{x}$ ( $\mu\text{m}$ )	$\sigma$ ( $\phi$ )	$Sk$ ( $\phi$ )	$K$ ( $\phi$ )
LT-4	45,98	73,15	4,459	-0,156	0,708
SN-1	6,526	22,08	4,874	-0,469	1,128
SN-2	760,8	714,2	3,146	0,231	1,091
SN-3	378,7	185,4	4,117	0,366	0,857
SN-4	5,303	4,262	1,951	0,170	0,684
SN-5	5,928	5,060	1,770	0,110	1,102
SN-6	6,317	7,001	0,920	-0,261	1,817
SN-7	11,79	8,883	1,943	0,315	1,031
SN-8	121,9	105,6	1,539	0,385	1,800



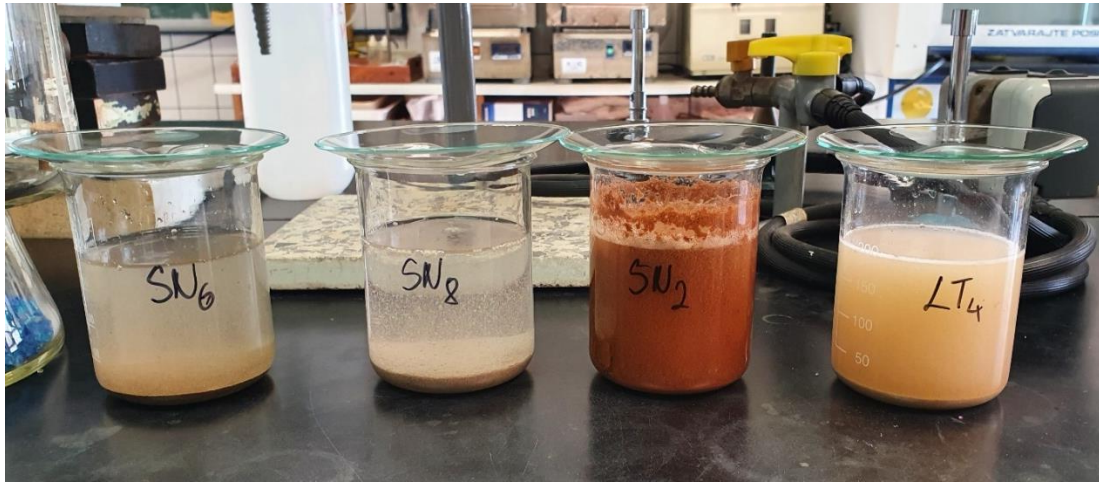
Uzorci s manjih dubina (SN-1 do SN-3 i LT-4) imaju jako lošu sortiranost, dok uzorci s većih dubina imaju nešto bolju sortiranost. Uzorci s boljom sortiranosti su klasificirani kao mulj s primjesom pijeska, dok su uzorci s lošijom sortiranosti klasificirani kao mješavine šljunka, pijeska i mulja. Najbolju sortiranost ima uzorak SN-6 iz jame Nedam sa dubine 550 m. Uzorak SN-8 sa dna jame Nedam također je loše sortiran, no jedini je klasificiran kao muljeviti pijesak.



Slika 18 Granulometrijski sastav svih uzoraka iz jame Nedam i Ledene jame u trokomponentnom dijagramu šljunka, pijeska i mulja (prema Folk, 1954).

#### 4.4. Rezultati analize teške mineralne frakcije

Prilikom same pripreme uzoraka za separaciju, uočene su znatne razlike između sedimenata. Uzorak LT-4 imao je dosta karbonatne komponente, te ga je nakon tretiranja s octenom kiselinom ostalo veoma malo, no dovoljno za separaciju. S peroksidom nije previše reagirao i imao je niži udio glina. Uzorak SN-2 bio je veoma bogat glinom, te je proces odglinjavanja najduže trajao. S octenom kiselinom reagirao je burno, no kratkotrajno (Slika 19).



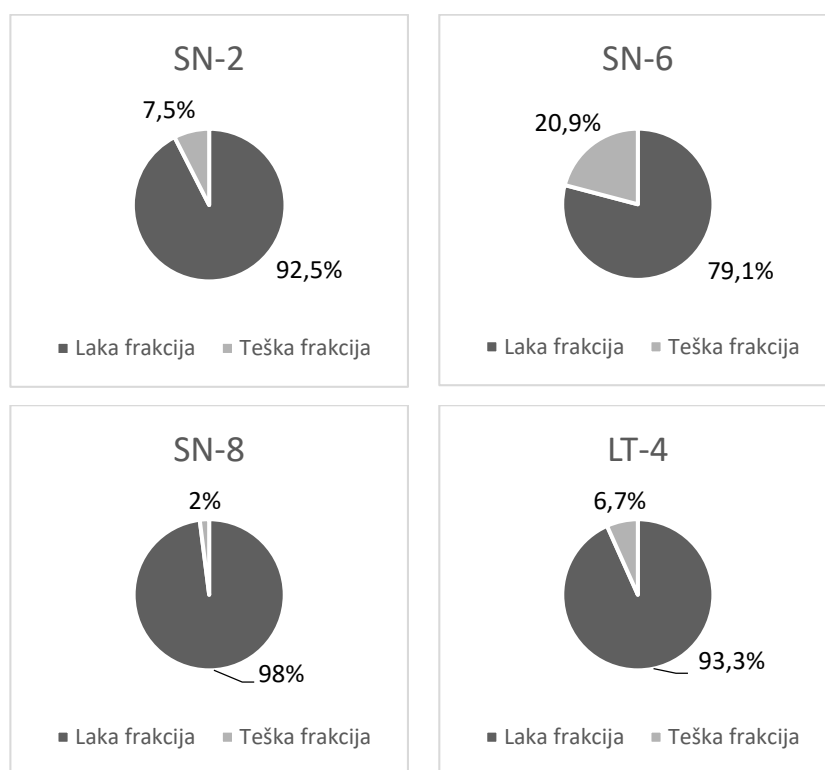
*Slika 19 Reakcija uzoraka s octenom kiselinom.*

S vodikovim peroksidom je također burno reagirao, što ukazuje na visok udio organske tvari, te se uslijed reakcije tamna organska tvar uzdigla i izgarala. Zbog svoje žarko crvene boje bilo je očito da je bogat željeznim hidroksidima koje je trebalo ukloniti. Prilikom kuhanja u oksalnoj kiselini, na vrhu suspenzije se nakupio pahuljasti sloj (Slika 20), no sam je nestao kada je započela reakcija.



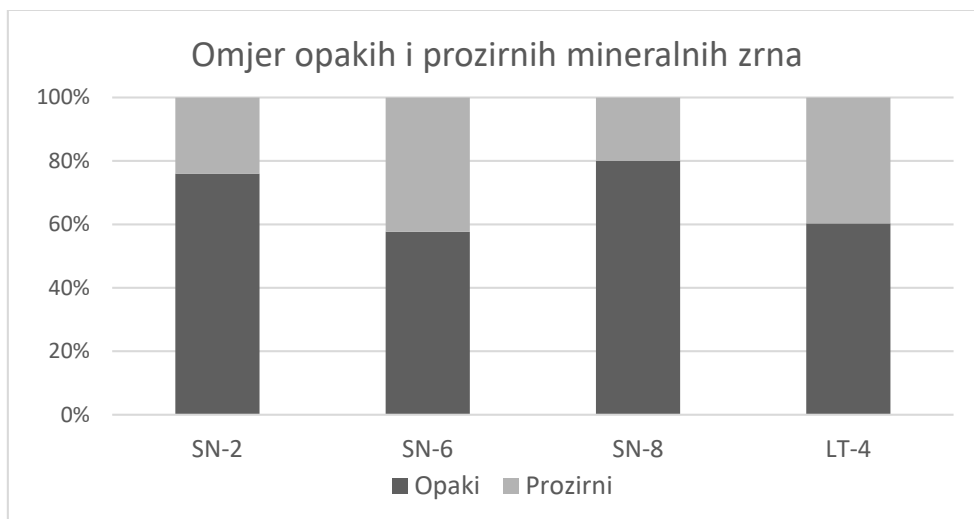
*Slika 20 Pahuljasti talog prilikom kuhanja uzorka SN-2 prilikom kuhanja u oksalnoj kiselini.*

Uzorak SN-6 također je bio bogat glinom i nije imao jaku reakciju s octenom kiselinom. Bio je najbogatiji organskom tvari od svih uzoraka, te je veoma burno reagirao. Tijekom reakcije, čaša u kojoj se odvijala reakcija se jako zagrijala te je zbog toga uranjana u posudu s hladom vodom kako ne bi došlo do puknuća čaše. Uzorak SN-8 bio je najbogatiji karbonatnom komponentom i jako je dugo reagirao s octenom kiselinom, te je zbog toga u njoj ostavljen nekoliko dana duže, kako bi bili sigurni da su karbonati uklonjeni. Tijekom sušenja, uzorak SN-6 je razvio listićave forme u rastresitom uzorku koje su se zalijepile za porculansku posudu, te ga je bilo potrebno sastrugati i razbiti "listiće" koji su se uvijali, jer su otežavali rukovanje s uzorkom prilikom vaganja. S ostalim uzorcima nije bilo takvog problema. Udjeli teške i lake mineralne frakcije izračunate nakon separacije i vaganja uzoraka prikazani su na Slika 21. Udio teške frakcije je najmanji u uzorku SN-8, a najveći u uzorku SN-6.



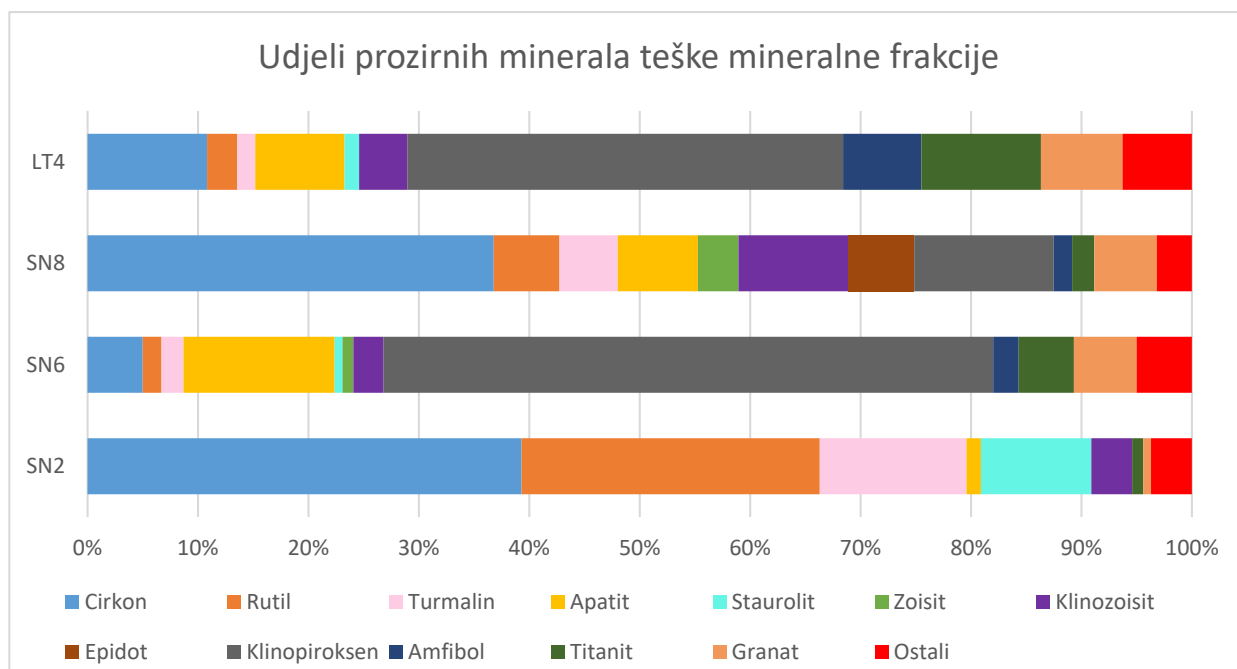
Slika 21 Kružni grafovi s udjelima teške i lake mineralne frakcije u pojedinom uzorku

Prilikom mikroskopske analize teške mineralne frakcije utvrđen je visok udio (više od 50%) opakih minerala u svim uzorcima (Slika 22). Jasno je vidljivo da uzorci SN-2 i SN-8 imaju podjednak omjer opakih i prozirnih minerala, a slično podudaranje vidljivo je i između uzoraka SN-6 i LT-4.



