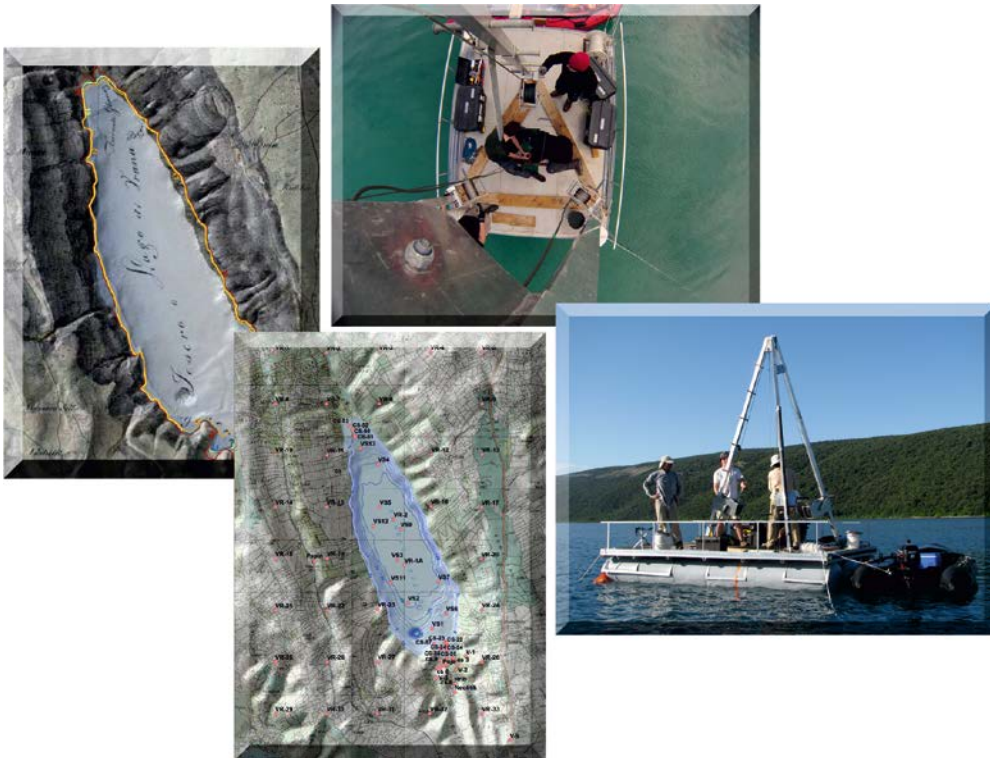




**HRVATSKI GEOLOŠKI INSTITUT
CROATIAN GEOLOGICAL SURVEY**

ISTRAŽIVANJA PALEORAZINA VRANSKOG JEZERA NA CRESU



Zagreb, 2015. godine



**HRVATSKI GEOLOŠKI INSTITUT
CROATIAN GEOLOGICAL SURVEY**

ISTRAŽIVANJA PALEORAZINA VRANSKOG JEZERA NA CRESU

Broj: _____/15

RAVNATELJ:

Dr. sc. JOSIP HALAMIĆ, dipl. ing. geol.

Zagreb, 2015. godine

Studija: ISTRAŽIVANJA PALEORAZINA VRANSKOG
JEZERA NA CRESU

Naručitelj: Hrvatske vode
Ulica grada Vukovara 220, 10 000 Zagreb

Ugovor: 10-044/13; klasa: 325-01/13-10/0000185; ur. broj: 374-
1-03-13-6, od 25.09.2013.

Voditelj studije: Dr. sc. SAŠA MESIĆ, dipl. ing. geol.

Autori studije: Dr. sc. SLOBODAN MIKO, dipl. ing. geol.
Dr. sc. NIKOLINA ILIJANIĆ, dipl.ing.geol.
Mr. sc. OZREN HASAN, dipl. ing. geol.
Dr.sc. SAŠA MESIĆ, dipl. ing. geol.
Dr. sc. VALENTINA HAJEK TADESSE, dipl. ing. geol.
(Analiza ostrakoda)
Dr. sc. KORALJKA BAKRAČ, dipl. ing. geol.
(Palinološka analiza)
Dr. sc. INES GALOVIĆ, dipl. ing. geol.
(Analiza dijatomeja)
Dr. sc. KATARINA CAPUT MIHALIĆ, dipl. ing. biol.
(Zavod za molekularnu biol., Biološki odsjek, PMF)
(Analiza dijatomeja)

Laboratorijske analize: Mr. sc. OZREN HASAN, dipl. ing. geol.
Dr. sc. NIKOLINA ILIJANIĆ, dipl.ing.geol.
Mr. sc. MARTINA ŠPARICA MIKO, dipl. ing. kem.
HELENA ČUČUZOVIĆ, dipl. ing. kem.

Istražna bušenja: Slobodan Miko, Ozren Hasan, Hrvoje Burić, Ivan
Razum



Sadržaj

Popis slika u tekstu.....	i
Popis tablica u tekstu	x
Popis kratica korištenih u tekstu.....	xiii
Popis priloga:.....	xiv
Tekstualni prilog: GIS projekt Vranskog jezera na Cresu 2005-2015	xiv
Tablični prilozi: Rezultati svih analiza u 6 jezgara	xiv
Grafički prilozi: Fotodokumentirani sedimenti iz bušotina i analiza boje (CS-51, CS-52, CS-53, LK-2, LK-3).....	xiv
1. Uvod	1
1.1. Paleolimnologija	4
1.2. Obilježja kasnog pleistocena i holocena istočno jadranske obale.....	9
1.3. Osnovne karakteristike Vranskog jezera na Cresu.....	16
1.3.1. Geografski smještaj, klima i vegetacija.....	16
1.3.2. Geologija.....	25
1.3.3. Hidrološka obilježja	27
2. Metode istraživanja	32
2.1. Terenske metode	32
2.2. Laboratorijske metode	42
2.2.1. Spektralna analiza boje i određivanje boje prema Munsellu.....	44
2.2.2. Analiza magnetskog susceptibiliteta	46
2.2.3. Mikroskopiranje rastresitih sedimenata	47
2.2.4. Datiranje radioaktivnim ugljikom ¹⁴ C AMS.....	48
2.2.5. Granulometrijske analize.....	51
2.2.6. Geokemijske analize	53
2.2.7. Mineraloške analize.....	55
2.2.8. Palinološke analize	61
2.2.9. Analiza ostrakodne faune.....	62
2.2.10. Analiza dijatomejskih zajednica.....	62
3. Rezultati.....	64
3.1. Opis jezgara i analiza razmazanih preparata	64
3.2. Rezultati spektralne analize boje	71
3.3. Rezultati analize magnetskog susceptibiliteta	72

3.4.	Rezultati datiranja radioaktivnim ugljikom ¹⁴ C	78
3.5.	Rezultati granulometrijskih analiza	81
3.6.	Rezultati mineraloških analiza.....	89
3.6.1.	Rezultati ukupnog mineralnog sastava jezgre VR-1A.....	89
3.6.2.	Rezultati ukupnog mineralnog sastava jezgri CS-51, CS-52, CS-53, LK-2 i LK-3	97
3.7.	Rezultati geokemijskih analiza	104
3.7.1.	Rezultati analize glavnih elemenata i elemenata u tragovima	104
3.7.2.	Rezultati analize dušika i ugljika	121
3.8.	Rezultati palinološko-palinofacijsne analize	129
3.9.	Rezultati analize ostrakodne faune	154
4.0.	Rezultati dijatomejskih zajednica.....	167
4.	Diskusija	174
4.1.	Razvoj jezera i porijeklo sedimenata kroz kasni pleistocen i holocen	174
4.2.	Porijeklo sedimenata Vranskog jezera na Cresu	189
4.3.	Paleookolišna rekonstrukcija jezera na temelju jezgre VR-1A.....	195
4.4.	Rekonstrukcija kolebanja razina jezera tijekom posljednjih 6 000 godina	201
5.	Literatura.....	218

Popis slika u tekstu

- Slika 1. Krivulja razina Jadranskog mora od posljednjeg ledenog maksimuma (LGM-a) do danas (modificirano prema Correggiari et al., 2006). Starost je označena u tisuću godina prije sadašnjosti (ka BP), YD označava mlađi drijas, MWP1A i B razdoblja naglog porasta morske razine i donosa slatke vode otapanjem ledenjaka („*meltwater pulse*“).11
- Slika 2. Usporedba paleoklimatskih uvjeta tijekom preboreala (PBO) u Europi. Crne točke: vlažno; otvoreni krugovi: suho; isprekidane podebljane linije: sjeverne i južne granice umjerenih širina karakteriziranih vlažnijim klimatskih uvjetima; isprekidane linije-pružanje ostataka ledenog pokrova u ranom holocenu. Na desnoj strani prikazana je usporedba s paleoklimatskim uvjetima za „8,2 događaj“. A-jezero Accesa; B-De Borchert; Du-Middle Durance dolina; F-Folgefonna; G-jezero Gosciarz; J-jurska jezera; Sp-Švicarski plato; K-Krageholmsjon; MH-jezera Meerfelder i Holzmaar; PB-Pariški bazen; Qs-Quintanar de la Sierra; T-jezero Torreberga; WC-jezero Wielkie Gacno. Preuzeto iz Magny et al. (2007b)...13
- Slika 3. Rekonstrukcija temperature od 20 ka BP do danas, prema grenlandskoj ledenoj jezgri GISP2 (Alley, 2000).14
- Slika 4. Köppen-ova klimatska klasifikacija u Mediteranskoj regiji: suprotropska stepska klima (Bsh), stepska klima umjerenih širina (BSk), suprotropska pustinja klima (BWh), pustinja klima umjerenih širina (BWk), mediteranska klima s vrućim/toplim ljetima (Csa/b), vlažna suprotropska klima bez suhog ljeta (Cfa), umjerena morska klima (Cfb), vlažna kontinentalna klima s vrućim/toplim ljetima (Dfa/b), kontinentalna klima sa suhim vrućim/toplim ljetima (Dsa/b) i klima tundre (ET). Preuzeto iz Lionello (2012).....15
- Slika 5. Geografski položaj Vranskog jezera na otoku Cresu i pogled na Vransko jezero s južne strane.....17
- Slika 6. Batimetrijska karta Vranskog jezera na Cresu (digitalizirano iz Stajić, 1991 za potrebe ovog projekta). Depresija od 61,3 m ispod razine mora, odnosno na 74,5 m dubine vodenog stupca, nalazi se u krajnjem JZ dijelu jezera, dok je dno većim dijelom na -40, odnosno ukupno oko 50 m dubine. Istočna i zapadna obala jezera su strme, dok su južna i sjeverna puno blaže. Označene su i položaji istraživanih jezgara koje su korištene u ovoj studiji.....18
- Slika 7. Prikaz razvoja jezera i promjena razina tijekom kasnog pleistocena i holocena, na temelju ¹⁴C datiranja, sedimentoloških jedinica (A-E), peluda (1-5) i Cladocera (1-3). Modificirano prema Schmidt et al., 2000.....20
- Slika 8. Geokemijske zone u sedimentu Vranskog jezera, na temelju distribucije elemenata Al i Ca (preuzeto iz Mesić, 2004).21

Slika 9. Pedološka karta u slivnom području Vranskog jezera (Bogunović et al, 1996). Površinski sliv određen je pomoću ArcGIS-a (ESRI, 1999-2009) i označen je tamno plavom linijom. Legenda: 13) Koluvij s klastima; 15) Les, terra rossa, kalkokambisol; 30) Antropogena tla na kršu, kalkokambisol, crvenice, kalkomelanosol, koluvij; 54) Kamenjar, kalkomelanosol, rendzina; 56) Smeđe tlo na vapnencu, kalkomelanosol; 57) Kalkokambisol, terra rossa, kalkomelanosol; 61) Kalkomelanosol, kalkokambisol; 62) Rendzina na dolomitu i vapnencu, kalkokambisol; 888) Vodene površine.....	24
Slika 10. Geološka karta slivnog područja Vranskog jezera (prema Magaš 1968, 1973). Površinski sliv određen je pomoću ArcGIS-a (ESRI, 1999-2009) i označen je tamno plavom linijom. Legenda: 1) Geološka granica; 2) Pretpostavljena geološka granica; 3) Erozijsko-diskordantna granica; 4) Rasjed; 5) Pretpostavljeni rasjed; 6) Reversni rasjed; 7) Pretpostavljeni reversni rasjed; 8) E _{2,3} Fliš; 9) E ₂ Prijelazne naslage; 10) E _{1,2} Foraminiferski vapnenci; 11) Pc, E Liburnijske naslage; 12) K ₂ ^{1,2} Vapnenci; 13) K ₂ ^{1,2} Uslojeni do pločasti vapnenci; 14) K _{1,2} Dolomiti; 15) K _{1,2} Leće vapnenca u dolomitu; 16) K ₁ Vapnenci i dolomiti; 17) K ₁ Pločasti vapnenci i dolomiti.....	26
Slika 11 Niz srednjih godišnjih vodostaja jezera, Hsr, opažen u razdoblju 1929.-2013. s ucrtanom linijom linearne regresije i upisanim koeficijentom linearne korelacije, r(Bonacci 2014). Grafički prikaz nizova srednjih godišnjih vodostaja jezera, Hsr, izmjerenih u dva podrazdoblja: (1.) 1929.-1985. (modra boja); (2.) 1986.-2013. (ljubičasta boja), preuzeto iz Bonacci 2014.	29
Slika 12. Površinski sliv Vranskog jezera označen tamno plavom linijom (prikazan u DOF5, Državna geodetska uprava). Određen je pomoću ArcGIS-a (ESRI, 1999-2009). Točke V-1 i V-2 označavaju točke mjerenja svojstava vode Koeck, 2012).....	31
Slika 13. Funkcioniranje klipnog korera: A) spuštanje klipnog korera do dna jezera, krilo na šipki s utegom služi za stabilizaciju; B) bušenje sedimenta nakon što se klip zakoči, stvara se podtlak i korera sa cijevi se puni sedimentom, C) bušenje traje dok se cijev potpuno ne ispuni sedimentom, D) izvlačenje klipnog korera na površinu pomoću sajle klipnog korera. Modificirano prema Glew et al. (2001).	33
Slika 14 Istraživačka platforma HGI-a „Q2“ na Vranskom jezeru (bušotina CS 51).....	34
Slika 15. Topografska karta Vranskog jezera na Cresu (TK25, DGU), s lokacijama bušenja svih jezgri sedimenta (lijevo) i onih koje su poslužile za izradu ove studije (desno).	37
Slika 16. Topografska karta sjevernog dijela Vranskog jezera na Cresu (TK25, DGU), s batimetrijom u 1 m rezoluciji te profilom i položajem bušotina CS-50, CS-51, CS-52 i CS-53.	37
Slika 17. Kamenita sjeverna obala Vranskog jezera (jezge CS-50 do 53).....	38

Slika 18. a) Aluvijalna lepeza na južnom dijelu Vranskog jezera, gdje se nalaze bušotine Cs-5 i Cs-9, b) profil Cs-P u koritu povremenog potoka na južnom dijelu Vranskog jezera.....	38
Slika 19. Lokacije bušenja jezgri sedimenata iz Lošinjskog kanala u usporedbi s Vranskim jezerom na Cresu (lijevo), te položaj samih buština u Lošinjskom kanalu, LK-1 do LK-4 (desno).....	40
Slika 20. Prikaz svih lokacija koja su uzorkovana tijekom istraživanja Vranskog jezera i njegovog sliva u HGI-u. Svi uzorci su pohranjeni u HGI-u.	42
Slika 21. a) Fotografirana jezgra s paletom za kalibraciju <i>X-Rite ColorChecker Passport</i> ; b) Uzorkovanje polovice jezgre.....	42
Slika 22. Shema pripreme jezgre za analize, detalji su opisani u tekstu.	44
Slika 23. a) Xrite uređaj za spektralno određivanje boje i kalibracijski standard bijeli opal; b) Bartingtonov uređaj za mjerenje magnetskog susceptibiliteta, s detektorom za površinska mjerenja (MS2E).	47
Slika 24. Izrada „smear slide“ preparata za mikroskopsku analizu nekonsolidiranih uzoraka, pomoću UV lampe i interpretacija podataka uz pomoć TMI baze.	48
Slika 25. Materijali korišteni za datiranje metodom radioaktivnog ugljika ¹⁴ C AMS: a) ugljen, b) ljuštura, c) biljni materijal, c) drvo.	51
Slika 26. Fotodokumentirani dijelovi jezgre VR-1A: 67-103 cm – tamniji intervali; 246-275 cm – tamnije lamine; 326-355 cm – ispremiješani svjetliji i tamniji sediment, s ljušturama i korijenima od 340-345 cm; 370-390 cm – prijelaz iz glinovitog siliciklastičnog u karbonatni sediment.....	65
Slika 27. Fotodokumentirani dijelovi jezgre CS-51 (dio od 0-75 cm): 216-228 cm – tamniji interval sa povećanim udjelom organske tvari.	66
Slika 28. Fotodokumentirani dijelovi jezgre CS-52 (dio od 0-75 cm): 88-89 cm – sloj s povećanim udjelom terigenog sedimenta, migracija mineralne tvari u dublje slojeve kroz desikacijske pukotine?.....	67
Slika 29. Fotodokumentirani dijelovi jezgre CS-53 (dio od 80-150 cm):101 cm – prijelaz iz siliciklastičnog sedimenta u karbonatnu sedimentaciju (svijetlo), 230 glinoviti sediment, siliciklastičan, terigeni.	68
Slika 30 Fotodokumentirani dijelovi jezgre LK-2 (dio) : 64 cm – prijelaz iz kopnenih uvjeta i početak marinske sedimentacije.....	69
Slika 31. Fotodokumentirani dijelovi jezgre LK-2 (dio od 160-230 cm): 222 cm – prijelaz iz močvarnog okoliša i početak marinske sedimentacije.....	70
Slika 32. Spektralna analiza boje (CIE L*a*b*) i magnetski susceptibilitet MS2E (crna linija) i MS2C (crvena linija) jezgre VR-1A iz Vranskog jezera na Cresu.....	74
Slika 33. Boja i magnetski susceptibilitet jezgre CS-51.....	75

