

# Pleistocenski jezerski sedimenti u sjevernoj Dalmaciji; taložni okoliši i utjecaj klime

---

Ćurić, Martina

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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:217:645331>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-08**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Martina Ćurić

**PLEISTOCENSKI JEZERSKI SEDIMENTI U  
SJEVERNOJ DALMACIJI; TALOŽNI OKOLIŠI  
I UTJECAJ KLIME**

Diplomski rad

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOLOŠKI ODSJEK

Martina Ćurić

**PLEISTOCENSKI JEZERSKI SEDIMENTI U  
SJEVERNOJ DALMACIJI; TALOŽNI OKOLIŠI  
I UTJECAJ KLIME**

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

Mentor:  
Dr.sc. Aleksandar Mezga

Zagreb, 2019.

Ovaj diplomski rad je izrađen u Zagrebu pod vodstvom prof. dr. sc. Aleksandra Mezge i neposrednim vodstvom dr. sc. Ljerke Marjanac, u sklopu Diplomskog studija geologije na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

## ZAHVALE

*Ponajprije zahvaljujem svojim roditeljima, Miroslavu i Ljubi te bratu Niki, za potporu i bezuvjetnu ljubav, za strpljenje koje nije uvijek lako imati sa mnom i za ohrabrenje koje mi je često u životu trebalo.*

*Posebno zahvaljujem Ljerki Marjanac, neposrednoj voditeljici, na nesebičnoj pomoći i posvećenosti tijekom nastajanja rada.*

*Hvala profesoru Aleksandru Mezgi što mi je izašao u susret i prihvatio mentorstvo.*

*Hvala profesoru Tihomiru Marjancu na vodstvu tijekom preliminarnih istraživanja.*

*Hvala djelatnicima fakulteta, Marini Čalogović, Igoru Felji i Robertu Koščalu na asistiranju tijekom izvođenja pojedinih metoda i tehničkoj pomoći.*

*Posljednje, ali najradosnije hvala upućujem mojim kolegicama i prijateljicama Ani F. i*

*Antoniji te cimerici Miriam s kojima sam proživljavala i preživljavala stres tijekom studiranja, ali i dijelila sretne trenutke studentskog života, zatim mojim prijateljima: Ani*

*B., Boženi, Ines, Ivani i maloj Ani, Klaudiji, Kiki, Luci, Seki, Slavici i Toniju.*

*Oprostite na svim žalopijkama kojima ste bili izloženi zadnjih mjeseci.*

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Diplomski rad

### PLEISTOCENSKI JEZERSKI SEDIMENTI U SJEVERNOJ DALMACIJI; TALOŽNI OKOLIŠI I UTJECAJ KLIME

**Martina Ćurić**

Rad je izrađen: Geološko-paleontološki zavod, PMF, Zagreb, Horvatovac 102A

**Sažetak:** Na lokalitetu Ždrilo uzeti su uzorci za kabinetsku analizu koja je uključivala detaljno snimanje i opisivanje jezgara te crtanje sedimentoloških stupova i laboratorijsku analizu kojom su obuhvaćene sljedeće metode: određivanja količine organske tvari u sedimentu, određivanje udjela karbonata u sedimentima, granulometrijsku analizu i određivanje sastava sedimenta metodom rendgenske difrakcije. Sedimenti koje sam istraživala bili su varvni sedimenti proglacijalnog jezera. Cilj ovog rada bio je opisati sedimente, interpretirati taložni okoliš i klimatske utjecaje u vrijeme nastanka varvi. Rezultati su pokazali da je nastanak varvi posljedica sezonskih klimatskih varijacija, ali ipak, interpretacija paleoklime na osnovu provedenih analiza moguća je samo na najnižem nivou tj. odredba topliji-hladniji period. Da bi se dobili detaljniji podaci trebalo bi se usmjeriti na opsežnija sedimentološka istraživanja.

Ključne riječi: Ždrilo, jezerski sedimenti, paleoklimatologija, pleistocen, varve, Ždrilo

Rad sadrži: 55 stranica, 29 fotografija, 16 tablica, 41 referenca

Jezik izvornika: hrvatski

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

PMF Mentor: izv.prof.dr.sc. Aleksandar Mezga

Neposredni voditelj: dr.sc. Ljerka Marjanac

Ocjenjivači: prof.dr.sc. Damir Bucković, mr.sc. Dražen Kurtanjek viši predavač

Rad prihvaćen: 13. rujan, 2019

## **BASIC DOCUMENTATION CARD**

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geology

### **Master of Science Thesis**

## **PLEISTOCENE LAKE SEDIMENTS IN NORTH DALMATIA; SEDIMENTARY ENVIRONMENTS AND PALEOCLIMATOLOGY**

**Martina Ćurić**

Thesis completed in: Department of Geology, Faculty of science, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb

**Abstract:** Samples were taken at the Ždrilo site and used for cabinet analysis, which included detail core recording, description and drawing of sedimentological columns and laboratory analyses that were required for verification: determination of organic data in sediment, determination of introduced carbon in sediment, granulometric analysis, and determination of sediment by X-ray diffraction. The explored sediments were proglacial lacustrine sediments. Main purpose of this thesis was sediment description, depositional environment interpretation and paleoclimatology interpretation. Results showed that varved sediments are consequence of seasonal climatic variations, but nevertheless, interpretation of the paleoclimate based on the analyses used for this thesis can only be at the lowest level. Sedimentological research has to be expanded to obtain detail information.

Keywords: lacustrine sediments, paleoclimatology, Pleistocene, varves, Ždrilo

Thesis contains: 55 pages, 29 picture, 16 tables, 41 references

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Central Geological library, Department of Geology, PMF

Supervisor: Aleksandar Mezga PhD, associate professor

Immediate supervisor: Ljerka Marjanac PhD

Reviewers: Damir Bucković PhD, full professor, Dražen Kurtanjek, senior lecturer

Thesis accepted: September 13<sup>th</sup>, 2019.

## Sadržaj

1. Uvod .....	1
2. Literaturni pregled dosadašnjih istraživanja .....	2
3. Područje istraživanja .....	3
3.1. Lokalitet Ždrilo .....	4
3.2. Prikaz geološke građe južnog Velebita .....	5
4. Metode .....	6
4.1. Terenski rad .....	6
4.2. Kabinetski rad .....	7
4.3. Laboratorijske metode .....	7
4.3.1. Određivanje količine organske tvari u sedimentima .....	7
4.3.2. Određivanje udjela karbonata u sedimentu (kalcimetrija) .....	9
4.3.3. Granulometrijska analiza .....	11
4.3.4. Određivanje sastava sedimenta metodom rendgenske difrakcije .....	13
5. Rezultati .....	16
5.1. Opis sedimenta .....	16
5.1.1. Varviti .....	37
5.2. Geneza sedimenta .....	40
5.2.1. Paleokoliš i interpretacija paleoklime .....	42
6. Diskusija .....	44
6.1. Klima, promjene razine mora i paleogeografija u pleistocenu .....	44
6.2. Značaj istraženog lokaliteta u zaštiti geološke baštine, zaštiti okoliša i prostornom planiranju .....	48
7. Zaključak .....	50
8. Literatura .....	52



## 1. Uvod

Svjedoci smo kako se u posljednje vrijeme često raspravlja o klimatskim promjenama i tome koliko na njih utječu antropogeni faktori, a koliko pak prirodni. Da bismo razumjeli sadašnje procese i klimatske promjene, potrebno je istražiti i razumjeti procese u geološkoj prošlosti koji su povezani s klimatskim promjenama i zapisani u sedimentima. Rekonstruiranje klimatskih uvjeta u geološkoj prošlosti važno je i za modeliranje klime u budućnosti. Paleoklimatologija je sve popularnija znanost koja se temelji na detaljnim geološkim istraživanjima (sedimentološkim, paleontološkim, petrografskim, geokemijskim, kronostratigrafskim) uz korištenje svih dostupnih analitičkih metoda. Istraživanja u okviru izrade diplomskog rada pod nazivom: „Pleistocenski jezerski sedimenti sjeverne Dalmacije; taložni okoliši i utjecaj klime“ imaju za cilj doprinijeti razumijevanju taložnih okoliša i klimatskih uvjeta toga razdoblja.

Jezerski sedimenti predstavljaju vrijednu arhivu klimatskih promjena i uvjeta u taložnom okolišu, odnosno predstavljaju terestrički zapis prošlih okoliša, klime i antropogenog utjecaja. Rezultat su taloženja materijala iz slivnog područja i jezerske produktivnosti. Prema tome, mogu se koristiti za rekonstrukciju paleookolišnih i paleoklimatskih uvjeta kroz prošlost. Važnu ulogu u tome imaju varve koje čine okosnicu moga rada, budući da sam upravo njih proučavala na uzorcima jezgara uzetih na lokalitetu Ždrilo. Varve predstavljaju godišnji sloj sedimenata, svijetlih i tamnih lamina, a nastaju uslijed sezonskih promjena (Schimmelmann et al, 2016).

## 2. Literaturni pregled dosadašnjih istraživanja

Prva teorija po kojoj je čak i Mediteran, a time i Jadransko more, bio zahvaćen pleistocenskom oledbom datira iz 1840. godine kada je Louis Agassiz razmotrio tu ideju, ali bez ikakvih dokaza. Hranilović (1901), Gavazzi (1903) i Schubert (1909) također promiču ideju o glacijaciji na Velebitu. Kasnije je geomorfolog Milojević (1922) opisao ono što je protumačio kao glacijalne naslage u kanjonu Velike Paklenice na Velebitu, kao i Bauer (1934, 1935) i Degen (1936). Malez (1968) je dao opću izjavu da su planinski vrhovi obalnih Dinarida, uključujući i Velebit, bili zaleđeni tijekom pleistocena. Nikler (1973) je prvi opisao dobro očuvan „terminalni“ morenski greben na Velebitu, na 920 m nadmorske visine. Kasnije je složeniju geomorfološku studiju istog dijela Velebita prikazao Belij (1985), koji je rekonstruirao duljinu i trasu odgovarajućeg dolinskog ledenjaka. Kasnije su Faivre (1991) i Bognar (1999) predstavili nove dokaze o glacijaciji sjevernog Velebita.

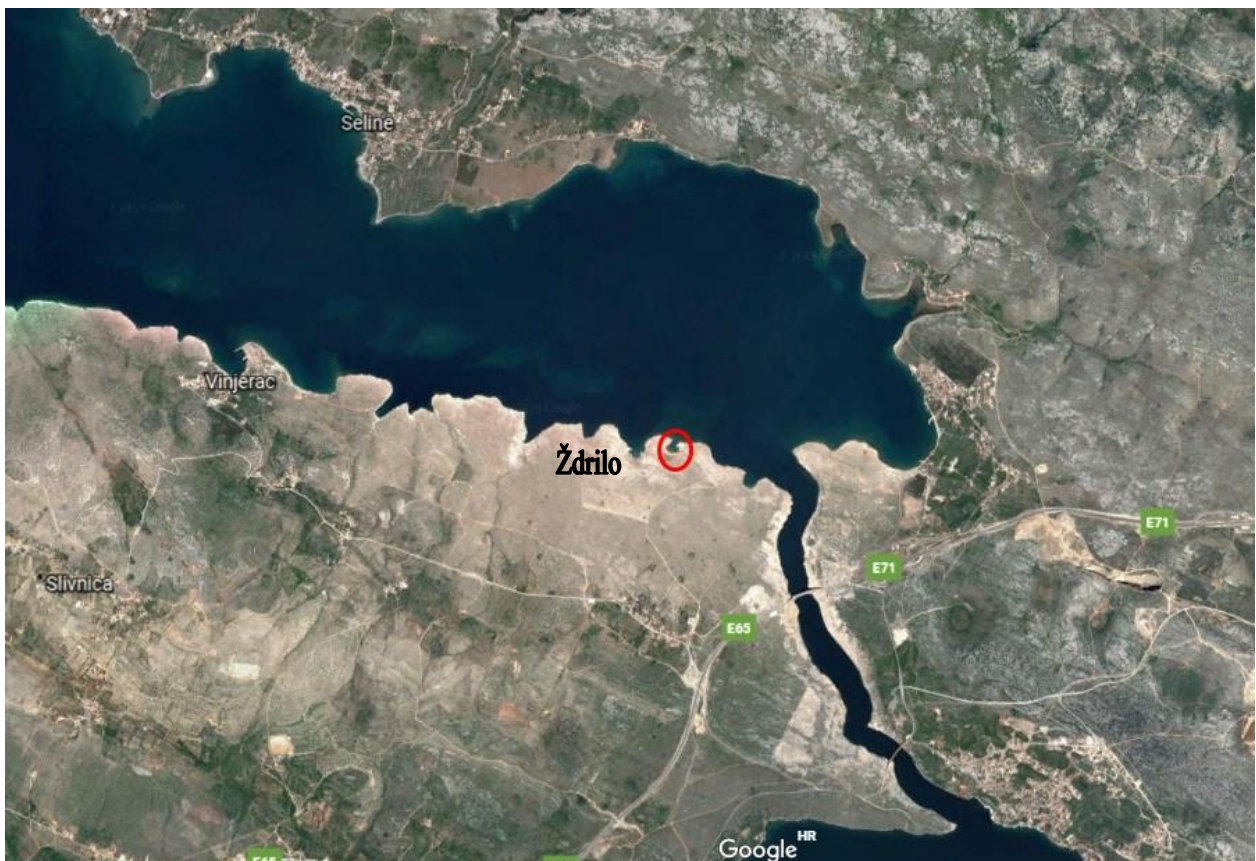
Novija istraživanja pružila su dokaze o dosegu srednje-pleistocenske oledbe sve do današnje razine Jadranskog mora na hrvatskom Jadranu (Marjanac et al., 1990, 2004; Marjanac, 2012; Marjanac & Marjanac, 2017).

Na srednje-pleistocensku oledbu Žegarskog polja, Erveniškog polja i Kninskog polja, ukazuju i nalazi hladnodobnih vrsti ostrakoda iz jezerskih sedimenata (Malez & Sokač, 1969; Šimunić, 1970). Autori pripisuju jezerske sedimente Riss / Wiirm interglacijalu. Jezerski sedimenti sa siltnim varvama i ledenjačkim utruscima (dropstones) na jugozapadnoj obali Novigradskog mora također sadrže rijetke ostrakode koji ukazuju na razdoblje hladne klime, ali su ograničenog stratigrafskog značaja (Marjanac et al., 1990). Mogući vremenski ekvivalent ovim naslagama su jezerski siltovi na lokalitetu Seline, u blizini Starigrada-Paklenice. Jezerske naslage u uvali Poljica prvi spominje Milojević (1933) i navodi da su pliocenske starosti. Dobro sačuvane ostatke bilja, uglavnom listova grmova i stablašica opisala je u diplomskom radu Adžić (2012). Marjanac (2012) je ove sedimente opisala kao glacialakustrinske varvite i navodi starost veću od 350.000 godina prema datiranju morena u krovini. Dosadašnja istraživanja dokumentirala su glacijalne i periglacialne sedimente oko Novigradskog mora i doseg velikog ledenjaka koji je dolazio s područja Knina preko Ervenika i Žegara sve do Obrovca, Novigradskog mora i Karina (Marjanac i Marjanac, 2004; Marjanac, 2012; Marjanac & Marjanac, 2017). Glacialakustrinske sedimente sjeverne Dalmacije opisali su Marjanac et al. (2012). Autori su prikazali niz od sedam pleistocenskih ledenjačkih jezera koja su postojala u različitim vremenskim periodima srednjeg pleistocena vezano uz povlačenje ledenjaka.

### 3. Područje istraživanja

Istraživanje pleistocenskih jezerskih sedimenata provedeno je na lokalitetu Ždrilo (slika 1). Veći dio materijala s tog lokaliteta koji sam obradila prikupljen je tijekom prethodnih istraživanja (Marjanac, 2012; Marjanac et al., 2012). Tijekom kasnijih istraživanja koje je vodio prof. T. Marjanac (GPZ-PMF) izvađene su četiri jezgre (Ž-A, Ž-B, Ž-5 i Ž-6) koje sam obradila u okviru izrade diplomskog rada.

Jezerski sedimenti se, osim na području koje sam istraživala, nalaze kod Selina na suprotnoj strani Velebitskog kanala, na jugozapadnoj obali Novigradskog mora, na jugoistočnoj obali Karinskog mora (kod Karina), te u Žegarskom, Erveničkom i Kninskom polju, a interpretirani su kao srednje pleistocenski glacialakustrinski sedimenti (Marjanac, 2012, Marjanac et al., 2012). Jezerske sedimente kod Selina obradila je u diplomskom radu Adžić (2012).



Slika 1. Položaj lokaliteta Ždrilo (uvala Poljica) označeno crvenim krugom.

### 3.1. Lokalitet Ždrilo

Ždrilo je malo mjesto poviše južne obale Velebitskog kanala u općini Posedarje, a nasuprot Selina na sjevernoj strani Velebitskog kanala. Uvala Poljica, gdje se nalaze sačuvani jezerski sedimenti, nije imenom označena na svakoj karti pa je izdanak imenovan Ždrilo po najbližem mjestu (slika 2).

Isključivo glaciolakustrinski sedimenti sačuvani su u uvali Poljica, dok su glaciolakustrinski i glacijalni sedimenti (morene) sačuvani u drugim dvjema uvalama, jedna smještena zapadnije, druga istočnije (Marjanac, 2012). S obzirom na njihovu ograničenu zastupljenost nisu obilježeni na Osnovnoj geološkoj karti.

Milojević (1933) je starost ovih lakustrinskih sedimenata odredio kao pliocensku, ali ne spominje nalaze makroflore niti drugih fosila.



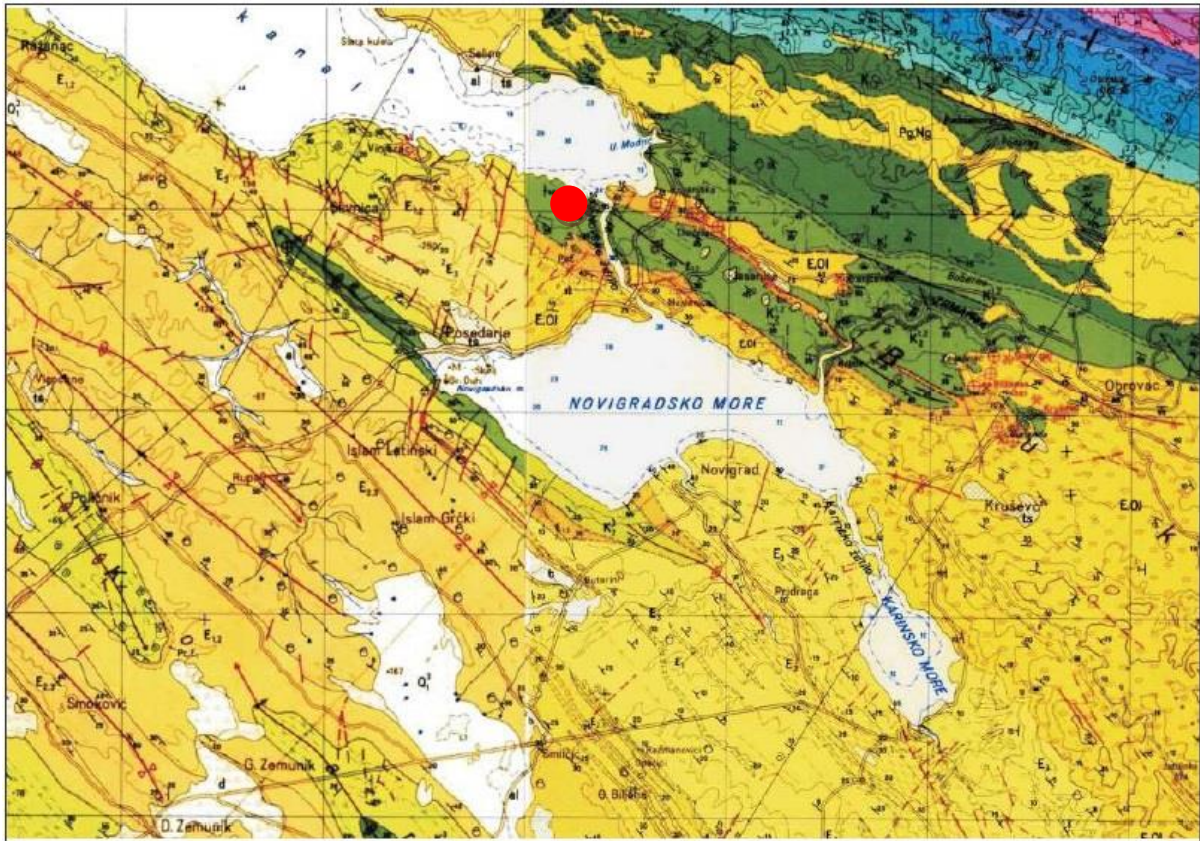
Slika 2. Lokalitet Ždrilo.