Slika 22 Grafovi s udjelima opakih i prozirnih minerala teške frakcije pojedinog uzorka.

Nakon određivanja mineralnog sastava teške frakcije pojedinog uzorka, također je vidljivo podudaranje između uzoraka SN-2 i SN-8, te između SN-6 i LT-4. U svakom uzorku prisutan je i mali udio (<5%) minerala koje nije bilo moguće odrediti. Slika 23 prikazuje udjele pojedinih prozirnih minerala teške frakcije u svakom uzorku, dok su brojčane vrijednosti udjela pojedinog prozirnog minerala prikazane u Tablica 5.



Slika 23 Udjeli pojedinih prozirnih minerala u teškoj mineralnoj frakciji pojedinog uzorka.

Tablica 5 Udjeli pojedinih prozirnih minerala u teškoj mineralnoj frakciji pojedinog uzorka.

Minerali	SN2	SN6	SN8	LT4
<b>Cirkon</b>	39,3	5	37	10,7
<b>Rutil</b>	27	1,7	6	2,7
<b>Turmalin</b>	13,3	2	5,3	1,6
<b>Apatit</b>	1,3	13,7	7,3	8
<b>Staurolit</b>	10	0,7	0	1,3
<b>Zoisit</b>	0	1	3,7	0
<b>Klinozoisit</b>	3,7	2,7	10	4,3
<b>Epidot</b>	0	0	6	0
<b>Klinopiroksen</b>	0	55,3	12,7	39
<b>Amfibol</b>	0	2,3	1,7	7
<b>Titanit</b>	1	5	2	10,7
<b>Granat</b>	0,7	5,7	5,7	7,3
<b>Ostali</b>	3,7	5	3,2	6,2

U uzorku SN-2 najzastupljeniji su cirkon s 39,3%, zatim rutil s 27%, turmalin s 13,3%, staurolit s 10%, dok ostali dolaze u udjelima do 4%. Prisutna su idiomorfna zrna cirkona (Tabla 2; Slike 6 i 7), oštih rubova i visokog reljefa, a Uz njih se pojavljuju i nepravilnija zrna. Zrna rutila su nepravilna karakteristične žute do smeđežute boje koja prekriva interferencijsku, te izraženim visokim reljefom (Tabla 3; Slike 7 i 8). Turmalini su kratko do dugo-prizmatični s jako izraženim pleokroizmom i karakterističnim interferencijskim bojama drugog reda (Tabla 3; Slike 16–18). Zrna staurolita su nepravilna, visokog reljefa i žute do žutosmeđe boje. Većina zrna staurolita ima izražen pleokroizam od žute do narančaste ili svjetlosmeđe boje (Tabla 3, Slike 10–12). Za razliku od ostalih uzoraka, nema prisutnih klinopiroksena. Prisutno je i nekoliko nepravilnih zrna glaukofana karakteristične lavandulasto plave boje (Tabla 2; Slike 10–12), koji nisu zastupljeni u ostalim uzorcima.

Uzorak SN-8 po sastavu je donekle sličan uzorku SN-2 od kojeg se razlikuje jer sadrži i klinopiroksene istih habitusa kao u uzorku SN-6 koji bi morfologijom također odgovarali augitima. Najzastupljeniji je cirkon s 37%, zatim klinopiroksen s 12,7% i klinozoisit s 10%. Manja je zastupljenost idiomorfni zrna cirkona, prevladavaju uglavnom nepravilna, ovalna

zrna, visokog reljefa. Osim pretpostavljenih augita, prisutno je i nekoliko zrna rompskih piroksena, hiperstena s karakterističnim pleokroizmom od ružičaste do ljubičasto-plave boje (Tabla 2; Slike 14–16). Zrna klinozoisita su bezbojna, izduženih ili nepravilnih habitusa (Tabla 3; Slike 1 i 2). Uz klinozoisite, sadrži i najviši udio zoisita (3,7%) (Tabla 3; Slike 19 i 20). Prisutan je i epidot, kojeg nema u ostalim uzorcima, nepravilnih je zrna i visokog reljefa, s karakterističnim interferencijskim bojama do žute drugog reda (Tabla 2; Slike 8 i 9). U uzorku je prisutno i puno zrna klorita, koja nisu ulazila u brojana zrna (Tabla 3; Slike 3 i 4).

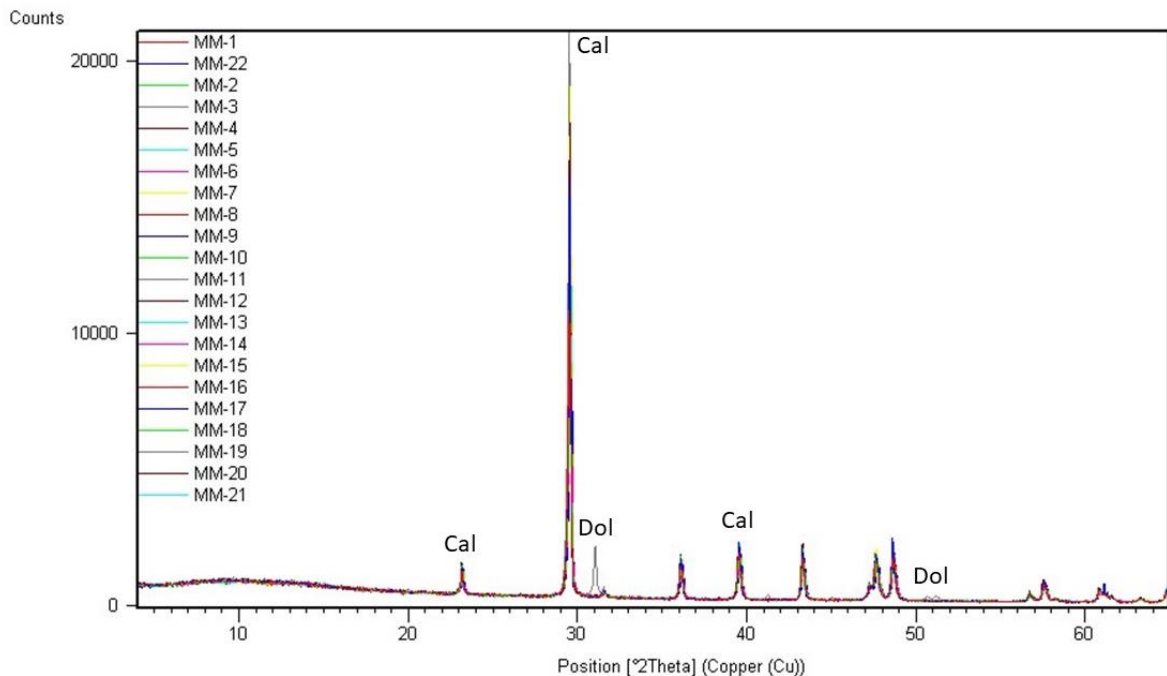
U uzorku SN-6, s najvećim udjelom prozirnih minerala, najzastupljeniji su klinopirokseni (>50%), te apatit ( $\approx$ 149%). Među mineralima zastupljenim s manje od 10% najviše ima granata (5,7%), titanita (5%), cirkona (5%) i kromita (3%). Na klinopiroksenima opažaju se "češljasti" rubovi (Tabla 2; Slike 19 i 20) karakteristični za augite, no samom mikroskopskom analizom teško ih je sa sigurnošću determinirati. Osim nepravilnih, prisutna su i prizmatski izdužena zrna također s "češljastim" rubovima (Tabla 2; Slike 17 i 18). Zrna titanita su također karakterističnog klinastog oblika, sa uzvišenim hrbtom na sredini, te prekrivenom interferencijskom bojom (Tabla 3; Slike 13–15). Apatiti su uglavnom prizmatski izduženi, bijele boje (Tabla 2; Slike 4 i 5). Kromiti su nepravilni, žutosmeđe boje, izotropni (Tabla 3; Slike 5).

U uzorku LT-4 iz Ledene jame također prevladavaju klinopirokseni (39%). Po mineralnom sastavu sličan je uzorku SN-6 iz jame Nedam. Ima nešto veći udio cirkona (10,7 %) nego SN-6, kao i titanita (10,7 %). To su ujedno i sljedeći najzastupljeniji minerali. Od svih uzoraka ima najviši udio granata (7,3%) s nekoliko idiomorfni zrna (Tabla 2; Slike 13). Zrna granata su bezbojna, visokog reljefa i izotropna. Također ima i najviši udio amfibola (7%) nepravilnih tamnozelenih do smeđih zrna (Tabla 2; Slike 1–3). U uzorku LT-4 prisutno je i nekoliko nepravilnih zrna spinela tamno plave boje (aluminijских) (Tabla 3; Slike 9), kojih nema u ostalim uzorcima. Primjer zrna opakog minerala uzorka LT-4 prikazan je u Tabli 2 i Slici 6.

## 4.5. Rezultati rendgenske difrakcijske analize

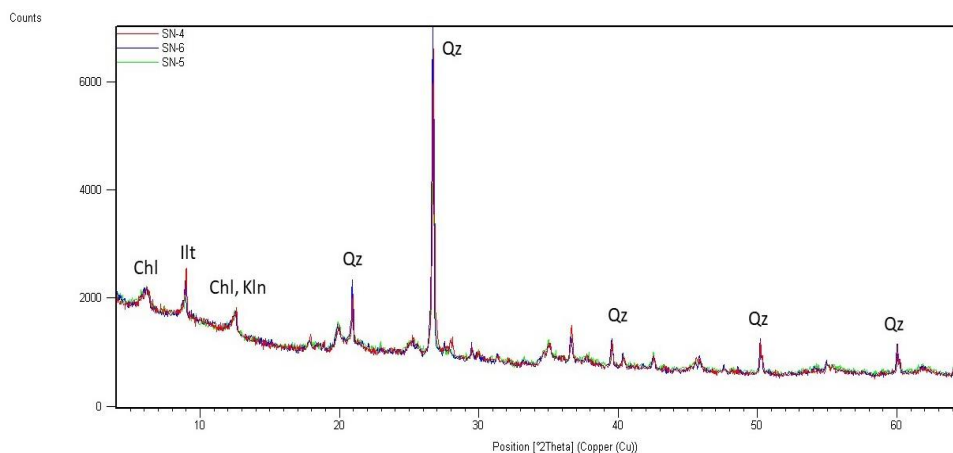
### 4.5.1. Cjelostjenski preparati

Svi uzorci stijena su zdrobljeni i snimljeni su cjelostjenski preparati (WR - "whole rock") jer su bili vrlo žilavi tijekom piljenja uzoraka pa se sumnjalo na prisutnost drugih minerala uz kalcit. Potvrđeno je da svi uzorci pripadaju vapnencima, naime samo u uzorku TN-19 prisutno je malo dolomita, dok je u svim ostalima jedini determinirani mineral bio je kalcit (Slika 24). S uzorka TN-11 naknadno je sastrugan i snimljen površinski sloj uzorka zbog sumnje na prisutnost drugih minerala. Rezultat analize pokazao je da je prisutan samo kalcit.