Slika 34. Boja i magnetski susceptibilitet jezgre CS-52.....	75
Slika 35. Boja i magnetski susceptibilitet jezgre CS-53.....	76
Slika 36. Boja i magnetski susceptibilitet jezgre LK-2.	76
Slika 37. Boja i magnetski susceptibilitet jezgre LK-3.	77
Slika 38. Rezultati granulometrijske analize i udio analiziranih frakcija u sedimentima jezgre VR-1A.	82
Slika 39. Udio ukupnog pijeska, silta i gline po dubini jezgre VR-1A, s krivuljama učestalosti pojedinih veličina zrna u analiziranim uzorcima, grupiranim u polameterskim intervalima.....	83
Slika 40. Rezultati granulometrijske analize jezgre sedimenata CS-51.....	85
Slika 41. Rezultati granulometrijske analize jezgre sedimenata CS-52.....	85
Slika 42. Rezultati granulometrijske analize jezgre sedimenata CS-53.....	87
Slika 43. Rezultati granulometrijske analize jezgre sedimenata LK-2.	87
Slika 44. Rezultati granulometrijske analize jezgre sedimenata LK-3.	89
Slika 45. Rendgenogrami odabranih uzoraka iz jezgre VR-1A, reprezentativnih za izdvojene zone-podzone. Oznake minerala (Kretz, 1983): Qtz-kvarc, Cal-kalcit, Dol-dolomit, Arg-aragonit, Kfs-kalijski feldspat, Pl-plagioklas, Ms/I-muskovit/illit, Kln-kaolinit, Chl-klorit, V-vermikulit, Sm-smektit.	92
Slika 46. Kvantitativni mineralni sastav na odabranim uzorcima iz jezgre VR-1A.....	93
Slika 47. Rendgenogrami orijentiranih preparata uzoraka iz jezgre VR-1A. Oznake: AD-sušen na zraku, EG- tretiran s etilen glikolom, G- tretiran s glicerolom, DMSO-dimetil sulfoksid, Ill-illit, Kln-neuređen kaolinit, Kln _D -uređen kaolinit, HIV-hidroksil interstratificirani vermikulit, Chl _S -sekundarni klorit, Chl-klorit, Sm-smektit.....	96
Slika 48. Rendgenogrami kroz jezgru sedimenata CS-51. Simboli minerala (Kretz, 1983): Cal-kalcit, Dol-dolomit, Qtz-kvarc, Ms/I-muskovit/illit, Pl-plagioklas.....	99
Slika 49. Rendgenogrami kroz jezgru sedimenata CS-52. Simboli minerala (Kretz, 1983): Cal-kalcit, Dol-dolomit, Qtz-kvarc, Ms/I-muskovit/illit, Pl-plagioklas, Sm-smektit, Chl-klorit, Kln-kaolinit, Arg-aragonit, A-amfibol.	100
Slika 50. Rendgenogrami kroz jezgru sedimenata CS-53. Simboli minerala (Kretz, 1983): Cal-kalcit, Dol-dolomit, Qtz-kvarc, Ms/I-muskovit/illit, Pl-plagioklas, Kfs-K-feldspat, Sm-smektit, Chl-klorit, Kln-kaolinit.....	101
Slika 51. Rendgenogrami kroz jezgru sedimenata LK-2. Simboli minerala (Kretz, 1983): Cal-kalcit, Mg-cal-Mg kalcit, HI-halit, Arg-aragonit, Qtz-kvarc, Ms/I-muskovit/illit, Pl-plagioklas, Kfs-K-feldspat, Kln-kaolinit.	103
Slika 52. Rendgenogrami kroz jezgru sedimenata LK-3. Simboli minerala (Kretz, 1983): Cal-kalcit, Mg-cal-Mg kalcit, HI-halit, Arg-aragonit, Qtz-kvarc, Ms/I-muskovit/illit, Pl-plagioklas, Kfs-K-feldspat, Sm-smektit, Chl-klorit, Kln-kaolinit.	103

Slika 53. Rezultati kemijskih analiza kroz jezgru VR-1A. Prikazana je distribucija makro elemenata (%) i mikro elemenata (mg/kg) po dubini, s utvrđenim mineralnim zonama (MIN-A1, A2, B1, B2, B3, C, D, E1, E2, E3) te bijelom i sivom pozadinom koje označavaju 1. i 2. kemijsku grupu (prema aluminiju).....	105
Slika 54. Rezultati kemijskih analiza kroz jezgru CS-51. Prikazana je distribucija odabranih makro elemenata (%) i mikro elemenata (mg/kg) po dubini.	111
Slika 55. Rezultati kemijskih analiza kroz jezgru CS-52. Prikazana je distribucija odabranih makro elemenata (%) i mikro elemenata (mg/kg) po dubini.	113
Slika 56. Rezultati kemijskih analiza kroz jezgru CS-53. Prikazana je distribucija odabranih makro elemenata (%) i mikro elemenata (mg/kg) po dubini.	115
Slika 57. Rezultati kemijskih analiza kroz jezgru LK-2. Prikazana je distribucija odabranih makro elemenata (%) i mikro elemenata (mg/kg) po dubini.	117
Slika 58. Rezultati kemijskih analiza kroz jezgru LK-3. Prikazana je distribucija odabranih makro elemenata (%) i mikro elemenata (mg/kg) po dubini.	119
Slika 59. Udio ukupnog dušika i ugljika, organskog (TOC) i anorganskog ugljika (TIC) te omjer organskog ugljika i dušika (C/N) jezgre VR-1A.	122
Slika 60. Udio ukupnog dušika i ugljika, organskog (TOC) i anorganskog ugljika (TIC) te omjer organskog ugljika i dušika (C/N) jezgre CS-51.....	124
Slika 61. Udio ukupnog dušika i ugljika, organskog (TOC) i anorganskog ugljika (TIC) te omjer organskog ugljika i dušika (C/N) jezgre CS-52.....	125
Slika 62. Udio ukupnog dušika i ugljika, organskog (TOC) i anorganskog ugljika (TIC) te omjer organskog ugljika i dušika (C/N) jezgre CS-53.....	126
Slika 63. Udio ukupnog dušika i ugljika, organskog (TOC) i anorganskog ugljika (TIC) te omjer organskog ugljika i dušika (C/N) jezgre LK-2.	127
Slika 64. Udio ukupnog dušika i ugljika, organskog (TOC) i anorganskog ugljika (TIC) te omjer organskog ugljika i dušika (C/N) jezgre LK-3.	128
Slika 65. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-52 3-4cm	132
Slika 66. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-52 23-24cm	133
Slika 67. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-52 40-41cm	134
Slika 68. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-52 70-71cm	134
Slika 69. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-52 113-114cm	135
Slika 70. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-52 133-134 cm	136
Slika 71. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-52 182-183 cm	136
Slika 72. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-52 223-224 cm	137
Slika 73. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-52 270-271 cm	138
Slika 74. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-53 8-9 cm	139

Slika 75. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-53 26-27 cm	140
Slika 76. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-53 51-52cm	140
Slika 77. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-53 70-71cm	141
Slika 78. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-53 87-88 cm	142
Slika 79. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-53 106-107 cm	143
Slika 80. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-53 122-123 cm	144
Slika 81. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-53 138-139 cm	145
Slika 82. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-53 156-157 cm	146
Slika 83. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-53 171-172 cm	146
Slika 84. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-53 186-187 cm	147
Slika 85. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-53 202-203 cm	148
Slika 86. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-53 218-219 cm	148
Slika 87. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-53 236-237 cm	149
Slika 88. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-53 249-250 cm	149
Slika 89. Dijagram rasprostranjenosti ostrakodnih vrsta po dubinama jezgre CS 51 i prikazom ostrakodnih zona (I,II) i podzona.	156
Slika 90. Dijagram rasprostranjenosti ostrakodnih vrsta po dubinama jezgre CS 52 i prikazom ostrakodnih zona (I,II) i podzona.	158
Slika 91. Dijagram rasprostranjenosti ostrakodnih vrsta po dubinama jezgre CS 52 i prikazom ostrakodnih zona (I,II) i podzona.	160
Slika 92. Ostrakodne vrste analiziranih jezgri Vranskog jezera na Cresu: 1,2,3 <i>Metacypris cordata</i> ; 4, <i>Darwinula stevensoni</i> ; 5, <i>Candonopsis kingsleii</i> ; 6, <i>Limnocythere santipatricii</i> . .	164
Slika 93. Ostrakodne vrste analiziranih jezgri Vranskog jezera na Cresu: 1,2, <i>Ilyocypris lacustris</i> ; 3, 4, 5, <i>Candona candida</i> ; 6, <i>Cypridopsis vidua</i>	165
Slika 94. Ostrakodne vrste analiziranih jezgri Vranskog jezera na Cresu: 1,2,3,4 , <i>Pseudocandona insculpt</i> i tekameba: 5, <i>Diffflugia</i> sp	166
Slika 95. Odnos udjela abundancije bentoskih, planktonskih i fakultativno planktonskih taksona u bušotini CS-51 Vranskog jezera.	167
Slika 96. Zastupljenost dijatomejskih taksona s utvrđenim zonama (DZ 1 do DZ 10) u jezgri sedimenata CS-51.....	168
Slika 97. Najučestaliji dijatomejski taksoni u u bušotini CS-51 Vranskog jezera.....	173
Slika 98. Presjek kroz Vransko jezero (Cres) u profilu gdje je uzorkovana jezgra VR-1A (54 m). Oznake: K _{1,2} -kredni vapnenci i dolomiti, Q ₁ -pleistocen, Q ₂ -holocen, smeđa boja-morski sediment.....	174
Slika 99. Model dubina/starost Vranskog jezera, starost je izražena u cal BP (kalendarskim godinama BP) ovisno o dubini jezgre. Korišten je program CLAM (Blaauw, 2010), koji koristi	

Intcal13 kalibracijske krivulje (Reimer et al, 2013), upotrijebljen je model linearne interpolacije.....	175
Slika 100. Usporedba modela dubina/starost Vranskog jezera dobivenog ovim istraživanjem i starost iz Schmidt et al. (2000). U jezgri VR-1A utvrđena je starost sedimenata na 5 uzorka, te je označen pretpostavljeni hijatus unutar sedimenata Crvenim krugom označena je upitna starost sedimenta na 5 m iz istraživanja Schmidt et al. (2000), te utvrđeni hijatus u njihovoj jezgri.	176
Slika 101. Promjene odabranih parametara kroz jezgru VR-1A s izdvojenim zonama u vremenskoj skali.....	177
Slika 102. Promjene odabranih parametara kroz jezgru VR-1A s izdvojenim zonama u vremenskoj skali.....	178
Slika 103. Promjena mineralnog sastava (ukupni i minerali glina) kroz jezgru VR-1A. Žutom bojom označeni su minerali glina u najdubljim sedimentima (727-745 cm) i sedimenti od 295-0 cm (11,5-0 ka BP), koji imaju isti sastav minerala glina, za razliku od sedimenata od 440-295 cm (>14,5-11,5 ka BP), koji imaju drugačiji sastav minerala glina. Analizirani intervali minerala glina prikazani su crvenim pravokutnicima (5 cm intervali).....	180
Slika 104. Odnosi između vrijednosti L* za svjetlost boje i Ca i TOC. Uočavaju se 2 pravca korelacije u svakom dijagramu.	181
Slika 105. Odnosi između Fe i a*, te Mo i b*.....	182
Slika 106. Odnosi Fe, Ca, pjeskovite i glinovite frakcije s magnetskim susceptibilitetom. Izdvojena su 2 korelacijska pravca.	183
Slika 107. Odnosi između udjela pijeska i Ca, te udjela gline i Al.....	184
Slika 108. Odnos Ca i Mg, te Ca i Al, u uzorcima jezerskih sedimenata, grupiranih u vremenski raspon. Kalcij i Al se međusobno negativno povezani, dok je Mg djelomično vezan za Ca, posebno se izdvaja u povećanju dolomita u najdubljim sedimentima (> 40 ka).	184
Slika 109. Klaster analiza dobivenih rezultata jezgre VR-1A (Ward-ova metoda hijerarhijskog grupiranja pomoću Pearsonovih koeficijenata korelacije), pomoću koje su izdvojena 3 veća klastera – karbonatni, reduktivni i siliciklastični.	185
Slika 110. Promjena pojedinih elemenata normaliziranih prema Al kroz jezgru VR-1A. Žutom bojom su istaknuti intervali s povećanim koncentracijama Pb, kao rezultat atmosferskog obogaćenja u rimskom i modernom dobu.	186
Slika 111. Promjene odabranih elemenata kroz jezgru i omjera Mn/Fe kao indikatora paleo redoks uvjeta u jezeru.	188
Slika 112. Modeli dubina/starost jezgri Cs-5 i Cs-9 koje se nalaze u aluvijalnoj lepezi na južnoj obali Vranskog jezera odnosno uz sam njegov rub. Starosti su preuzete iz Mesić et al.	

(2007). Korišten je program CLAM (Blaauw, 2010), s Intcal13 kalibracijskim krivuljama (Reimer et al, 2013), upotrijebljena je linearna interpolacija.....	189
Slika 113. Izdvojene zone u jezgri Cs-5 prema kemijskim karakteristikama, u vremenskoj skali, s prikazanim dubinama, brzinom sedimentacije i mineralnim sastavom.	190
Slika 114. Izdvojene zone u jezgri Cs-9 prema kemijskim karakteristikama, u vremenskoj skali, s prikazanim dubinama, brzinom sedimentacije i mineralnim sastavom.	191
Slika 115. Usporedba jezgri u Vranskom jezeru na Cresu i slivu: Cs-P, Cs-5, Cs-9 i VR-1A.	194
Slika 116. Odabrane analize pomoću kojih su se rekonstruirali paleookolišni uvjeti u Vranskom jezeru na Cresu (VR-1A). Prikazana je varijacija temperature prema grenlandskoj ledenoj jezgri GISP2 (Alley, 2000). Sivo su osjenčane izdvojene zone u jezgri VR-1A, žutom bojom označeni su karakteristični klimatski događaji kroz holocen.	200
Slika 117. Austrougarske karte druge (1806-1869) i treće (1869-1887) vojne izmjere na kojima se zapaža da su razine Vranskog jezera u navedenim razdobljima bile 15 mm i 13 mm (http://mapire.eu/en/).	201
Slika 118. Model dubina/starost Vranskog jezera za jezgru CS-51 i CS-52, starost je izražena u cal BP (kalendarskim godinama BP) ovisno o dubini jezgre. Korišten je program CLAM (Blaauw, 2010), koji koristi Intcal13 kalibracijske krivulje (Reimer et al, 2013), upotrijebljen je model linearne interpolacije.	204
Slika 119. Model dubina/starost Vranskog jezera za jezgru CS-53, starost je izražena u cal BP (kalendarskim godinama BP) ovisno o dubini jezgre. Korišten je program CLAM (Blaauw, 2010), koji koristi Intcal13 kalibracijske krivulje (Reimer et al, 2013), upotrijebljen je model linearne interpolacije.	205
Slika 120. Model dubina/starost jezgru LK-2 i LK-3 iz Lošinjskog kanala, starost je izražena u cal BP (kalendarskim godinama BP) ovisno o dubini jezgre. Korišten je program CLAM (Blaauw, 2010), koji koristi Intcal13 kalibracijske krivulje (Reimer et al, 2013), upotrijebljen je model linearne interpolacije.	205
Slika 121. Promjene odabranih parametara kroz jezgru CS-51 u vremenskoj skali.	207
Slika 122. Promjene odabranih parametara kroz jezgru CS-52 u vremenskoj skali.	207
Slika 123. Promjene odabranih parametara kroz jezgru CS-53 u vremenskoj skali.	208
Slika 124. Promjene odabranih parametara kroz jezgru Lk-2 u vremenskoj skali.....	209
Slika 125. Promjene odabranih parametara kroz jezgru Lk-3 u vremenskoj skali.....	210
Slika 126. Odnos ukupnog anorganskog ugljika (TIC) i svjetline boje L* u jezgri CS-52 u vremenskoj skali.....	211
Slika 127. Odnos ukupnog anorganskog ugljika (TIC) i svjetline boje L* u svim analiziranim jezgrama.	212