### 3.2. Prikaz geološke građe južnog Velebita

Prema osnovnoj geološkoj karti (listovi Zadar, Gospić i Obrovac) (slika 3), u geološkoj građi južnog Velebita nalaze se trijaskе naslage zatupljene donjotrijaskim klastitima, srednjotrijaskim vapnencima i pješčenjacima te gornjotrijaskim kompleksom koji obuhvaća transgresivne konglomerate, dolomite i piroklastite. Najviše dijelove Velebita u njegovom sjeveroistočnom dijelu izgrađuju trijaski dolomiti (Majcen et al., 1967). Padine Velebita izgrađuju jurske naslage koje se nastavljaju na gornjotrijaske naslage. Jurske naslage čine vapnenci, vapnenačke breče i vapnenci s interkalacijama dolomita. Na području Selina i Paklenice (Starigrad) vidljivi su izdanci krednih naslaga. Na južnom Velebitu najstariji su permski konglomerati i siltstoni, koji se pojavljuju u gornjim dijelovima kanjona Paklenice. Na njima leže donjotrijaski pješčenjaci, srednjotrijaski vapnenci, gornjotrijaski dolomiti i jurski vapnenci. Predkvartarne naslage Velebita su polimiktne breče, nazvane Jelar breče (Bahun, 1974).

Kenozojske naslage otkrivene su u nižim dijelovima Dinarida, u Ravnim Kotarima i priobalju, a predstavljene su eocenskim foraminiferskim vapnencima i klastitima koji se opisuju kao eocenski fliš i eocensko-oligocenska molasa (Marjanac & Čosović, 2000). Eocenske vapnenice nalazimo isključivo na obalnim dijelovima Dinarida, a na Velebitu nisu nađeni.

Na širem području Velebitskog kanala nalaze se pleistocenski pijesci, koštane breče, pjeskovite gline, terra rossa, deluvijalni i aluvijalni sedimenti. Na južnoj strani Velebitskog kanala nalaze se gornjokredni rudistni vapnenci.



**Slika 3.** Osnovna Geološka karta promatranog područja s označenim lokalitetom Ždrilo (crvena točka). Spojeni isječci listova Zadar, Gospić i Obrovac (Majcen et al., 1967; Ivanović et al., 1973).

## 4. Metode

Istraživanje pleistocenskih jezerskih sedimenata obuhvatilo je terenski rad (uzorkovanje i jezgrovanje), kabinetski rad (opis uzoraka, detaljno snimanje i uzorkovanje jezgara) i laboratorijske metode (određivanje količine organske tvari u sedimentu, određivanje udjela karbonata u sedimentu (kalcimetrija), granulometrijska analiza, određivanje sastava sedimenta metodom rendgenske difrakcije).

### 4.1. Terenski rad

Jezgrovanje sedimenata na izdanku obavljeno je na lokalitetu Ždrilo. Uzeta je jedna jezgra. Za jezgrovanje je korišten limeni u-profil duljine 1 m. Odabran je položaj jezgrovanja gdje je bilo moguće uzeti jezgru približno okomito na uslojenost. Profil sedimenata pažljivo je očišćen do svježeg sedimenta (relativno mekog) i poravnat. Zatim je u-profil utisnut uz pomoć gumenog bata u sediment.

U-profil je dubine 5 cm i toliko je očišćeno sedimenta sa svake strane kako bi se u-profil s jezgrom što lakše izvadilo. Nakon odvajanja, jezgra je umotana u zaštitnu pvc foliju i dopremljena na kabinetsku obradu. Osim jezgrovanja obavila sam terensko opažanje sedimentnih tekstura i fosilnog sadržaja.

## **4.2. Kabinetski rad**

Kabinetski rad obuhvatio je opisivanje uzoraka sedimenata, detaljno snimanje četiri jezgre. Pri jezgrovanju jezgre 6 sam sudjelovala, dok sam jezgre A, B i 5 dobila na obradu. Svaka jezgra je snimljena u mjerilu 1:5, određena je boja pojedinačnih lamina/slojeva prema Munsellu te fotografirana. Na jezgrama sam obavila detaljno uzorkovanje lamina/slojeva za laboratorijske analize veličine zrna, sastava i količine organske tvari. Pri izradi diplomskog rada korišten je program CorelDraw za grafičku obradu detaljnog sedimentološkog snimanja jezgara.

## **4.3. Laboratorijske metode**

Od laboratorijskih metoda, za potrebe istraživanja, koristila sam sljedeće metode: određivanje količine organske tvari, određivanje udjela karbonata u sediment (kalcimetrija), granulometrijsku analizu i određivanje sastava sedimenta metodom rendgenske difrakcije.

### **4.3.1. Određivanje količine organske tvari u sedimentima**

Za određivanje organske tvari iz jezgre Ž-A uzeto je 12 uzoraka, iz jezgre Ž-B 11 uzoraka, iz jezgre Ž-5 30 uzoraka, a iz jezgre Ž-6 uzela sam 22 uzorka, vodeći računa da količina u svakoj vrećici bude podjednaka.

Za analitički postupak korišteni su: digitalna analitička vaga, 30%-tni vodikov peroksid ( $H_2O_2$ ), destilirana voda, menzura volumena 500 ml, epruvete i čaše volumena 200 ml.

## Priprema uzorka i postupak

Uzorke sam iz jezgara uzela pomoću bušilice i četke te ih stavila u vrećice. Prilikom samog postupka, koristila sam običnu vagu sa dvije decimale i pratila da masa svake vrećice skupa s uzorkom iznosi između 1 i 1.5 g.

Radi jednostavnosti postupka prvo je izvagana masa vrećice s uzorkom ( $m_1$ ), a nakon uranjanja uzorka u vodenu otopinu ( 10 ml destilirane vode, 2 ml  $H_2O_2$  u omjeru 1:5) i masa vrećice bez uzorka ( $m_2$ ). Oduzimanjem mase vrećice od prvotne mase dobivena je masa samog uzorka ( $m_3$ ).

Nakon toga, vagala sam masu svake pojedinačne epruvete, skupa sa stalkom i naljepnicom i otopinom te dobila ukupnu masu ( $m_4$ ) i ostavila sat vremena (slika 4).

Nakon sat vremena reakcija je bila završena, te sam ponovno izvagala masu ( $m_5$ ), istu sam oduzela od one vrijednosti koju sam izvagala sat vremena prije ( $m_4$ ). Razlika u masi ( $m_6$ ) daje nam podatak o količini organske tvari koja je reagirala s vodikovim peroksidom ( $H_2O_2$ ) i oslobođena je iz vodene otopine u obliku ugljikovog dioksida ( $CO_2$ ).

## Postupak vaganja i računanja

$$m_3 = m_1 - m_2$$

$m_1$  – masa vrećice s uzorkom

$m_2$  – masa prazne vrećice

$m_3$  – masa uzorka

$$m_6 = m_4 - m_5$$

$m_4$  – masa epruvete s vodenom otopinom i uzorkom

$m_5$  – masa epruvete nakon otapanja uzorka

$m_6$  – masa organske tvari koja je reagirala

$$W = \frac{m_3}{m_6} \times 100 (\%)$$

$m_3$  – masa uzorka

$m_6$  – masa organske tvari koja je reagirala

$W$  – maseni udio organske tvari u uzorku (%)





Slika 4. Laboratorijska analiza masenog udjela organske tvari u sedimentu.

#### 4.3.2. Određivanje udjela karbonata u sedimentu (kalcimetrija)

Kalcimetrijom je određivan udio  $\text{CaCO}_3$ , odnosno karbonatne komponente u uzorcima. Analiza je rađena na tri uzorka (A-29, A-19 i A-24) iz jezgre Ž-A.

Za analitički postupak su korišteni: digitalna analitička vaga, 2.5%-tna klorovodična kiselina (HCl), menzura volumena 500 ml, destilirana voda, čaše volumena 200 ml, filter papir i lijevak.

##### Priprema uzorka i postupak

Kao i kod metode određivanja organske tvari, tako su i ovdje uzorci iz jezgre uzeti bušilicom i potom stavljeni u čaše. Prema uputi, pazila sam da masa svakog od uzetih uzoraka iznosi oko 5 g. Prvo sam izvagala masu svake čaše ( $m_1$ ), a nakon sipanja uzorka, vagala sam čaše skupa s uzorkom ( $m_2$ ). Dobivena razlika u masama je predstavljala masu uzorka ( $m_3$ ). Za svaki uzorak pripremljen je i izvagan izrezani filter-papir ( $m_4$ ) koji se koristi za odvajanje netopivog ostatka.

U čašu s uzorkom dodala sam oko 150 ml razrijeđene 2.5%-tne klorovodične kiseline. Uzorak se pritom otapao uz oslobađanje mjehurića ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>). Nakon jednog sata reakcija je završila što sam zaključila po tome što se tijekom miješanja nisu više oslobađali mjehurići CO<sub>2</sub>. Bistru otopinu filtriranjem sam odvojila od taloga na dnu. Na površini filter papira zaostao je talog. Filter papiri skupa s talozima su ostavljeni par sati dok se potpuno ne osuše. Svaki pojedinačni osušeni filter-papir s talogom sam izvagala ( $m_5$ ) te od dobivene mase oduzela poznatu masu filter papira ( $m_4$ ), čime je dobivena masa netopivog ostatka za svaki uzorak ( $m_6$ ). Postotak otopljenog karbonata u uzorku izračunat je tako što sam masu otopljenog ( $m_3 - m_6$ ) podijelila sa početnom masom svakog od uzoraka te rezultate izrazila u postotcima.

Postupak vaganja i računanja

$$m_3 = m_2 - m_1$$

$m_1$  – masa čaše

$m_2$  – masa čaše s uzorkom

$m_3$  – masa uzorka

$$m_6 = m_5 - m_4$$

$m_4$  – masa filter papira

$m_5$  – masa filter papira skupa s talogom

$m_6$  – masa netopivog ostatka

$$W = \frac{m_3 - m_6}{m_3} \times 100 (\%)$$

$m_3$  – masa uzorka

$m_3 - m_6$  – masa otopljenog

$W$  – postotak otopljenog karbonata (%)

### 4.3.3. Granulometrijska analiza

Granulometrijski sastav svih uzoraka određen je kombiniranom metodom mokrog sisanja (za čestice > 0,063mm) i sedigrafa (za čestice < 0,063 mm).

Priprema i postupak

Uzeta su tri uzorka iz jezgre Ž-A (A-9, A-19, A-24) te su od njih izdvojeni poduzorci težine 10 g koji su potom stavljeni u posude s destiliranom vodom na 24 sata.

**Tablica 1.** Masa svake od frakcija.

Promjer sita	Masa (g)
<b>A-9</b>	
0,063	0,07
0,125	0,02
0,25	0,007
0,5	0,01
1	0,02
2	0,08
<b>A-19</b>	
0,063	0,32
0,125	0,35
0,25	0,03
0,5	0,09
1	0,04
<b>A-24</b>	
0,063	0,13
0,125	0,06
0,25	0,02
0,5	0,05
1	0,07

Uzorci su prosijani kroz niz od sedam sita od nehrđajućeg čelika uz pomoć tresilice (slika 5). Promjeri otvora na sitima iznosili su: 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm i 0,063 mm.

Proces je za svaki pojedinačni uzorak trajao oko sat vremena. Frakcije sedimenta sa svakog sita prebačene su u označene plastične zdjelice, stavljene na sušenje 24 sata, potom izvagane i stavljene u papirnate vrećice. Dobiveni rezultati grafički su prikazani u obliku trokomponentnog dijagrama. Na temelju dobivenih rezultata, uz pomoć asistenta, imenovala sam uzorak i izračunala standardne statističke parametre potrebne za opisivanje i klasifikaciju sedimenata, na temelju distribucije veličine zrna. Ostatak sedimenta, odnosno čestice manje od 0,063 mm, koje su tijekom sisanja ispirane destiliranom vodom i sakupljene u obliku

suspenzije u staklenim čašama, ostavljene su da se istalože kroz nekoliko dana. Višak vode je dekantiran, a preostali uzorak stavljen je na analizu sedigrafom.

Sustav za sedimentacijsku analizu sastoji se od analizatora, sučelja i računala. U analizatoru se nalaze izvor i detektor rendgenskih zraka, ugrađen sustav za cirkulaciju (pumpe) koji odvodi sedimentacijsku tekućinu s uzorkom u ćeliju za analizu, odvodna i dovodna cijev za otpadnu i čistu sedimentacijsku tekućinu i čašica za suspendirani uzorak. Upravljanje i rad analizatorom omogućen je pomoću računalnog programa SediGraphWin 5100 (Micrometrics, 2002) (slika 6). Metoda određivanja veličine zrna sedigrafom u tekućini poznatih svojstva temelji se na gravitacijskoj sedimentaciji i apsorpciji rendgenskih zraka. Sedimentacija uslijed djelovanja gravitacije opisana je Stokes-ovim zakonom:

$$v = \frac{1}{18} \cdot g \cdot \frac{\rho - \rho_f}{\eta} \cdot d^2$$

gdje je:  $v$  brzina taloženja čestice (m/s),  $g$  gravitacijsko ubrzanje (m/s<sup>2</sup>),  $\rho$  gustoća čestice (kg/m<sup>3</sup>),  $\rho_f$  gustoća fluida (kg/m<sup>3</sup>),  $\eta$  viskozitet fluida i  $d$  promjer čestice.

Bilježeći proteklo vrijeme od početka taloženja te dubinu mjerene zone unutar ćelije, sedigraf daje informacije o veličini čestica u suspenziji.



**Slika 5.** Set Retsch ® ASTM sita, Geološko paleontološki zavod PMF-a (preuzeto od Frankol, 2015).



**Slika 6.** SediGraph 5100, Geološko paleontološki zavod (preuzeto od Frankol, 2015).

#### **4.3.4. Određivanje sastava sedimenta metodom rendgenske difrakcije**

Metodom rendgenske difrakcije (XRD) analizirana su četiri uzorka (Ž-5-15, Ž-B-26, Ž-6-25, Ž-6-17) iz tri jezgre (Ž-B, Ž-5 i Ž-6). Odabrana su tri siva sloja koja se međusobno razlikuju u nijansama i jedan smeđi sloj.

Metoda rendgenske difrakcije je analitička tehnika koja nam daje informacije o kristalnoj strukturi, kemijskom sastavu i fizičkim osobinama materijala, a da pritom materijal ostaje nepromijenjen. Difrakcijske tehnike istraživanja, s obzirom na to o kakvom je uzorku riječ, dijele se na metodu monokristala i metodu praha (na polikristalnom uzorku). Jedna od najvažnijih primjena metode praha je određivanje faznog sastava - kvalitativna analiza. Osim za određivanje faznog sastava koristi se i za određivanje parametara jedinične ćelije, molekulske i kristalne strukture, te prosječne veličine kristalita. Prednost je difrakcije na prahu što daje informacije o glavnini uzorka, za razliku od difrakcije na jediničnom kristalu koja promatra samo jedan izdvojeni manji kristal, također, mnoge tvari nije moguće prirediti u obliku jediničnog kristala zadovoljavajuće kvalitete i veličine. Jedna od najvažnijih primjena metode praha je određivanje faznog sastava - kvalitativna analiza.

Osnova metode difrakcije rendgenskog zračenja u polikristalnom uzorku sastoji se u tome da kristaliničan praškasti uzorak koji sadrži velik broj nasumično orijentiranih kristalica izložimo djelovanju monokromatskog rendgenskog zračenja. Interakcijom rendgenskog zračenja s kristaliničnim materijalom dolazi do difrakcije koja se bilježi pomoću detektora.

Difraktogram polikristaliničnog uzorka predstavlja intenzitete difraktiranog zračenje i može se koristiti kao „otisak prsta“ za kvalitativnu analizu nepoznatog uzorka. Najvažniji, glavni dijelovi difraktograma su: rendgenska cijev, goniometar, monokromator, detektor.

Difrakcijska slika je dijagram koji prikazuje intenzitet zračenja u odnosu na dvostruki kut upada. Intenzitet difrakcijske linije se može izraziti visinom difrakcijske linije. Za dobro kristalizirane uzorke difrakcijske linije su oštre zbog uređenosti rešetke (Slovenec, 2011). Svaki mineral ima svoju karakterističnu difrakcijsku sliku praha te se slike razlikuju karakterističnim međumrežnim razmacima i intenzitetima difrakcijskih maksimuma (Slovenec, 2011).

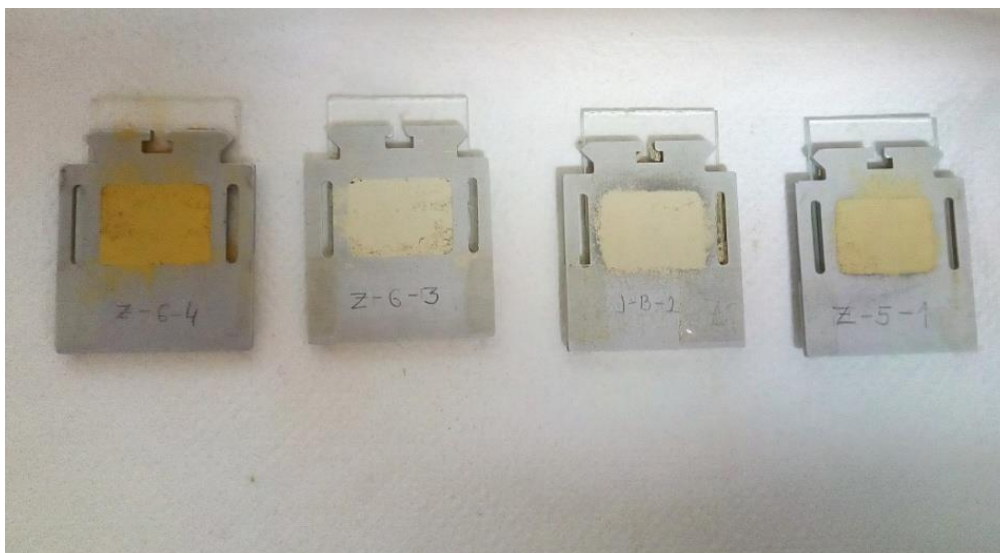
### Priprema uzorka i postupak

Priprema XRD uzorka uključivala je usitnjavanje u ahatnom tarioniku te nanošenje i utiskivanje u nosače te zaravnjavanje površine kako bi se dobile tanke pločice (slika 8), zatim mjerenje prema definiranom programu i na kraju, određivanje pikova (određivanje točnog kuta  $2\theta$  i relativnog intenziteta svakog difrakcijskog maksimuma).