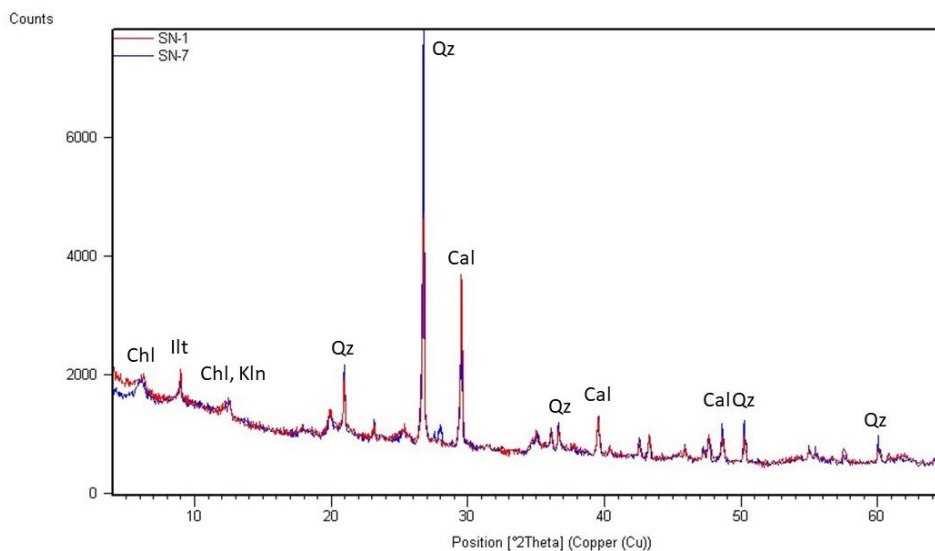


Slika 24 Preklopljeni rendgenogrami uzoraka stijena. Oznake minerala prema Warr, (2021): Cal-kalcit, Dol-dolomit.

Rendgenska analiza WR preparata sedimenata pokazala je da se uzorci razlikuju po prisutnosti kvarca, kalcita i minerala glina. U uzorcima SN-4, SN-5 i SN-6 izraženi su maksimumi minerala glina i kvarca (Slika 25). Uzorci SN-1 i SN-7 uz minerale glina i kvarc imaju prisutan i kalcit (Slika 26). U ostalim uzorcima minerali glina su slabo izraženi, te prevladavaju samo kalcit i kvarc.



Slika 25 Preklopljeni rendgenogrami analize WR uzoraka SN-4, SN-5, SN-6. Oznake minerala prema Warr, (2021): Qz-kvarc, Chl-klorit, Ill-illit, Kln-kaolinit.



Slika 26 Preklopljeni rendgenogrami analize WR uzoraka SN-1 i SN-7. Oznake minerala prema Warr, (2021): Qz-kvarc, Chl-klorit, Ill-illit, Kln-kaolinit.

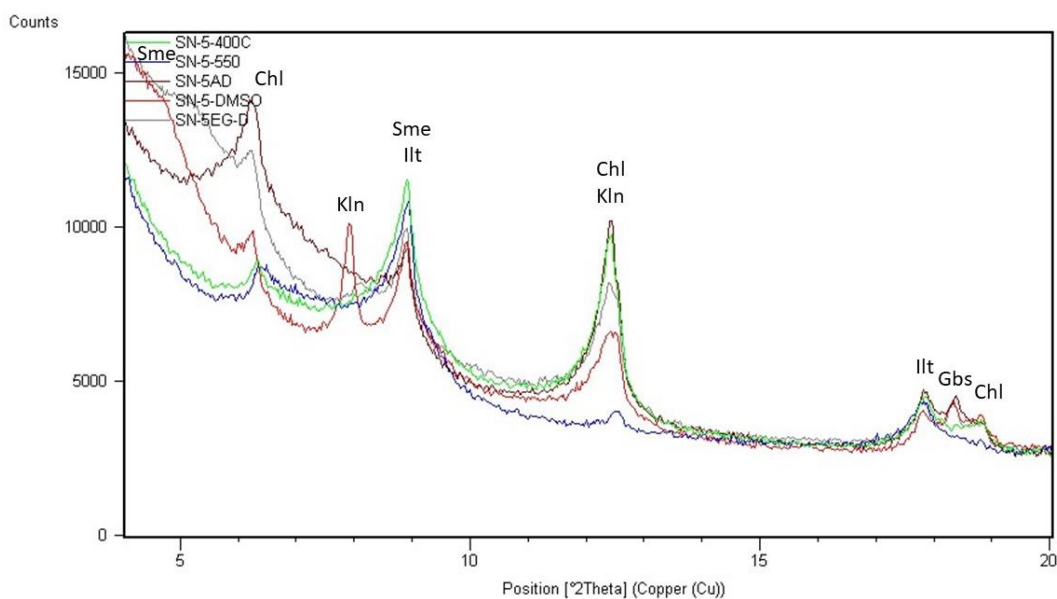
#### 4.5.2. Orijentirani preparati

Rezultati difrakcijske analize orijentiranih preparata sitne frakcije prikazani su u obliku preklopljenih rendgenograma snimljenih nakon svakog tretiranja uzorka: sušeni na zraku (AD), bubreni etilen glikolom (EG), bubreni s dimetil-sulfoksidom (DMSO), žareni na 300°C (samo uzorci SN-2 i SN-3), žareni na 400°C i žareni na 550°C. S obzirom na rezultate analize, uzorci su podijeljeni u dvije grupe, ovisno o prisutnosti ili odsutnosti pojedinih minerala. Za svaku grupu uzorka prikazan je jedan reprezentativni rendgenogram.

U prvu grupu svrstani su uzorci SN-1, SN-4, SN-5, SN-6, SN-7, SN-8 i LT-4. Ovi uzorci imaju gotovo isti mineralni sastav, jedino što varira je udio pojedinih minerala. Za primjer uzeti

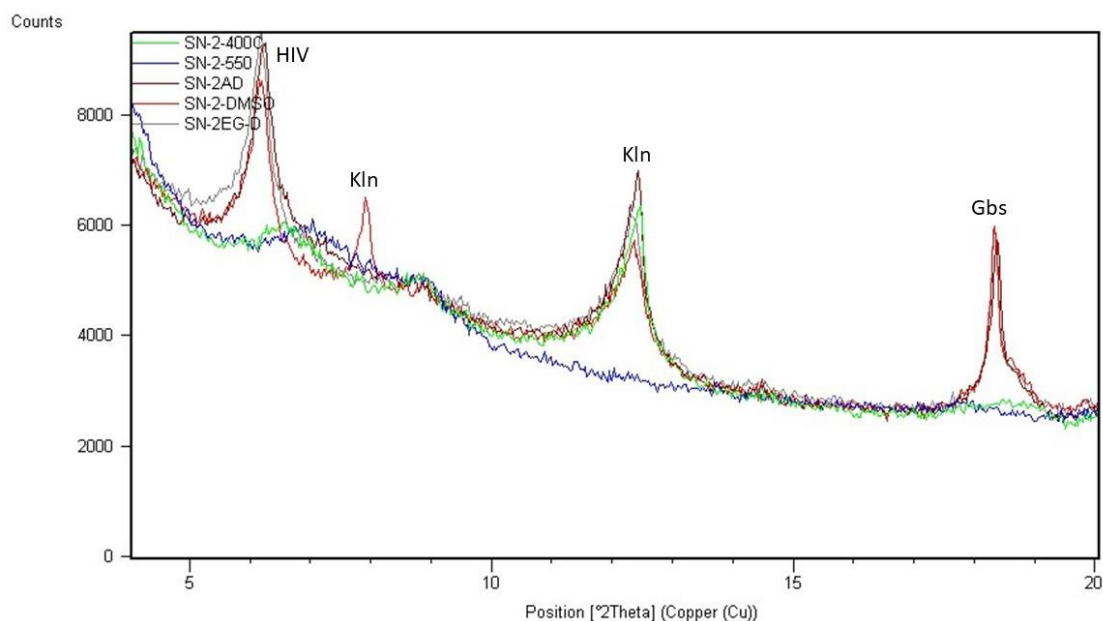


su rezultati analize preparata uzorka SN-5 (Slika 27). U svim uzorcima prisutni su klorit, kaolinit i illit, odnosno mješanoslojni illit-smektiti od minerala glina, te aluminijev hidroksid gibbsit. Zbog preklapanja refleksa klorita i kaolinita bilo je teško razlučiti njihove maksimume. Klorit je identificiran na temelju prisutne uobičajene serije difrakcijskih maksimuma na 14,1; 7,07, 4,7 i 3,5 Å. Prilikom žarenja na 400°C i 550°C došlo je do smanjenja intenziteta 001 refleksa, što nije tako uobičajeno za klorit. Difrakcijskom maksimumu na ~7 i 3,5 Å je nakon žarenja na 550°C izrazito pao intenzitet, no nije u potpunosti nestao, što upućuje na prisutnost klorita. Kaolinit je identificiran na temelju serije difrakcijskih maksimuma na 7,1, 3,5 i 2,4 Å. Jasan indikator prisutnosti kaolinita je pojava maksimuma na 11,2 i 3,3 Å karakterističnih za kaolinit nakon tretiranja dimetil-sulfoksidom. Još jedna bitna karakteristika kaolinita je gubitak maksimuma kaolinita nakon žarenja na 550°C, no u ovom slučaju nije primjenjiva jer se maksimumi preklapaju s maksimumima klorita koji zadrže maksimume na 7 i 3,5 Å, a sam pad njihovog intenziteta nije dovoljan za determinaciju, jer pri žarenju na 550°C dolazi do pada intenziteta viših redova bazalnog refleksa klorita. Illit je također prepoznat po seriji difrakcijskih maksimuma na 9,9, 4,9 i 3,3 Å. Nakon bubrenja etilen glikolom i DMSO vidljivo je da je prisutna i bubreća komponenta (>15 Å), te dolazi do pada intenziteta na 14 Å, što ukazuje na prisutnost smektita. Nakon žarenja na 400°C i 550°C, dolazi do pojačavanja intenziteta na ~10 Å, što je također karakteristično za smektit. Osim minerala glina, u svim uzorcima je prisutan i gibbsit sa serijom maksimuma na 4,8, 4,3 i 3,3 Å. Žarenjem na 400°C i 550°C intenziteti gibbsita se drastično smanjuju.