Slika 128. Usporedba odabranih parametara analiziranih jezgara u vremenskoj skali.	214
Slika 129. Usporedba odabranih parametara analiziranih jezgara u vremenskoj skali.	216

Popis tablica u tekstu

Tablica 1. Paleolimnološki indikatori koji su korišteni u istraživanju Vranskog jezera na Cresu.	4
Tablica 2. Kemijska analiza vode Vranskog jezera na 2 profila, V-1 južni dio jezera i V-2 sjeverni dio jezera (preuzeto iz projekta „CC Waters“; Koeck, 2012). Oznake: EC-provodljivost, TDS-ukupno otopljene soli.	31
Tablica 3. Popis jezgri sedimenata iz Vranskog jezera na Cresu i Lošinjskog kanala analiziranih za potrebe ove studije.	35
Tablica 4. Identifikacija minerala glina pomoću XRD analize, na temelju promjena d001 nakon dijagnostičkih postupaka na orijentiranim uzorcima (sušen na zraku AD, interkalacije s etilen glikolom EG, glicerolom G i dimetil sulfoksidom DMSO, K-saturirani, Mg-saturirani, žareni na 400, 550 i 350 °C); te d060 očitano na nasumično orijentiranim preparatima. MLM miješanoslojni minerali I-S (illit-smektit).	60
Tablica 5. Rezultati datiranja metodom AMS ¹⁴ C (<i>Gadam Centre</i>) uzoraka iz jezgre VR-1A. Mjereni ¹⁴ C datumi su kalibrirani pomoću OxCal programa (Bronk Ramsey, 2010) koji koristi IntCal13 kalibracijske krivulje (Reimer et al., 2013).	78
Tablica 6. Rezultati datiranja metodom AMS ¹⁴ C (<i>Beta Analytics</i>) dubljih uzoraka iz jezgre VR-1A. Oznake: Lab. br.-laboratorijski broj, NA-not available.	79
Tablica 7. Rezultati datiranja metodom AMS ¹⁴ C (<i>Gadam Centre</i>) uzorka iz profila tla Cs-P. Mjereni ¹⁴ C datumi su kalibrirani pomoću OxCal programa (Bronk Ramsey, 2010) koji koristi IntCal13 kalibracijske krivulje (Reimer et al., 2013). Oznaka: Lab. br.-laboratorijski broj.	79
Tablica 8. Rezultati datiranja metodom AMS ¹⁴ C (<i>Beta Analytics</i>) uzorka iz jezgri Cs-51, Cs-52, CS-%3, LK-2 i LK3. Mjereni ¹⁴ C datumi su kalibrirani pomoću OxCal programa (Bronk Ramsey, 2010) koji koristi IntCal13 kalibracijske krivulje (Reimer et al., 2013). Oznaka: Lab. br.-laboratorijski broj.	80
Tablica 9. Osnovni statistički parametri distribucije veličine čestica za jezgru CS-51.	84
Tablica 10. Osnovni statistički parametri distribucije veličine čestica za jezgru CS-52.	85
Tablica 11. Osnovni statistički parametri distribucije veličine čestica za jezgru CS-53.	86
Tablica 12. Osnovni statistički parametri distribucije veličine čestica za jezgru LK-2.	87
Tablica 13. Osnovni statistički parametri distribucije veličine čestica za jezgru LK-3.	88
Tablica 14. Mineralni sastav sedimenata iz jezgre VR-1A i izdvojene zone (A-E)-podzone (1-3). Oznake minerala (Kretz, 1983): Qtz-kvarc, Cal-kalcit, Dol-dolomit, Arg-aragonit, Kfs-kalijski feldspat, Pl-plagioklas, A-amfibol, Ms/l-muskovit/illit, Kln-kaolinit, Chl-klorit, V-vermikulit, Sm-smektit.	90

Tablica 15. Analizirani uzorci kroz jezgru VR-1A i dijagnostički postupci kojim su podvrgnuti, te utvrđeni minerali glina. Oznake: AD-sušen na zraku, EG-tretiran s etilen glikolom, G-tretiran s glicerolom, DMSO-dimetil sulfoksid, Ill-illit, Kln-neuređen kaolinit, Kln _D -uređen kaolinit, Chl-klorit, Sm-smektit, HIV-hidroksil interstratificirani vermikulit, Chl _S -sekundarni klorit.	95
Tablica 16. Mineralni sastav u jezgrama sedimenata iz sjevernog dijela Vranskog jezera (CS-51, CS-52 I CS-53). Simboli (Kretz, 1983): Cal-kalcit, Dol-dolomit, Qtz-kvarc, Ms/I-muskovit/illit, Pl-plagioklas, Kfs-K-feldspat, Sm-smektit, Chl-klorit, Kln-kaolinit, Arg-aragonit, A-amfibol.	98
Tablica 17. Mineralni sastav u jezgrama sedimenata iz Lošinjskog kanala (LK-2 i LK-3). Simboli (Kretz, 1983): Cal-kalcit, Mg-cal-Mg kalcit, Hl-halit, Dol-dolomit, Arg-aragonit, Qtz-kvarc, Ms/I-muskovit/illit, Pl-plagioklas, Kfs-K-feldspat, Sm-smektit, Chl-klorit, Kln-kaolinit.	102
Tablica 18. Osnovni statistički parametri analiziranih elemenata unutar grupe 1 (prema AI) za jezgru VR-1A.	109
Tablica 19. Osnovni statistički parametri analiziranih elemenata unutar grupe 2 (prema AI), za jezgru VR-1A.	110
Tablica 20. Osnovni statistički parametri analiziranih elemenata za jezgru CS-51.	112
Tablica 21. Osnovni statistički parametri analiziranih elemenata za jezgru CS-52.	114
Tablica 22. Osnovni statistički parametri analiziranih elemenata za jezgru CS-53.	116
Tablica 23. Osnovni statistički parametri analiziranih elemenata za jezgru LK-2.	118
Tablica 24. Osnovni statistički parametri analiziranih elemenata za jezgru LK-3.	120
Tablica 25. Udio ukupnog dušika i ugljika, organskog (TOC) i anorganskog ugljika (TIC) te omjer organskog ugljika i dušika (C/N) uzoraka iz sliva Vranskog jezera na Cresu.	123
Tablica 26. Osnovni statistički parametri za udio ukupnog dušika i ugljika, organskog (TOC) i anorganskog ugljika (TIC) te omjer organskog ugljika i dušika (C/N) u jezgri CS-51.	124
Tablica 27. Osnovni statistički parametri za udio ukupnog dušika i ugljika, organskog (TOC) i anorganskog ugljika (TIC) te omjer organskog ugljika i dušika (C/N) u jezgri CS-52.	125
Tablica 28. Osnovni statistički parametri za udio ukupnog dušika i ugljika, organskog (TOC) i anorganskog ugljika (TIC) te omjer organskog ugljika i dušika (C/N) u jezgri CS-53.	126
Tablica 29. Osnovni statistički parametri za udio ukupnog dušika i ugljika, organskog (TOC) i anorganskog ugljika (TIC) te omjer organskog ugljika i dušika (C/N) u jezgri LK-2.	127
Tablica 30. Osnovni statistički parametri za udio ukupnog dušika i ugljika, organskog (TOC) i anorganskog ugljika (TIC) te omjer organskog ugljika i dušika (C/N) u jezgri LK-3.	128
Tablica 31. Rezultati palinoloških analiza uzoraka CS-52.	150
Tablica 32. Rezultati palinoloških analiza uzoraka CS-53.	151

Tablica 33. Korelacijska matrica najvažnijh anorganskih parametara/indikatora $p < ,05000$ N=191.	213
Tablica 34. Prikaz glavni događaja vezanih za razine Vranskog jezera na temelju indikatora i mjenjenih podataka.....	217

Popis kratica korištenih u tekstu

BP	<i>Before Present</i>	godina prije sadašnjosti
BC	<i>Before Christ</i>	godina prije Krista
AD	<i>Anno Domini</i>	godina poslije Krista
cal BP	<i>calendar BP</i> sadašnjost 1950. godina (godine dobivene kalibriranjem konvencionalnih ¹⁴ C starosti)	kalendarske godine prije sadašnjosti, s tim da je
ka	<i>kiloanni</i>	x 10 ³ godina
MIS	<i>Marine Isotope Stage</i>	MIS periodi
LGM	<i>Last Glacial Maximum</i> BP)	posljednji ledeni maksimum (26 000-19 1000 cal
B	<i>Bølling</i>	Bølling period (od 14,7 cal BP)
A	<i>Allerød</i>	Allerød period (do 12,8 cal BP)
YD	<i>Younger Dryas</i>	mlađi drijas (12,6-11,7 cal BP)
MWP-1A	<i>melt water puls 1A</i>	prvi „puls“ topljenja ledenjaka (14,2 ka cal BP)
MWP-1B	<i>melt water puls 1B</i>	drugi „puls“ topljenja ledenjaka (11,3 ka cal BP)
HO	<i>Holocene Optimum</i>	holocenski optimum, centriran na 9 000 BP
MWP	<i>Medieval Warm Period</i>	srednjovjekovni topli period (900-1 400 AD)
LIA	<i>Little Ice Age</i>	malo ledeno doba (1 550-1 850 AD)
d		međumrežni razmak
Å	<i>Ångstrom</i>	angstrom, 10 ⁻¹⁰ m
CIE L*a*b*		parametri boje prema međunarodnoj komisiji za osvjetljenje
MS		magnetski susceptibilitet

Popis priloga:

Tekstualni prilog: GIS projekt Vranskog jezera na Cresu 2005-2015

Tablični prilozi: Rezultati svih analiza u 6 jezgara

Prilog 1.1 Rezultati analize boje i magnetskog susceptibiliteta CS-51

Prilog 1.2 Rezultati analize boje i magnetskog susceptibiliteta CS-52

Prilog 1.3 Rezultati analize boje i magnetskog susceptibiliteta CS-53

Prilog 1.4 Rezultati analize boje i magnetskog susceptibiliteta LK-2

Prilog 1.5 Rezultati analize boje i magnetskog susceptibiliteta LK-3

Prilog 1.6 Rezultati analize boje i magnetskog susceptibiliteta VR-1A

Prilog 2.1 Rezultati granulometrijskih analiza CS-51

Prilog 2.2 Rezultati granulometrijskih analiza CS-52

Prilog 2.3 Rezultati granulometrijskih analiza CS-53

Prilog 2.4 Rezultati granulometrijskih analiza LK-2

Prilog 2.5 Rezultati granulometrijskih analiza LK-3

Prilog 2.6 Rezultati granulometrijskih analiza VR-1A

Prilog 3.1 Rezultati analiza ugljika i dušika CS-51

Prilog 3.2 Rezultati analiza ugljika i dušika CS-52

Prilog 3.3 Rezultati analiza ugljika i dušika CS-53

Prilog 3.4 Rezultati analiza ugljika i dušika LK-2

Prilog 3.5 Rezultati analiza ugljika i dušika LK-3

Prilog 3.6 Rezultati analiza ugljika i dušika VR-1A

Prilog 4.1 Rezultati geokemijskih analiza CS-51

Prilog 4.2 Rezultati geokemijskih analiza CS-52

Prilog 4.3 Rezultati geokemijskih analiza CS-53

Prilog 4.4 Rezultati geokemijskih analiza LK-2

Prilog 4.5 Rezultati geokemijskih analiza LK-3

Prilog 4.6 Rezultati geokemijskih analiza VR-1A

Grafički prilozi: Fotodokumentirani sedimenti iz bušotina i analiza boje (CS-51, CS-52, CS-53, LK-2, LK-3)

1. Uvod

Istraživanja nastanka i utjecaja promjena na okoliš Vranskog jezera provode se intenzivno od 1998. Tijekom tog razdoblja Hrvatske vode financirale su niz projekata na koje je nastvljena sadašnjem studijom : „ ISTRAŽIVANJA PALEORAZINA VRANSKOG JEZERA NA CRESU“, (Evid. broj ugovora: 10-044/13; klasa: 325-01/13-10/0000185; urbroj: 374-1-03-13-6, od 25. 09. 2013.). Dosadašnja istraživanja rezultirala su slijedećim elaboratima o provedenim istraživanjima:

1. Institut za geološka istraživanja (1998.): Hidrogeološka istraživanja Vranskog jezera na otoku Cresu s prijedlogom zona sanitarne zaštite, Zagreb
2. Institut za geološka istraživanja (2001.): Hidrogeološka istraživanja Vranskog jezera na otoku Cresu u razdoblju 1998.-2000. god. , Zagreb
3. Institut za geološka istraživanja (2002.): Hidrogeološka istraživanja Vranskog jezera na otoku Cresu u razdoblju 2001.-2002. god., Zagreb
4. Sveučilište u Zagrebu prirodno-matematički fakultet, Geološki odsjek (2003): Nastanak i budućnost Vranskog jezera na Cresu (morfogeneza, geokemija sedimenata, funkcioniranje, opterećenje i zaštita sustava) Morfogeneza, geokemija sedimenata, funkcioniranje, opterećenje i zaštita sustava, II faza istraživanja, Zagreb
5. Sveučilište u Zagrebu prirodno-matematički fakultet, Geološki odsjek (2005): Nastanak i budućnost Vranskog jezera na Cresu (morfogeneza, geokemija sedimenata, funkcioniranje, opterećenje i zaštita sustava), Završno izvješće II i III faza, Zagreb
6. Hrvatsko geološki institut (2007): Nastanak i budućnost Vranskog jezera na otoku Cresu – Utjecaj promjene klime i upotrebe zemljišta tijekom holocena na razine Vranskog jezera, Knjiga I, Zagreb.

U ovoj fazi istraživanja su provedena na slijedeći način:

-Kabinetska priprema i sakupljanje relevantnih podataka o Vranskom jezeru i širem jadranskom prostoru, analiza i valorizacija podataka; te pregled klimatskih i promjena upotrebe zemljišta na širem istraživanom prostoru tokom holocena (tj. zadnjih 11000 godina).

-Terenska istraživanja; uzimanje uzoraka jezgri neporemećenih sedimenata s piston korerom i platformom HGI-a. Ukupno je uzeto 8 jezgara u Vranskom jezeru sa različitim dubina te četiri jezgre iz Lošinjskog kanala, detaljno su analizirane i datirane 6 jezgri a ostale su arhivirane u hladnjaku u HGI-u, za buduća istraživanja.

-Laboratorijska istraživanja su obuhvatila; rezanje jezgri i pohranjivanje uzoraka u intervalima od 1 cm, spektrometrijsko određivanje boje (CIE L*a*b*) i magnetskog suscepti u rezoluciji od 1cm priprema uzoraka za analize i izrada analiza koja obuhvaćaju **kemijske analize** ukupnog sastava **jezerskih sedimenta**, s ICP-AES i ICP-MS a analizirano je ukupno oko više od 400 uzoraka u kojima su određene koncentracije 46 kemijskih elementa, u 372 uzorka utvrđen je udio organskog ugljika i dušika izrađene je ukupno **388 granulometrijskih** analiza laserskom difrakcijom i napravljeno je 110 xrd **mineraloške** analize sedimenta, obavljena su **datiranja** 6 jezgri pomoću analize ¹⁴C pomoću akceleratorске masene spektrometrije (AMS), napravljene su analize ostrakodne faune, dijatomeja i polena.

-Matematičko-statističke analize i modeliranje te grafički prikaz dobivenih rezultata

-ArcGIS projekt sliva Vranskog jezera s integriranim rezultatima svih dosadašnjih istraživanja koje je provedena u HGI

Rekonstrukcije paleorazina jezera koriste multidisciplinarne metode istraživanja opisane kao paleolimnologija. U ovom radu prikazani su rezultati paleolimnoloških istraživanja Vranskog jezera na Cresu. Paleolimnologija je znanstvena disciplina koja proučava uvjete i procese koji su se dogodili u jezerskim bazenima u prošlosti i interpretira povijest tih sustava. Paleolimnologija koristi fizičke, kemijske i biološke parametre u jezerskim sedimentima, kako bi se utvrdile paleookolišne karakteristike. Takvo multidisciplinarno istraživanje jezera, može dati odgovore na mnoga pitanja, primjerice: „Je li bilo i kakve su promjene u jezeru? U kojem obujmu su te promjene utjecale na jezero? Što je uzrokovalo promjene?“ Jezerski sedimenti sadrže zapis okolišnih uvjeta, uključujući mineraloške i geokemijske markere te paleontološke indikatore, kao što su pelud, ostrakodi i dijatomeje. Jezerski sedimenti su jedni od najboljih medija za arhiviranje paleookolišnih informacija.