Uzorak polimineralne stijene sastoji se od difrakcijskih maksimuma svih minerala u stijeni. Njihovi intenziteti varirati će prema udjelu svakog minerala u smjesi. Kod analize difrakcijske slike potrebno je odrediti udjele pojedinih minerala. Ako je udio minerala malen bit će izraženi samo najjači difrakcijski maksimumi, a ukoliko je jako malen (npr.  $< 1$  tež. %) njegove linije neće biti izražene i neće biti identificiran. Prema tome najjače difrakcijske maksimume pokazivati će minerali kojih ima najviše u smjesi (Slovenec, 2011).



**Slika 7.** Postupak pripreme uzorka: a) postavljanje ljepljive trake na aluminijski nosač, b) nanošenje uzorka, c) zaravnjavanje uzorka predmetnim stakalacem.



**Slika 8.** Četiri pripremljena uzorka za XRD analizu.

Za prikupljanje i obradu podataka koristi se programski paket Philips X'Pert, koji se sastoji od dva programa: X'pert Data Collector (služi za podešavanje parametara pokusa i izvođenje mjerenja) i X'Pert Graphic and Identify (omogućuje prikaz podataka i njihovu obradu)

Za jednostavnu simulaciju difraktograma potrebni su podaci o kristalnoj strukturi koji uključuju parametre jedinične ćelije, informaciju o prostornoj grupi i koordinate atoma i njihove temperaturne faktore.

## 5. Rezultati

U sljedećem poglavlju prikazala sam redom rezultate dobivene navedenim metodama u svrhu izrade diplomskog rada te ih interpretirala.

### 5.1. Opis sedimenta

Rezultati analize određivanja količine organske tvari u sedimentu najjednostavnije se mogu očitati iz grafova na slikama 8, 9, 10 i 11.

Promatrajući graf (slika 8) idući od najstarijeg sedimenta prema mlađima, već u uzorku A-2 nalazimo prvu visoku vršnu vrijednost. Uzorak je uzet u najstarijoj smeđoj lamini koja po boji ukazuje na topliji period. Rezultati analize odgovaraju takvoj tvrdnji, s obzirom da u uzorku A-2 nalazimo izrazito visok udio organske tvari. Već kod sljedećeg uzorka uzetog iz prve sljedeće, sive lamine, nailazimo na drastičan pad udjela organske tvari u sedimentu što ukazuje na hladni period sa smanjenom bioprodukcijom. Sve do uzorka A-8 vidljiv je trend zahlađenja s dužim periodima niske bioprodukcije i sve nižim vršnim vrijednostima.

Najmanju količinu organske tvari nalazimo u uzorcima A-3 i A-7 (~13 %), a najveću u uzorcima A-2 i A-8 (~75 %). Raspon udjela organske tvari u sivim laminama kreće se od 10,70 % do 42,90 %, a prikazan je u tablici 4, dok se raspon udjela organske tvari u smeđim laminama kreće od 33% do 75,60% i prikazan je u tablici 5.

Ukupna srednja vrijednost svih rezultata od 41,39% masenog udjela organske tvari potvrđuje pretpostavku koju sam skupa s mentorom imala na početku istraživanja tijekom vizualnog opažanja jezgre Ždrilo A u kojoj dominira siva boja, a to je da je se većina lamina taložila u hladnijem periodu.

Promatrajući graf (slika 9), slično kao i kod jezgre Ždrilo A, već u starijem uzorku B-2 koji se nalazi na samom početku jezgre nalazimo najveću količinu organske tvari od svih uzetih uzoraka u jezgri Ždrilo B. Uzorak je, kao i u jezgri A, uzet u najstarijoj smeđoj lamini koja po boji ukazuje na topliji period. Već kod sljedećeg uzorka B-3 uzetog iz prve sljedeće, sive lamine, nailazimo na drastičan pad udjela organske tvari u sedimentu što, kao što smo ustanovili na primjeru prethodne jezgre, ukazuje na hladni period. Od uzorka B-2 vidljiv je trend zahlađenja s dužim periodima niske bioprodukcije i sve nižim vršnim vrijednostima, najnižu nalazimo u uzorku B-9, samo 9,02%.



Raspon udjela organske tvari u sivim laminama kreće se od 9,02 % do 55,30 %, a prikazan je u tablici 7, dok se raspon udjela organske tvari u smeđim laminama kreće od 32,30% do 91,10% i prikazan je u tablici 8.

Ukupna srednja vrijednost svih rezultata iznosi 43% masenog udjela organske tvari, što je tek nešto više od ukupne vrijednosti svih rezultata u jezgri Ždrilo A, 41,39%. Baš kao i kod prethodne jezgre može se izvesti isti zaključak, a to je da je se većina lamina taložila u hladnijem periodu.

Promatrajući graf (slika 10) s lijeva na desno, idući od najstarijeg sedimenta prema mlađima, prve vršne vrijednosti nalazimo u prva dva uzorka A i 1, koji su uzeti u prvoj, najstarijoj lamini koja po boji ukazuje na topliji period. Idući prema mlađim sedimentima nailazimo na duži hladni period sa smanjenom bioprodukcijom i masenim udjelom manjim od 50%, tek kod tri uzorka 6, 8 i 10 nalazimo vrijednosti oko 60%. U uzorku 14, u desetoj lamini jezgre Ždrilo 5, ponovno nalazimo visoku vršnu vrijednost od čak 88,20% nakon čeka se uočava pravilna izmjena visokih i niskih vrijednosti. Nakon uzorka E, vrijednosti 82,24 % vidljiv je ponovno trend zahlađenja s dužim periodima niske bioprodukcije i nižim vršnim vrijednostima. Najmanju količinu organske tvari nalazimo u uzorcima 4 i 19 (~24 %), a najveću u uzorcima 14 i 17 (~87 %). Raspon udjela organske tvari u smeđim laminama kreće se od 24,40 % do 88,20 %, a prikazan je u tablici 11, a u sivim laminama od 24% do 66,30%, prikazan je u tablici 12.

Ukupna srednja vrijednost svih rezultata od 48,04 % masenog udjela organske tvari što upućuje na to da se većinsko taloženje lamina odvijalo u toplijem periodu u odnosu na prethodno analizirane jezgara, Ždrilo A i Ždrilo B.

Promatrajući graf (slika 11) u najstarijim sedimentima nalazimo izrazito niske vrijednosti udjela organske tvari, sve do uzorka 6. U uzorcima 7 i 8 prisutne su visoke vršne vrijednosti da bi već u sljedećem uzorku (9), bio izrazito vidljiv drastičan pad vrijednosti. Visoke vrijednosti (82, 45%) nalazimo još samo u uzorku 11, a nakon uzorka 11 idući prema mlađim sedimentima nailazimo na duži hladni period sa smanjenom bioprodukcijom i masenim udjelom manjim od 50%, a mjestimično i manjim od 30%. Pri samom vrhu jezgre, u najmlađim sedimentima, u uzorku 20, ponovno nalazimo visoku vršnu vrijednost od 74,24%. Najmanju količinu organske tvari nalazimo u uzorcima 1 i 6 (~4 %), a najveću u uzorcima 6 i 11 (~84 %). Raspon udjela organske tvari u smeđim laminama od 24,40% do 85,10%,

prikazan je u tablici 14, a u sivim laminama kreće se od 3,40 % do 39,30 % i prikazan je u tablici 15.

Ukupna srednja vrijednost svih rezultata od 37,33 % masenog udjela organske tvari što upućuje na to da se većinsko taloženje lamina odvijalo hladnijem periodu sa smanjenom bioprodukcijom. Ova vrijednost je najniža u odnosu na srednje vrijednosti masenog udjela organske tvari kod jezgara Ždrilo A, Ždrilo B i Ždrilo 5.

<b>Lamina</b>	<b>Debljina (mm)</b>	<b>Boja</b>
1	50	5Y7/6
2	8	N7
3	58	5Y7/6
4	15	5YR8/1
5	40	5Y7/6
6	5	5YR8/1
7	10	5Y7/6
8	4	N8
9	10	10Y7/4
10	15	N7
11	10	10Y7/4
12	4	5YR8/1
13	4	5YR8/1
14	10	10Y7/4
15	5	5Y6/1
16	5	5YR8/1
17	28	10Y7/4, 10Y7/6
18	6	10Y7/4
19	52	5Y7/6
20	5	10Y7/4
21	9	5Y7/6
22	4	5Y7/6
23	4	5Y7/6
24	20	10Y7/4
25	4	5Y7/6
26	4	10Y7/4
27	37	5Y7/6
28	15	10Y7/4
29	24	5Y7/6
30	26	10Y7/4
31	7	10YR5/4
32	10	10Y7/4
33	20	5Y7/6
34	25	10Y7/4

**Tablica 3.** Tablični prikaz rezultata dobivenih metodom određivanja količine organske tvari u sedimentu u jezgri Ždrilo A.

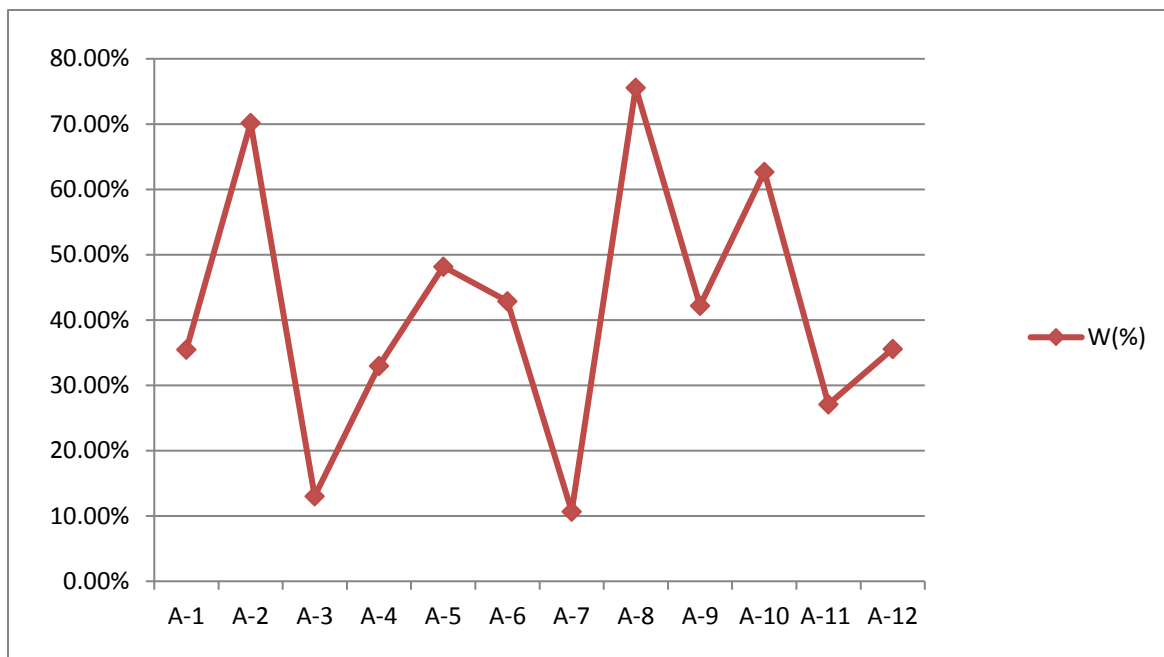
Uzorak	Pozicija	Lamina	m(uzorak+vrećica)	m(vrećica)	m (uzorka)	m(epruveta+vodena otopina)	m(epruveta+vod. ot.+uzorak)	m (nakon stajanja 1h)	Razlika u masi epruveti	Udio organske tvari
A-1	23 mm od baze jezgre	1	1,3884	1,0863	0,3021	23,5726	23,9729	23,8747	0,0982	35,50%
A-2	40 mm od baze jezgre	1	1,1993	1,1066	0,1333	25,6821	25,909	25,8154	0,0936	70,20%
A-3	55 mm od baze jezgre	2	1,2206	1,0902	0,1304	24,2346	24,382	24,365	0,017	13,03%
A-4	110 mm od baze jezgre	3	2,2664	2,0985	0,1679	30,2854	30,4533	30,3979	0,0554	33%
A-5	6 mm od baze sloja 4	4	2,2987	2,1305	0,1682	30,1384	30,3066	30,2256	0,081	48,20%
A-6	35 mm od baze sloja 5	5	1,2241	1,0748	0,1493	30,2174	30,3667	30,3027	0,064	42,90%
A-7	Sredina sloja 8	8	1,4663	1,0931	0,3732	24,6875	25,0986	25,0607	0,0376	10,70%
A-8	5 mm od baze sloja 9	9	1,1789	1,0472	0,1317	25,4683	25,5004	25,6	0,0996	75,60%
A-9	na 10 mm od baze sloja 17	17	1,2477	1,0644	0,1833	25,1997	25,3056	25,383	0,0774	42,20%
A-10	na 9 mm od baze sloja 27	27	1,1627	1,0329	0,1298	25,4094	25,5392	25,4578	0,0814	62,70%
A-11	Na 5 mm od baze sloja 34	33	1,2908	1,0574	0,2334	25,5669	25,8003	25,738	0,0632	27,10%
A-12	65 mm od kraja jezgre	31	2,3118	2,0953	0,2165	30,7194	30,9359	30,8588	0,0771	35,60%

**Tablica 4.** Vrijednosti udjela organske tvari u smeđim laminama jezgre Ž-A.

Smeđe lamine	W(%)
A-4	33%
A-1	35,50%
A-9	42,20%
A-5	48,20%
A-10	62,70%
A-2	70,20%
A-8	75,60%

**Tablica 5.** Vrijednosti udjela organske tvari u sivim laminama jezgre Ž-A.

Sive lamine	W(%)
A-7	10,70%
A-3	13,03%
A-11	27,10%
A-12	35,60%
A-6	42,90%



**Slika 8.** Promjena masenog udjela organske tvari u slojevima jezgre Ž-A. Starije lamine su niži brojevi (oznake prikazane na ordinati).

**Tablica 6.** Tablični prikaz rezultata dobivenih metodom određivanja količine organske tvari u sedimentu u jezgri Ždrilo B.

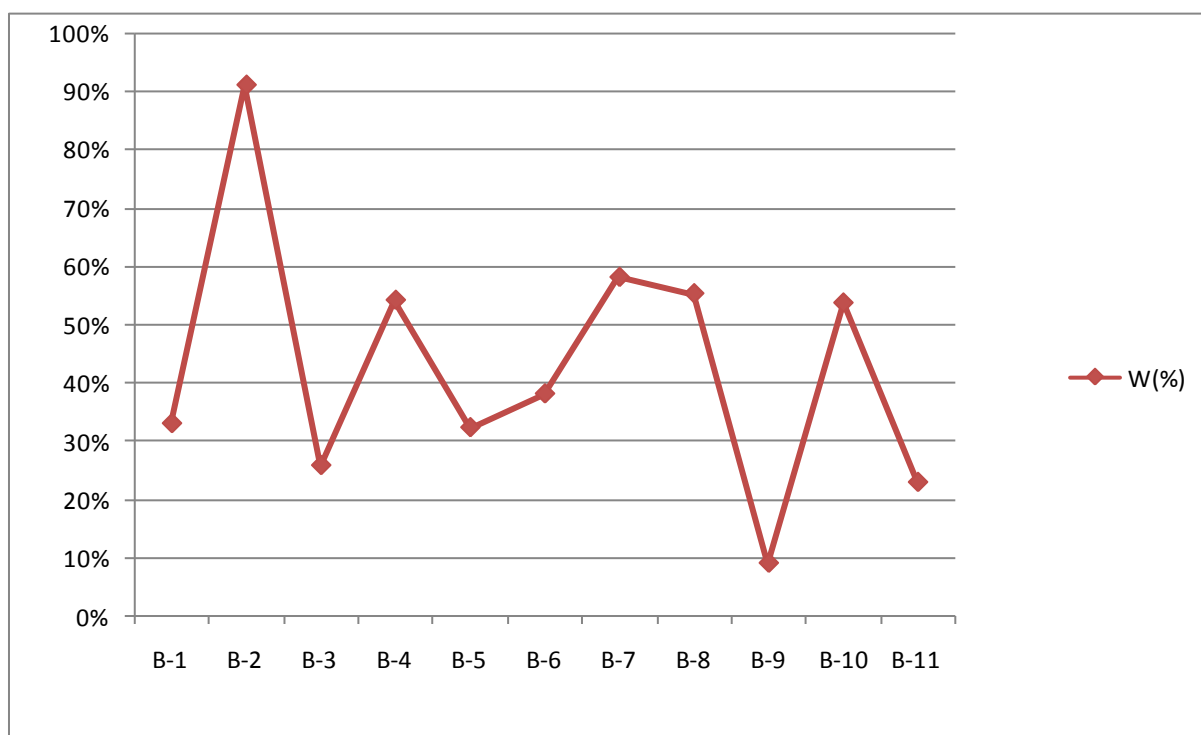
Uzorak	Pozicija	Lamina	m(uzorak +vrećica)	m(vrećica)	m (uzorka)	m (epruveta+vodena otopina)	m (epruveta + vod.ot.+uzorak)	m (nakon stajanja 1h)	Razlika u masi epruveti	Udio organske tvari
B-1	15 mm od baze sloja 3	3	2,2433	2,1462	0,0971	30,1638	30,2609	30,1865	0,0744	33%
B-2	10 mm od baze sloja 9	9	1,1659	1,0494	0,1165	25,5042	25,6207	25,5146	0,1061	91,10%
B-3	8 mm od baze sloja 12	12	1,2251	1,0442	0,1809	25,545	25,7259	25,6792	0,0467	25,80%
B-4	početak sloja 17	17	1,2487	1,0366	0,2121	25,2764	25,4885	25,3736	0,1149	54,17%
B-5	5 mm od baze sloja 22	22	1,2194	1,0586	0,2328	24,5078	24,7406	24,6653	0,0753	32,30%
B-6	6 mm od baze sloja 24	24	1,3586	1,0551	0,3035	24,7278	25,0313	24,9154	0,1159	38,10%
B-7	12 mm od sloja 27	27	1,2375	1,0532	0,1843	24,4232	24,6075	24,5003	0,1072	58,10%
B-8	5 mm od baze sloja 30	30	1,2634	1,0421	0,2213	24,662	24,8833	24,7608	0,1225	55,30%
B-9	5 mm od baze sloja 34	34	1,4411	1,0587	0,3824	24,7094	25,0918	25,0573	0,0345	9,02%
B-10	20 mm od baze sloja 35	35	2,24	2,1023	0,1377	30,1719	30,3096	30,2356	0,074	53,70%
B-11	40 mm od baze sloja 26	26	1,4738	1,0503	0,4235	25,3829	25,8064	25,7094	0,097	22,90%

**Tablica 7.** Vrijednosti udjela organske tvari u smeđim laminama jezgre Ž-B.

Smeđe lamine	W(%)
B-5	32,30%
B-10	53,70%
B-7	58,10%
B-2	91,10%

**Tablica 8.** Vrijednosti udjela organske tvari u sivim laminama jezgre Ž-B.

Sive lamine	W(%)
B-9	9,02%
B-11	22,90%
B-3	25,80%
B-1	33%
B-6	38,10%
B-4	54,17%
B-8	55,30%



**Slika 9.** Promjena masenog udjela organske tvari u laminama istražene jezgre, Ždrilo B. Starije lamine su niži brojevi (oznake prikazane na ordinati).