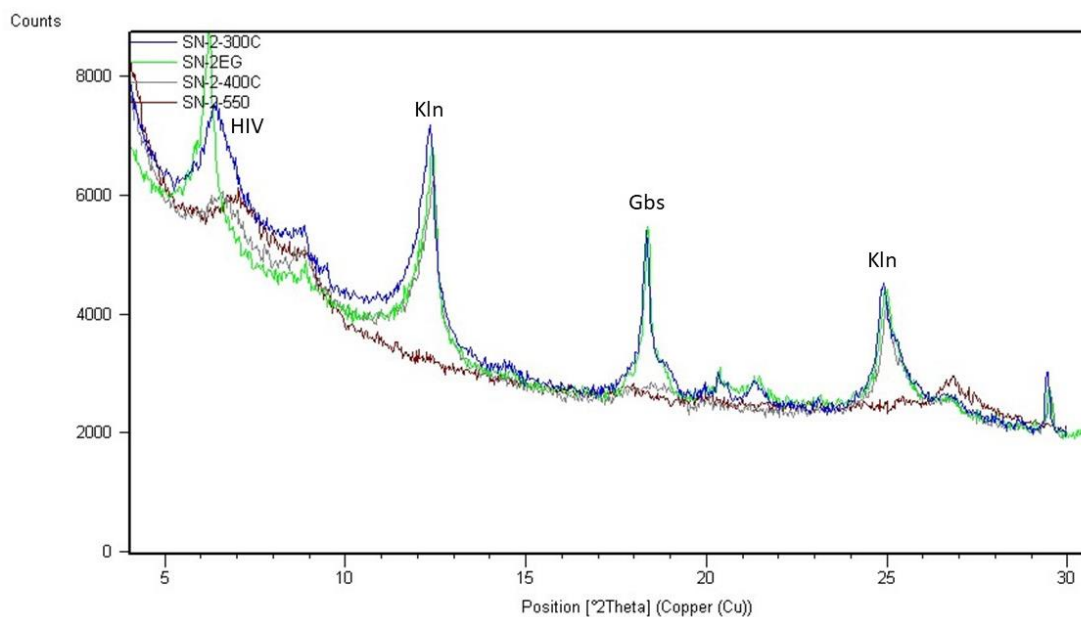


Slika 27 Usporedni rendgenogrami tretiranog orijentiranog preparata uzorka SN-5 sušenog na zraku (SN-5AD), bubrenog etilen-glikolom (SN-5EG), bubrenih DMSO (SN-5-DMSO), žarenih na 400°C (SN-5-400C) i 550°C (SN-5-550C). Oznake minerala prema Warr, (2021): Chl-klorit, Kln-kaolinit, Illt-illit, Sme-smektit, Gbs-gibbsit.

U drugu grupu svrstani su uzorci SN-2 i SN-3. U oba uzorka prisutan je izuzetno oštar difrakcijski maksimum na 14,2 Å kod preparata sušenih na zraku, te bubrenih etilen-glikolom i DMSO. Taj isti difrakcijski maksimum se nakon žarenja na 300°C, 400°C i 550°C pomiče na manje vrijednosti međumrežnog razmaka od ~12 do 13 Å. Uz smanjenje intenziteta (Slika 28 i Slika 29). Ove karakteristike upućuju na prisutnost hidsoksi interstratificiranog vermikulita (HIV) (Tablica 6).



Slika 28 Usporedni rendgenogrami tretiranih orijentiranih preparata uzorka SN-2 sušenih na zraku (SN-2AD), bubrenih etilen-glikolom (SN-2EG), bubrenih DMSO (SN-2-DMSO), žarenih na 400°C (SN-2-400C) i 550°C (SN-2-550C). Oznake minerala prema Warr, (2021): Kln-kaolinit, Gbs-gibbsit; HIV-hidroksi interstratificirani vermikulit.

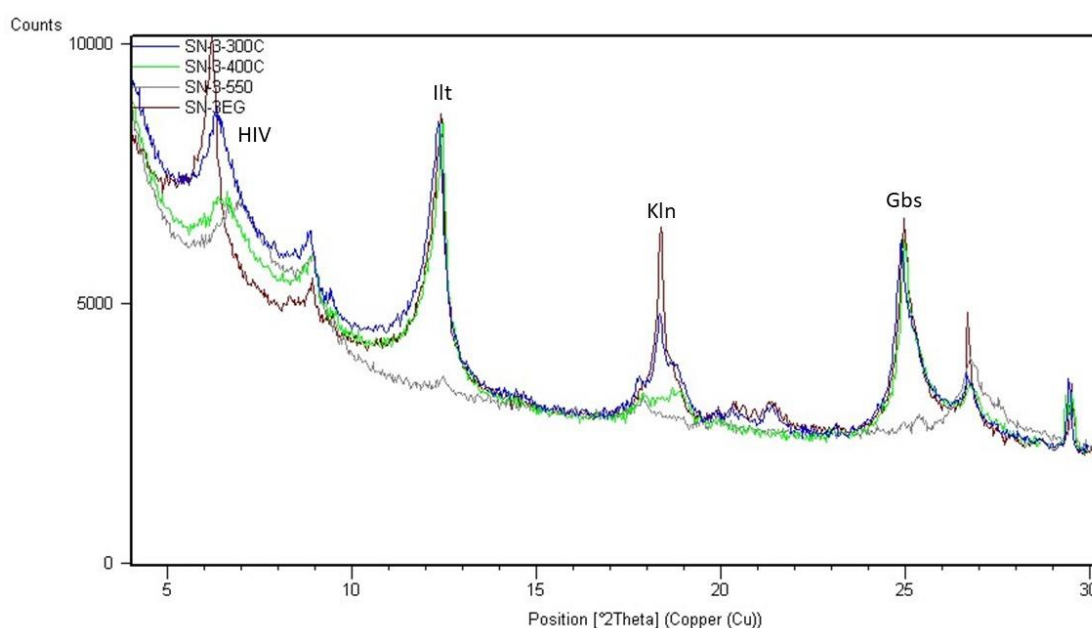


Slika 29 Usporedni rendgenogrami tretiranih orijentiranih preparata uzorka SN-2 bubrenih etilen-glikolom (SN-2EG), žarenih na 300°C (SN-2-300C), žarenih na 400°C (SN-2-400C) i 550°C (SN-2-550C). Oznake minerala prema Warr, (2021): Kln-kaolinit, Gbs-gibbsit; HIV-hidroksi interstratificirani vermikulit.

Tablica 6 Međumrežni razmaci (u Å) za hidroksi interstratificirane minerale i druge minerale sličnih karakteristika sušene na zraku, bubrene etilen-glikolom, zasićene kalijem i grijane na 300°C. Izvor: Velde & Meunier, 2008.

	Sušenje na zraku (Sr, Ca, Mg)	Etilen-glikol	K-zasićenost	Žarenje (300°C)
Al-klorit	14,2	14,2	14,2	14,2
Vermikulit	>14,5	16	10	10
Smektit	15,2	17	10	10
HI smektit (HIS)	14,2	15	12	10 - 11
HI vermikulit (HIV)	14,2	14,2	14,2	12 - 13

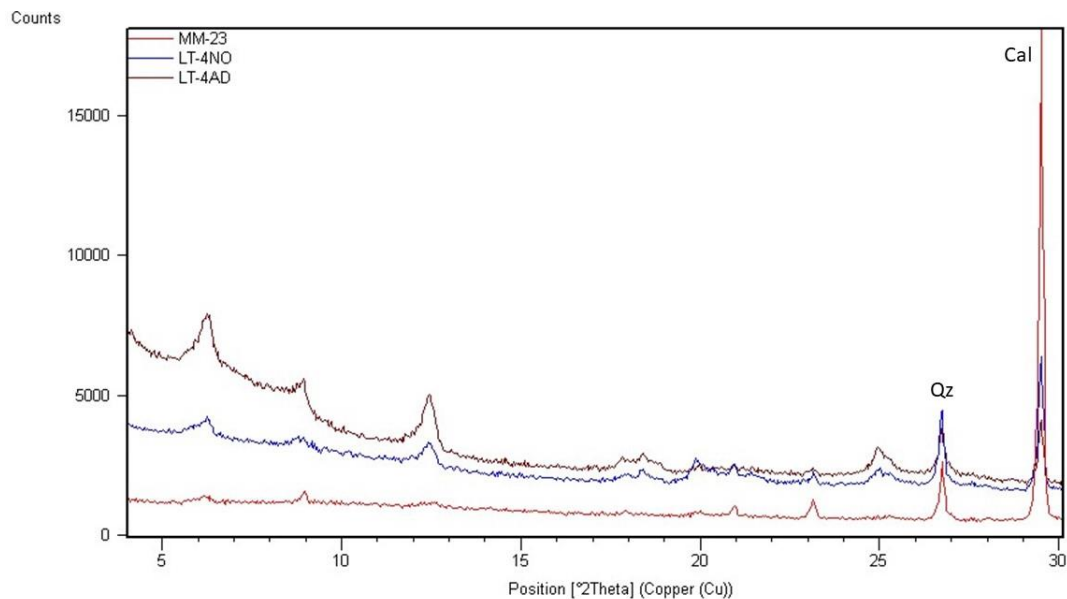
Oba uzorka također sadrže gibbsit koji ima izuzetno oštre difrakcijske maksimume na 4,8, 4,3 i 3,3 Å, te kaolinit s maksimumima na 7,1, 3,5 i 2,4 Å, te nakon tretmana s DMSO na 11,2 i 3,3 Å. Prisutnost smektita i/ili illita je isključena u uzorku SN-2 zbog izostanka refleksa na međumrežnom razmaku ~10 Å, te izostanka bubrenja. U uzorku SN-3 prisutan je difrakcijski maksimum refleksa na ~10 Å slabog intenziteta, no nema prisutne bubreće komponente. Prisutan je i difrakcijski maksimum slabog intenziteta na ~5 Å, te bi to moglo upućivati na prisutnost illita (Slika 30)



Slika 30 Usporedni rendgenogrami tretiranih orijentiranih preparata uzorka SN-3 sušenih na zraku (SN-3AD), žarenih na 300°C (SN-3-300C), žarenih na 400°C (SN-3-400C) i 550°C (SN-3-550C). Oznake minerala prema Warr, (2021): Kln-kaolinit, Gbs-gibbsi, Illt-illit; HIV-hidroksi interstratificirani vermikulit.

### 4.5.3. Neorijentirani preparati

Rezultati analize neorijentiranih preparata frakcije  $<2 \mu\text{m}$  uspoređeni su s rezultatima dobivenim na cjelostjenskim preparatima sedimenata (WR) kako bi se utvrdilo koji minerali su zaostali u sitnoj frakciji, uz minerale glina. U neorijentiranim preparatima svih uzoraka prisutan je kvarc, dok je u preparatima uzoraka LT-4, SN-2 i SN-3 prisutan i kalcit (Slika 31). Na rendgenogramima neorijentiranih preparata sitne frakcije također se odredila mineralna podgrupa minerala temeljena na vrsti slojeva unutar strukture. Svi uzorci odgovaraju dioktaedarskom materijalu (vrijednosti  $d_{060}$  iznose 1,48–1,50 Å).



Slika 31 Usporedni rendgenogrami uzorka LT-4 za preparat sušen na zraku (LT-4AD), neorijentirani preparat (LT-4NO) i cjelostjenski uzorak (MM-23). Oznake minerala prema Warr, (2021): Qz-kvarc, Cal-kalcit.