Osnovni principi paleolimnološkog pristupa, koji je korišten u istraživanju Vranskog jezera, sastoji se od:

- A. **Uzimanja uzoraka** - udarnim bušenjem pomoću klipnog korera uzima se neporemećeni slijed sedimenata koji se kasnije segmentira u uzorke debljine od 0,25 do 1 cm.
- B. **Datiranje sedimenata** - sedimenti se datiraju pomoću radiogenih izotopa (^{210}Pb , ^{137}Cs , ^{14}C) ili drugim metodama datiranja (npr. brojanjem i kalibriranjem sezonskih laminiranih sedimenata ako postoje)
- C. **Analiza indikatora** - obradom segmenata sedimenata izoliraju se indikatori koji se istražuju (razina jezera, eutrofikacija). Indikatori ili okolišni „proksiji“ određuju se nizom analitičkih tehnika (mineraloških, kemijskih, paleontoloških i dr.)
- D. **Interpretacija okolišnih uvjeta** - promjene u jezerskom okoliša interpretiraju se na temelju utvrđenih promjena indikatora. Često se koriste statističke metode kalibracije indikatora na temelju današnjih uvjeta u jezerima.
- E. **Ocjena stanja okoliša** - podaci paleolimnoloških istraživanja pokazuju koji jezerski sustavi reagiraju na razne utjecaje te tako omogućuju predviđanje mogućih stanja u budućnosti.

1.1. Paleolimnologija

Limnologija je znanost o jezerima, uključujući njihov biljni i životinjski svijet, fizičke i kemijske karakteristike vode i sedimenta na dnu jezera i njihov odnos s fizičkim, kemijskim i biološkim svojstvima u slivnom području, dok se paleolimnologija temelji na istraživanjima jezerskog okoliša u prošlosti. Paleolimnologija je znanstvena disciplina koja proučava uvjete i procese koji su se dogodili u jezerskim bazenima u prošlosti i interpretira povijest tih sistema (Last & Smol, 2001). Paleolimnologija koristi fizičke, kemijske i biološke parametre u jezerskim sedimentima, kako bi se utvrdile paleookolišne karakteristike. Takvo multidisciplinarno istraživanje jezera, može dati odgovore na mnoga pitanja, kao što su: da li je bilo i kakve su promjene u jezeru? U kojem obujmu su te promjene utjecale na jezero? Što je uzrokovalo promjene? Jezerski sedimenti sadrže zapis okolišnih uvjeta, uključujući mineraloške i geokemijske markere, paleontološke indikatore, kao što su pelud, ostrakodi i dijatomeje. Jezerski sedimenti su jedni od najboljih medija za arhiviranje paleookolišnih informacija.

Tablica 1. Paleolimnološki indikatori koji su korišteni u istraživanju Vranskog jezera na Cresu.

Fizički indikatori	Svojstvo
Brzina sedimentacije	Erozija u slijevu
Granulometrijski sastav	Klimatske promjene, porijeklo sedimenta, procesi taloženja
Boja sedimenta	Relativne količine organske tvari, karbonata, erozija
Magnetski susceptibilitet, litološki sastav, mineraloški sastav sedimenta	Klimatske promjene, porijeklo sedimenta, procesi taloženja, erozija
Kemijski indikatori	Svojstvo
Fosfor	eutrofikacija
Teški metali	Onečišćenje, erozija
Željezo i mangan	Oksidacijsko-reduktivni uvjeti
Odnos sumpora i ugljika	Oksidacijsko-reduktivni uvjeti, trofičnost
Organski ugljik i dušik i njihov odnos	Produktivnost, porijeklo sedimenta i organske tvari
Kalcijev karbonat (kalcit, aragonit)	Klimatski uvjeti
Radioaktivni izotopi	Određivanje starosti (^{210}Pb , ^{137}Cs , ^{14}C)
Biološki indikatori	Svojstvo
Dijatomeje	Dubina vode, salinitet, bioraznolikost, pH, produktivnost/količina nutrijenata
Ostrakodi	Salinitet, temperatura, dubina, ionski sastav vode
Polen i spore	Vegetacija, klima, kronološki markeri

Jezerski sedimenti su produkt života jezera (Lundqvist, 1938). Ovaj citat potječe od začetnika jezerske sedimentologije u Švedskoj, G. Lundqvista, koji je proučavao odnose između sedimentata, tipova jezera i okoline jezera. Multidisciplinarni pristup istraživanju jezerske sedimentologije temelj je za utvrđivanje ovih odnosa.

Jezera su privremeni objekti na površini Zemlje, kopnene akumulacije vode, odvojene od mora. Jezera generalno potječu od nekog drastičnog geološkog događaja, kao što je vulkanizam, potres ili otapanje ledenjaka. Reljef drenažnog područja i jezerskog bazena pod konstantnim je utjecajem promjena uslijed procesa trošenja, transporta i taloženja. Håkanson & Jansson (2002) podijelili su jezera prema postanku na 11 tipova: tektonska (Kaspijsko, Bajkalsko jezero, Tanganjika, Mrtvo i Crno more); vulkanska (jezero Snag, jezera na Javi); ledenjačka (jezera sjeverne Europe i Amerike); jezera odrona, koja su nastala odronjavanjem stijena, zadržavanjem vode pomoću muljnih tokova ili kršja, često su prijelazna jezera zbog erozije; jezera nastala otapanjem topivog materijala, kao što su vapnenci (krško područje dalmatinske obale u Hrvatskoj, na Floridi i u Alpama); fluvijalna; eolska; obalna jezera; organska ili koraljna jezera; antropogena; meteoritna jezera.

Jedno od osnovnih obilježja jezera jest njihova bioproduktivnost, tj. njihov stupanj trofije. Ona govori o tome da li je organski materijal prisutan u jezeru donesen iz sliva (alohton) ili nastao u samom jezeru (autohton), te prema tome postoje oligotrofna, eutrofna i distrofna jezera (Håkanson & Jansson, 2002). Oligotrofna jezera karakterizira niska primarna produktivnost, nizak udio algi, niske koncentracije nutritivnih elemenata (P i N) i velika prozirnost. Eutrofna jezera su jezera s visokom bioproduktivnosti i imaju visoke koncentracije dušika i fosfora, visoke vrijednosti klorofila i slabu prozirnost. Moguć je kontinuiran prijelaz iz oligotrofnog u eutrofno jezero, te se u tom slučaju koristi termin mezotrofno jezero. Distrofna jezera primaju velike količine alohtonog organskog materijala i često se zovu „smeđa jezera“. Produktivnost u distrofnim jezerima je niska.

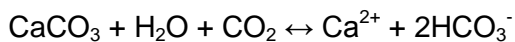
Termalna stratifikacija jezerske vode u tipičnom slučaju jest sljedeća: hladnija, teža voda nalazi se pri dnu jezera i naziva se hipolimnij, tranzicijska zona je metalimnij (termoklina), a toplija, lakša voda je na površini i naziva se epilimnij. Ovaj tip stratifikacije može se poremetiti i promijeniti na različite načine. Na temelju termičke stratificiranosti, razlikuju se različiti tipovi jezera, a za područje Hrvatske karakteristična su monomiktična jezera umjerenog klimatskog pojasa, s ljetnom stratifikacijom i zimskom izotermijom. Monomiktična jezera imaju, dakle, jedan period cirkulacije godišnje (zimi), a u određenom periodu i konstantnu temperaturu, koja u slučaju hladnog monomiktičnog jezera ne raste iznad +4°C, a u slučaju toplog monomiktičnog ne pada ispod +4°C. Dimiktična jezera

cirkuliraju dva puta godišnje (proljeće i jesen), normalno su stratificirana tijekom ljeta, a inverzno tijekom zime. Polimiktična jezera imaju učestalu cirkulaciju, a mogu biti hladna ako im je temperatura blizu +4°C ili topla, ako imaju višu temperaturu (Håkanson & Jansson, 2002). Kod meromiktičnih jezera izmjena vode je slaba i odvija se samo djelomično.

Kemijski sastav jezerske vode određen je geološkom građom slivnog područja i atmosferskom unosu. Glavni ioni u jezerskoj vodi su: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^- , HCO_3^- i CO_3^{2-} . Ako je koncentracija otopljenih iona <0,1 g/L, jezero se naziva oligohalinsko (donos vode samo padalinama), ako je <1 g/L tada je mezohalinsko i karakterizirano je topivom podlogom u slivnom području, koja je izvor iona. Koncentracije topivih soli između 1 i 35 g/l čine polihalinsko jezero. Kada koncentracija otopljenih iona dosegne oceansku srednju vrijednost (~35 g/L), voda je brakična i jezero je eurihalinsko. Ioni Na^+ , K^+ i Cl^- u vodi uglavnom potječu iz mora, direktnom vezom ili se soli mogu prenositi u atmosferi i taložiti kao aerosol, mogu ući u jezersku vodu trošenjem feldspata koji sadrže K i Na. Sulfatni ion (SO_4^-) također primarno potječe iz mora i oceana, no danas jednaku važnost imaju fosilna goriva u kojima ima sumpora, čijim izgaranjem može dospjeti u atmosferu pa u jezero. Ioni Ca^{2+} i Mg^{2+} mogu imati morski izvor i mogu potjecati kemijskim trošenjem karbonatnih stijena vapnenaca i dolomita ili magmatskih stijena (posebno Mg). Ugljični dioksid dolazi iz atmosfere, ioni HCO_3^- i CO_3^{2-} uglavnom nastaju trošenjem karbonata (Cohen, 2003).

Jezerski sedimenti su sedimenti koji se talože u jezeru, a mogu biti doneseni iz okoline (alogeni sedimenti) ili nastati u samom jezeru (endogeni ili autigeni sedimenti) (Jones & Bowser, 1978; Last, 2001). Raznolikost minerala u jezerskim sedimentima posljedica je različitog sastava jezerske vode i utjecaja lokalne geološke građe sliva i sastava tla. Alogeni i autigeni minerali također ne moraju nužno biti u termodinamičkoj ravnoteži, što doprinosi raznolikosti minerala. Alogeni minerali su doneseni iz sliva, rijekama, obalnom erozijom ili vjetrom, te se nazivaju detritični minerali. To mogu biti kvarc, feldspati, tinjci, amfiboli, pirokseni, Fe-Mn oksidi, karbonati, minerali glina. Silikatni minerali generalno se mogu smatrati alogenim mineralima u jezerskim sedimentima, iako neki mogu biti autigeni, npr. zeoliti ili neki minerali glina (uglavnom Mg-minerali glina, većinom u hipersalinskim jezerima). Ne mijenjaju se u vodenim okolišima i talože se kao čestice različitih veličina, ali većinom kao silt i pijesak (kvarc i feldspati). U sitnijoj frakciji manjoj od 2 μm , javljaju se minerali glina. Minerali glina nastaju iz drugih silikata hidrotermalnim procesima ili procesima trošenja. Minerali glina i ostali silikatni minerali reflektiraju mineralni sastav u slivu jezera. Erozija i trošenje stijena su procesi koji im omogućuju da budu transportirani u jezerske sedimente. Endogeni minerali mogu nastati direktnim taloženjem iz vodenog stupca (hidrogeni) ili

djelovanjem organizama (biogeni), unutar vodene mase i na dnu jezera. Tipični endogeni minerali su kvarc, nastao djelovanjem dijatomeja, koje izlučuju biogeni silicijev oksid, te karbonati, koji se talože iz vode koja je saturirana s kalcijevim karbonatom otapanjem vapnenaca u slivu. Fosfati (apatit), sulfidi (pirit) i Fe-Mn oksidi (nodule) spadaju u autigene minerale, koji nastaju unutar sedimentata kao rezultat specifičnih kemijskih i fizičkih uvjeta – dijagenetskih promjena minerala koji su već istaloženi ili kristalizacijom iz pornih fluida. Većina je minerala u sedimentima alogena ili endogena, a neki minerali, kao što je kalcit, može biti alogen i autigen. U krškim područjima, karbonati su najvažnije komponente sedimenta i čine dominantnu frakciju. Glavi dio karbonatnih vrsta potječe od erozije stijena u slivu. Najčešći alogeni karbonatni minerali su kalcit i dolomit. U krškim područjima, karbonati mogu nastati u jezeru endogenim procesima - primarni karbonati. Većina endogenog karbonata se taloži u obliku karbonatnog mulja. Jezerski karbonat je porozni, sitnozrnati karbonatni sediment (većinom kalcit ili aragonit), koji sadrži barem 60% karbonata (ostatak čine drugi minerali). Površinski tokovi, voda u tlu i podzemna voda u područjima s karbonatnom podlogom, sadrže visoke koncentracije Ca^{2+} , HCO_3^- ili CO_3^{2-} kao rezultat interakcije između vode, ugljičnog dioksida i karbonatnih minerala:



Jezerska voda postaje saturirana s kalcijem pa promjene kemijskih i fizičkih uvjeta mogu uzrokovati taloženje kalcita i drugih karbonatnih minerala (Arribas et al., 2004; Dean & Fouch, 1983; Tucker & Wright, 1990). Reakcija je reverzibilna i smjer u kojem će ona ići ovisi o dostupnosti CO_2 . Proces koji rezultiraju time da je CO_2 dostupan, uzrokuju otapanje CaCO_3 dok se ponovno ne uspostavi ravnoteža, a uklanjanje CO_2 ima suprotan efekt i uzrokuje taloženje CaCO_3 . Dva glavna mehanizma za uklanjanje CO_2 i taloženje CaCO_3 su fotosinteza i CO_2 otplinjavanje (*degassing*), npr. vodotoci ili sige. Fizički parametri, CO_2 i temperatura, temelj su za topljivost kalcita. Ako više nema CO_2 , karbonatni sistem će nadoknaditi taj gubitak s taloženjem kalcita dok se ne uspostavi nova ravnoteža. Jezerski pH reguliran je fotosintezom, respiracijom i organskom materijom. Alge i makrofiti (vodeno bilje) mogu potrošiti sav ugljični dioksid, pri čemu raste pH. Visoka temperatura vode potiče taj proces, jer se topljivost kalcita smanjuje s porastom temperature. Nasuprot tome, respiracija i raspad organske tvari dovode do produkcije CO_2 i suprotne reakcije i otapanja CaCO_3 . Otapanje kalcita smanjuje se porastom pH, koji raste u jako produktivnim jezerima i pri intenzivnoj fotosintezi. Karbonati nastali tim procesima ne talože se nužno u sediment i na dnu jezera. U dubljim jezerima, kalcit koji prolazi kroz termoklinu dolazi u kontakt s hladnijom vodom s većim koncentracijama CO_2 i može biti ponovno otopljen. Optimalni uvjeti za

ugradnju endogenih minerala u sedimente postoje u plitkim jezerima. Što je jezero produktivnije, to se taloži više karbonata. To se uravnotežuje s povećanom sposobnosti sedimenta da otapaju karbonate povećanim donosom organske tvari koja se taloži na dnu jezera i stvara CO₂. Organske komponente također mogu spriječiti otapanje karbonata. Mnoge organske vrste, kao što su amino kiseline i humusne tvari, imaju veliku tendenciju da budu adsorbirane na površinu kristala kalcita. Takvi organski ovojci smanjuju topljivost karbonata i doprinose očuvanju tih minerala u sedimentima. Fauna beskralježaka, kao što su ostrakodi, gastropodi i školjke, zelene alge, foraminifere talože karbonate u jezeru. Ti organizmi žive u ili na supstratu kao i u vodenom stupcu, uzimajući materijal za skelet, bilo kalcit, Mg-kalcit ili aragonit od kojeg su izgrađene iz jezerske vode. Od kojeg će od tih triju minerala biti izgrađen skelet ili ljuštura, izravno ovisi o načinu života i sklonosti organizma prema određenom mineralu u određenim ekološkim uvjetima. Aragonit općenito nastaje pri većem omjeru Mg/Ca u vodama, pri višim temperaturama i evaporacijom (Cohen, 2003; Håkanson & Jansson, 2002).

Sedimente možemo podijeliti koristeći geokemijski pristup i tada govorimo o oksičnom i anoksičnom okolišu u kojem se talože. Za oksični okoliš (CO₂ ≥ 10⁻⁶) karakteristična je prisutnost faza kao što su hematit, goethit i nedostatak organske materije. Anoksični okoliš (CO₂ ≤ 10⁻⁶) se dijeli na sulfidni i nesulfidni, ovisno o količini otopljenog sulfida. Karakteristične faze u sulfidnom okolišu su pirit, markazit, rodokrozit, a uz njih prisutna je i organska tvar. Nesulfidni okoliš dijeli se na post-oksični, koji je rezultat uklanjanja kisika bez redukcije sulfata (sadrži glaukonit i druge Fe²⁺-Fe³⁺ silikatne minerale, siderit, vivijanit, rodokrozit, a nema sulfidnih minerala i manjak je organske tvari), te metanski okoliš, koji nastaje kompletnom redukcijom sulfata i stvaranjem plina metana (i on sadrži siderit, vivijanit, rodokrozit, te ranije formirane sulfide te organsku tvar) (Håkanson & Jansson, 2002).

Jezersku sedimentaciju kontroliraju tri glavna faktora: hidrologija (uključujući donos i odnos površinske vode, padaline i podzemne vode, evaporacija), donos sedimenta i temperaturne promjene, a klima i tektonika utječu na sva tri faktora istovremeno (Tucker & Wright, 1990). Klima i tektonika (topografija i podloga jezerskog bazena) kontroliraju donos vode, a voda može ući u jezero preko padalina, površinskog toka ili podzemnih voda. Jezerski sedimenti su velikim dijelom produkti erozije u slivnom području (površinskih i potpovršinskih stijena) (Hinderer & Einsele, 2001). Rasprostranjene karbonatne stijene u slivnom području, omogućit će taloženje karbonata u jezerskom bazenu, neovisno o klimi.