**Tablica 9.** Prikaz lamina u jezgri Ždrilo 5, njihovih debljina te pripadajućih boja određenih prema Munsellu (1991).

Lamina	Debljina (mm)	Boja
1	180	5Y7/6
2	15	5Y6/1
3	9	5Y7/6
4	6	5Y6/1
5	5	10YR6/6
6	6	10YR5/4
7	35	5YR5/4
8	2	N8
od 9 do 12	127	5Y7/6
13	2	5Y6/1
14	130	5Y7/6
15	2	N8
16	8	5Y7/6
17	3	N8
18-20	145	10Y7/4, 5Y7/6
20	15	5YR8/1
21	9	5Y7/6
22	10	5YR8/1
23	19	5Y7/6
24	4	N8
25	20	5Y7/6
26	3	5YR8/1
27	67	5Y7/6
28	11	5G7/2
29	22	5Y7/6
30	10	5YR8/1

**Tablica 10.** Tablični prikaz rezultata dobivenih metodom određivanja količine organske tvari u sedimentu u jezgri Ždrilo 5.

Uzorak	Pozicija	Lamina	m(uzorak+vrećica)	m(vrećica)	m(uzorka)	m(epruveta+vodena otopina)	m(epruveta+vod.ot.+ uzorak)	m(nakon stajanja 1h)	Razlika u masi epruveti	Udio organske tvari
A	28 mm od baze jezgre	1	1,1529	1,0522	0,1007	29,8047	29,9054	29,8422	0,0632	62,76%
1	75 mm od baze jezgre	1	1,2964	1,0357	0,2607	30,2719	30,5326	30,3326	0,2	76,70%
2	115mm od baze jezgre	1	1,1254	1,0316	0,0938	30,0662	30,16	30,0281	0,132	47,60%
3	145 mm od baze sloja 2	2	1,2256	1,0367	0,1889	29,1334	29,3223	29,2649	0,0574	30,40%
4	10 mm od baze jezgre	3	1,5342	1,0339	0,5003	29,68	30,1803	30,063	0,12	24%
5	5 mm od baze sloja 3	3	1,2944	1,032	0,2624	30,2334	30,4958	30,373	0,1228	46,80%
6	10 mm od baze sloja 3	3	1,2236	1,0278	0,1958	29,8378	30,0336	29,9182	0,1154	58,90%
7	5 mm od baze sloja 4	4	1,3087	1,0376	0,2711	29,6382	29,9093	29,8271	0,0822	30,30%
8	2 mm od baze sloja 5	5	1,2247	1,035	0,1897	30,0182	30,2549	30,2752	0,1188	62,60%
9	3 mm od baze sloja 6	6	1,2493	1,0475	0,2018	30,0506	30,2524	30,1638	0,0886	43,90%
10	10 mm od baze sloja 7	7	1,2711	1,0344	0,2367	30,0182	30,2549	30,112	0,1429	60,30%
11	25 mm od baze sloja 7	7	1,2177	1,0354	0,1823	29,8426	30,0249	29,9536	0,0713	39,10%
12	23 cm od baze	8	1,2635	1,0422	0,2213	30,5702	30,7915	30,7299	0,0616	27,82%
13	10 mm od baze sloja 9	9	1,3511	1,0535	0,2976	29,9438	30,2414	30,1609	0,0805	27,10%
14	2 mm od baze sloja 10	10	1,1317	1,0418	0,0899	29,9734	30,0633	29,984	0,0793	88,20%
15	10 mm od baze sloja 11	11	1,3408	1,0504	0,2904	29,8264	30,1168	30,0017	0,1151	39,60%
16	28 mm od baze sloja 11	11	1,2349	1,0437	0,1912	29,4972	29,6884	29,6045	0,0839	43,80%
B	20 mm od točke 16	11	1,1504	1,0424	0,108	30,226	30,334	30,271	0,063	58,33%
17	22 mm od baze sloja 12	12	1,14	1,041	0,359	29,0897	29,4487	29,1345	0,3142	87,50%
18	početak sloja 13	13	1,1633	1,0383	0,125	29,7744	29,8994	29,8172	0,0822	65,70%
19	23 mm od baze sloja 14	14	1,2098	1,0535	0,1563	30,1849	30,3412	30,303	0,0382	24,40%
C	110 mm od točke 16	14	1,1019	1,0259	0,076	29,1956	29,2716	29,2134	0,0582	76,57%
D	40 mm od točke 19	14	1,1225	1,0483	0,0742	29,8897	29,9639	29,9374	0,0265	35,71%
20	početak sloja 17	17	1,1785	1,0434	0,1351	29,8854	30,0205	29,9711	0,0494	36,60%
21	8 mm od baze sloja 19	18	1,2308	1,0547	0,1761	30,0835	30,2596	30,1449	0,1147	65,10%
22	5 mm od baze sloja 19	19	1,2024	1,0383	0,1641	29,3937	29,5578	29,4973	0,0605	36,90%
E	60 mm od točke 22	19	1,1315	1,0538	0,0777	29,834	29,9117	29,8478	0,0639	82,24%
23	105 mm od baze sloja 19	19	1,2743	1,0538	0,2205	30,3786	30,5991	30,5412	0,0579	26,30%
24	10 mm od baze sloja 20	20	1,3808	1,0735	0,3073	29,878	30,1853	30,0984	0,0869	28,30%
25	2 mm od baze sloja 21	21	1,2493	1,0642	0,1851	30,3301	30,5152	30,3093	0,2059	28,70%
26	5 mm od baze sloja 22	22	1,2406	1,0373	0,2033	30,4166	30,6199	30,547	0,0729	35,86%
27	14 mm od baze sloja 23	23	1,3604	1,056	0,3044	25,6802	25,9846	25,8488	0,1358	44,60%
28	na početku sloja 24	24	1,3461	1,0462	0,2999	25,6602	25,9592	25,7612	0,1989	66,30%
F	11 mm od točke 28	25	1,3389	1,0491	0,2898	30,3338	30,6236	30,5003	0,1233	42,55%
H	20 mm od točke 28	26	1,2708	1,0467	0,2241	29,9126	30,1366	30,0291	0,1075	47,97%
29	23 mm od početka sloja	27	1,2155	1,0533	0,1622	25,2889	25,4511	25,3768	0,0743	45,80%
I	32 mm od točke 29	27	1,1765	1,0376	0,1389	30,4603	30,5992	30,5534	0,0458	32,90%
30	5 mm od baze sloja 28	28	1,3384	1,044	0,2944	25,5194	25,8138	25,6742	0,1396	47,40%

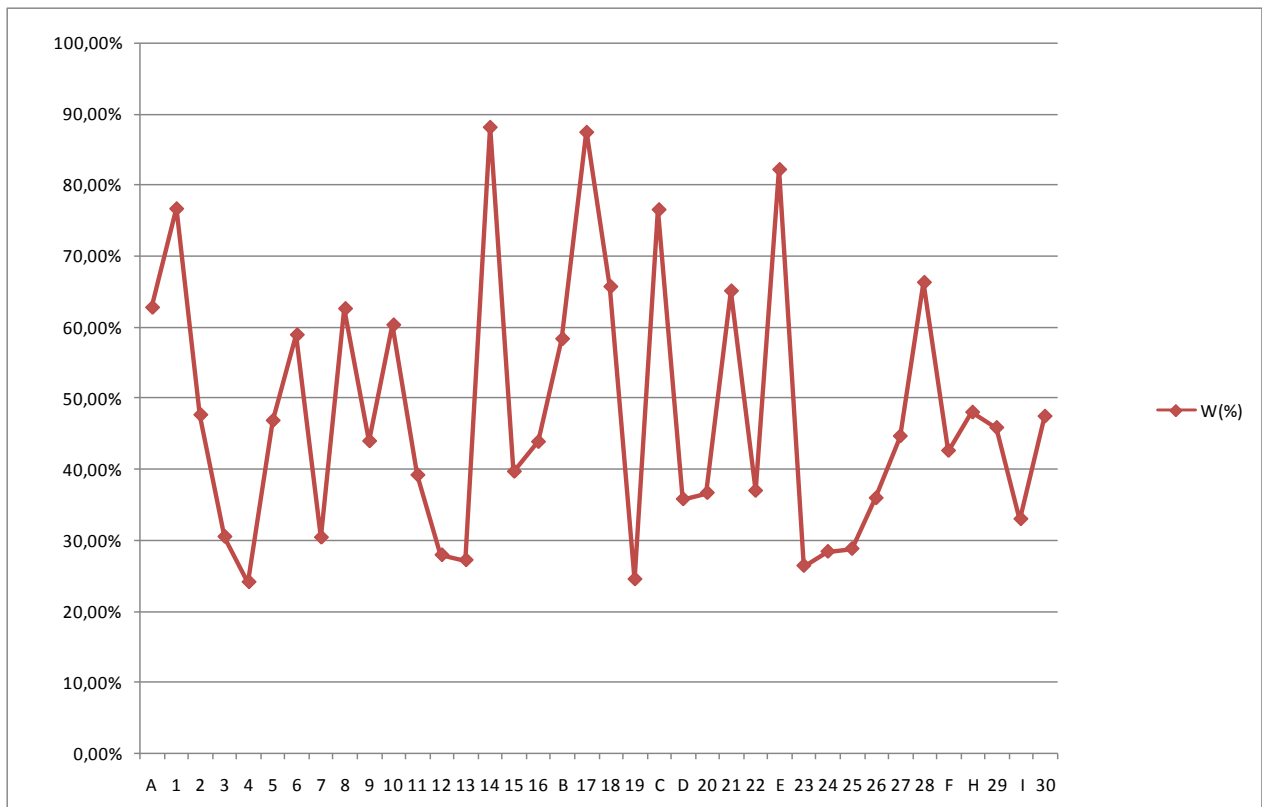
**Tablica 11.** Vrijednosti udjela organske tvari u smeđim laminama jezgre Ž-5

<b>Smeđe lamine</b>	<b>W(%)</b>
19	24,40%
23	26,30%
3	30,40%
I	32,90%
D	35,71%
22	36,90%
11	39,10%
F	42,55%
16	43,80%
9	43,90%
27	44,60%
29	45,80%
5	46,80%
2	47,60%
B	58,33%
6	58,90%
10	60,30%
8	62,60%
A	62,76%
21	65,10%
C	76,57%
1	76,70%
E	82,24%
17	87,50%
14	88,20%

**Tablica 12.** Vrijednosti udjela organske tvari u sivim laminama jezgre Ž-5.

<b>Sive lamine</b>	<b>W(%)</b>
4	24%
13	27,10%
12	27,82%
24	28,30%
25	28,70%
7	30,30%
26	35,86%
20	36,60%
15	39,60%
30	47,40%
H	47,90%
18	65,70%
28	66,30%





**Slika 10.** Promjena masenog udjela organske tvari u laminama istražene jezgre, Ždrilo 5. Starije lamine su niži brojevi (oznake prikazane na ordinati).

**Tablica 13.** Tablični prikaz rezultata dobivenih metodom određivanja količine organske tvari u sedimentu u jezgri Ždrilo 6.

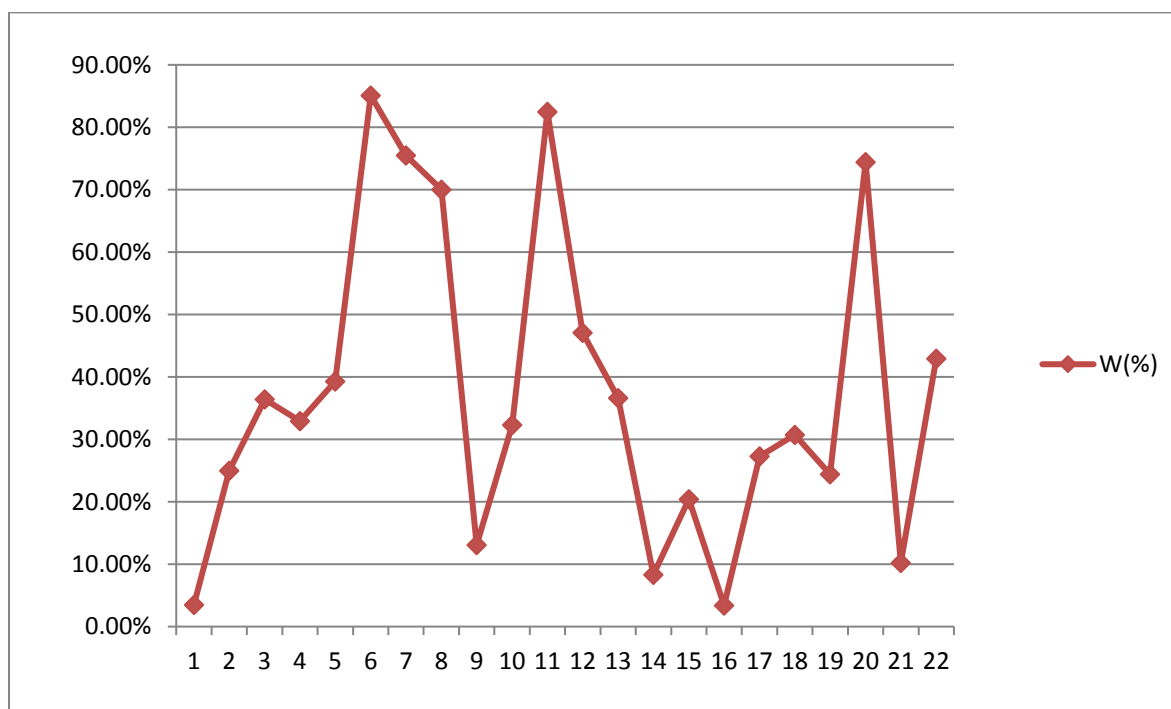
Uzorak	Pozicija	Lamina	m(uzorak+vrećica)	m(vrećica)	m (uzorka)	m (epruveta+vodena otopina)	m (epruveta+vod.ot.+uzorak)	m (nakon stajanja 1h)	Razlika u masi epruveti	Udio organske tvari
1	početak sloja	1	1,4898	1,0587	0,4311	30,9633	31,3944	31,3793	0,0151	3,50%
2	početak sloja	2	2,357	2,1075	0,2495	30,2804	30,5299	30,4677	0,0622	24,95%
3	97 mm od baze jezgre	3	1,2257	1,0494	0,1763	30,2797	30,456	30,3918	0,0642	36,40%
4	120 mm od baze jezgre	3	1,2066	1,0406	0,166	30,3712	30,5372	30,4826	0,0546	32,90%
5	135 mm od baze jezgre	5	1,2675	1,0381	0,2294	30,0592	30,2886	30,1985	0,0901	39,30%
6	140 mm od baze jezgre	6	1,1464	1,0361	0,1103	30,0543	30,1646	30,0707	0,0939	85,10%
7	152 mm od baze jezgre	7	2,2804	2,1248	0,1556	29,0082	29,1638	20,0464	0,1245	75,50%
8	165 mm od baze jezgre	8	1,1875	1,0358	0,1517	29,819	29,9707	29,8644	0,1063	70%
9	180 mm od baze jezgre	9	1,123	1,0437	0,0793	29,4328	29,5121	29,5017	0,0104	13,10%
10	270 mm od baze jezgre	10	1,2123	1,0442	0,1681	30,1064	30,2745	30,2202	0,0543	32,30%
11	8 mm od početka sloja 11	11	2,2813	2,14	0,1413	29,9789	30,1202	30,0038	0,1164	82,45%
12	Sloj 12	12	1,1365	1,032	0,1045	30,4359	30,5404	30,4912	0,04912	47,10%
13	8 mm od baze sloja 13	13	1,2793	1,0506	0,2287	30,5402	30,7689	30,6851	0,0838	36,60%
14	10 mm od baze sloja 14	14	1,1596	1,0366	0,123	29,2481	30,3711	30,3609	0,0102	8,32%
15	uništeni smeđi sloj	15	1,1033	1,0638	0,0395	29,6306	30,6701	30,4584	0,2117	20,40%
16	sredina sloja 20	20	1,4206	1,0511	0,3695	30,6023	30,9718	30,9593	0,0125	3,40%
17	24 mm od točke 16	17	2,2714	2,0755	0,1959	29,6195	29,8154	29,7619	0,0535	27,30%
18	10 mm od točke 17	18	1,2468	1,0377	0,2091	30,0375	30,2466	30,1825	0,0641	30,70%
19	34 mm od točke 18	19	1,5706	1,0589	0,5117	29,8147	30,3264	30,2015	0,1249	24,40%
20	55 mm od kraja jezgre	20	1,205	1,0604	0,1446	30,1424	30,287	30,1794	0,1076	74,40%
21	30 mm od kraja jezgre	21	1,4168	1,0532	0,3636	25,6638	26,0274	25,9903	0,0371	10,20%
22	Iznad baze sloja 13	Između 13 i 14	1,3008	1,0461	0,2547	25,0828	25,3375	25,2281	0,1094	42,90%

**Tablica 14.** Vrijednosti udjela organske tvari u smeđim laminama jezgre Ž-6

Smeđe lamine	W(%)
15	24,40%
2	24,95%
17	27,30%
18	30,70%
10	32,30%
4	32,90%
22	42,90%
12	47,10%
8	70%
20	74,40%
7	75,50%
11	82,45%
6	85,10%

**Tablica 15.** Vrijednosti udjela organske tvari u sivim laminama jezgre Ž-6.

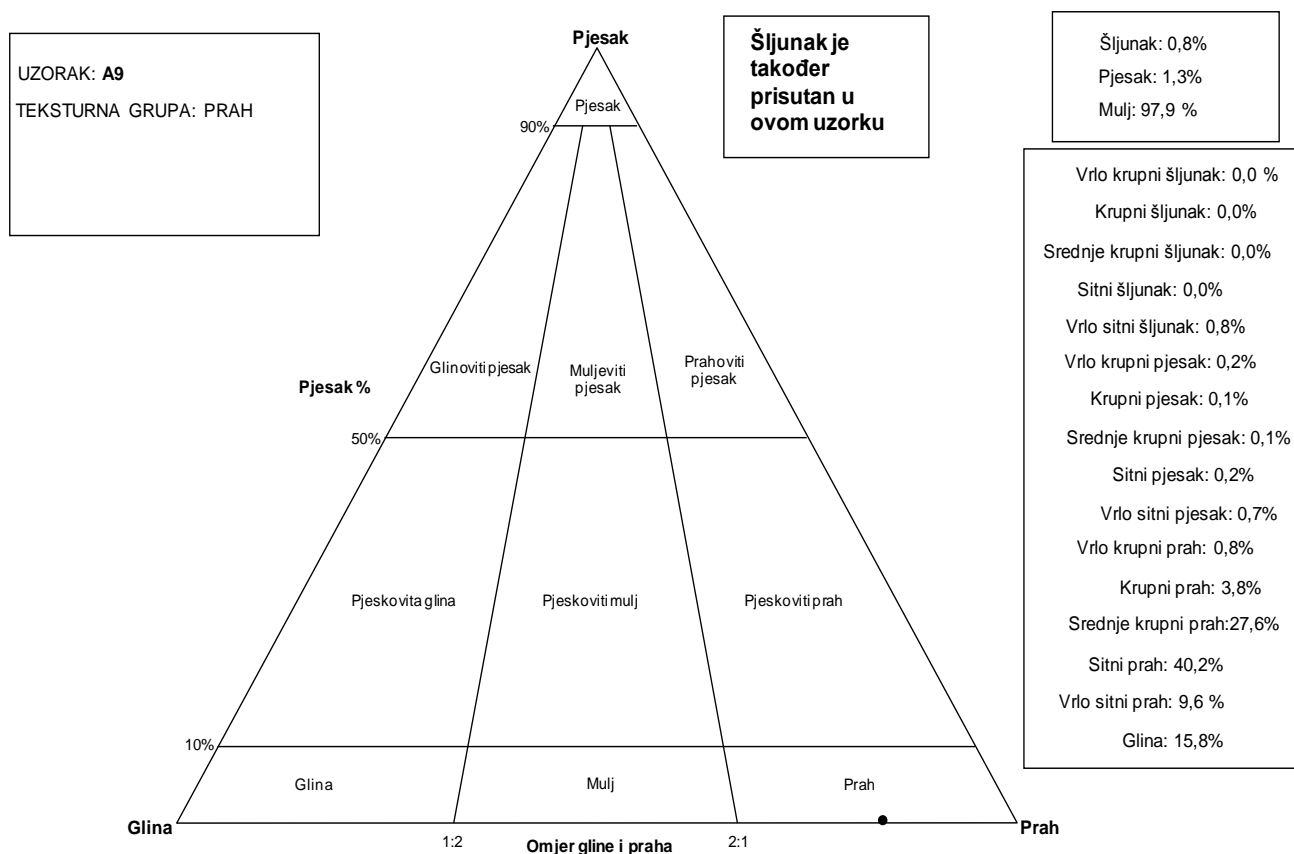
Sive lamine	W(%)
16	3,40%
1	3,50%
14	8,32%
21	10,20%
9	13,10%
19	24,40%
3	36,40%
13	36,60%
5	39,30%