## 5. Rasprava

Analizom stijenskih izbrusaka utvrđen je fosilni sadržaj i litološke karakteristike uzoraka iz jame Nedam, te ulaznih dijelova Ledene jame u svrhu određivanja relativne starosti uzoraka i određivanja facijesa. Uzorci su bili iznimno siromašni na foslinom sadržaju, te su neki presjeci fosila bili nepouzdana za njihovu determinaciju. Gustoća uzorkovanja također utječe na interpretaciju i izradu geološkog profila jame Nedam, no kao što je i spomenuto, na to je bilo teško utjecati zbog kompleksnosti samog uzorkovanja. S obzirom na geološku kartu područja (slika 4), pretpostavljeni slijed naslaga bio je paleogen-neogen, gornja jura, srednja jura. Na ulaznim dijelovima u obje jame utvrđene su karbonatne breče s fragmentima mlađejurske starosti. Starost samih breča ovim analizama nije moguće utvrditi, no s obzirom na geološku kartu i tumač, po svim karakteristikama i poziciji odgovarale bi Jelar brečama (SOKAČ et al., 1974; HERAK & BAHUN, 1979). Jedan od uzoraka Jelar breča je na cjelostjenskoj analizi imao i mali udio dolomita, što ukazuje da su u njima prisutne i dolomitne valutice. Sljedeću stratigrafsku jedinicu čine gornjojurski vapnenci i dolomiti. Provodni fosili koji potvrđuju mlađejursku starost su *Kurnubia jurassica*, *Kurnubia palastiniensis*, *Salpingoporella sellii* i *Cladocorpsis* sp. Određeni facijesi također potvrđuju starost naslaga. Izmjena s dolomitima je uočena samo u jednom dijelu, na oko 300 m dubine u jami Nedam, no trenutno se ne može tvrditi da se kroz cijelu stratigrafsku jedinicu još negdje ne pojavljuju. Uzorci iz najdubljih dijelova jame bili su veoma siromašni fosilima, no zbog prisutnosti provodnog fosila *Mesoendothyra croatica* utvrđena je srednjojurska starost. Dubine granica stratigrafskih jedinica otprilike su određene na geološkom profilu (Prilog 1). Na dubini od oko 850 m do 950 m u jami Nedam pojavljuje se još jedan tip breča koji bi po svojim karakteristikama mogao odgovarati postsedimentacijskim dolomitizacijskim brečama koje je opisao TIŠLJAR (1990), a prisutne su i u srednjojurskim naslagama na području Malog Alana na južnom Velebitu. To su razlomljeni i tektonski raspucani vapnenci koji su *in situ* djelomično dolomitizirani (TIŠLJAR, 1990). Dolazi do potiskivanja vapnenca dolomitom pri kasnodijagenetskim dolomitizacijskim procesima. U stijenskim uzorcima s većih dubina iz jame Nedam (-1200 m), sa zidova kanala kod sifona, prisutna su i hipidiomorfna zrna kasnodijagenetskog dolomita, što može upućivati na dolomitizaciju čitavog bloka naslaga. Pošto snimanjem cjelostjenskih preparata ovih uzoraka nije nađen dolomit, ova pretpostavka temelji se na makroskopskim strukturnim karakteristikama breča, te prisutnosti zrna dolomita u mikroskopskim izbruscima stijenskih uzoraka. Morfologija kanala na tom dijelu jame Nedam je specifična jer cijeli kanal na tlocrtu izgleda izrazito pravocrtno (prilog, tlocrt), te se može uočiti usporednost s pružanjima

kanala na manjim dubinama. Takvo formiranje kanala najčešće je posljedica otapanja i širenja međuslojnih pukotina (PALMER, 2007). Izmjereni položaj slojeva u jami Nedam slaže se sa položajima slojeva jurskih naslaga sjeverno od Hajdučkih i Rožanskih kukova od 210/30 (SOKAČ et al., 1974), što može potvrditi pretpostavku nastanka kanala u međuslojnim pukotinama. Razvijanje speleoloških objekata duž rasjednih pukotina ili u rasjednoj zoni je izrazito rijetka pojava (manje od 5% objekata u svijetu), no pojava rasjeda nakon formiranja objekta može utjecati na njegovu morfologiju (PALMER, 2007). Formiranje "visećeg sifona" u kojem se voda zadržava, odnosno ne otječe bočnim kanalima prema dvorani koja je na većoj dubini od samog sifona može također upućivati na prisutnost nepropusnih naslaga dolomita. Razlomljenost vapnenaca i prisutnost postsedimentacijskih breča može ukazivati i na rasjednu zonu. U prilog tome ide i izgled stijenskog uzorka TN-11 čija savršeno zaravnjena ploha izgleda kao da je bila dio paraklaze. Za dokazivanje ovih pretpostavki svakako je potrebno provesti detaljnije mikroskopske analize na više uzoraka iz tog dijela jame.

Rezultati granulometrijske analize pokazali su razlike u sortiranosti sedimenata. Očekivano, uzorci s manjih dubina su jako loše sortirani, te su u njima prisutni mulj, pijesak i šljunak. Razlog loše sortiranosti može biti povezan s malom dubinom lokacije uzorkovanja koje su pod većim utjecajem konstantnog donošenja materijala prilikom procjeđivanja vode, te na tim lokacijama krupnije frakcije sedimenata najčešće zaostanu. To je za očekivati i u uzorku iz Ledene jame koji je uzorkovan sa sipara ispod glavne ulazne vertikale. Uzorci s većih dubina u jami Nedam imaju bolju sortiranost i klasificirani su uglavnom kao muljeviti sedimenti. Tu je zanimljiva razlika u sortiranosti između uzoraka SN-4 koji je bolje sortirani od uzorka SN-3, a uzorkovan je samo 20 m dublje. Oba uzorka uzeta su sa polica u istoj vertikali gdje nema vidljivog toka vode. Uzorak SN-6 uzorkovan iz škrapa formiranih u vertikali na dubini od oko 550 m ima najbolju sortiranost. Razlog tome može biti dugi tok procjedne vode koja abrazijom dovoljno usitni veće frakcije sedimenta do te dubine, ili je prisutan tok vode kroz neki obližnji kanal koji još nije istražen. U svakom slučaju, dobra sortiranost može ukazivati na konstantan tok, bez turbulencija. Uzorak SN-8 je sa dubine 1226 m, odnosno sa trenutno najdublje točke jame Nedam. Zanimljivo je kako ima jako velik udio pijeska, unatoč velikoj dubini uzorkovanja. Razlog tome može biti blizina visećeg sifona koji se za velikih oborina vjerojatno izdiže i prelijeva u obližnju dvoranu gdje je uzet uzorak, što je čest slučaj poznat i u ostalim jamama. Drugi uzrok može biti ponovno neki obilazni tok vode dovoljno jak da donese čestice pijeska.

Prilikom pripreme uzoraka za separaciju teških minerala, uočene su različite karakteristike pojedinih uzoraka. Uzorak SN-2 bio je žarke crvene boje što ukazuje na visoku koncentraciju željezovih i aluminijskih hidroksida. Razlog tome može biti prisutnost tla s višim udjelom hidroksida na površini s koje se procjeđivala voda, te se procjeđivanjem oborina ispiru i željezni i aluminijski hidroksidi prisutni u njemu. Isto vrijedi i za prisutnost veće količine organske tvari u uzorcima SN-2 i SN-6. Uzorak SN-8 ima najviši udio karbonatne komponente (najburnija reakcija s octenom kiselinom), najvjerojatnije iz razloga što do dna jame konstantno dolazi voda koja je izrazito bogata otopljenim kalcijevim karbonatom koji se zatim precipitira u sedimentima. Visok udio pjeskovite komponente također može biti posljedica procjeđivanja vode koja ispire čestice mulja, te na taj način pijesak zaostaje. Analizom teške mineralne frakcije uočena je sličnost između uzoraka SN-2 i SN-8, te SN-6 i LT-4. Tako grupirani uzorci imaju sličan mineralni sastav teške frakcije, te gotovo isti omjer prozirnih i opakih mineralnih zrna. Uzorak SN-2 izuzetno je bogat ZTR (Zircon-Tourmaline-Rutile, GARZANTI & ANDÓ, 2019) grupom minerala (oko 80% ukupnih prozirnih zrna), posebice cirkonom. Cirkon je obično akcesorni mineral u kiselim i neutralnim eruptivnim stijenama tipa granita i sijenita, turmalin se nalazi u eruptivnim stijenama tipa granita, te u metamorfnim škriljancima i gnajsevima, dok se rutil nalazi u metamorfitima i kao akcesorni mineral u kiselim eruptivima (BERMANEC & SLOVENAC, 2003). Osim u navedenim stijenama ZTR minerali, kao kemijski izuzetno stabilni često se koncentriraju kao rezistat u sedimentnim nanosima (GARZANTI & ANDÓ, 2019). U trijaskim naslagama srednjeg Velebita prisutan vulkanoklastični sediment bogat željezovim hidroksidima i idiomorfnim cirkonima (SOKAČ et al., 1974), te bi po karakteristikama uzorak SN-2 mogao odgovarati ovim sedimentima. S druge strane, visoka koncentracija ZTR minerala obično upućuje na pretaložene zrele sedimente u kojima je dominantna kemijski rezistentna grupa minerala, dok su se ostali minerali istrošili. Uzorak SN-8 je po sastavu sličan uzorku SN-2, no on u svom sastavu ima i značajniji udio klinopiroksena. Također jedini ima visok udio klorita, što također može značiti da potječe iz trijaskih naslaga, odnosno kloritiziranog vulkanskog detritusa. Moguće je, s obzirom da je to uzorak sa dna jame gdje se slijeva sva voda, da su klinopirokseni isprani iz uzoraka sličnih SN-6 tj. da su u njemu prisutni svi minerali koji se nalaze u sedimentima s manjih dubina u jami. Izvorišna stijena ili sedimenti uzoraka SN-2 i SN-8 nisu jednoznačno determinirani, jer bi mogli biti doneseni eolskim putem i taloženi u jami procjeđivanjem vode, ali mogu odgovarati spomenutim trijaskim sedimentima, koji su mogli biti erodirani i trošeni te taloženi na lokalnim uvalama. Uzorci SN-6 iz jame Nedam i LT-4 iz Ledene jame podudaraju se s visokim udjelom klinopiroksena, zatim apatita, titanita i cirkona. U ovim uzorcima ZTR grupa minerala

zastupljena je u relativno niskoj koncentraciji što znači da sedimenti nisu pretaloživani i ostale faze se još nisu istrošile. Češljasti rubovi po kojima je determiniran augit, produkt su kemijske nestabilnosti augita u sedimentima i postsedimentacijskog otapanja zrna (MENGE & MAURER, 1992). Visok udio augita ukazuje da je izvorišna stijena bazična magmatska stijena (BERMANEC & SLOVENAC, 2003). U okolici Velebita jedine stijene magmatskog porijekla su trijaski efuzivi i tufovi na srednjem Velebitu bogati vulkanskim staklom, cirkonom, muskovitom, kvarcom i albitom (SOKAČ et al., 1974), te miocenske naslage s tufovima u okolici Sinja u kojima prevladavaju kvarc, plagioklasi, klorit i vulkansko staklo (ŠIKIĆ, 2017). Uzorak SN-6 jedini je od svih uzoraka bio dobro sortiran i uglavnom ga čini sitna frakcija. Te karakteristike mogu ukazivati na zrakom donošen piroklastični materijal. S obzirom na fizičku nepovezanost Ledene jame i jame Nedam, a veliku sličnost u mineralnom sastavu uzoraka, moguća pretpostavka je da su takvi materijali istaloženi krajem posljednjeg ledenog doba. Naime, Ledena jama nalazi se u ledenjačkoj dolini Lomska duliba, dok se Nedam nalazi na oko 200 m višim Hajdučkim i Rožanskim kukovima. Moguće je da je sediment bio donesen eolskim putem ili rijekama, te se akumulirao u ledu. Nakon otapanja ledenjaka sediment se istaložio u obližnjim jamama kroz koje su otjecale velike količine vode. Jama Nedam nije još u potpunosti istražena, te moguće postoje drugi kanali kroz koje je protjecala voda sa sedimentom. Za utvrđivanje ove pretpostavke potrebno je napraviti dodatne analize, primjerice luminiscentno datiranje, kako bi utvrdili vrijeme kada je sediment zadnji puta bio izložen Sunčevoj svjetlosti, odnosno bio na površini.