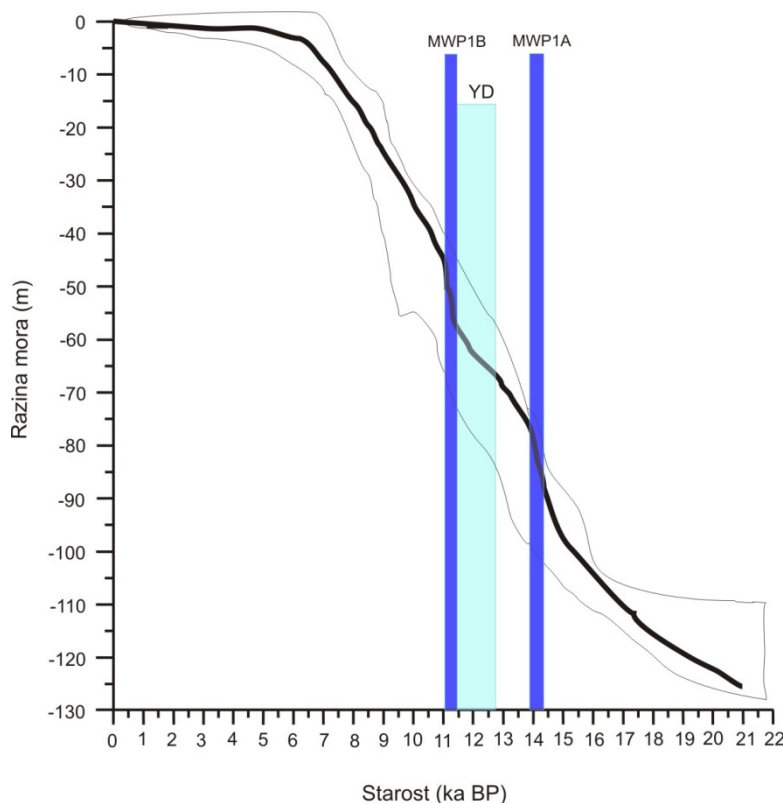
1.2. Obilježja kasnog pleistocena i holocena istočno jadranske obale

Holocen i pleistocen epohe pripadaju geološkom periodu kvartaru. Kvartar je započeo prije 2,588 milijuna godina, s početkom pleistocena. Do 2009. godine početak pleistocena bio je utvrđen na 1,8 milijuna godina, kada ga je IUGS („*International Union of Geological Science*“) na prijedlog međunarodne komisije za stratigrafiju pomaknuo na 2,588 milijuna godina. Opće je prihvaćeno da bi kvartar trebao početi s prvim indikacijama zahlađenja u Mediteranskoj regiji, te je prema današnjem modelu određivanja kronostratigrafije (*GSSP-Global Stratotype Section and Point*), na Siciliji utvrđena granica na 2,588 milijuna godina. Izmjena ledenih i međuledenih doba (glacijala i interglacijala) tijekom pleistocena povezana je s promjenama u orbitalnim elementima Zemlje koje utječu na količinu primljene insolacije (*Milankovićeve ciklusi*, Milanković, 1920). Milankovićeve teorija opisuje periodične klimatske promjene koje su se dogodile u prošlosti. Tri su važna orbitalna ciklusa koji određuju distribuciju solarne topline koja dolazi na Zemlju: ekscentričnost Zemljine orbite oko Sunca, nagib osi rotacije Zemlje i precesija. Promjena ekscentričnosti Zemljine orbite od skoro pravilnog kruga do elipse uzrokuje periodičnost od 100 000 do 400 000 godina. Nagib osi rotacije Zemlje oscilira s periodom od oko 41 000 godina i ima snažniji utjecaj na višim geografskim širinama nego na ekvatoru. Što je manji nagib, manji je i sezonski kontrast, što znači blage zime i hladna ljeta tijekom malog nagiba, dok kod maksimalnog nagiba imamo hladne zime i vruća ljeta. Precesija opisuje promjenu smjera Zemljine rotacione osi u odnosu na Sunce i za puni ciklus joj je potrebno oko 21 700 godina. Promjena smjera osi ima utjecaj na položaj Zemlje u ekvinociju (vremena kad se Sunce nalazi direktno iznad ekvatora). To znači da će u nekom trenutku precesijskog ciklusa, za vrijeme ljetnog solsticija sjeverna hemisfera biti najbliže Suncu, a u istom trenutku će južna hemisfera biti najdalje od Sunca. Takva je situacija bila prije 11 000 godina. Danas je obrnuto, na sjevernoj hemisferi, postoje blage zime i hladna ljeta. Kombinacijom sva tri ciklusa, može se izračunati krivulja insolacije koja daje količinu energije koju Zemlja prima od Sunca na bilo kojoj geografskoj širini. Ledeno doba se vjerojatno dogodilo u situaciji u kojoj je nagib osi bio minimalan, ekscentričnost na maksimumu i Zemlja je bila najdalje od Sunca tijekom ljetnog solsticija. Iako smo danas u toplom, međuledenom periodu (holocenu), današnji trend orbitalnih ciklusa ukazuje da se približavamo novom ledenom dobu na sjevernoj hemisferi (Gibbard, 2007). Na temelju opisane cikličnosti definirane Milankovićevom teorijom, u pleistocenu se izmjenjuju topli i hladni periodi odnosno ledena i međuledena doba. Ona su utvrđena na temelju kisikovih izotopa u sedimentima s dna oceana i nazivaju se MIS periodi (*Marine Isotope Stages*). Skala izotopnog sastava kisika u morskim sedimentima bazira se na činjenici da led koji nastaje u hladnijim razdobljima sadrži manje ^{18}O nego u morskoj vodi, što rezultira time

da voda sadrži više ^{18}O . Sastav kisikovih izotopa u ljušturama foraminifera i ostalih organizama iz dubokih morskih jezgri variraju proporcionalno u odnosu na sastav u vodi i reflektiraju promjene u temperaturi (Gibbard, 2007). Počevši od danas, skala počinje s MIS 1, koji odgovara holocenskom interglacijalu, MIS 2 od 12-24 ka BP, MIS-3 od 24-60 ka BP, MIS 4 od 60-74 ka BP, MIS 5 od 74-130 ka BP, i tako dalje (Martinson et al., 1987). Parni brojevi označavaju hladne periode, dok su neparni brojevi oznake za tople periode, te isto vrijedi i za izmjene hladnih i toplih perioda unutar svakog MIS-a.

Posljednje ledeno doba u pleistocenu bilo je LGM (*Last Glacial Maximum*), koji je trajao od 26 000-19 000 cal BP (cal-kalendarske godine, BP-prije sadašnjosti, *Before Present*) (Clark & Mix, 2002). Nakon posljednjeg ledenog maksimuma, od 19 000 god. započelo je povećanje ljetne insolacije na sjevernoj hemisferi što je uzrokovalo povlačenje ledenog pokrova tj. topljenje ledenjaka, te se razina mora izdigla za 10-15 m djelomičnim topljenjem ledenih površina (Clark et al., 2004). Globalna morska razina je u doba LGM-a bila oko 120 m niža nego danas (Fairbanks, 1989). Porast morske razine od LGM-a nije bio kontinuiran i monoton proces, već je karakteriziran s 2 intervala naglog porasta morske razine („*melt water pulses*“, *MWP*). Prvi snažan „puls“ (MWP-1A) nakon topljenja ledenjaka, započeo je prije 14,2 ka cal BP (*kiloanni*= $\times 10^3$ godina), a drugi (MWP-1B) prije 11,3 ka cal BP (Fairbanks, 1989). *Bølling-Allerød* je period vrlo nestabilnih klimatskih uvjeta, koji je trajao između oko 14,7-12,8 ka cal BP (Cohen, 2003). Početak *Bøllinga* karakterizira naglo zatopljenje i vlažnije klimatske uvjete u odnosu na prijašnji najstariji drijas (*Oldest Dryas*). Na prijelazu između *Bølling-Allerød* interstadijala, slijedi MWP-1A, te kratki hladni interval stariji drijas (*Older Dryas*). *Allerød* je i dalje period toplih klimatskih uvjeta, a odmah nakon *Allerød* interstadijala, započeo je interval ekstremno hladnih klimatskih uvjeta i pada količine padalina, od 12,6-11,7 ka cal BP, koji se naziva mlađi drijas (YD-*Younger Dryas*) (Alley, 2000) i smatra se hladnim i suhim periodom (Renssen et al., 2001). Kraj mlađeg drijasa karakterizira oko 200 godina nestabilnih klimatskih uvjeta, s jakim godišnjim olujama. Mlađi drijas evidentiran je u Mediteranskom području u Alboranskom i Egejskom moru (Dormoy et al., 2009), gdje su utvrđene temperature najhladnijeg mjeseca od -5°C do 0°C , a generalno su zime bile suše i hladnije, dok su ljeta bila vlažnija. To su slične vrijednosti onima određenim u središnjoj Italiji (Huntley et al., 1999) i južnoj Albaniji (Bordon et al., 2009). Mlađi drijas nalazi se između MWP-1A i B. Drugi značajni donos slatke vode, „puls“ MWP-1B, dogodio se nakon mlađeg drijasa. Tijekom tih perioda (MWP-1A i B), morska se razina izdigla za oko 20 m svaki put u manje od 500 godina (Clark et al., 2002).

Prema Correggiari et al. (2006), koji su prikupili dostupne podatke za Jadransko more od posljednjeg ledenog maksimuma (LGM) prije ~21 000 god. (slika 1), razina Jadranskog mora dobro se poklapa s globalnom krivuljom dizanja razine mora (Fairbanks, 1989). Morska razina se od posljednjeg ledenog maksimuma (LGM-a) izdigla za oko 120 m. U doba LGM-a, sjeverni dio i dio srednjeg Jadrana je bilo potpuno suho, do srednje jadranske depresije (~272 m). Dolina rijeke Po protezala se cijelim tim dijelom. Prije oko 10 000 godina razina Jadranskog mora bilo je oko 50-40 m niža nego danas, te je današnju razinu doseglo prije oko 5 000 godina (Asioli et al., 2001; Lambeck et al., 2004; Correggiari et al., 2006). To znači da se od 19 000-5 000 godina razina mora izdigla za 120 m. Današnji rast globalne razine mora očituje se i u Jadranskom moru, te iznosi 2-3,4 mm/god, mjereno na različitim stanicama, s greškom od 1 mm/god. (Tsimplis et al., 2012; Fouache et al., 2010). Slabi tektonski pokreti u holocenu, omogućuju kontinuirano praćenje razine Jadranskog mora na našoj obali, npr. pomoću siga (Surić et al., 2005; Surić & Juračić, 2010), potopljenih arheoloških nalazišta (Faivre et al., 2010) ili geomorfološko-bioloških indikatora (Faivre et al., 2013).

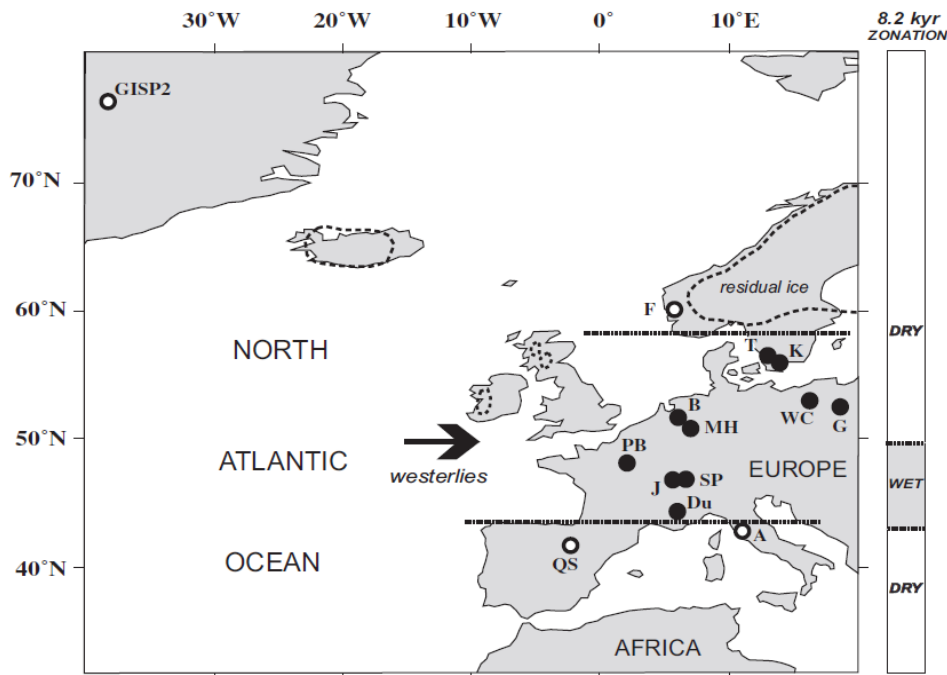


Slika 1. Krivulja razina Jadranskog mora od posljednjeg ledenog maksimuma (LGM-a) do danas (modificirano prema Correggiari et al., 2006). Starost je označena u tisuću godina prije

sadašnjosti (ka BP), YD označava mlađi drijas, MWP1A i B razdoblja naglog porasta morske razine i donosa slatke vode otapanjem ledenjaka („*meltwater pulse*“).

Granica između pleistocena i holocena utvrđena je na temelju ledene jezgre izvađene u okviru projekta NGRIP (*North Greenland Ice Core Project*), u kojoj niz fizičkih i kemijskih parametara (smanjenje suviška deuterija, postepene promjene u $\delta^{18}\text{O}$, smanjenje koncentracije prašine, značajne kemijske promjene-smanjenje natrija, povećanje debljine godišnjih slojeva) reflektira prve znakove klimatskog zatopljenja, pri kraju posljednjeg hladnog perioda mlađeg drijasa (Walker et al., 2009). S velikom preciznošću određeno je da je holocen započeo prije 11 700 godina (Walker et al., 2009) i traje sve do danas (holocenski interglacijal). Generalno se smatra da je holocen epoha klimatske stabilnosti, no istraživanja u posljednjih desetak godina pokazala su postojanje klimatske varijabilnosti (Mayewski et al., 2004). Početak holocena karakteriziraju više temperature, te je taj period prozvan holocenski klimatski optimum (HO, *Holocene Optimum*, centriran na 9 000 BP), vrijeme tople i vlažne klime i većih količina padalina (Lionello, 2012). Vlažni uvjeti tijekom ranog do srednjeg holocena dokazani su u središnjoj Italiji (Zanchetta et al., 2007), te u morskim i jezerskim sedimentima u Italiji (Ariztegui et al., 2000). Pluvijalni (poplavni) period na početku holocena identificirali su Wunsam et al. (1999) na dalmatinskoj obali, istražujući Malo i Veliko jezero na otoku Mljetu. Početak pluvijalnog razdoblja oni datiraju na oko 8 800 cal BP u Malom jezeru i 8 400 cal BP u Velikom jezeru. Taj period odgovara sapropelnoj formaciji S1 na Jadranu, koja se može podijeliti na 2 faze taloženja, prekinutim hladnijim i sušim periodom, odnosno 8,2 događajem. Talozenje sapropela je trajalo: S1a 10 800-8 800 cal BP i S1b 7 800-6 100 cal BP (Rohling et al., 1997; Ariztegui et al., 2000). Njegovo formiranje povezano je s globalnim promjenama u klimi (topliji i vlažniji klimatski uvjeti) i cirkulaciji vode koja potječe od snažnog dotoka slatke vode s nutrijentima, što je rezultiralo povećanom stratifikacijom vodenog stupca i povećanom produktivnosti. Wunsam et al. (1999) su na Mljetu u Malom jezeru utvrdili suši period između 7 200-7 100 cal BP. Na sjevernoj hemisferi, u sjevernom Atlantiku, identificiran je hladan period centriran na 8,2 tisuća godina BP („8,2 događaj“, Alley & Agustsdottir, 2005; Dormoy et al., 2009). Vrijeme prekida taloženja sapropela S1 dobro korelira s tim događajem i sušim uvjetima. No, hladni događaj na početku holocena (preborealna oscilacija) evidentirana je u zapadnoj i centralnoj Europi te sjeverozapadnom Mediteranu (Björck et al., 1997). U južnom dijelu Jadranskog mora preboreal su utvrdili Favaretto et al. (2008) na temelju analize polena i foraminifera. Tijekom PBO nisu vladali isti klimatski uvjeti u cijeloj Europi, te se razlikuju vlažniji uvjeti u srednjoj Europi (između 58° i 43° sjeverne geografske širine), dok u sjevernoj i južnoj Europi prevladavaju suši uvjeti

(Magny et al., 2007b) (slika 2). Sličan trend suših klimatskih uvjeta u južnoj Europi karakterističan je i za događaj prije 8 200 godina.