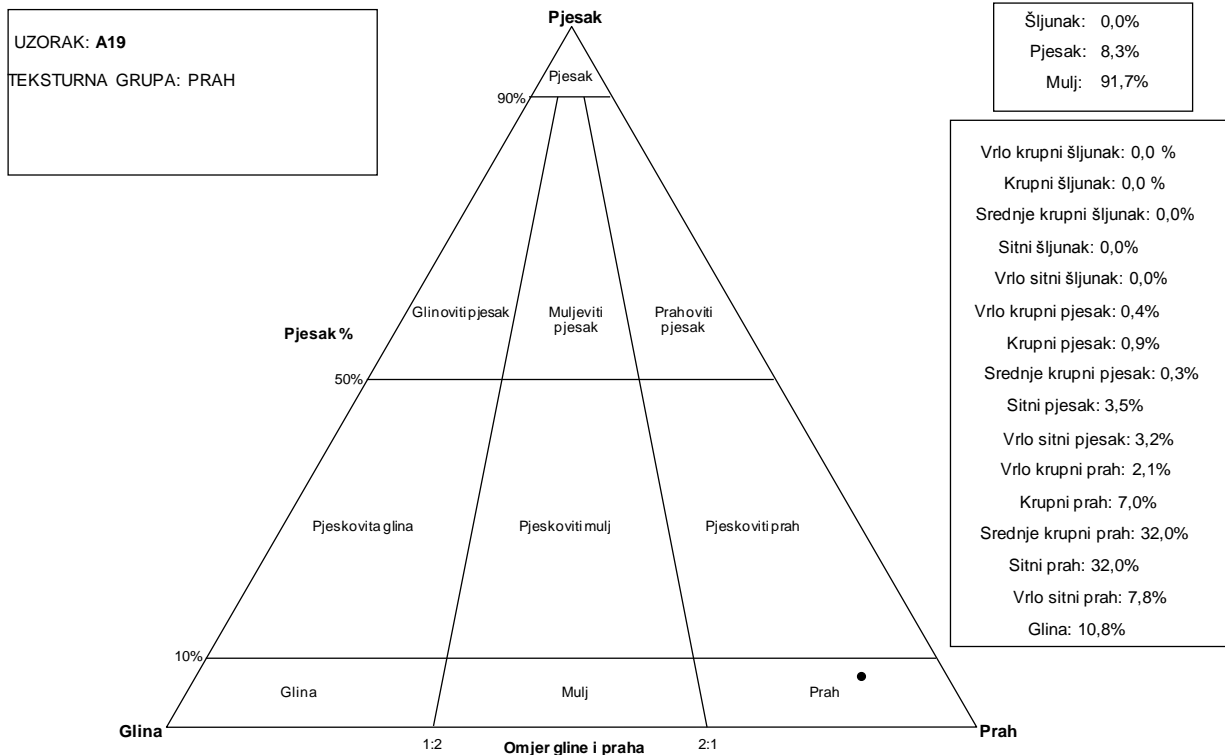
**Slika 11.** Promjena masenog udjela organske tvari u laminama istražene jezgre, Ždrilo 6. Starije lamine su niži brojevi (oznake prikazane na ordinati).

Uzorci A-9, A-19 i A-24 uzeti su iz jezgre Ždrilo-A za potrebe granulometrijske analize (slike 12, 13 i 14). Odabrani su uzorci koji se vizualno razlikuju po boji. Analiza je pokazala da navedeni uzorci spadaju u klasu vrlo finog silta, glinovitog vrlo finog silta i gline, s tim da uzorak A-19 ima podjednak udio sitnog praha i srednje krupnog praha, u trokomponentnom dijagramu mulj-pijesak-šljunak.

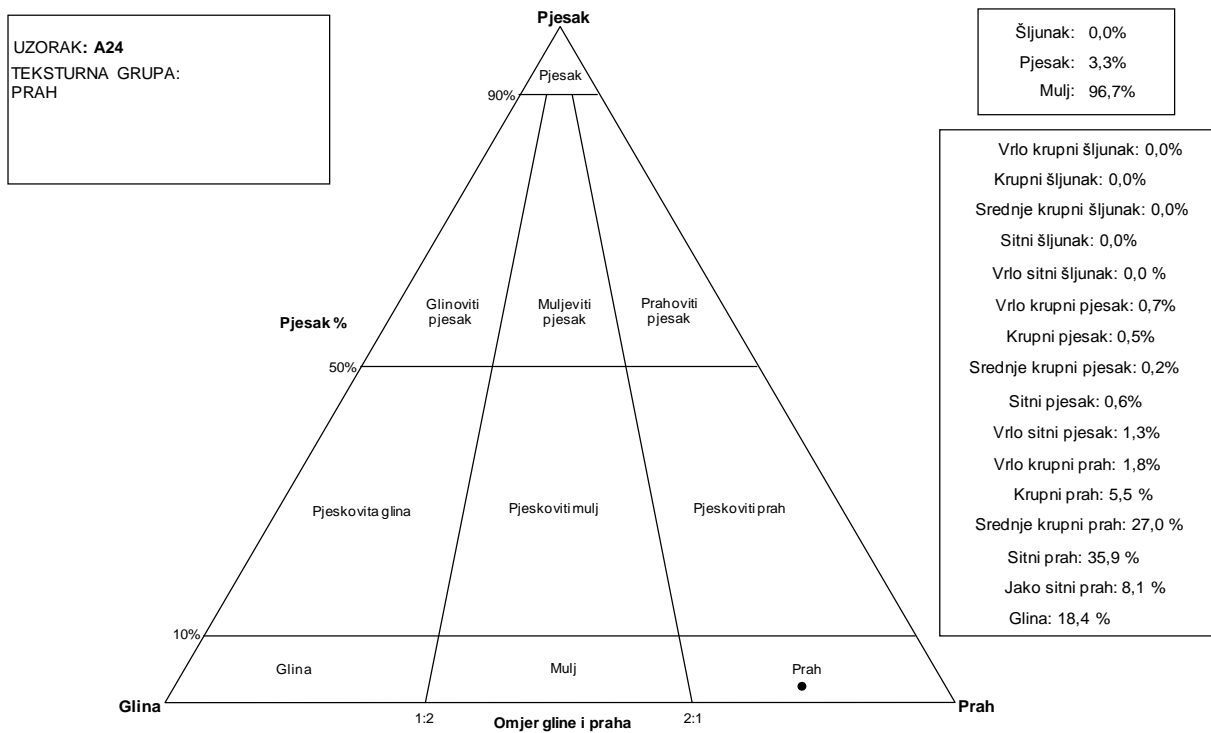
Uzorak A-9 uzela sam na 19 cm od baze, u lamini 9, čiju boju sam odredila po Munsellu (1991) kao 10Y7/4. Uzorak A-19 uzela sam na 33 cm od baze, na početku sloja 19, boje 5Y7/6. Uzorak A-24 uzela sam na 38 cm od baze jezgre, iz sloja 24, boje 10Y7/4. Rezultati dobiveni metodom granulometrije prikazani su u sljedećim dijagramima (slika 12,13 i 14). Uzorak A-24 sam odabrala za analizu zbog izrazito sive boje, analiza je pokazala da taj uzorak ima najveći udio gline 18,4%.



Slika 12. Trokomponentni dijagram za uzorak A-9.



Slika 13. Trokomponentni dijagram za uzorak A-19.



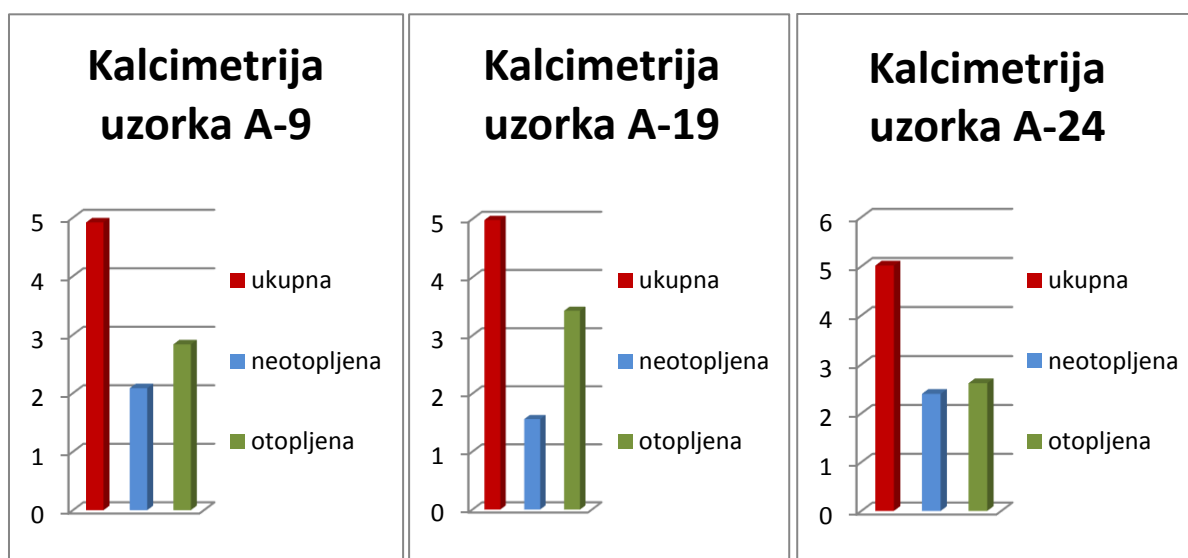
Slika 14. Trokomponentni dijagram za uzorak A-24.

Rezultati određivanja udjela karbonata u sedimentu (kalcimetrija) prikazani su u tablici 16, a grafički prikaz otopljene i neotopljene komponente na slici 15.

Uzorke za potrebe određivanja udjela karbonata u sedimentu sam uzela iz istih lamina kao i u prethodnoj metodi. A-9 iz lamine 9, boje 10Y7/4, A-19 iz lamine 19, boje 5Y7/6 i A-24 iz lamine 24, boje 10Y7/4.

**Tablica 16.** Tablični prikaz rezultata dobivenih metodom određivanja udjela karbonata u sedimentu (kalcimetrije).

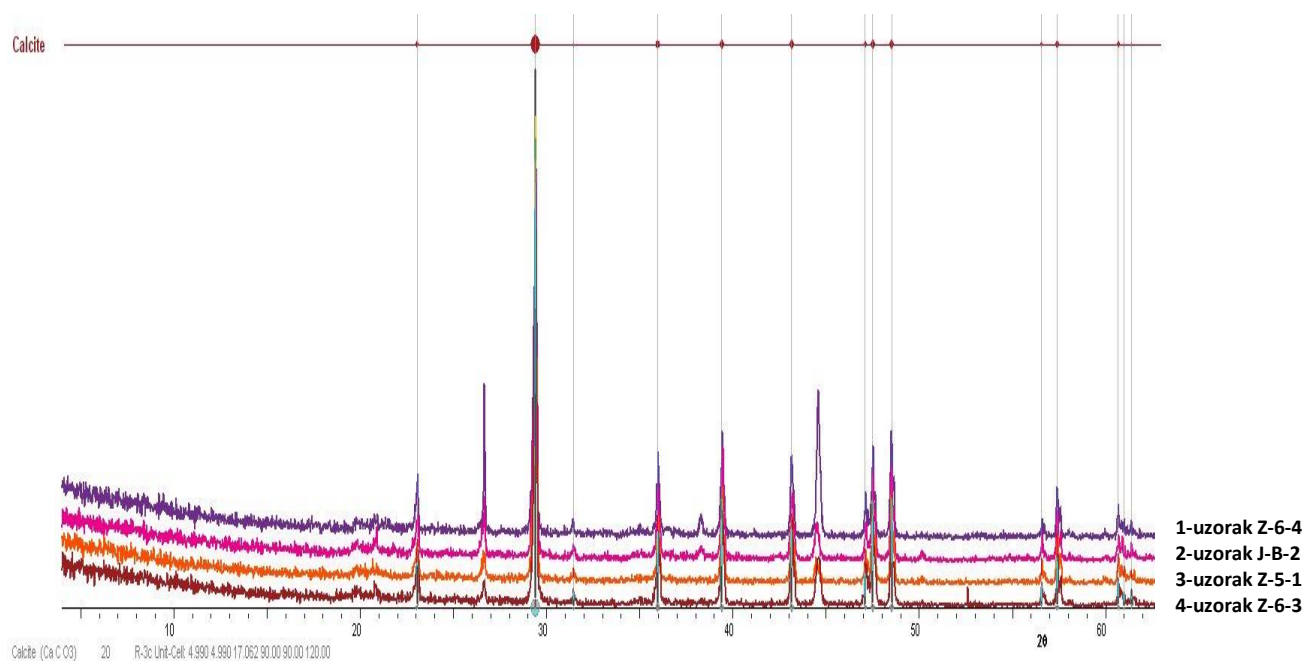
Sloj	m (čaša)	m (čaša+uzorak)	m(uzorka)	m(filter papira)	m(filter papir+talog)	m(netopivog ostatka)	m(otopljenog)	Postotak otopljenosti (%)
9	1,9681	6,8868	4,9187	1,6563	3,7408	2,0845	2,8342	57,60%
19	1,9897	6,9729	4,9832	1,5777	3,1373	1,5596	3,4236	68,70%
24	1,9569	6,9735	5,0166	1,5184	3,9173	2,3989	2,6177	52,18%



**Slika 15.** Udjeli u gramima otopljene i neotopljene komponente u uzorcima A-9, A-19 i A-24.

Uzorak Z-6-4 sam uzela iz jezgre Ždrilo 6, u izrazito smeđem sloju-18, koji se nalazi između sivog sloja-17 i svijetlo smeđeg sloja-19. Uzorak J-b-2 uzela sam iz sloja-26 u jezgri B, 37 cm od početka jezgre. Uzorak Z-5-1 uzela sam iz jezgre Ždrilo 5, iz sloja-15, 48 cm od početka jezgre. Uzorak Z-6-3 sam, kao i uzorak Z-6-4, uzela iz jezgre Ždrilo 6, iz sloja-25








koji je izrazito sive boje. Uzorci Z-6-3 i Z-6-4 su namjerno uzeti zbog očite razlike u boji kako bi se uvidjela veza između boje i rezultata rendgenske analize. Pokazalo se da je upravo između ta dva uzorka najvidljivija razlika u količini silikata. Od svih uzetih uzoraka Z-6-4 ih ima najviše, a Z-6-3 najmanje.



**Slika 16.** Prikaz rezultata određivanja sastava sedimena metodom rendgenske difrakcije na prahu rendgenogramom analiziranih uzoraka: 1 – uzorak Z-6-4; 2 – uzorak J-B-2; 3 – uzorak Z-5-1; 4 – uzorak Z-6-3.

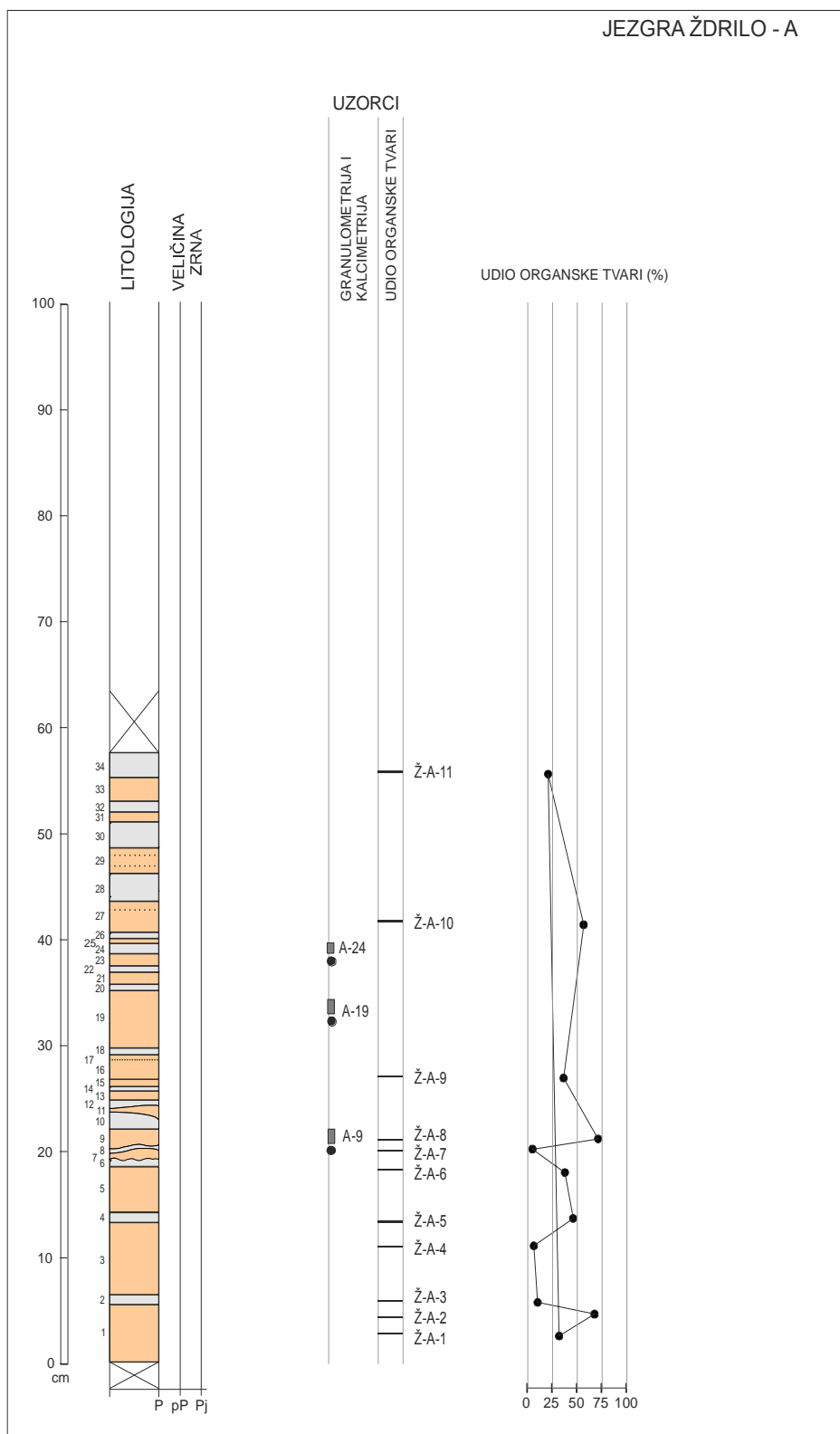
Iz rendgenograma je vidljivo (slika 16) da svi uzorci pretežito sadrže kalcit te malo silikata i željeza, a međusobno se razlikuju po udjelu silikata i željeza. Najviše silikata ima uzorak Z-6-4, zatim redom J-b-2, Z-5-1 i Z-6-3. Najviše željeza ima Z-6-4 potom Z-6-3, J-B-2 te najmanje Z-5-1.