Analizom prisutnih minerala glina uzorci su također grupirani po sličnosti mineralnog sastava. Uzorci SN-2 i SN-3 izdvojeni su od ostalih zbog odsutstva illita i klorita, te pojave hidroksil interstratificiranog vermikulita (HIV). U uzorcima su još prisutni kaolinit i gibbsit s jako oštrim i pravilnim maksimumima što ukazuje na dobro kristalizirane minerale. Kaolinit je jedan od najčešćih minerala glina prisutnih u tlu, a produkt je trošenja feldspata i drugih alumosilikata. Gibbsit je također sekundarni mineral nastao trošenjem alumosilikata. I kaolinit i gibbsit su česti minerali u toplim i vlažnim klimama. Prisutnost HIV-a utvrđena je na temelju pomaka difrakcijskih maksimuma prilikom zagrijavanja sa  $\sim 14 \text{ \AA}$  na  $\sim 12 \text{ \AA}$ , što je za HIV specifično i može ukazivati na visok udio aluminija. HIV u svojoj strukturi sadrži međuslojne polimere koji, zbog veličine i imobilnosti svojih kationa, smanjuju CEC (Cation Exchange Capacity) minerala u čijoj strukturi se nalaze. Zbog prisutnih polimera nemaju sposobnost bubrenja i iz tog razloga nema promjene u položaju difrakcijskih maksimuma pri tretmanu s etilen glikolom. Također, polimeri sprječavaju potpuni kolaps strukture prilikom žarenja iznad



300°C, te se međumrežni razmak smanjuje na 12–13 Å (VELDE & MEUNIER, 2008). Iako još poprilično neistraženi, HIV zapravo nije nova mineralna vrsta, već se može smatrati da je riječ o intertraticiranim mineralima s nasumičnom izmjenom vermikulitnih i kloritnih paketa, a polimeri koji ulaze u međuslojeve vermikulitne strukture tvore lančane slojeve tzv. "gibbsitnog tipa" sa polikationima  $\text{Al}_6(\text{OH})_{15}^{3+}$  (VELDE & MEUNIER, 2008). Veličina međuslojeva gibbsitnog tipa ovisi o količini prisutnog aluminijskog u otopini kojeg vežu u svoje strukture. Karakteristike tla i sedimentata u kojima dolazi do formiranja HIV-a su snižen pH tla, nizak udio organske tvari, oksidacijski uvjeti i pravilna izmjena vlažnih i suhih perioda, a formiranje međuslojeva najaktivnije je u površinskom horizontu tla i opada s dubinom zatrpavanja (DIXON et al., 1989). Nizak pH u tlu potiče oslobađanje  $\text{Al}^{3+}$  ione iz strukture silikata, a time i mobilnost aluminijskog koji tada ulaze u proces polimerizacije i zapunjavanja međuslojeva bubrećih minerala (GEORGIADIS et al., 2020). Zanimljivo je kako je uzorak SN-2 imao najburniju reakciju s vodikovim peroksidom i po tome visok udio organske tvari, a bogat je HIV-om. Organska tvar povezuje se s kiselim tlima što odgovara nastanku HIV-a, uz uvjet da organske molekule ne vežu ione aluminijskog. Ulazak organskih spojeva u strukture HIV-a nisu zabilježene, no organski spojevi također imaju tendenciju vezanja iona aluminijskog, te tako usporavaju nastanak HIV-a (VELDE & MEUNIER, 2008). Formiranje HIV-a može biti i dio procesa trošenja klorita i ovisno o uvjetima u tlu i prisutnim drugim mineralima i ionima, može daljnjim trošenjem formirati nekoliko različitih mineralnih faza. KARATHANASIS (1988) tvrdi da je kemijska stabilnost HIV-a u tlu povezana s razvojem više međuslojeva ili s većom mogućnosti za prilagođavanjem u promjenjivim okolišnim uvjetima. To bi značilo da HIV minerali uklapanjem aluminijskih polikationa održavaju kemijsku stabilnost ovisno o uvjetima prisutnim u tlu. Uzorci SN-2 i SN-3 su jedini bogati na HIV mineralima što može ukazivati na to da su najmlađi sedimenti taloženi u jami koji su relativno nedavno bili dio tla na površini u kojem je započeo proces trošenja i formiranja HIV-a. Drugi razlog formiranja HIV-a može biti i to da je voda koja se procjeđuje na toj dubini još relativno zasićena ugljičnim dioksidom i zbog toga ima snižen pH koji je potaknuo formiranje ovih minerala. Sedimenti s većih dubina su se u tom slučaju vjerojatno istaložili ranije, odnosno u trenutku kada su bili dio tla na površini na kojoj su vladali drugačiji okolišni uvjeti, nepovoljni za formiranje HIV-a. Ostali uzorci s većih dubina uz kaolinit i gibbsit sadrže klorit, illit i bubreću komponentu, vjerojatno smektit. Kloriti su također rasprostranjeni minerali koji se nalaze kao akcesorni minerali u metamorfnim stijenkama ili kao dominantni minerali u kloritnim škriljancima. U uzorcima je određen dioktaedarski klorit koji je bogat aluminijskim i pedogenog je porijekla. Kloriti u tlima nastaju trošenjem u uvjetima hladnije klime, intenzivne erozije i na strmom reljefu. To također može

ukazivati na formiranje sedimenta tijekom ledenog doba. Illit je prisutan u raznim sedimentnim stijenama, dok se u sedimentima povezuje uz one bogate organskom materijom. Smektiti mogu nastati trošenjem iz raznih materijala, te dijagenozom i alteracijom vulkanskog pepela, vulkanskog stakla i plagioklasa. To također može biti poveznica sedimentata sa već spomenutim vulkanoklastičnim sedimentima.

## 6. Zaključak

Analizirani uzorci stijena određeni su kao karbonatne breče i vapnenci. S obzirom na fosilni sadržaj, facijes i strukturne karakteristike te geološku građu područja određeni su kao Jelar breče (paleogen-neogen), te gornjojurski i srednjojurski vapnenci. Na većim dubinama u jami Nedam prisutne su karbonatne breče koje po karakteristikama odgovaraju postsedimentacijskim dolomitizacijskim brečama. Potrebne su dodatne analize za njihovu jednoznačnu determinaciju.

Izdvajanjem i analizom teške mineralne frakcije tri uzorka iz jame Nedam i jednog uzorka iz Ledene jame utvrđena je sličnost u mineralnom sastavu među uzorcima SN-2 i SN-8 iz jame Nedam, te SN-6 iz jame Nedam i LT-4 iz Ledene jame. Uzorci SN-2 i SN-8 imaju visok udio ZTR grupe minerala, uz prisutne klinopiroksene u uzorku SN-8. To su vjerojatno sedimenti nastali pretaloživanjem. Uzorci SN-6 i LT-4 imaju jako visok udio klinopiroksena što upućuje na izvorišnu bazičnu magmatsku stijenu ili neku vrstu vulkanoklastičnog sedimenta. S obzirom da dobru sortiranost uzorka SN-6 i visok udio sitne frakcije, sediment je vjerojatno donesen eolskim putem. Moguće je da je istaložen tijekom posljednjeg ledenog doba kada se sediment mogao akumulirati u ledu i istaložiti njegovim otapanjem kada je voda otjecala u obližnje jame. Za utvrđivanje ovih pretpostavki potrebne su dodatne analize (primjerice luminiscentno datiranje).

Rezultati analize minerala glina pokazuju sličan mineralni sastav za većinu uzoraka. Uglavnom su prisutni kaolinit, klorit, gibbsit i illit, te malo bubreće komponente. Za pouzdanije određivanje bubreće komponente potrebne su dodatne analize. Uzorci SN-2 i SN-3 izdvajaju se drugačijim mineralnim sastavom, gdje je uz kaolinit i gibbsit prisutan i hidroksil interstratificirani vermikulit. Postanak tih uzoraka povezan je sa vlažnom i toplom klimom, te povećanom kiselosti tla. Uzorci SN-2 i SN-3 vjerojatno su mlađi uzorci koji su se istaložili samo u plićim dijelovima jame. Ostali uzorci su moguće povezani sa hladnijom klimom (ledenim dobom) zbog prisutnosti klorita.

## 7. Literatura

- BERMANEC, V. & SLOVENAC, D. (2003): Sistematska mineralogija – mineralogija silikata, Udžbenici sveučilišta u Zagrebu, Zagreb: Denona, 359 str.
- 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.
- BOČIĆ, N., BALAŠ, Z., BAĆURIN, Ž., GRANIĆ, J. (2012): Jama Olimp na Sjevernom Velebitu – Speleološka, geološka i geomorfološka obilježja, Znanstveno-stručni skup "Posebne vrijednosti dubokog krša", Zbornik sažetaka - poster, Krasno, 28.
- BOČIĆ, N., FAIVRE, S., KOVAČIĆ, M., HORVATINČIĆ, N. (2012): Cave development under the influence of Pleistocene glaciation in the Dinarides – an example from Štirovača Ice Cave (Velebit Mt., Croatia), *Zeitschrift für Geomorphologie* Vol. 56, 4, 409–433.
- BOGNAR, A. (1994): Temeljna skica geokoloških osobina Velebita; *Senjski zbornik* 21, 1–8.
- BOGNAR, A., FAIVRE, S., PAVELIĆ, J. (1991): Glacijacija Sjevernog Velebita; *Senjski zbornik* 18, 181–196.
- BUCKOVIĆ, D. (2006): Historijska geologija 2: Mezozoik i kenozoik, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno – matematički fakultet, e-book, Zagreb, 119 str.
- DIXON, J. B., WEED, S. B., BARNISHEL, R. I., & BERTSCH, P. M. (1989). Chlorites and Hydroxy-Interlayered Vermiculite and Smectite, *Minerals in Soil Environments*, 2. izdanje - SSSA Book Series, no. 1, 1244 str.
- DUNHAM, R.J. (1962) Classification of carbonate rocks according to depositional texture, *Classification of Carbonate Rocks* (Ed. W.E. Ham), *Am. Assoc. Pet. Geol. Mem.*, 1, 108–121.
- FOLK, R. L. & WARD, W. C. (1957): Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3–26.
- FOLK, R.L. (1954): The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. *Journal of Geology and Geophysics*, 62 (4), 344–59.
- GARZANTI, E. & ANDÓ, S. (2019): Heavy Minerals for Junior Woodchucks, *Minerals* 2019, 9, 148.
- GEORGIADIS, A., DIETEL, J., DOHRMANN, R. & RENNERT, T. (2020): What are the nature and formation conditions of hydroxy-interlayered minerals (HIMs) in soil?, Review article, *Journal of Plan Nutrition and Soil Science*, 183, 12–26.
- GRANDIĆ, M. & KUKULJAN, L. (2020): Jama Nedam - nova hrvatska tisućica, *Subterranea Croatica*, vol. 18, br. 1, 2–18.