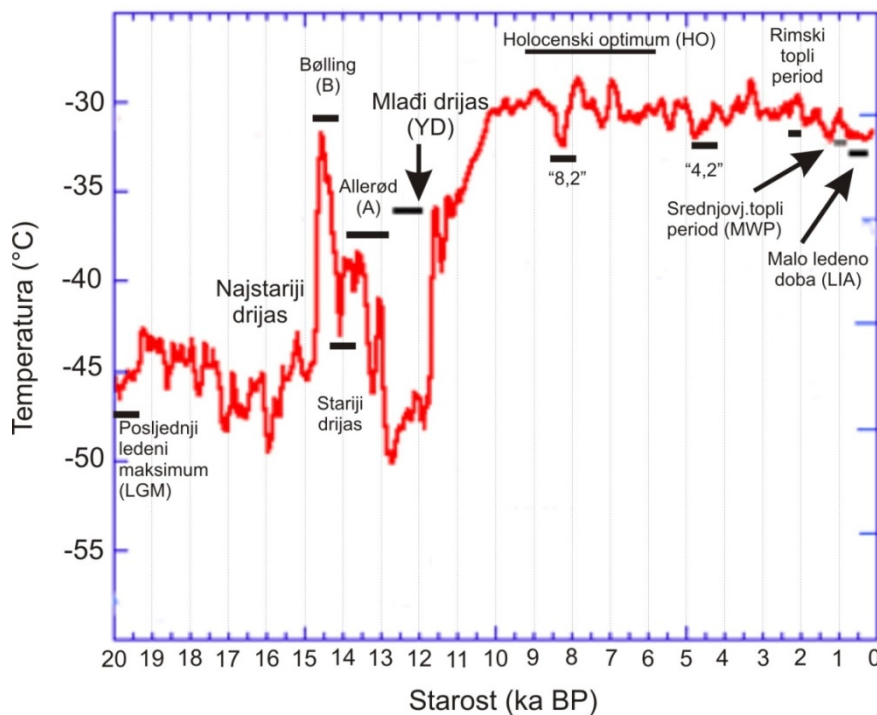
Slika 2. Usporedba paleoklimatskih uvjeta tijekom preboreala (PBO) u Europi. Crne točke: vlažno; otvoreni krugovi: suho; isprekidane podebljane linije: sjeverne i južne granice umjerenih širina karakteriziranih vlažnijim klimatskim uvjetima; isprekidane linije-pružanje ostataka ledenog pokrova u ranom holocenu. Na desnoj strani prikazana je usporedba s paleoklimatskim uvjetima za „8,2 događaj“. A-jezero Accesa; B-De Borchert; Du-Middle Durance dolina; F-Folgefonna; G-jezero Gosciaz; J-jurska jezera; Sp-Švicarski plato; K-Krageholmsjon; MH-jezera Meerfelder i Holzmaar; PB-Pariški bazen; Qs-Quintanar de la Sierra; T-jezero Torreberga; WC-jezero Wielkie Gacno. Preuzeto iz Magny et al. (2007b).

Srednji holocen karakteriziran je malim padom temperature i padalina, dakle hladnijim i sušim uvjetima, od oko 5 000 godina (neoglacijal). Globalno je poznat period suše prije 4 200 godina, kada je došlo do naglog pada temperature i suše u mediteranskom i afričkom području (Eastwood et al., 2007; Finne et al., 2011). Poznat je rimski period zatopljenja, kao i srednjovjekovna klimatska anomalija (*Medieval Climate Anomaly*, MCA) ili topli period (*Medieval Warm Period*, MWP). MCA odnosi se na period od 10 do 14. stoljeća (900-1 400 AD), tijekom kojeg je zabilježeno zatopljenje u Europi, Grenlandu i Aziji (Lionello, 2012). Hladnije razdoblje, u periodu od 16. do 19. stoljeća (1 550-1 850 AD), naziva se malo ledeno doba (*Little Ice Age*, LIA). LIA se definira kao hladni period karakteriziran širenjem ledenjaka u alpskoj regiji. Takve klimatske promjene imale su za posljedicu promjene razina pojedinih jezera, koje su istraživane u Italiji, u jezeru Accesa (Magny et al., 2007a), Ledro (Magny et al., 2009), Preola (Magny et al., 2011). Dosadašnja istraživanja jezerskih sedimenata u

Mediterranskom području na temelju izotopnih analiza saželi su Roberts et al. (2008), a u Italiji na temelju jezerskih sedimenata Giraudi et al. (2011).

Holocen se prema posljednjim podacima na temelju spomenutih promjena dijeli na rani (11,7-8,2 ka BP), srednji (8,2-4,2 ka BP) i kasni holocen/neoglacijal (4,2 do danas), a postupno se uvodi i termin antropocen, za period povećanog utjecaja čovjeka na okoliš, posebno poslije industrijske revolucije (Walker et al., 2012; Zanchetta et al., 2012a, b).

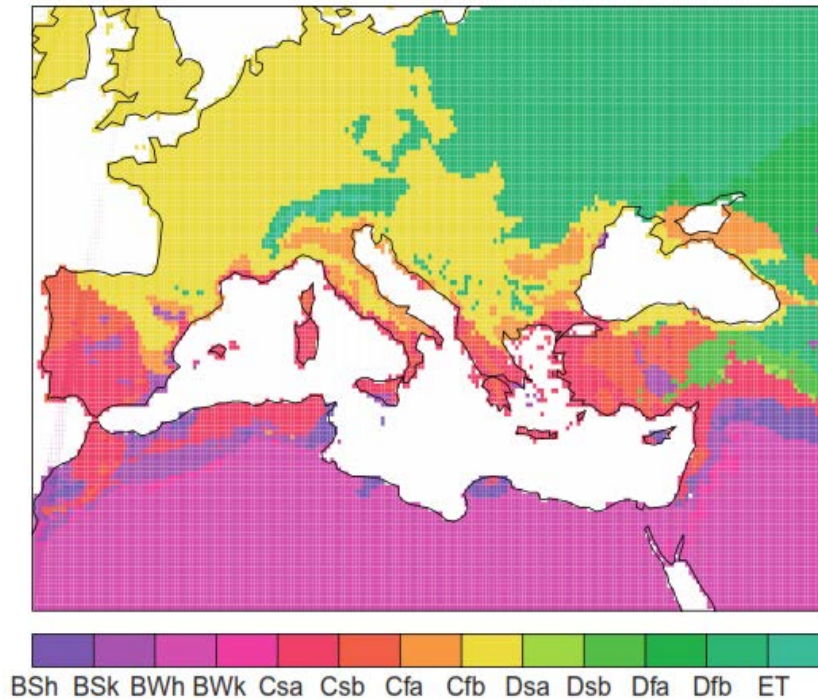
Rekonstrukcija temperature kasnog pleistocena, od posljednjeg lednog doba prije 20 000 godina i kroz holocen prikazana je na slici 3, prema Alley (2000), na temelju ledene jezgre GISP2 u središnjem Grenlandu (projekt NGRIP).



Slika 3. Rekonstrukcija temperature od 20 ka BP do danas, prema grenlandskoj ledenoj jezgri GISP2 (Alley, 2000).

Područje istraživanja usko je povezano sa Sredozemnim morem, regijom koja nema jedinstvenu klimu. Köppenova klasifikacija klime temelji se na vrijednostima temperature i padalina, te njihovom odnosu prema vegetaciji, koji se u krškim područjima mora promatrati s oprezom, s obzirom na karbonatnu propusnu podlogu i nemogućnošću zadržavanja oborinskih voda, što ne pogoduje biljnom pokrovu. Prema Köppenovoj klasifikaciji (Köppen, 1990) (slika 4), mediteranska klima definirana je kao umjerena klima srednjih širina sa suhim ljetima, koja mogu biti topla (Csa) ili vruća (Csb). Veliko područje sjevernog dijela Mediterana pripada umjerenom klimi srednjih širina bez suhih ljeta (Cfa i Cfb). Razlika između s i f

klimatskih podtipova jest u količini padalina, s označava područja sa suhim razdobljima ljeti, dok f nema suhog razdoblja. Podtipovi a i b označavaju godišnji hod temperature. Prema tome, tip Cs predstavlja tipičnu sredozemnu klimu, dok je Cf umjereno topla vlažna klima. U Mediteranskoj regiji postoje i ekstremi – od ledenjaka u alpskom području sjeverno od Sredozemnog mora, do suptropskih pustinjskih područja na afričkoj obali.



Slika 4. Köppen-ova klimatska klasifikacija u Mediteranskoj regiji: suptropska stepska klima (Bsh), stepska klima umjerenih širina (BSk), suptropska pustinjska klima (BWh), pustinjska klima umjerenih širina (BWk), mediteranska klima s vrućim/toplim ljetima (Csa/b), vlažna suptropska klima bez suhog ljeta (Cfa), umjerena morska klima (Cfb), vlažna kontinentalna klima s vrućim/toplim ljetima (Dfa/b), kontinentalna klima sa suhim vrućim/toplim ljetima (Dsa/b) i klima tundre (ET). Preuzeto iz Lionello (2012).

Prikupljeni paleoklimatski zapisi upućuju da je klima varirala tijekom geološke prošlosti, kako u dužem vremenskom razdoblju, tako i s godišnjim ili sezonskim varijacijama. Rekonstrukcija klimatske varijabilnosti temelji se na zapisu klimatskih parametara (temperatura, padaline i vjetar) što omogućuje poznavanje klime puno dalje u prošlost nego što se može dobiti mjernim instrumentima (oko 150 godina) te za oko 4,5 milijuna godina povijesnog zapisa. Neki klimatski zapisi, kao što su sedimentne sekvencije na površini kontinenata ili plitkih oceanskih područja, omogućuju dobivanje informacija starih milijune godina. Drugi klimatski zapisi, kao što su godovi drveta, jezgre leda, koralji, sige, jezerski sedimenti i dubokomorski sedimenti, omogućuju dobivanje informacija o klimi u razdoblju od prije nekoliko desetaka godina pa do stotina tisuća i milijune godina (Lionello, 2012). Rekonstrukcije parametara kao što su temperatura, padaline, vjetar, salinitet mogu se

načiniti za bilo koje razdoblje u prošlosti upotrebom posrednih pokazatelja, tzv „proksija“ (*proxies*). Posredni pokazatelj je bilo koja komponenta klimatskog zapisa čije je porijeklo vezano za klimatsku varijabilnost ili proces i odnosi se na određene paleookoliše. Posredni pokazatelj mogu biti mikroorganizmi, pelud, geokemijske karakteristike, mineralni sastav i drugo. Nesigurnost pri takvoj interpretaciji paleookoliša prevladava se korištenjem kombinacije više posrednih pokazatelja („*multiproxy*“ pristup).

1.3. Osnovne karakteristike Vranskog jezera na Cresu

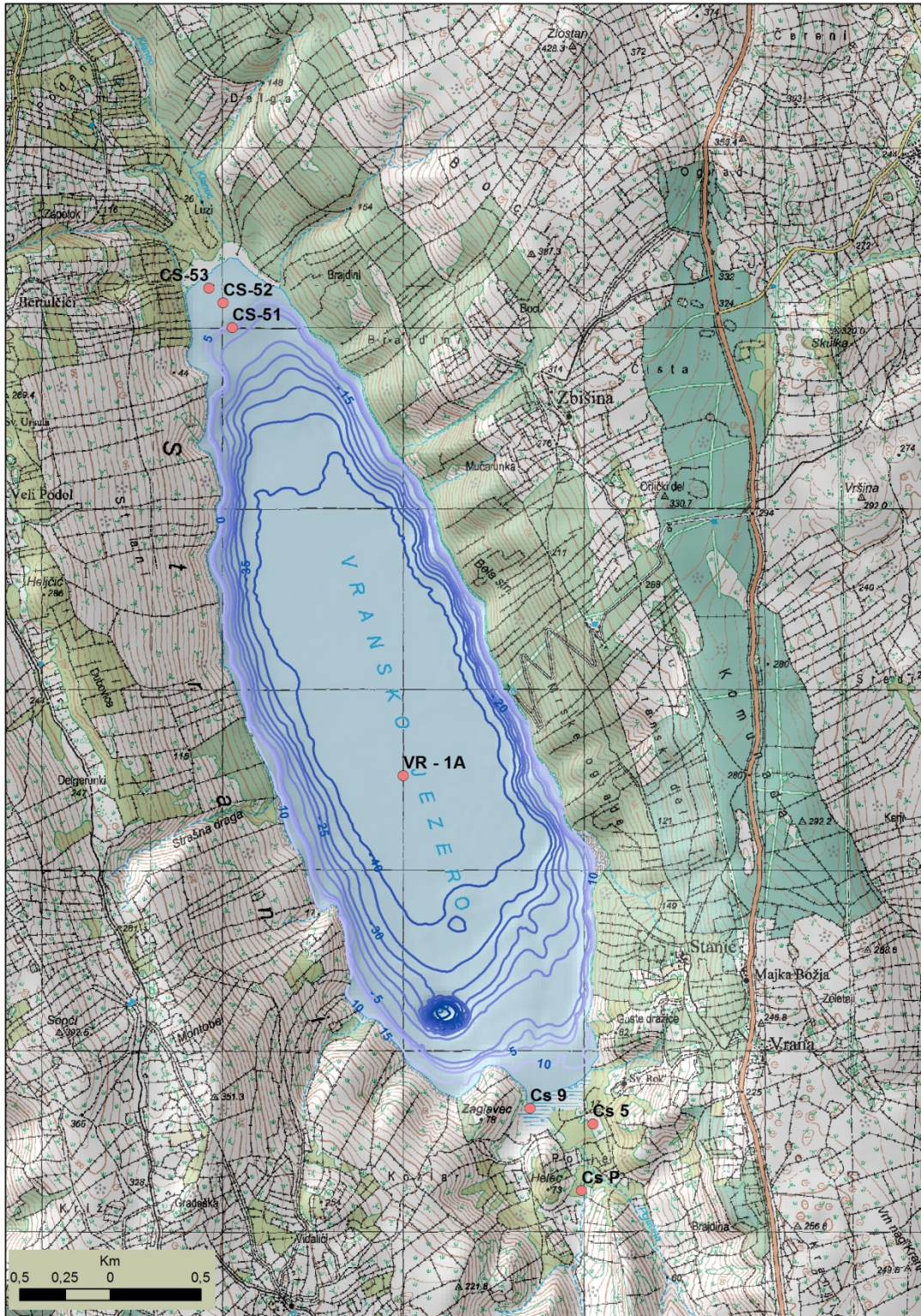
1.3.1. Geografski smještaj, klima i vegetacija

Vransko jezero je krško jezero na otoku Cresu, koji se nalazi u Kvarnerskom zaljevu na sjevernom dijelu Jadranskog mora. Otok Cres je jedan od većih i viših otoka na hrvatskoj obali, s površinom od 404,3 km², dužine 65,5 km i najvišeg vrha na 648 m (Stražičić, 1981). Vransko jezero nalazi se u sredini otoka, oko 4 km udaljeno od mora sa svake strane, te je izduženog oblika u smjeru SSZ-JJI (slika 11). Površina jezera iznosi 5,75 km², dugačko je 5,5 km i široko 1,5 km, a maksimalna dubina vode pri srednjoj razini jezera je 74,5 m. Površina sliva iznosi 38 km². Jezero je kriptodepresija te je srednja razina vode u jezeru 13,13 m n.m., maksimalno izmjerena dubina je 61,3 m ispod razine mora (depresija u JZ dijelu jezera). Dno jezera je većim dijelom ravno, oko 40 m ispod razine mora, što znači da je prosječna dubina vode oko 50 m. Vransko jezero je oligotrofno jezero, niske produktivnosti i velike prozirnosti. Također je monomiktično jezero, karakterizirano termalnim stratifikacijskim događajem u proljeće, nakon zimskih izotermalnih uvjeta. Tijekom ljeta, termalna stratifikacija je stabilizirana. Srednja temperatura ljetnog epilimnija (od površine do 10 m vodenog stupca) je 23°C, termoklina je uspostavljena na dubini od 10 do 20 m, hipolimnija na dubini od 20 do 70 m iznosi 10°C, dok u jesen i zimi hladni vjetar uzrokuje potpuno miješanje i izotermalne temperature vode ispod 7°C (Koeck, 2012).



Slika 5. Geografski položaj Vranskog jezera na otoku Cresu i pogled na Vransko jezero s južne strane.

Smatra se da je Vransko jezero formirano u ranom pleistocenu, za vrijeme kad je razina mora bila oko 100 m niža od današnje, a prostor sjevernog dijela Jadranskog mora kopno, odnosno široka delta rijeke Po (Šegota & Filipčić, 2001). Za razliku od njih, Schmidt et al. (2000), smatraju da je jezero poprimilo sadašnji oblik i dubinu tijekom ranog holocena, a prolazilo je kroz faze oplićavanja i isušivanja tijekom cijelog pleistocena. Batimetrijska karta dna Vranskog jezera (Stajić, 1991) pokazuje kako je dno sjevernog i južnog dijela jezera blažeg nagiba, dok su istočna i zapadna obala strme (slika 6).