Rezultati svih analize korelirani su sa sedimentološkim stupovima i bojama prema Munsellu (1991) (slika 18, 19, 20 i 21).

LEGENDA	
	P = fini prah pP = malo pjeskoviti fini prah Pj = pijesak
	paralelna laminacija
	bioturbacije
	nejasna bioturbacija
	Ž-B-9 nivo uzorka i broj
	A-24 interval uzorka i broj
	A-5 mjesto bušenja i broj uzorka

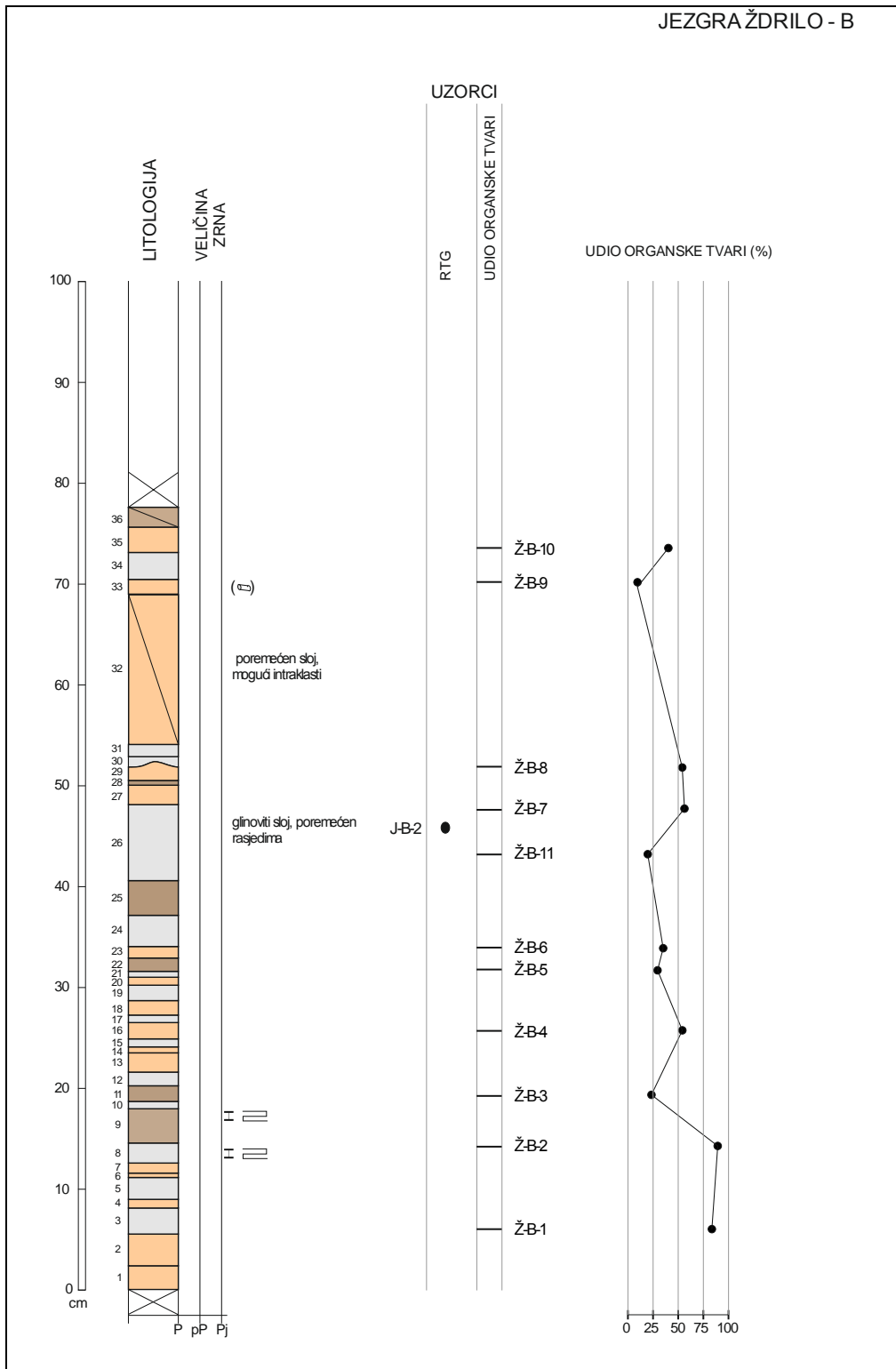
Slika 17. Legenda



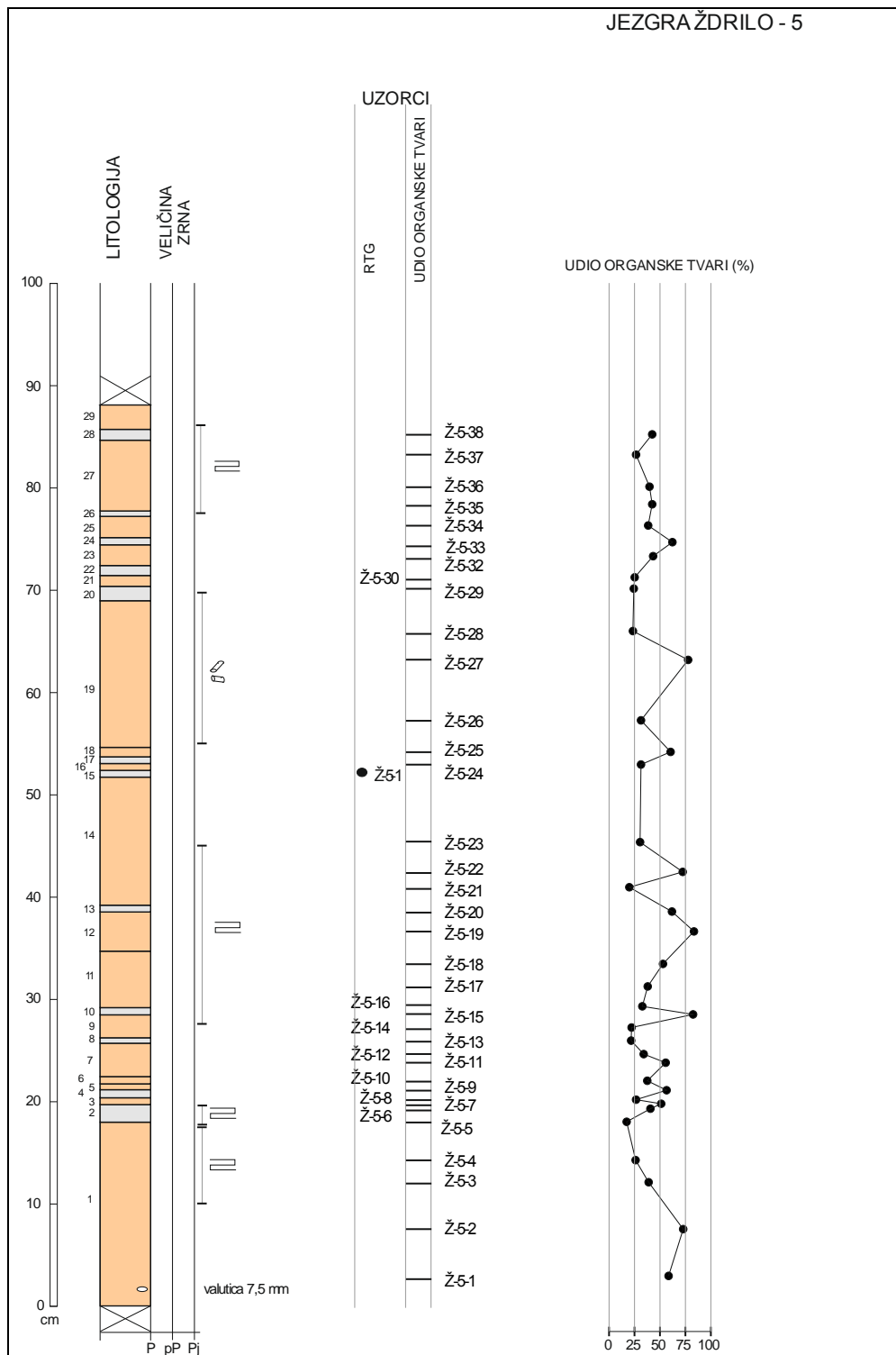


Slika 18. Sedimentološki stup jezgre Ž-A

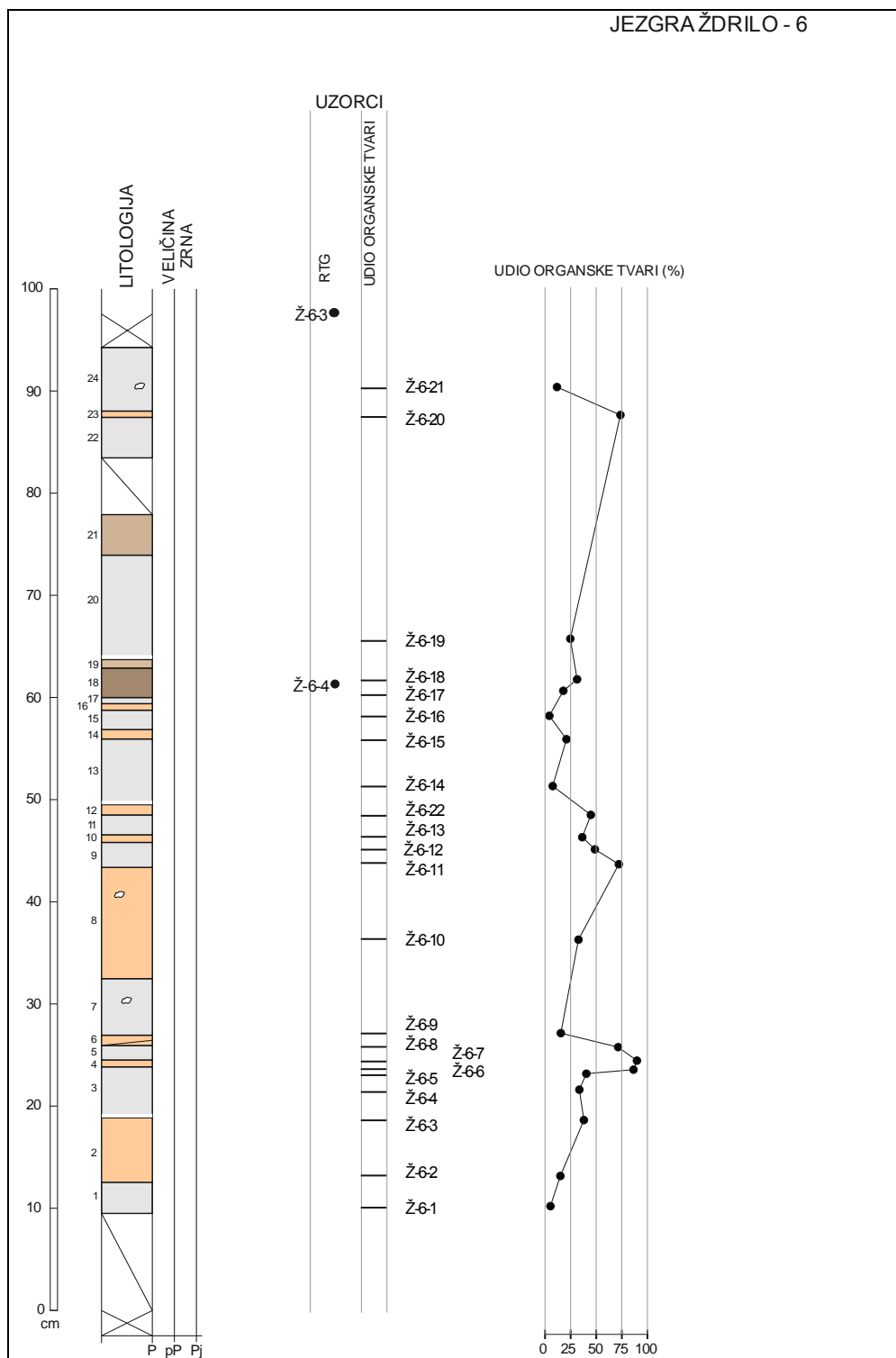
JEZGRA ŽDRILO - B



Slika 19. Sedimentološki stup jezgre Ž-B



Slika 20. Sedimentološki stup jezgre Ž-5



Slika 21. Sedimentološki stup jezgre Ž-6

### 5.1.1. Varviti

Jezgre iz jezerskih sedimenata na lokalitetu Ždrilo uzete su na različitim mjestima i nisu u povezanoj vertikalnoj sukcesiji. Temeljem karakteristika sedimenata nije bila moguća niti horizontalna korelacije. Analizirano je ukupno 3,5 m jezgre. Sediment se sastoji od cikličke izmjene lamina ili tankih slojeva vrlo finog silta, glinovitog vrlo finog silta i gline (slika 22).

Boje određene prema Munsellu (1991), debljina i boja pojedinih lamina odnosno slojeva prikazani su po tablicama u poglavlju Rezultati i na sedimentološkim stupovima (slika 18,19,20 i 21).

Prema definiciji varve se sastoje od blijedih, krupnozrnatih baznih lamina i tamnijih sitnozrnatih (glinovitih), vršnih lamina (Zolitschka, 2003). Dakle, varve sadrže minimalno dvije sezonske lamine s jasno kontrastnim bojama, sastavom, teksturom, strukturom te debljinom.

Izmjena gline i mulja do vrlo sitnozrnatih pješčanih lamina definirana je kao varve gline i mulja ili varviti. Glina-mulj varvni sedimenti koji su tek u preliminarnoj fazi istraživanja, pojavljuju se na dionici Ždrilo, uvala Poljice. Varviti su semikonsolidirane naslage, a sastoje se svijetlih do tamno smeđih siltnih lamina u izmjeni sa bijelim do svjetlo sivim glinovitim laminama.

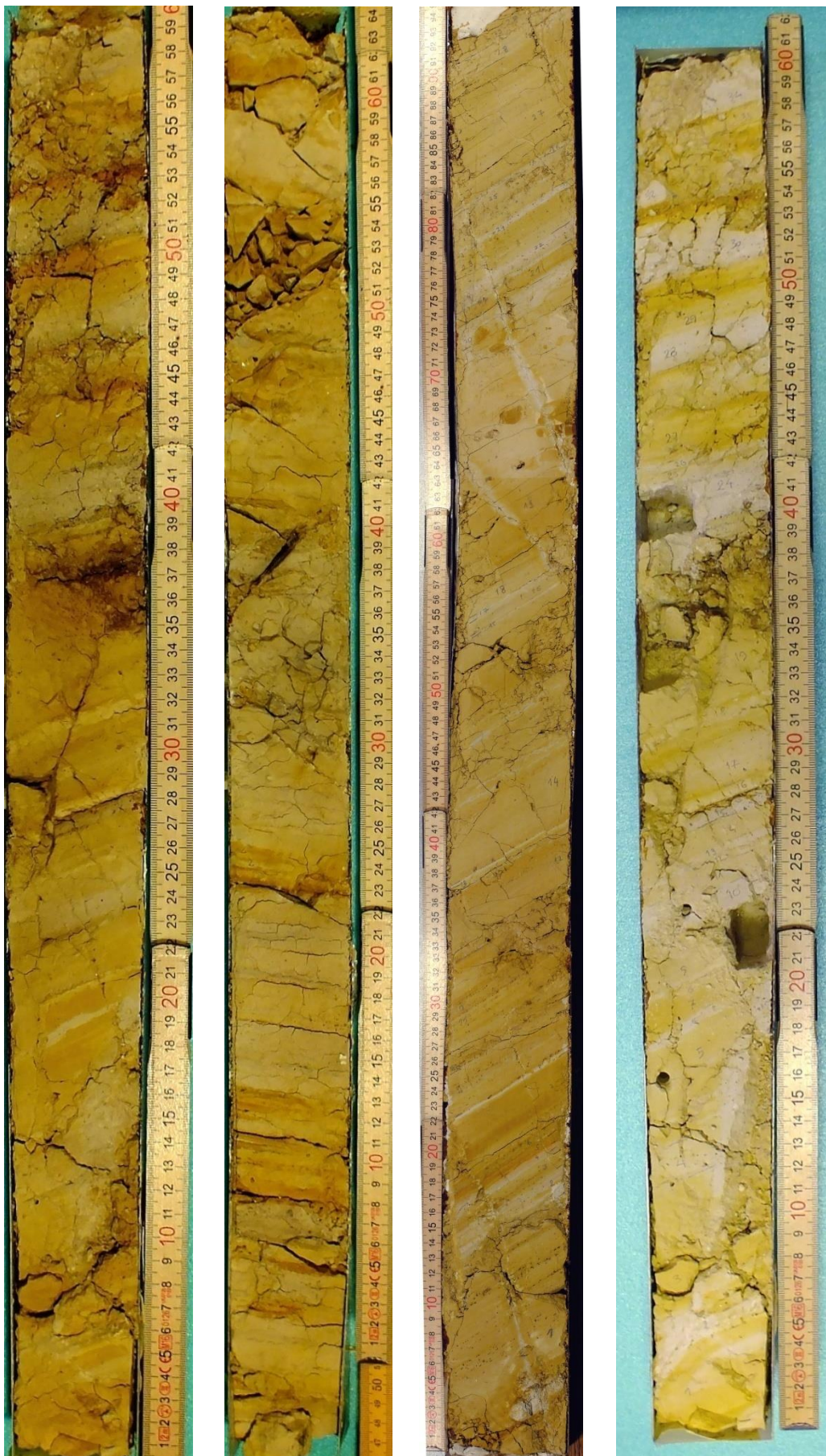
Jezerski sedimenti na istraživanom lokalitetu su izvrsno laminirani, a izgrađeni su od lamina silta i gline. Boja lamina varira od blijedo smeđe, tamno smeđe i hrđavo smeđe do bijele, svijetlo sive i tamnije sive.

U istraživanim jezgrama svijetlo i tamno smeđe siltne lamine su u izmjeni sa svijetlosivim glinovitim laminama. Granice između siltnih i glinovitih lamina su oštre, ponekad s malenim strukturama, ponekad označene erozijskim površinama ili bioturbacijom. Lamine su u većini slučajeva dodatno diferencirane, što može podrazumijevati promjenu u dotoku sedimenta tijekom njihovog taloženja

Par silt/glina se formira kad otopljena voda iz leda bogata sedimentom ulazi u stratificirano jezero. Krupnije frakcije sedimenta, poput silta, talože se iz suspenzije, ali sitnije čestice poput gline ostaju u epilimnionu. Krupnije lamine predstavljaju period stratifikacije, a finije lamine nestratificiran period (O'Sullivan 1983). Proglacijalna jezera u pravilu imaju velike fluktuacije u priljevu materijala i uglavnom razvijaju stratificiranu vodenu masu koja razlikuje ovaj tip jezera od drugih (Gustavson 1975).

Stratifikacija je geološki važna, jer kontrolira cirkulaciju vode i sedimentaciju u jezeru i na taj način utječe na strukturu jezerskih naslaga. Na stratifikaciju vodene mase u proglacijalnim jezerima primarno utječe blizina ledenjaka i gustoća vode. Način na koji voda utječe, miješa se te u kakvoj je interakciji s jezerskom vodom utječe na transport i taloženje sedimenta u jezerskom bazenu. Miješanje je određeno gustoćom jezerske i riječne vode. Na gustoću vode utječu suspendirani sediment i salinitet. Temperatura i gustoća vode su u najvećem odnosu kad je voda na temperaturi od 4°C. Iznad ove temperature gustoća vode opada. Toplija voda manje gustoće je na površini jezera, zvana epilimnion, tranzicijska zona je metalimnion, a hladnija voda, veće gustoće se nalazi pri dnu, zvana hipolimnion. Dimiktična jezera su najčešći tip termalne stratifikacije u alpskim jezerima. Dimiktična jezera cirkuliraju dvaput godišnje ( proljeće i jesen), te imaju snažnu stratifikaciju tokom ljeta i slabu stratifikaciju tokom zime, kad su mnoga jezera pokrivena ledom.