- GUGGENHEIM, S. & MARTIN, R.T. (1995): Definition of clay and clay mineral: Joint Report of the AIPEA and CMS nomenclature committees. *Clays and Clay Minerals*, 43, 255–256.
- HERAK, M. & BAHUN, S. (1979): The role of the calcareous breccias (Jelar Formation) in the tectonic interpretation of the High Karst Zone of the Dinarides; *Geološki vjesnik*, 31, 49–59.
- ICDD (1996): Powder diffraction file PDF – 2. Sets 1 – 46. International Centre for Diffraction Data.
- KARATHANASIS, A., D. (1988): Compositional and Solubility Relationships Between Aluminum-hydroxyinterlayered Soil-Smectites and Vermiculites, *Soil Science Society of America Journal*, 52, 1500–1508.
- KLOVAN, J., E. & EMBRY, A., F. (1971): Upper devonian stratigraphy, Northeastern banks island, N.W.T., *Bulletin of Canadian petroleum geology*, 19, br. 4, 705–729.
- KUHTA, M. & BAKŠIĆ, D. (2001): Karstification Dynamics and Development of the Deep Caves on the North Velebit Mt.-Croatia; 13th International Congress of Speleology-Speleology in the third millenium: Sustainable Development of Karst Environments, Brazil.
- MANGE, M.A. & MAURER, H.F.W. (1992): *Heavy Minerals in Colour*, Chapman & Hall, London, 147 str.
- MICROMERITICS (2002): SediGraph 5100 Particle size analysis system operator' manual, Micromeritics Instrument Corporation, Norcross, Georgia.
- PALMER, A., N. (2007): *Cave geology, Cave books – Cave research foundation*, 454 str.
- PAMIĆ, J., GUŠIĆ, I., JELASKA, V. (1998): Geodynamic evolution of the Central Dinarides.– *Tectonophysics*, 297, 251–268.
- PANALYTICAL (2004): X'Pert HighScore Plus, version 2.1, Almelo, Nizozemska.
- PAAR, D., MANCE, D., STROJ, A., PAVIĆ, M. (2019): Northern Velebit (Croatia) karst hydrological system: results of a preliminary <sup>2</sup>H and <sup>18</sup>O stable isotope study, *Geologia Croatica*, 72/3, 205–213.
- PRELOGOVIĆ, E. (1989): Neotektonski pokreti u području sjevernog Velebita i dijela Like; *Geološki vjesnik* 42, 133–147.
- RNJAK, G. (ur) (2019). *Speleologija. PDS Velebit*, Zagreb, 792 str.
- STARKEY, H.C., BLACKMOON, P.D., HAUFF, P.L. (1984): The routine mineralogical analysis of clay-bearing samples. *U.S. Geological Survey Bulletin*, 31, 1563 str.
- SOKAČ, B., BAHUN, S., VELIĆ, I., GALOVIĆ, I. (1974): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000. Tumač za list Otočac, Savezni geološki zavod Beograd, 38 str.

STROJ, A. & VELIĆ, I. (2015): Geološki profil Jamskog sustava Lukina jama-Trojama na Sjevernom Velebitu, 5. Hrvatski geološki kongres-Knjiga sažetaka, Zagreb: Hrvatski geološki institut, Osijek, 240–241.

ŠARC, F. (2019): Stratigraphic profile of Slovačka pit, 27th International Karstological School "Classical Karst", Zbornik sažetaka-poster, 32, Postojna.

ŠIKIĆ, F. (2017): Vulkanoklastične naslage srednjeg trijasa u okolici Sinja, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

TIŠLJAR, J. (1990): Postsedimentne dolomitizacijske breče u jurskim plitkomorskim karbonatnim sedimentima Malog Alana na južnom Velebitu, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 2, 59–65.

TIŠLJAR, J., VLAHOVIĆ, I., VELIĆ, I., SOKAČ, B. (2002): Carbonate Platform Megafacies of the Jurassic and Cretaceous Deposits of the Karst Dinarides, *Geologia Croatica*, 55/2, 139–170.

VELDE, B. & MEUNIER, A. (2008): *The Origin of Clay Minerals in Soils and Weathered Rocks*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 406 str.

VELIĆ, I. (2007): Stratigraphy and Palaeobiogeography of Mesozoic Benthic Foraminifera of the Karst Dinarides (SE Europe), *Geologia Croatica*, 60/1, 1–113.

VLAHOVIĆ, I., TIŠLJAR, J., VELIĆ, I., MATIČEC, D. (2005): Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: Palaeogeography, main events and depositional dynamics, *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 220/3–4, 333–360.

WARR, L.N. (2020): Recommended abbreviations for the names of clay minerals and associated phases. *Clay Minerals*, 55, 261–264.

Internetski izvori:

Topo karta : <http://preglednik.arkod.hr/ARKOD-Web/> (29.04.2021.)

Ledena jama: <http://speleologija.eu/ledenajama/index.html> (12.06.2021.)

Neobjavljeni radovi:

GRANDIĆ, M., DUBOVEČAK, V., PAAR, D., PLEMENČIĆ, V., AZINOVIĆ, K. (2020): Izvješće o projektu: Znanstvena i speleološka istraživanja dubokih jama Nacionalnog parka Sjeverni Velebit, SO PDS Velebit, Zagreb.

## Tabla 1

Slika 1: bioklastični vekston s fragmentima alge *Clypeina jurassica*, uzorak LT-4.

Slika 2: bioklastični vekston s fragmentima alge *Clypeina jurassica* i bentičkom foraminiferom *Siphovalvulina* sp., uzorak TN-18.

Slika 3: bioklastični madston-vekston s algom *Salpingoporela sellii* i sitnim bentičkim foraminiferama, uzorak TN-5 .

Slika 4: bioklastični madston s bentičkom foraminiferom *Kurnubia jurassica* i algom *Thaumatoporella parvovesiculifera*, uzorak TN-6.

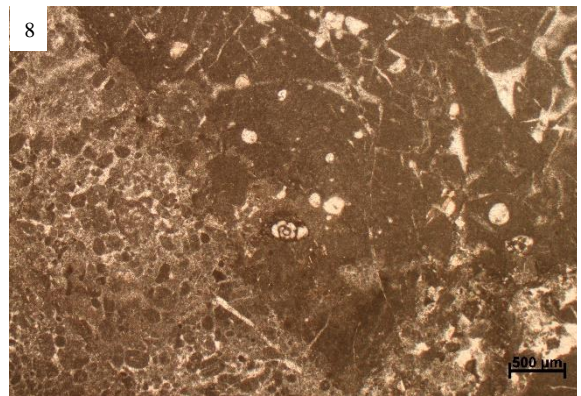
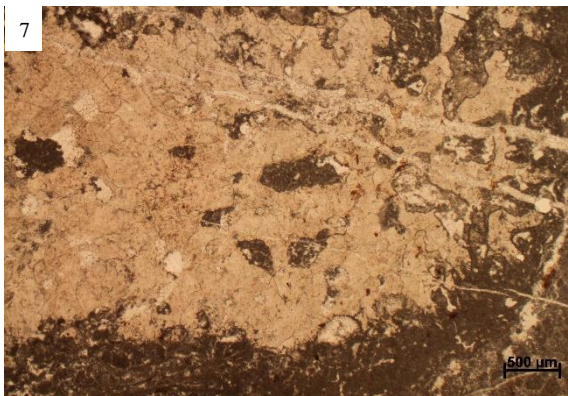
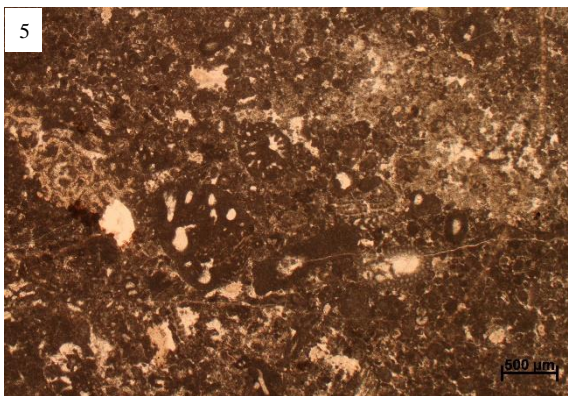
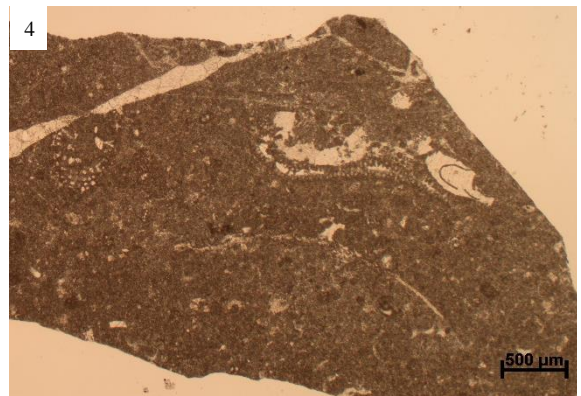
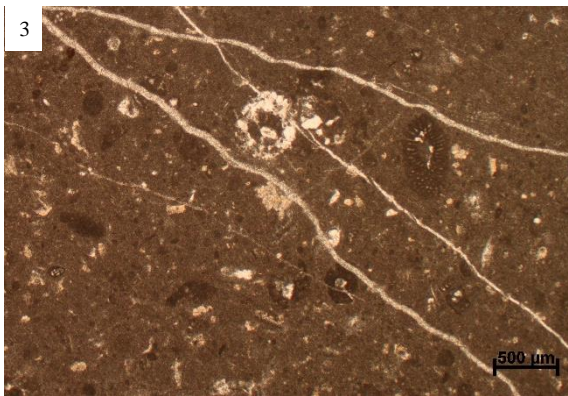
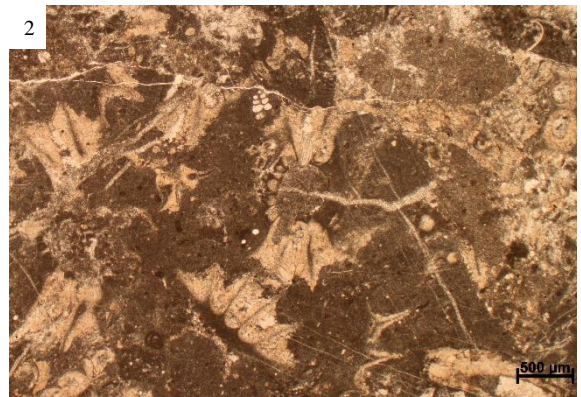
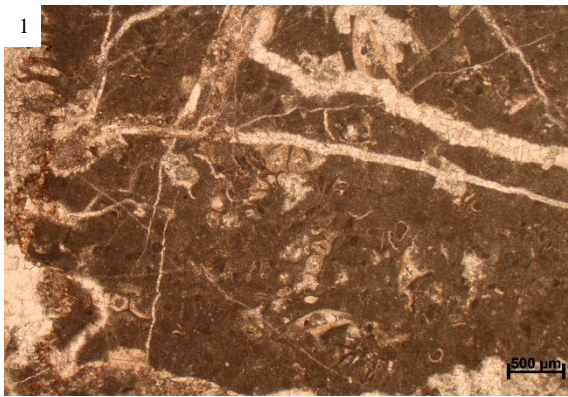
Slika 5: fenestralni peloidno-bioklastični pekston-grejnston s algama (*Thaumatoporella parvovesiculifera*, *Salpingoporela sellii*) i bentičkim foraminiferama (*Kurnubia* sp., sitne sifoalvuline i tekstularije), uzorak TN-8.