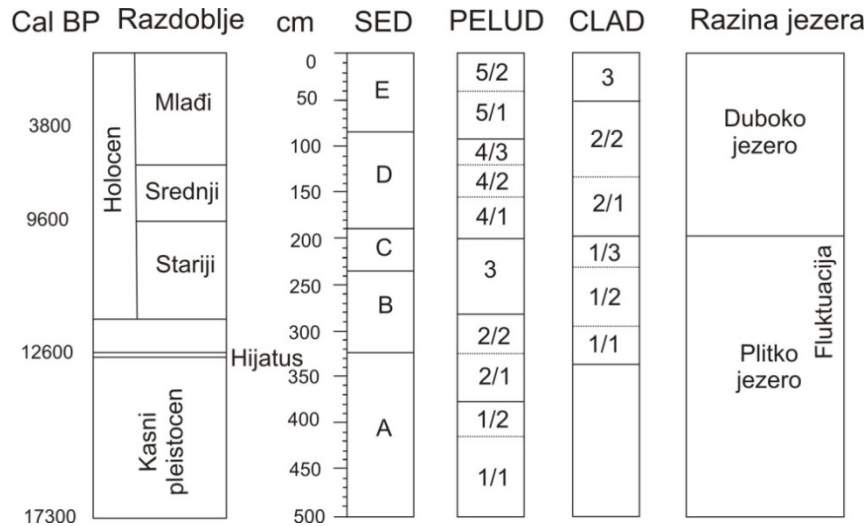


Slika 6. Batimetrijska karta Vranskog jezera na Cresu (digitalizirano iz Stajić, 1991 za potrebe ovog projekta). Depresija od 61,3 m ispod razine mora, odnosno na 74,5 m dubine vodenog stupca, nalazi se u krajnjem JZ dijelu jezera, dok je dno većim dijelom na -40, odnosno ukupno oko 50 m dubine. Istočna i zapadna obala jezera su strme, dok su južna i

sjeverna puno blaže. Označene su i položaji istraživanih jezgara koje su korištene u ovoj studiji.

Multidisciplinarnim istraživanjima sedimenata Vranskog jezera na Cresu, Schmidt et al. (2000) utvrdili su da su na 5 m sedimenti stari 17 300 cal BP, te se nakon toga mogu pratiti značajne promjene razine jezera, vezane za paleookolišne promjene i dizanje morske razine nakon mlađeg drijasa (YD). Geofizičko istraživanje sedimenata pokazalo je debljinu sedimenata višu od 25 m. Plitka faza jezera trajala je od 17 300 cal BP do ranog holocena i pluvijalnog perioda. Prije Allerød perioda, interglacijalni sedimenti su pretaloženi, što se očituje u povišenoj razini mora, količini padalina i promjeni razine jezera. Nisu utvrđeni sedimenti Allerøda te oni to pripisuju hijatusu, što je evidentirano ehosondiranjem i pojavom diskordancije. Nakon mlađeg drijasa digla se razina podzemne vode, te se formirala močvarna vegetacija i konačno plitko jezero. Pluvijalni period započeo je 9 600 cal BP i time je započela današnja faza dubokog jezera. U razdoblju dubokog jezera veće promjene okoliša u slivu nisu ustanovljene sve do neolitičkog ili brončanog doba. Interval od 6 000 do 4 000 cal BP karakterizira tranzicijska faza i širenje mediteranskog elementa prema sjeveru. Povećanje suše u ljetnom periodu, zajedno s krčenjem šuma tijekom ilirskog perioda, odgovorni su za promjenu prema današnjoj vegetaciji. Glavne karakteristike današnje vegetacije u slivu formirale su se tijekom ilirskog i rimskog doba. Tijekom rimskog doba trofičnost jezera se povećava, a kulminacija je tijekom mlađe faze krčenja šuma. S promjenom uporabe zemljišta težište ljudskog interesa se okrenulo od jezera i došlo je do reoligotrofikacije (Schmidt et al., 2000). Izdvojene su peludne zone (PZ), od 1 do 5, koje se dijele u podzone: PZ 1/1 dominacija bora (*Pinus*), PZ 1/2 prijelazna zona prema brezi (*Betula*), PZ 2/1 dominacija breze, PZ 2/2 ponovno povećanje bora, PZ 3 dominacija bora i hrasta (*Quercus*), PZ 4/1 *Chenopodiaceae*, PZ 4/2 *Pistacia*, *Phillyrea*, *Oleaceae*, *Ostria*, PZ 4/3 borovnica (*Juniperus*), PZ 5/1 hrast, PZ 5/2 *Juniperus*, *Pinus*, *Olea*. Promjene u jezeru kroz kasni pleistocen i holocen Schmidt et al. (2000) utvrđene su i pomoću promjena u mineralnom sastavu sedimenata te razlikuju pet sedimentoloških jedinica: A (500-325 cm): stalan odnos kalcita, dolomita i kvarca+gline, nizak % C_{org}; B (325-235 cm): viši udio kalcita, visok C_{org}; C (235-190 cm): viši udio kalcita i dolomita, a smanjenje kvarca i gline; D (190-85 cm): dominacija kvarca i gline, nizak C_{org}; E (85-0 cm): nagli porast udjela kalcita, te smanjenje pri samom vrhu jezgre (slika 7).

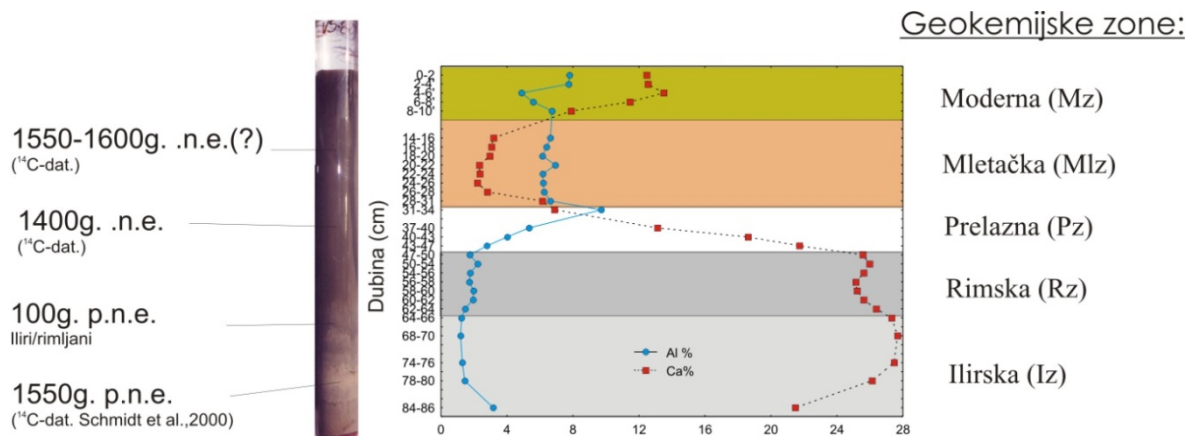
Schmidt et al. (2001) istražili su Valunski zaljev (8 m duga jezgra) i usporedili s paleoklimatskim i vegetacijskim obilježjima u Vranskom jezeru, na temelju analiza polena, ostrakoda, foraminifera, geokemijskih i mineraloških analiza.



Slika 7. Prikaz razvoja jezera i promjena razina tijekom kasnog pleistocena i holocena, na temelju ^{14}C datiranja, sedimentoloških jedinica (A-E), peluda (1-5) i Cladocera (1-3). Modificirano prema Schmidt et al., 2000.

Na temelju nalaza vrsne raznolikosti vrste slatkovodnih rakova, roda Cladocera (u planktonskom larvalnom stadiju) i promjenjivosti učestalosti pojavljivanja njihovih bentičkih litoralnih vrsta, Szeroczyńska (2002) razlikuje tri zone razvoja Vranskog jezera u posljednjih 16 000 godina. Tri Cladocera zone dobro se koreliraju s pet (A-E) polenskih zona koje su utvrdili Schmidt et al. (2000). Zonu A karakterizira vrlo nizak sadržaj Corg i odsutnost ostataka Cladocera (od 16 000 do 10 600 g. BP). Zone B i C (od 10 600 do 8 500 g. BP) karakterizira dominacija organskog ugljika i najveća prisutnost litoralnih formi Cladocera i biljnih makrofosila. Zona D (od 8 500 do 3 500 g. BP) ima visoku koncentraciju minerala kvarca i gline ali vrlo malo ostataka Cladocera. Najmlađa zona E (od 3 500 g. BP do danas) se djelomično korelira s trećom zonom Cladocera. U toj zoni je došlo do konačne promjene u raznolikosti vrsta Cladocera. Vrste iz porodice Bosminidae, *B. longispina* i *B. longirostris*, pojavljuju se prvi put kao plankton. Većina vrsta koje žive unutar vodene vegetacije je nestala u toj zoni. Takva promjena raznolikosti vrsta Cladocera Szeroczyńska (2002) tumači kao rezultat izrazite kemijske promjene u jezeru. Povećanje udjela Bosminida (*B. longispina* i *B. longirostris*) je zabilježeno još od srednjeg vijeka. Prije tog vremena i nakon što se nivo vode digao (cca prije 8 500 g.) jezero je imalo visoko oligotrofične karakteristike, što je naglašeno smanjenjem frekvencije (učestalosti) pojavljivanja litoralnih vrsta. Loši uvjeti života su povezani s niskom koncentracijom nutrijenata (Szeroczyńska, 2002). Istovremena prisutnost *B. longispina* (koja je tipična za duboka, velika i vrlo čista jezera) i *B. longirostris* (koja je tipična za eutrofična jezera) upućuje samo na blaže povećanje trofičnih uvjeta. Danas je u jezeru ustanovljena samo vrsta *B. longirostris* i može se pretpostaviti da je trofično stanje jezera povećano u zadnjih nekoliko dekada.

Recentni antropogeni utjecaji istraživani su u sklopu geokemijskih istraživanja sliva Vranskog jezera (Biondić et al., 1998; Mesić, 1999) i otoka Cresa (Miko et al., 2003). Oni daju pregled raspodjele glavnih i elemenata u tragovima u površinskim sedimentima Vranskog jezera i tlima na otoku Cresu. Antropogen utjecaj tijekom mlađeg holocena u jezgrama Vranskog jezera do oko 90 cm i geokemijski zapis okolnih tala u slivnom području istraživali su Mesić (2004) i Mesić et al. (2005). Uočeni su geokemijski trendovi distribucije udjela pojedinih elemenata, pomoću kojih je bio moguće definirati pet geokemijskih zona (Ilirska, Rimska, Prelazna, Mletačka i Moderna zona) u posljednjih 3 500 godina (slika 8). Povišene koncentracije olova u jezerskih sedimentima od 0 do 30 cm tumače kao posljedicu atmosferskog taloženja iz udaljenijih industrijskih izvora, a u tlima upućuju na mogućnost lokalnog utjecaja automobilskeg prometa (Miko et al., 2008).



Slika 8. Geokemijske zone u sedimentu Vranskog jezera, na temelju distribucije elemenata Al i Ca (preuzeto iz Mesić, 2004).

Rekonstrukcije razine jezera vršili su Mesić et al. (2007), na temelju granulometrijskih, geokemijskih i palinoloških analiza u aluvijalnim lepezama na južnoj strani jezera, te se s obzirom na razinu jezera mogu razlikovati četiri sukcesivna razdoblja:

- razdoblje od 7 700-6 700 cal BP kada se taloženje odvija u relativno plitkim uvjetima s dubinom vode od 2-3 m i ujednačenom sedimentacijom siliciklastičnog materijala;
- razdoblje od 6 500-4 400 cal BP ukazuje na veću dubinu vode, s razvijenom anoksijom (dubina vode veća od 5 m);
- razdoblje od 4 200-3 000 cal BP ukazuje na oplićavanje (dubina vode manja od 1 m);
- razdoblje od 2 000 cal BP do početka 20. st. ukazuje na povećanje vode (dubina vode veća od 3 m).

Klimatske značajke otoka Cresa uvjetovane su njegovim položajem u Jadranskom moru, te njegovim pružanjem i reljefom. Kvarnerski zaljev uvukao se kao klin duboko u susjedno kopno između grebena Učke, goranskih brda i velebitskog masiva, a njegov položaj na dodiru sjevernog Jadrana i susjednog visokog kopnenog zaleđa odražava se u križanju mediteranskih i kontinentalnih klimatskih utjecaja. Posljedica toga su česti prodori hladnih zračnih masa u zimskoj polovici godine i pojava konvekcijskih kiša tijekom ljeta, zbog čega nema izrazitog sušnog razdoblja karakterističnog za mediteransko podneblje (Šegota, 1975). Do danas nije zabilježen slučaj zaleđivanja Vranskog jezera, prema dostupnoj literaturi. Prema Köppenovoj klimatskoj klasifikaciji, područje Vranskog jezera na središnjem dijelu Cresa, pripada Csa tipu – sredozemna klima s blagim zimama i suhim, vrućim ljetima (Filipčić, 2001). Srednja godišnja temperatura zraka iznosi 14,3 °C, dok srednja godišnja količina padalina varira između 1000 i 1250 mm. Najviše oborina padne u listopadu i studenom, a najmanje u kolovozu. Posebno važan klimatski čimbenik predstavlja i vjetar. Na razmatranom području nekoliko je važnih vjetrova, jugoistočni vjetar jugo donosi oborinske oblake i kišu, dok sjeverni-sjeveroistočni hladan i suh vjetar bura „razbija“ oblake i donosi vedro vrijeme. Bura je izrazito jak vjetar te na izloženim padinama uzrokuje smanjenje vegetacije, a na padinama koje su najizloženije najjačim udarima s Velebita i potpuni nedostatak vegetacije i raslinja. Vjetar je važan čimbenik u prijenosu peluda na veće udaljenosti.

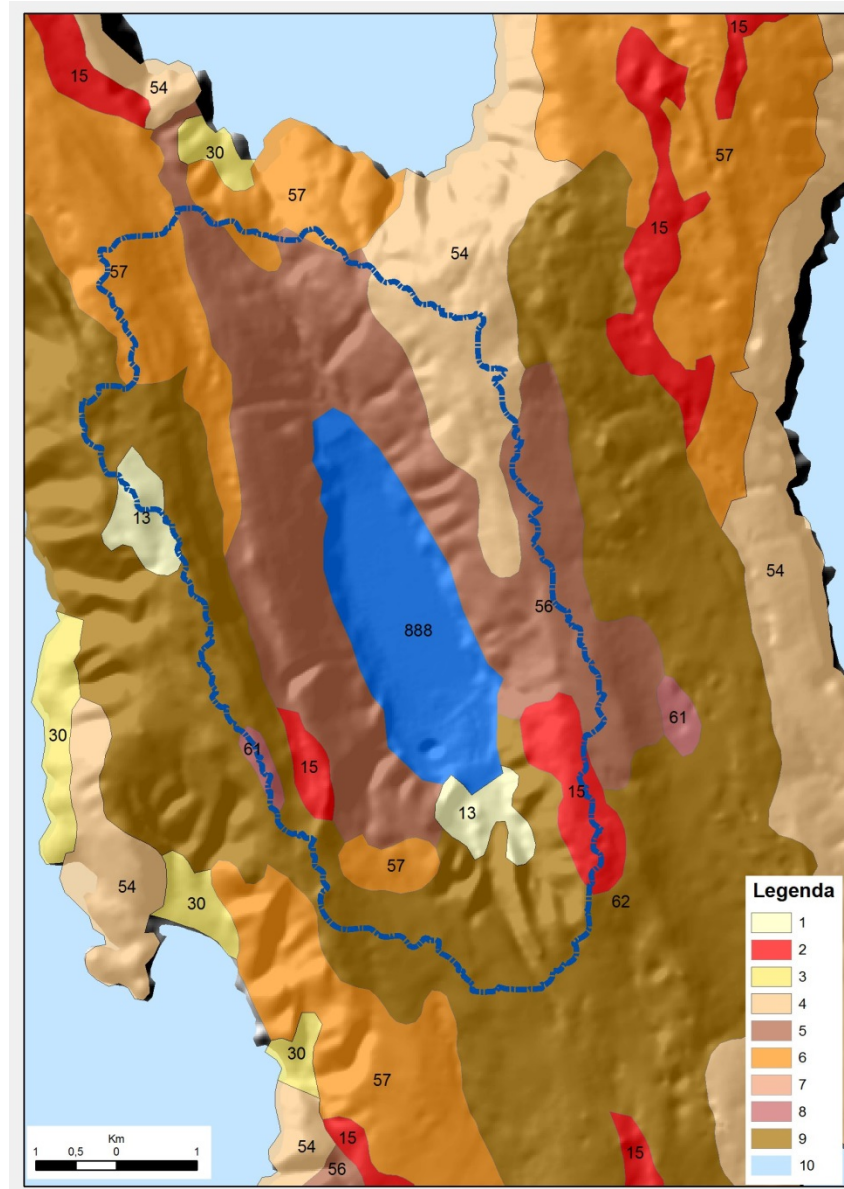
Vegetacijski pokrov otoka Cresa uvjetovan je nizom činitelja: relativno velikom izduženošću i pružanjem u pravcu sjever-jug, izrazitom razlikom između visokog sjevernog i niskog južnog dijela, položajem otoka u odnosu na susjedno kopno i različitom izloženošću otočnih obala buri, te tisućljetnim ljudskim utjecajima, pri čemu je, uz sječū šume, od posebnog značenja bila stočarska tradicija, koja je dovela do degradacije prvobitnog šumskog pokrova i gotovo potpune devastacije središnjeg dijela otoka. Na osnovi sadašnjeg stanja vegetacijskog pokrova, razlikuju se tri bitno različita dijela: šumoviti sjeverni dio, sa submediteranskim obilježjima, koji je reljefno i klimatski, pa i po sastavu vegetacije, produžetak Učke; pretežno zaravnjeni i najvećim dijelom ogoljeli središnji dio s prostranim pašnjačkim kamenjarima i tek mjestimično očuvanim šumskim pokrovom u kojemu se miješaju submediteranski i eumediteranski elementi; niski, šumoviti južni dio s pretežno eumediteranskim značajkama. Sjevernim submediteranskim dijelom otoka Cresa prevladavaju mješovite šume medunca i bijelog graba (*Quercus-Carpinetum orientalis*), s listopadnim vrstama hrast medunac (*Quercus pubescens*), bijeli grab (*Carpinus orientalis*), hrast cer (*Quercus cerris*), crni grab (*Ostrya carpinifolia*) i pitomi kesten (*Castanea sativa*). Vransko jezero leži na prijelazu u eumediteransku zonu, bogatu mješovitim šumama crnike i crnog jasena (*Orno-*

Quercetum ilicis), predstavljene vazdazelenim vrstama hrastom crnikom (*Quercus ilex*) i crnim jasenom (*Fraxinus ornus*). Pojava šume crnike i crnog jasena pokazuje da se nalazimo u pravom Sredozemlju (eumediteranu). U južnom dijelu otoka dominira hrast crnika. Središnji dio otoka od davnina je najgušće naseljen i mjesto je gdje stočarstvo dominira, te je šumski pokrov potisnut i zamijenjen prostranim pašnjačkim površinama, niskim šumama, šikarama i kamenjarima, uz značajan utjecaj bure (Stražičić, 1981). Poljoprivredne površine su vrlo male u sljevu Vranskog jezera i nemaju utjecaj na njega.