Granice između silta i gline su oštre, ponekad obilježene erozijskim površinama ili bioturbacijama. Varviti lokaliteta Ždrilo taloženi su u okolini proglacijalnog jezera, što je vidljivo iz dropstona pronađenih u varvnim siltovima na dionici Seline (proksimalni dio paleojezera). Svjetlo obojene lamine predstavljaju zimske sezone kada je jezero bilo zamrznuto, a unos sedimenta nizak (samo glina). Tamnije lamele predstavljaju ljetne sezone kada je donos mulj i pijesak znatno veći zbog topljenja leda i padalina. Varijabilnost debljine i svijetlih i tamnijih lamina te njihova složenost, može ukazivati na dulje ili kraće zime, te vlažnija i sušna ljeta (Marjanac et al., 2014).



Slika 22. Jezgre Ž-A, Ž-B, Ž-5 i jezgra Ž-A slikana nakon uzorkovanja (s lijeva u desno).

## 5.2. Geneza sedimenta

Svi tipovi godišnje laminiranih sedimenata odnosno varve, imaju sličnu strukturu, a sastoje se od minimalno dva sloja sedimenta koje zovemo laminama koje pak karakterizira različita kompozicija, tekstura, struktura i debljina, a predstavljaju određene periode ili događaje tokom taloženja (Zolitschka, 2003). Razlikuju se vizualno ili mikroskopski.

Rezultat su sezonskih klimatskih varijacija koje upravljaju biološkom produktivnosti u jezeru. Nisu rezultat kontinuiranog, sporog taloženja čestica, već su rezultat sukcesije taložnih događaja uzrokovanih događajima poput otapanja leda, kiše ili cvjetanja algi (Stockhecke et al., 2012).

Idealno jezero za nastanak varvi je duboko usječeno u slivno područje, okruženo povišenim terenom i šumom, što sprječava miješanje uslijed vjetra. Najčešće su u dubokim, zaštićenim od vjetra, eutrofnim jezerima. Od lakustričnih varvi postoje tri različita tipa koja se razlikuju po sastavu; klastične, organske i evaporitne varve (Zolitschka, 2003). Svaki tip je karakterističan za određene okolišne uvjete u jezeru i području sliva tokom vremena taloženja.

Klastične varve dominiraju u hladnijim uvjetima, poput današnjih polarnih i alpskih regija i tipične su za proglacijalna i periglacijalna jezera (Zolitschka, 2015). Intenzivno fizičko trošenje i slabija vegetacija pogodni su za eroziju, a nastali detritus se zatim transportira u jezero. Transport sedimenta u ovakvim uvjetima usko je vezan za godišnje cikluse smrzavanja i otapanja tla te otapanje snijega (Hardy et al., 1996). Formiraju se uglavnom u dimiktičnim ili monomiktičnim jezerima s donosom sedimenta koji nije kontinuiran tokom sezone stratifikacije jezera (Strum 1979, Bradley 1999).

Veće čestice talože se na ulazu u jezero tvoreći jezerske delte, dok sitnije čestice poput finog silta i gline ostaju u suspenziji do zaleđivanja površine jezera, kada se turbulencija smiruje što omogućuje taloženje iz suspenzije (Zolitschka, 2015). Ovakve varve se pronalaze u alpskim jezerima gdje otopljena voda donosi veliku količinu sedimenta u bazen. Siltne lamine se talože tokom sezone visoke energije i otapanja leda, dok se lamine gline talože tokom zime, gdje su prisutni niskoenergetski uvjeti zbog pokrivenosti ledom (Leonard 1997). Ritmičnost varvi ovisi o sezonskom donosu sedimenta u jezero. Općenito, turbidni tokovi se pojavljuju tijekom sezonskih tokova u jezero, no može doći i do turbidnih tokova tijekom slampiranja ili tek povremeno povećanih protoka rijeke. Ovakvi događaji mogu brzo transportirati velike količine sedimenta, te se formiraju „pseudovarve“ (Ashley et al. 1985).



Ovakvi slojevi izgledaju kao obične, godišnje varve, no zapravo predstavljaju samo jedan događaj u godišnjem ciklusu formacije varvi.

Navedene teoretske činjenice sam uočila i u praktičnom dijelu rada, tijekom terenskih istraživanja lokaliteta Ždrilo (slike 1 i 2) koji je je specifičan upravo zbog fosilifernih sedimenata glaciolakustrijskog porijekla. Sukladno tome pretpostavila sam da je i na lokalitetu Ždrilo riječ o klastičnim varvama.

Glaciolakustrijski sedimenti su sastavljeni od lamina gline i silta koje, naizmjenično izmjenjujući se, tvore varvitni litofacijes. Varve nam ukazuju na lokalne klimatske varijacije tijekom izmjene godišnjih doba. Jedan godišnji ciklus predstavlja jedna tamnija ljetna lamina i jedna svjetlija zimska lamina. Lamine silta su manje debljine, dok su glinene lamine deblje. To nam ukazuje na duljinu trajanja godišnjeg doba i varijaciju donosa i taloženja sedimenata. Zimske lamine su nastale nakon što se površina jezera smrznula te se donos sedimenata i uzburkanost vodenog stupca smanjila pa se više taložila sitnozrnata glina. Ljetne lamine su nastale prilikom većeg donosa sedimenata i energije vode. U varvitu su pronađeni ledenjački utrusci (eng. *dropstone*) koji ukazuju na postojanje proglacijalnog lakustrinskog okoliša (slika 23).

Na granicama taloženja ljetnih i zimskih obično se pronađu makrofosili, iznimno vrijedni ukazatelji paleoekoloških uvjeta. Pronašla sam i fotografirala fosilno lišće, a riječ je o *Taxodium* sp. (slika 24).



**Slika 23.** Dropstone



**Slika 24.** Fosilni list

### **5.2.1. Paleokoliš i interpretacija paleoklime**

Slijed jezerskih sedimenata omogućuje rekonstrukciju dinamike jezera i može pružiti podatke o ranopleistocenskim klimatskim promjenama. Distalni lakustrinski sediment ponajprije varve daju uvid u godišnje ili sezonske izmjene klimatskih prilika. Nastanak varvi u jezerskom sedimentu ovisi prvenstveno o klimatskim uvjetima poput varijacije u temperaturi i precipitaciji. Za nastanak varvi ključna je i termalna stratificiranost jezera.

Na području južnog Velebitskog kanala na lokalitetima Seline te u dvjema uvalama na lokalitetu Ždrilo, Adžić je analizirala jezerske sedimente koji sadrže fosilnu floru i faunu. Zaključila je po strukturi sedimenta da se jezero periodički smrzavalo i odmrzavalo prilikom čega su se taložile varve. Prepoznala je jednostavne varve i one kompleksnije koje se sastoje od dodatnih laminacija što ukazuje na varijacije u donosu sedimenta.

Na lokalitetu Ždrilo na granici svijetlih i tamnih lamina (silta i gline) pronašla je mnogobrojno i dobro očuvano fosilno lišće većinom u kategoriji mikrofila, zajedno s ljušturama ostrakoda i ledenjačkim utruscima.

Adžić (2012) je zaključila da bi se prema tome fosilna vegetacija istraživanog područja trebala promatrati u kontekstu ledenjačkog okoliša u zaleđu jezera. Na lokalitetima Seline i Ždrilo pronašla je 79 primjeraka fosilnog lišća. Analizom prikupljenog fosilnog materijala određeno je 15 dendroloških svojti, razvrstanih u 9 porodica, od čega jedna porodica pripada golosjemenjačama, a ostalih osam kritosjemenjačama. Najčešći su primjerci fosilnog lišća taksodija, zatim hrasta i zelkove. Lakustrinski sedimenti lokaliteta Ždrilo obiluju lišćem *Taxodium* sp., sljedeći najzastupljeniji su *Quercus* sp. i *Zelkova* sp. (Adžić, 2012). Taksodij je jedna od rijetkih četinjača koje se mogu vegetativno razmnožavati, a to je uz snažno ukorijenjivanje i otpornost na jake vjetrove te toleranciju niskih temperatura, mogla biti prednost za opstanak u ledenjačkom okolišu.

Fosilni nalazi i sedimenti pleistocenskih proglacijalnih jezera imaju veliku važnost u rekonstrukciji paleoklime u sjevernoj Dalmaciji i kod istraživanja opsega glacijacije u srednjoj Europi. Nalazi na lokalitetima Ždrilo i Seline mogu doprinijeti boljem razumijevanju odgovora biljne zajednice na glacijacije i hladniju klimu.

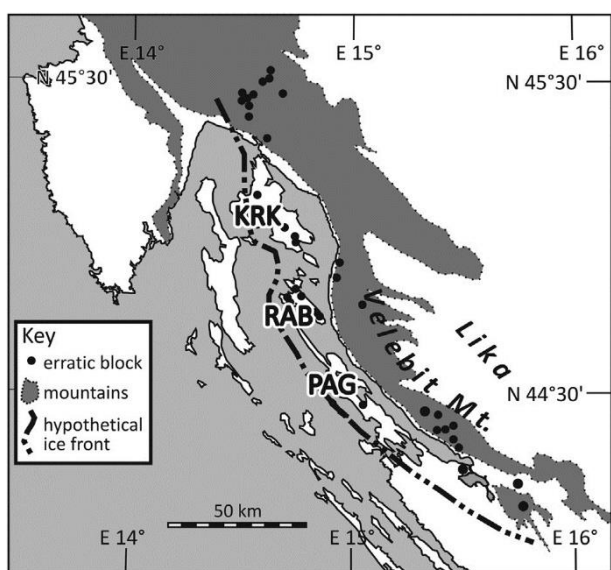
Na osnovu fizičkih svojstava sedimenta i temperaturnih raspona koje opisane svojte podnose, klima je interpretirana kao hladnija umjerena, nalik onoj u priobalnom dijelu današnje Južne Aljaske (Adžić, 2012).

Obradom sedimenta, pogotovo nakon određivanja srednje vrijednosti udjela organske tvari u svakoj od istraženih jezgara (raspon od 37,33 % do 48,04 %) i sama sam zaključila da se većinsko taloženje lamina odvijalo u hladnijem periodu sa smanjenom bioprodukcijom.

## 6. Diskusija

Novija istraživanja pokazala su da je doseg dinaridskih ledenjaka bio puno niže od vršne zone južnog Velebita (slika 25), pa tako prema interpretaciji seže sve do 50 m ispod današnje razine mora (Marjanac, 2012; Marjanac&Marjanac, 2017). To odgovara interpretaciji promatranog paleojezera kao proglacijalnog jezera koje je povremeno bilo u kontaktu s ledom.

Ledenjaci koji su napredovali su se proširili preko južnog Velebita i jezera i deformirali distalne jezerske sedimente u Ždrilu. Preliminarni podaci ukazuju na to da su ledenjaci prolazili barem 2 km jugoistočno od Ždrila.



Slika 25. Doseg oledbe hrvatskih Dinarida (preuzeto iz Marjanac&Marjanac, 2016).

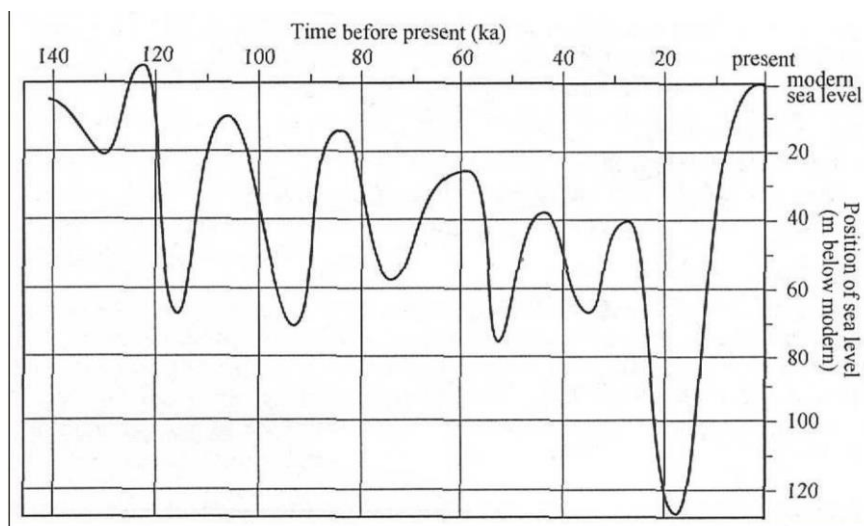
### 6.1. Klima, promjene razine mora i paleogeografija u pleistocenu

Pleistocen se dijeli na rani, srednji i kasni. Karakterizira ga izmjena glacijala i interglacijala. Rani pleistocen počeo je prije 2.58 milijuna godina i trajao do prije 800.000 godina, a prema Alpskoj podjeli obuhvaća glacijal Gunz, interglacijal Gunz - Mindel i glacijal Mindel. Srednji pleistocen počeo je prije 800.000 godina, a trajao do prije 100.000 godina,

obuhvaća interglacijal Mindel - Riss te glacijal Riss. Mlađi pleistocen počeo je prije 100.000 godina i trajao do prije 11.700 godina (Cohen i Gibbard 2011).

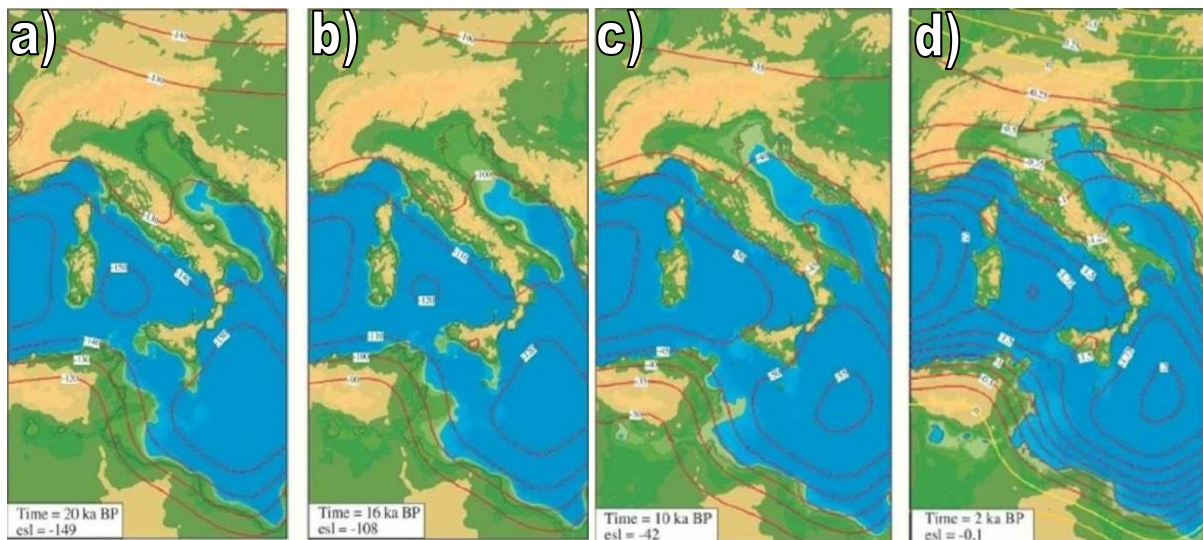
Rani pleistocen karakteriziraju relativno kratki glacijalni ciklusi s malim amplitudama i relativnom visokom učestalošću od 41 tisuće godina. Prije oko milijun godina amplituda glacijala se povisila, a učestalost se produžila na oko 100 tisuća godina. Uzrok ove promjene mogla bi biti pojava ledenog pokrova na srednjim geografskim širinama koji je djelovao na cirkulaciju atmosfere (Gornitz 2009). Pleistocenska klima bila je mnogo hladnija od današnje, procjenjuje se kako je središnja godišnja temperatura u Europi tijekom najmlađeg glacijala, Würma, bila 5° do 7°C niža od današnje (Bradley 1999).

Globalne ili eustatske promjene morske razine bile su tijekom pleistocena u izravnoj vezi s promjenama volumena ledenog pokrivača na Zemlji. Tako je npr. prije svega 18.000 godina globalna razina mora bila za oko 130 m niža u odnosu na današnju razinu (slika 26).



**Slika 26.** Globalna promjena razine mora u posljednjih 140. 000 godina, (Keller & Pinter, 2002)

Globalna promjena morske razine tijekom pleistocena i holocena imala je važan utjecaj na paleogeografiju i režim taloženja u Jadranskom moru (slika 27). Jadransko more je tijekom maksimuma pleistocenskih oledbi bilo znatno reducirano. Obala se, naime, pružala južno od linije Ancona-Zadar (Hughes et al., 2010).

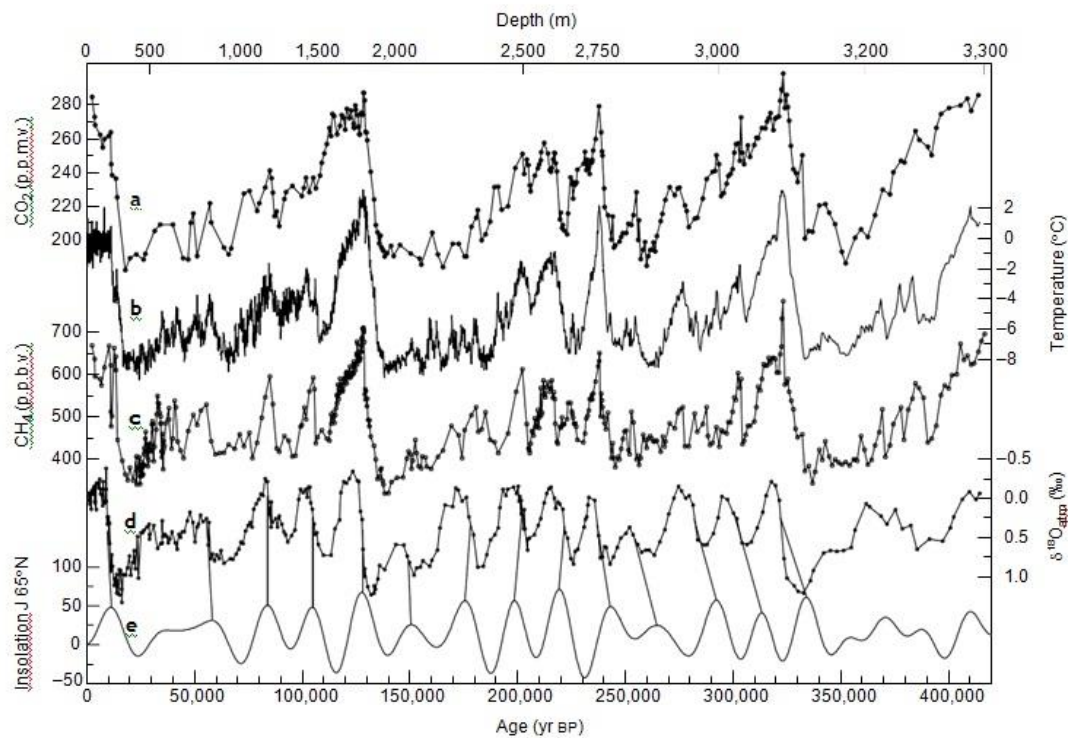


**Slika 27.** Crvene izolije označavaju razine mora prije 20.000 god. (a), prije 16.000 god. (b), prije 10.000 god. (c) i prije 2.000 god. (d) (preuzeto iz Lambeck et al., 2004).