Slika 6: fenestralni peloidno-bioklastični pekston-grejnston s fragmentom koralja, uzorak TN-8.

Slika 7: peloidno-bioklastični vekston s fragmentom hidrozoja *Cladocoropsis* sp., uzorak TN-15.

Slika 8: madston do peloidni pekston s rijetkim bentičkim foraminiferama (*Mesoendothyra croatica*), uzorak TN-10.

Tabla 1





## Tabla 2

Slika 1: Zrno amfibola u prvoj poziciji, uzorak SN-8.

Slika 2: Zrno amfibola u drugoj poziciji, uzorak SN-8.

Slika 3: Zrno amfibola s analizatorom, uzorak SN-8.

Slika 4: Zrno apatita, uzorak SN-6.

Slika 5: Zrno apatita s analizatorom, uzorak SN-6.

Slika 6: Zrno cirkona, uzorak SN-2.

Slika 7: Zrno cirkona s analizatorom, uzorak SN-2.

Slika 8: Zrno epidota, uzorak SN-8.

Slika 9: Zrno epidota, uzorak SN-8.

Slika 10: Zrno glaukofana u prvoj poziciji, uzorak SN-2.

Slika 11: Zrno glaukofana u drugoj poziciji, uzorak SN-2.

Slika 12: Zrno glaukofana s analizatorom, uzorak SN-2.

Slika 13: Zrno granata, uzorak LT-4.

Slika 14: Zrno hiperstena u prvoj poziciji, uzorak SN-8.

Slika 15: Zrno hiperstena u drugoj poziciji, uzorak SN-8.

Slika 16: Zrno hiperstena s analizatorom, uzorak SN-8.

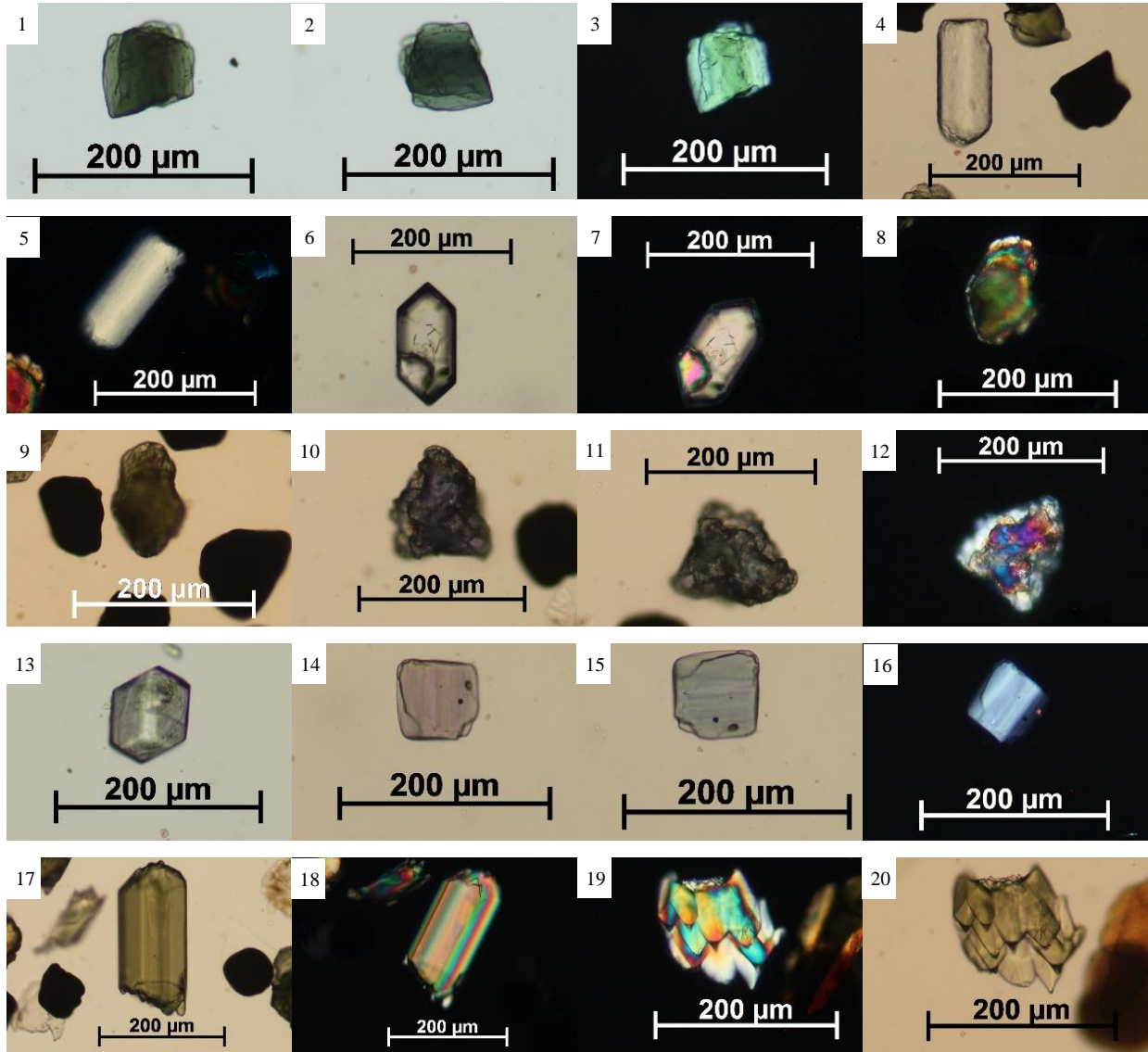
Slika 17: Zrno klinopiroksena, uzorak SN-6.

Slika 18: Zrno klinopiroksena s analizatorom, uzorak SN-6.

Slika 19: Zrno klinopiroksena, uzorak SN-6.

Slika 20: Zrno klinopiroksena s analizatorom, uzorak SN-6.

Tabla 2



## Tabla 3

Slika 1: Zrno klinozoisita, uzorak SN-8.

Slika 2: Zrno klinozoisita s analizatorom, uzorak SN-8.

Slika 3: Zrno klorita, uzorak SN-8.

Slika 4: Zrno klorita s analizatorom, uzorak SN-8.

Slika 5: Zrno kromita, uzorak SN-6.

Slika 6: Zrno opakog minerala, uzorak LT-4.

Slika 7: Zrno rutila, uzorak SN-2.

Slika 8: Zrno rutila s analizatorom, uzorak SN-2.

Slika 9: Zrno spinela, uzorak LT-4.

Slika 10: Zrno staurolita u prvoj poziciji, uzorak SN-2.

Slika 11: Zrno staurolita u drugoj poziciji, uzorak SN-2.

Slika 12: Zrno staurolita s analizatorom, uzorak SN-2.

Slika 13: Zrno titanita u prvoj poziciji, uzorak SN-6.

Slika 14: Zrno titanita u drugoj poziciji, uzorak SN-6.

Slika 15: Zrno titanita s analizatorom, uzorak SN-6.

Slika 16: Zrno turmalina u prvoj poziciji, uzorak SN-2.

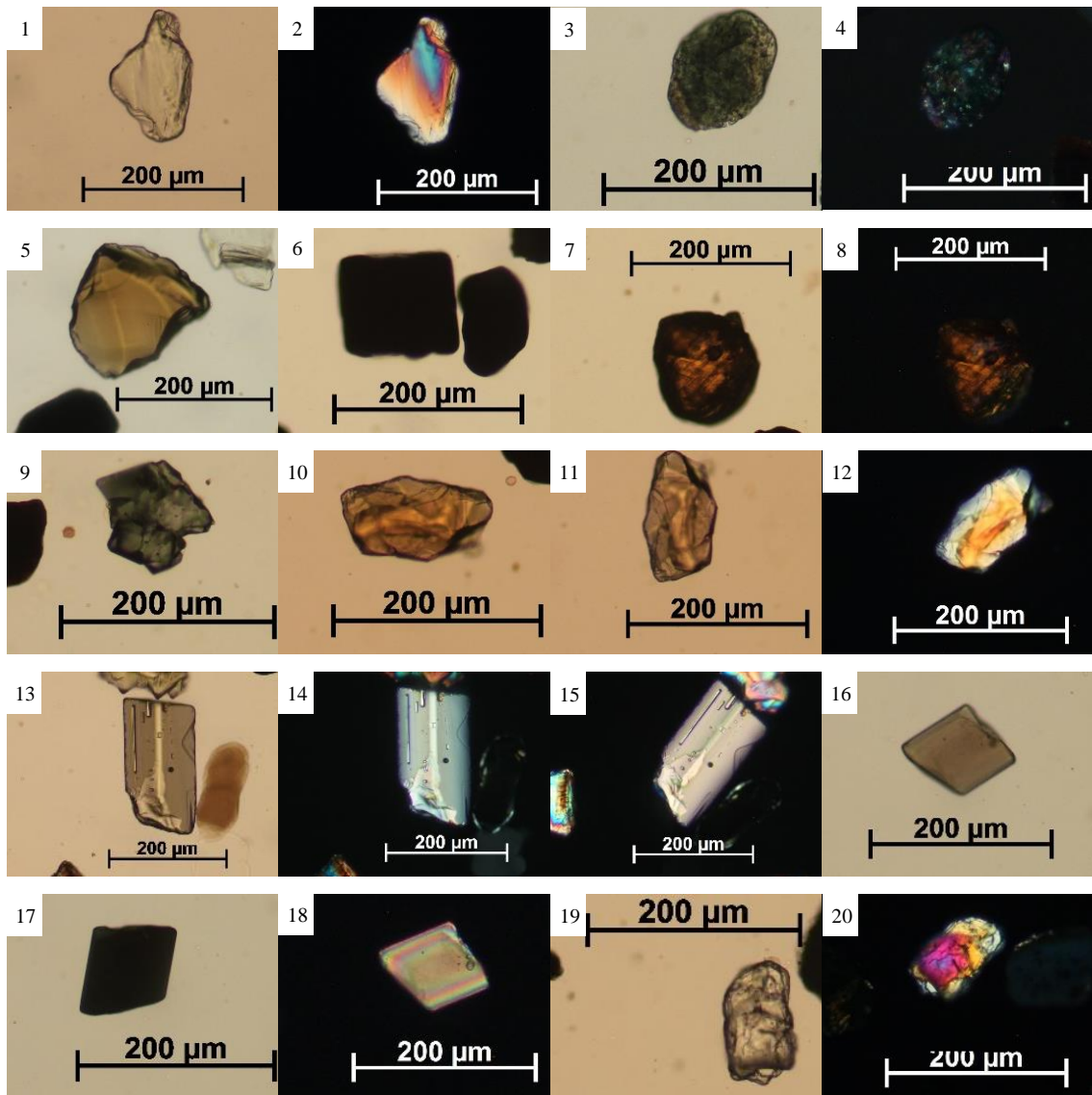
Slika 17: Zrno turmalina u drugoj poziciji, uzorak SN-2.

Slika 18: Zrno turmalina s analizatorom, uzorak SN-2.

Slika 19: Zrno zoisita, uzorak SN-8.

Slika 20: Zrno zoisita s analizatorom, uzorak SN-8.

Tabla 3



# Prilog 1