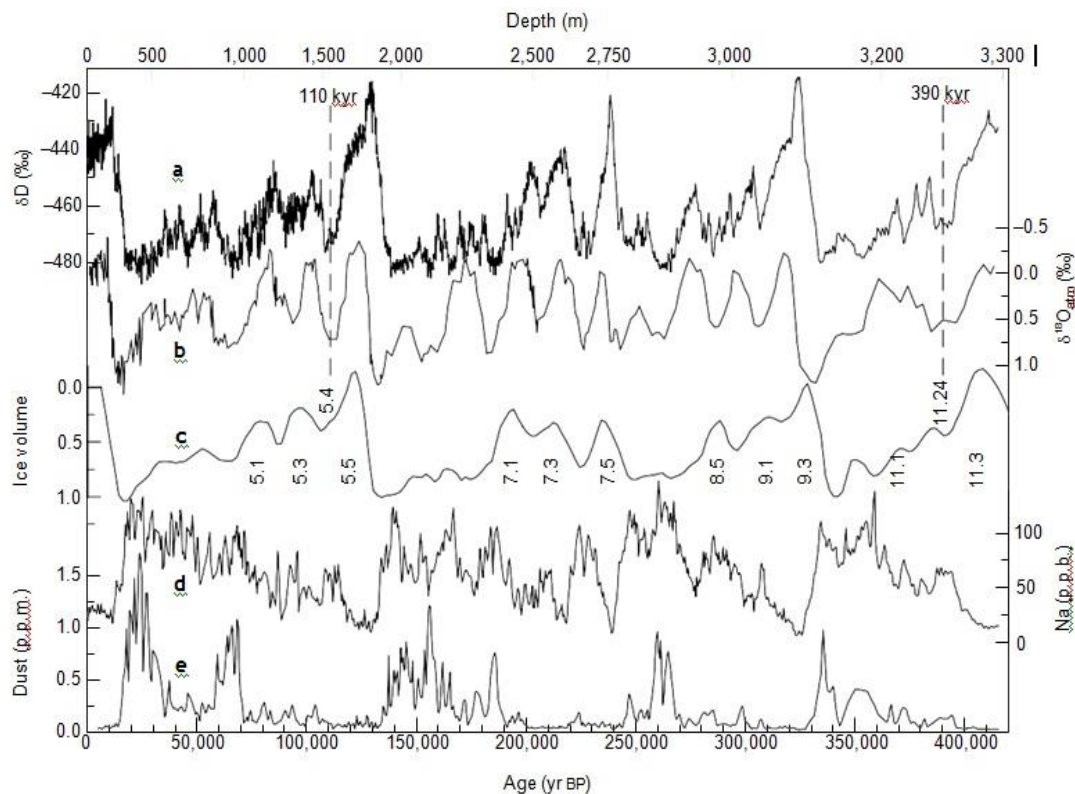
Za razumijevanje klimatskih promjena osvrnut ću se ukratko na istraživanje na Antarktici koje je provedeno 1998., a tijekom kojeg je izbušena ledena jezgra koja je dala podatke o sastavu i količini plinova otopljenih u ledu u posljednjih 400 tisuća godina (Petit et al 1999).

Podaci su prikazani na slikama 28 i 29. One uključuju sadržaj deuterija u ledu ( $\delta D_{\text{led}}$ , proxy lokalne promjene temperature), udio prašine (pustinjski aerosoli), koncentracija natrija (morski aerosol), a iz zatvorenog zraka staklenički plinovi  $\text{CO}_2$  i  $\text{CH}_4$  i  $\delta^{18}\text{O}$  koji odražava promjene u globalnom volumenu leda i hidrološkom ciklusu.

Preliminarni rezultati pokazali su da je jezgra obuhvatila četiri klimatska ciklusa, s ledom malo starijim od 400.000 godina na dubini od 3310 m.



Slika 28. Srednja godišnja temperatura, količina sunčevog zračenja, atmosferskog CO<sub>2</sub> i CH<sub>4</sub> i oscilacije kisikovih izotopa tijekom zadnjih 400.000 godina (preuzeto iz Petit i sur. 1999).



Slika 29. Prikaz sadržaja deuterija u ledu  $\delta D_{led}$ , udio prašine, koncentracija natrija,  $\delta^{18}O_{atm}$  koji odražava promjene u globalnom volumenu leda i hidrološkom ciklusu (preuzeto iz Petit i sur. 1999).

Kao što je procijenjeno iz zapisa, klima je gotovo uvijek bila u stanju promjena tijekom posljednjih 420.000 godina, ali unutar stabilnih granica tj. postoje maksimalne i minimalne vrijednosti klimatskih svojstava između kojih klima oscilira. Svojstva se mijenjaju u tijekom svakog od zadnja četiri glacijalna završetka, kao što je zabilježeno u Vostoku. Temperatura i atmosferske koncentracije CO<sub>2</sub> i CH<sub>4</sub> rastu stalno, dok se ulazak prašine smanjuje. Prašina predstavlja čestice nošene vjetrom koje se talože kao lesne naslage. Za vrijeme glacijala, veća površina Zemlje je pod ledom pa je i manje vegetacije, a vegetacija ublažava djelovanje vjetra, zato se pak tijekom glacijala u zraku nalaze veće količine prašine u zraku jer vjetrovi neometano nose čestice prašine. Tijekom posljednje polovice porasta temperature dolazi do brzog povećanja CH<sub>4</sub>. Ovaj se događaj podudara s početkom smanjenja  $\delta^{18}O_{atm}$ . Povišenje temperature za posljedicu ima povećano isparavanje s vodenih površina, tako da lakši kisikov izotop <sup>16</sup>O brže prelazi u atmosferu i ondje ga ima više u odnosu na <sup>18</sup>O koji je pak zastupljeniji u vodi. Tijekom glacijalnih, sušnih, razdoblja isparavanje je minimalno pa je  $\delta^{16}O/^{18}O$  u ravnoteži. Postupni pad temperature je vidljiv 50. 000 godina prije svakog glacijala, isto kao i nagli porast temperature pri prelasku u interglacijal.

## **6.2. Značaj istraženog lokaliteta u zaštiti geološke baštine, zaštiti okoliša i prostornom planiranju**

Problemi okoliša i njegova zagađenja su od lokalnog značaja prerasli u globalne prijetnje i probleme. Održivi razvoj nužan je u svim sferama ljudskog djelovanja pa tako i u turističkoj djelatnosti. Održivi razvoj znači i gospodarski i društveni rast usklađen s ekosustavima u kojima djeluje. Koncept održivog razvoja temelji se na zadovoljenju potreba sadašnjih, ali i budućih generacija.

U zaštitu geološke baštine u Hrvatskoj spada postupak proglašavanja zaštićenih prirodnih vrijednosti, provođenje zaštite i očuvanja prirode te nadzor i upravljanje zaštićenim područjem u okviru održivog razvoja regije. Postizanje ciljeva ostvaruje se kroz brojne prateće aktivnosti koje uključuju stanovništvo u taj dugogodišnji projekt. Za zaštitu geološke baštine ključna je edukacija javnosti o njenoj jedinstvenosti i neponovljivosti.



Specifična geološka priča o postanku sedimenta, paleooklišu, fosilima i nekadašnjoj vegetaciji je ono što uvalu Poljica odnosno lokalitet Ždrilo čini posebno zanimljivim i atraktivnim za razvoj jedne ne tako zastupljene grane turizma, geoturizma.

Osnovni negativni efekt turizma kojemu bi mogao biti izložen i lokalitet Ždrilo jest upravo utjecaj na izvorni okoliš. Štete nanosene krajoliku, u ovom slučaju naslagama koje bi se mogle smatrati geološkom baštinom, mogu biti nepopravljive. Primjerice, ukoliko se lokalitet Ždrilo ne zaštiti vrlo je vjerojatno da bi se bogati fosilni sadržaj mogao oštetiti i nepovratno izgubiti. Za lokalitet Ždrilo je iznimno važno da se turističko-rekreativna funkcija implementira na način koji neće narušiti izvorne prirodne i kulturne kvalitete. Kako bi se uskladila zaštita geološke baštine, zaštita okoliša sa zahtjevima turizma bilo bi korisno organizirati edukativne radionice za stanovništvo ili grupne posjete, primjerice šetnje kroz geološku prošlost tog lokaliteta na kojima bi se stanovništvo поближе upoznalo sa bogatstvom koje indirektno posjeduju.

Rastući broj posjetitelja u uvjetima izrazite vremenske (sezonalnost turizma) i prostorne ograničenosti (u zoni lokaliteta), kao i sve veći zahvati u prostoru zbog potrebe njihova opsluživanja, negativno se odražavaju na sami okoliš. To svakako nalaže potrebu kontinuiranog praćenja svih aspekata prostornog utjecaja turizma, kao preduvjet usklađenijega društvenog, gospodarskog i ekološkog razvoja zaštićenih područja.

Održivi turizam možemo definirati kao turizam koji u potpunosti uzima u obzir trenutne i buduće gospodarske, društvene i okolišne učinke, brine se o potrebama posjetitelja, sektora, okoliša i destinacije te uvjetuje takvo upravljanje resursima da se zadovolje ekonomske, socijalne i zaštitarske potrebe te očuvaju kulturne, ekološke i biološke raznolikosti. Ekološki održiv onaj je razvoj koji poštuje prihvatni kapacitet, tj. sposobnost okoliša da podnese onečišćenje i iscrpljivanje prirodnih izvora.

Na koncu kao zaključak se nameće sljedeće; turizam koji želi biti održiv i uspješan na dugi rok, mora u svom planiranju i razvoju uvažavati osnovna pravila i načela održivog razvoja i odgovornog turizma, zaštite geološke baštine i prostornog planiranja.

## 7. Zaključak

Istraženi sedimenti u jezgrama određeni su kao klastične varve. Razlikuju se jednostavne i kompleksne varve što upućuje na varijacije u donosu sedimenta. Sastoje se od izmjene smeđih siltnih lamina sa sivim glinenim laminama. Siltna, tamnija, lamina interpretirala samo kao proljetne/ljetne kada je taloženje (mulj i pijesak) znatno veće zbog padalina i topljenja leda, a glinena, svijetlo obojena, kao jesenske/zimske kada je jezero bilo zamrznuto, a unos sedimenta nizak (samo glina). Varijabilnost debljine i svijetlih i tamnijih lamina te njihova složenost, može ukazivati na dulje ili kraće zime, te vlažnija i sušna ljeta. Prema strukturi sedimenta vidljivo je da se jezero periodički smrzavalo i odmrzavalo, pri čemu su se taložile varve.

Rezultati analize dali su podatke o masenom udjelu organske tvari (izraženom u postotcima) u pojedinim laminama što ukazuje na klimatske uvjete tijekom taloženja. Udio organske tvari u sedimentima je zastupljen u rasponu od približno 5 % pa sve do preko 85%. Manja količina organske tvari u svjetlim laminama rezultat je taloženja u hladnijem razdoblju, a veća količina je rezultat povećane bioprodukcije u toplijem razdoblju. Prema dobivenim rezultatima, većina sedimenta u jezgri taložena je u hladnijim uvjetima, s ponekom vršnom vrijednosti koja moguće predstavlja topliji period.

Jasno definirane klimatske sezone teško je interpretirati iz ovakvih podataka. Interpretacija paleoklime na osnovu provedenih analiza moguća je samo na najnižem nivou tj. odredba topliji - hladniji period. Metoda koja bi se mogla primijeniti i dati preciznije rezultate bila bi metoda rendgenske difrakcije kojoj bi se podvrgnula kompletna jezgra. Da bi se dobili

detaljniji podaci trebalo bi se usmjeriti na opsežnija sedimentološka istraživanja te proučavanje varvi kako bi se utvrdili precizniji ciklusi smrzavanja, a to bi pak moglo omogućiti određivanje vremenskog perioda u kojem je jezero postojalo.

## 8. Literatura

- Adžić, I. (2012): Fossilna flora pleistocenskog proglacijalnog jezera u južnom Velebitskom kanalu i interpretacija paleoklimatskih prilika u sjevernoj Dalmaciji. Diplomski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 1-92.
- Ashley G.M., Shaw J. And Smith N.D. (1985): Glacial sedimentary environments, SEPM Short Course 16. Tulsa (OK): Society of Paleontologists and Mineralogists, 246 p.
- Bahun, S., (1974): Tektogeneza Velebita i postanak Jelar-naslaga. Geološki vjesnik, Vol. 27, 35–51.
- Bauer, B. (1934/35): Uber die Landformen des Nordlichen Velebit. Sonderabdruck Jahresberichte des Bundes-Real- gymnasiums Knittelfeld, 49 pp. Knittelfeld.
- Belij, S. (1985). Glacijalni i periglacijalni reljef južnog Velebita. Posebno izdanje Srpskog geografskog društva, 61, 5-68, Beograd.
- Bognar, A., Faivre, S. & Pavelić, J. (1991): Tragovi oledbe na Sjevernom Velebitu (Glaciation traces on the Northern Velebit). Geografski glasnik, 53, 27-39, Zagreb.
- Bradley, R.S. (1999): Paleoclimatology. Reconstructing climates of the Quaternary. Second edition, International Geophysics series 68, 1-631.
- Cohen, K.M., Gibbard, P. (2011): Global chronostratigraphical correlation table for the last 2.7 million years. Subcommission on Quaternary Stratigraphy (International Commission on Stratigraphy), Cambridge, England.
- Cvijić, J. (1917): L'Epoque glaciaire dans le Péninsule balkanique. Annales Géographiques, 26/141, 189-218.
- Degen, A. (1936). Flora Velebitica, vol. 1. 7-202, Ungari- sche Akademie der Wissenschaften, Budapest.
- Desloges J.R., Gilbert R. (1994): Sediment source and hydromorphic inferences from glacial lake sediments; the post-glacial sediment record of Lillooet Lake, British Columbia. Journal of Hydrology 159: 375-393.

- Frankol, D. (2011): Granulometrijske karakteristike i kalcimetrija sedimenata iz jezgre u delti rijeke Neretve. Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb.
- Gavazzi, A. (1903a): Tragovi oledbe u našem kršu. Glasnik hrvatskog naravoslovnog društva, 14, 174-175, Zagreb.
- Gavazzi, A. (1903b): Trag oledbe na Velebitu? Glasnik hrvatskog naravoslovnog društva, 14, 459, Zagreb.
- Gorjanović, D. (1902): Geomorfološki problemi iz hrvatskog krasa. Glasnik hrvatskog naravoslovnog društva, 13/4-6, 193-196, Zagreb.
- Gornitz, V. (2009): Encyclopedia of Paleoclimatology and ancient environments. Springer, New York.
- Gustavson, T.C. 1975. Bathymetry and sediment distribution in proglacial Malaspina Lake, Alaska, Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 45, 450–461.
- Hardy, D.R., Bradley, R.S. Zolitschka, B., 1996. The climatic signal in varced sediments from Lake C2, northern Ellesmere Island, Canada. Journal of Paleoclimatology, Vol. 16, 227–238.
- Hranilović, H. (1901): Geomorfološki problemi iz hrvatskog krasa. Glasnik hrvatskog naravoslovnog društva, 13/1-3, 93-133, Zagreb.
- Hughes, P.D., Woodward, J.C., Van Calsteren, P.C., Thomas, L.E., Adamson, K.R. (2010): Pleistocene ice caps on the coastal mountains of the Adriatic Sea. Quaternary Science Reviews, Vol. 29, 3690–3807.
- Keller, E.A. and Pinter, N. (2002): Active Tectonics, Earthquakes, Uplift and Landscape. 2nd Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, 362 p.
- Lambeck, K., Anzidei, M., Antonioli, F., Benini, A., & Esposito, A. (2004): Sea level in Roman time in the Central Mediterranean and implications for recent change. Earth and Planetary Science Letters, 224(3-4), 563 - 575.
- Leonard, E.M., Reasoner, M.A. 1999. A continuous Holocene glacial record inferred from proglacial lake sediments in Banff National Park, Alberta, Canada. Quaternary Research, Vol. 51, 1–13.

- Majcen, Ž., Korolija, B., Sokač, B., Nikler, L. (1970): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, List Zadar L 33 – 139. Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd, 5–40.
- Malez, M. & Sokač, A. (1969). O starosti slatkovodnih naslaga Ervenitkog i Žegarskog polja. III Simpozij dinarske asocijacije 1, 81-93, Zagreb.
- Malez, M. (1968). O razvoju kvartara na području vanjskih Dinarida. I kolokvij o geologiji Dinarida, Ljubljana 1966, I, 203-210.
- Marjanac, T., Marjanac, Lj., Adžić, I. (2014): Workshop Field Guidebook, DIG-2nd Workshop on Dinaric Glaciation: Early/Middle Pleistocene glaciations of NE Mediterranean - filling the gaps in reconstructing its geological history and climate change. Focus on glacial - interglacial transitions (sediments and processes). Starigrad-Paklenica 3-7 May 2014.
- Marjanac, Lj. & Marjanac, T., 2004. Glacial history of the Croatian Adriatic and Coastal Dinarides. In: Quaternary Glaciations - Extent and Chronology. J. Ehlers and P. L. Gibbard (eds.), 19-26, Elsevier.
- Marjanac, Lj. (2012): Pleistocene glacial and periglacial sediments of Kvarner, northern Dalmatia and southern Velebit Mt. - evidence of Dinaric glaciation. Doctoral Thesis, University of Zagreb, pp. 278.
- Marjanac, T. & Ćosović, V. (2000): Tertiary depositional history of Eastern Adriatic Realm. U: Outline of the Geology of the Dinarides and South Tisia with Field Guidebook, Pamić, J., Tomljenović, B. (ur.), Vijesti Hrvatskoga geološkog društva, 93–103.
- Marjanac, T., Marjanac, Lj. & Oreški, E. (1990): Glacijalni i periglacijalni sedimenti u Novigradskom moru. Geološki vjesnik 43, 35-42.
- Marjanac, T. & Marjanac Lj. (2016): The extent of middle Pleistocene ice cap in the coastal Dinaric Mountains of Croatia. Quaternary Research, 85(3), 445-455.
- Milojević, B.Z. (1922): Beleške o glečerskim tragovima na Raduši, Cincaru, Šatoru, Troglavu i Velebitu. Glasnik srpskog geografskog društva, 7-8, 294-297, Beograd.
- Nikler, L. (1973): Nov prilog poznavanju oledbe Velebita. Geološki vjesnik, 25 (1971), 109-112, Zagreb.

Schimmelmann, A., Lange, C.B., Schieber, J., Francus, P., Ojala, A.E.K., Zolitschka, B., (2016): Varves in marine sediments: A review. *Earth-Science Reviews* 159: 215-246.

Schubert, R.J. (1909): *Geologija Dalmacije*. Matica Dalmatinska, 3-183, Zadar.

Slovenec, D. (2011): *Opća mineralogija*. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Strum M. (1979): Origin and composition of clastic varves. In: Schlüchter C. (ed.), *Moraines and Varves, Origin/Genesis/Classification*. Rotterdam (NED): A.A. Balkema, p. 291-285.

Šimunić, A. (1970): Kvarterne naslage Kninskog polja. VII kongres geologa Jugoslavije Zagreb, 1, 361-371.

Zolitschka, B. (2003): Dating based on freshwater and marine laminated sediments, 92-106. In Mackay, A., Battarbee, R., Birks, J. And Oldfield, F. (eds), *Global change in the Holocene*. London: Edward Arnold Publishers, London.

Zolitschka, B., Francus, P., Ojala, A.K., Schimmelmann, A. 2015. Varves in lake sediments. *Quaternary Science Reviews*, Vol. 117, 1–41.