U južnom dijelu jezera, gdje je obala niža nalaze se aluvijalne lepeze, koje povremeno poplavljuju, te se u tom dijelu mogu vidjeti helofitske zajednice trščaka i šaševa. Takva vegetacija prisutna je i u sjevernim blažim dijelovima dna jezera. Obale istočne i zapadne strane jezera su strmije i dominiraju spomenute šume i makije. U fitoplanktonu Vranskog jezera dominiraju alge *Dinophyta* (svijetleći biččaši), a po broju vrsta dijatomeje i zelene alge (*Chlorophyta*) (Tomec et al., 2009). U bentosu Vranskog jezera prisutni su rakovi roda *Cladocera*, te se na temelju promjenjivosti pojavljivanja njegovih vrsta, mogu razlikovati tri zone razvoja Vranskog jezera u posljednjih 16 000 godina (Schmidt et al., 2000).

Gradine, razmještene po cijelom otoku, dokaz su prisutnosti ljudi i njihove aktivnosti na ovom području. Najvećim dijelom se nalaze u njegovom središnjem dijelu iznad Vranskog jezera, koji je pružao za to najpovoljnije uvjete. Iliri (Liburni) su prvi povijesno identificirani narod na prostoru otoka Cresa Liburni, kojima vjerojatno pripadaju pretpovijesne gradine. Na otoku Cresu pronađeni su i ostaci iz neolitičkog ili brončanog doba (keramike). Utvrđeno je širenje mediteranskog elementa na ovom području, prema sjeveru, i to nestajanjem hrastovih šuma, u periodu od 6 000 do 4 000 g. BP. Tijekom ilirskog perioda, povećalo se krčenje šuma, te se zajedno s povećanjem suše u ljetnom periodu, vegetacija promijenila prema današnjoj šumi vazdazelenog hrasta crnike (*Quercus ilex*). Glavne karakteristike današnje eumediteranske vegetacije u slivu formirale su se tijekom ilirskog i rimskog doba. Tijekom tog perioda, trofičnost jezera se povećala, a kulminirala je tijekom mlađe faze krčenja šuma radi intenzivnije kultivacije divlje masline (*Olea*). S promjenom uporabe zemljišta, težište ljudskog interesa se okrenulo od jezera te je došlo je do njegove reoligotrofikacije (Schmidt et al, 2000).

U slivu su razvijena tla na karbonatnom supstratu (slika 9). Dominantna su smeđa tla na vapnencima (kalkokambisol), vapnenačko dolomitna crnica (kalkomelanosol) i rendzine na vapnencima i dolomitima. Prisutne su još terre rosse, les te koluvijalno tlo s klastima na južnoj obali jezera (Bogunović et al, 1996).



Slika 9. Pedološka karta u slivnom području Vranskog jezera (Bogunović et al, 1996). Površinski sliv određen je pomoću ArcGIS-a (ESRI, 1999-2009) i označen je tamno plavom linijom. Legenda: 13) Koluvij s klastima; 15) Les, terra rossa, kalkokambisol; 30) Antropogena tla na kršu, kalkokambisol, crvenice, kalkomelanosol, koluvij; 54) Kamenjar, kalkomelanosol, rendzina; 56) Smeđe tlo na vapnencu, kalkomelanosol; 57) Kalkokambisol, terra rossa, kalkomelanosol; 61) Kalkomelanosol, kalkokambisol; 62) Rendzina na dolomitu i vapnencu, kalkokambisol; 888) Vodene površine.

1.3.2. Geologija

Geološku građu otoka Cresa karakteriziraju okršene karbonatne stijene, uglavnom kredne starosti (Magaš 1968, 1973). Od krednih naslaga prisutni su donjokredni vapnenci, dolomiti i gornjokredni vapnenci, a tercijar je zastupljen paleogenskim foraminiferskim vapnencima i flišom (slika 10). U neposrednom slivu Vranskog jezera prevladavaju dolomiti nad vapnencima. Donjokredni vapnenci (K_1) su vapnenci sive boje, dobro uslojeni, s generalnim nagibom slojeva prema sjeveroistoku i istoku. Mjestimično su pločasti, što je osobito karakteristično za dio naslaga uz kontakt s dolomitima. Ovakvi pločasti vapnenci nalaze se u pojasu zapadno od Vranskog jezera. Mjestimično sadrže leće dolomita koje najbolji razvoj imaju zapadno od Vranskog jezera.

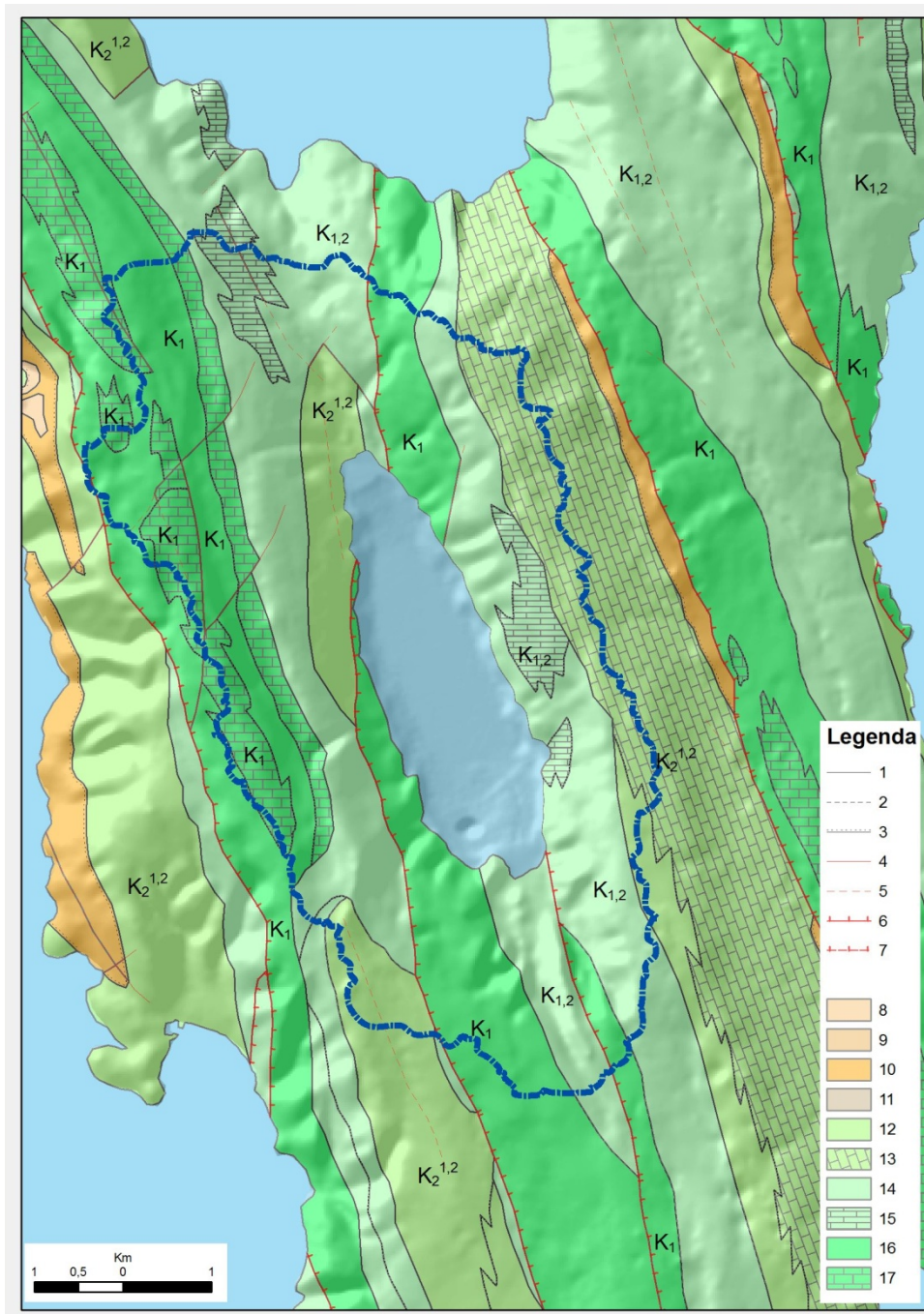
Dolomiti ($K_{1,2}$) donje i gornje krede dinarskog su smjera pružanja, interpolirani između donjokrednih i gornjokrednih vapnenaca. Sive, sivo-smeđe do smeđe su boje. Uslojenost im je dobro izražena. Uslijed trošenja veliki dio terena prekriven je dolomitnim pijescima. Nisu rijetke leće vapnenaca, koje se morfološki ističu na terenu kao rezistentniji dijelovi naslaga.

Gornjokredni vapnenci (K_2^{1-2}) nalaze se uzduž cijelog otoka Cresa. To su bijeli vapnenci u intenzivnoj ili slabijoj izmijeni sa sivim uslojenim vapnencima.

Boksit se akumulirao u hipsometrijski nižim područjima otkrivenog krednog paleoreljefa, sva ležišta imaju bunarski izgled i nalaze se u vapnencima gornjokredne starosti. Nastali su tijekom faze emerzije, koja je uslijedila nakon završetka taloženja gornjokrednih vapnenaca i trajala je sve do početka taloženja naslaga starijeg paleogena.

Paleogeni vapnenci (E_{1-2}) i fliš ($E_{2,3}$) nalaze se u nekoliko izoliranih zona. Pružaju se uzduž rasjeda. Nemaju većeg značaja za genezu depresije Vranskog jezera. Foraminiferski paleogeni vapnenci i prijelazne naslage uglavnom nalazimo kao erozijske ostatke transgresivnog pokrova na vapnencima gornje krede, često povrh depresija u reljefu koje su zapunjene boksitom.

Od naslaga kvartarne starosti, na otočju Cres-Lošinj dominantne su pojave kvartarnih breča, obronačkih nanosa, sipara i eolskih sedimenata. Tijekom istraživanja jezerskog dna (Biondić et al., 1998), utvrđeni su sitnozrnati jezerski sedimenti pliocensko-pleistocenske starosti u najdubljem dijelu jezera, dok ostatak jezerskog dna čine bujični nanosi i recentni jezerski sedimenti.



Slika 10. Geološka karta slivnog područja Vranskog jezera (prema Magaš 1968, 1973). Površinski sliv određen je pomoću ArcGIS-a (ESRI, 1999-2009) i označen je tamno plavom linijom. Legenda: 1) Geološka granica; 2) Pretpostavljena geološka granica; 3) Erozijsko-diskordantna granica; 4) Rasjed; 5) Pretpostavljeni rasjed; 6) Reversni rasjed; 7) Pretpostavljeni reversni rasjed; 8) $E_{2,3}$ Fliš; 9) E_2 Prijelazne naslage; 10) $E_{1,2}$ Foraminiferski vapnenci; 11) Pc, E Liburnijske naslage; 12) $K_{2,1,2}$ Vapnenci; 13) $K_{2,1,2}$ Uslojeni do pločasti vapnenci; 14) $K_{1,2}$ Dolomiti; 15) $K_{1,2}$ Leće vapnenca u dolomitu; 16) K_1 Vapnenci i dolomiti; 17) K_1 Pločasti vapnenci i dolomiti.

U tektonskom smislu, otok Cres ima izrazito razvijene izoklinalne bore i ljuskavu građu, koja je osobito značajna za područje Kvarnerskih otoka. Općenito je za otok Cres karakteristična zonalna građa. Područje Cresa može se podijeliti u tri tektonska područja: a) tektonsko područje mirnih struktura, koje odgovara autohtonoj građi zapadne Istre; b) tektonsko područje navlaka i c) tektonsko područje izoklinalnih bora. Pružanje naslaga je SSZ-JJI s lokalnim odstupanjima koja su uvjetovana manjim poprečnim lomovima. Sve naslage uglavnom padaju prema sjeveroistoku. Superpozicijski slijed poremećen je jakim uzdužnim rasjedima, pri čemu su uvijek u bazi donjokredni vapnenci, koji su na zapadnoj strani gotovo u pravilu u tektonskom kontaktu s mlađim naslagama krede i paleogena. Prema tome, na otoku Cresu razvijena je tipična ljuskava strukturna građa sa stalnim ponavljanjem redosljeda naslaga. Tektonska građa u području lista Cres po svojim karakteristikama uklapa se u geotektonske okvire sjeverno jadranskog područja (Magaš, 1973).

Geološke značajke depresije Vranskog jezera opisao je Magaš (1965). Osnovnu strukturu označava kao izoklinalne bore koje su nastale nakon taloženja fliša. Depresiju jezera pripisuje tektonskim pokretima i jakom procesu erozije u tjemenu antiklinale, a današnji položaj kriptodepresije kao rezultat epirogenetskih pokreta. Detaljna istraživanja u području Vranskog jezera (Fuček et al., 1997) pokazala su da se jezero nalazi u fronti reverzno izdignute i naknadno tektonski poremećene antiklinale dinarske orijentacije. Ona je duž strmog reversnog rasjeda izdignuta u smjeru zapad-jugozapad, a intenzivno poremećena neotektonskim pokretima. Ti pokreti su izazvani promjenom pravca po kojem djeluje kompresija (stres po pravcu S-J). Posljedica njihova djelovanja je formiranje neotektonskih struktura s pravcem pružanja I-Z i reaktivacija naslijeđenih struktura. Tako su naslijeđeni strmi reversni rasjedi poprimili dominantnu horizontalnu komponentu kretanja, što je svakako dodatno utjecalo na otvaranje depresije Vranskog jezera.

1.3.3. Hidrološka obilježja

Vransko jezero je jedinstveni hidrogeološki fenomen, rezervoar pitke vode, koji opskrbljuje pitkom vodom otoke Cres i Lošinj. Vodoopskrbna stanica nalazi se na istočnoj strani jezera. Jezero sadrži približno 220 milijuna m³ slatke vode pri srednjoj razini vode u jezeru (13,13 m n.m.).

U počecima istraživanja Vranskog jezera početkom 19. stoljeća, pojavile su se dvije teorije o postanku i održavanju Vranskog jezera, Lorenz (1859) je smatrao da se jezero opskrbljuje vodom podmorskim putem iz višeg kopnenog zaleđa (Učka, Gorski kotar,

Velebit), dok je Mayer (1873) pretpostavljao da se jezero prihranjuje samo iz lokalnog sliva. Mogućnosti povezanosti jezera s kopnenim dijelom Istre pretpostavio je Poljak (1947), a povezanosti podzemne vode jezera s morem Petrik (1958). Pretpostavlja se da je istjecanje iz jezera u vezi s podmorskim krškim izvorima (vrulje), npr. u uvali Valun, Cres i u Lubenicama (Bonacci, 1993). Bonacci (1993) smatra da voda potječe samo od lokalnog sliva, pri čemu je vodna bilanca izravno proporcionalna s oborinama u regiji. Reducirane razine jezera uzrokovane su ljetnim isparenjima i, vjerojatno, nekim krškim infiltracijama (prodiranjem vode). Razine podzemnih voda istraživali su znanstvenici Instituta za geološka istraživanja i zaključili su da podzemne vode prate promjenu razine vode jezera s vrlo malim gradijentom prema jezeru u vrijeme obilnijih padalina, a tijekom sušnih razdoblja podzemne vode i razina vode jezera su ujednačeni. Također pretpostavljaju da većina podzemne vode potječe iz precipitacija i lokalnih drenaža, iako bi "jedan manji dio mogao potjecati iz krškog podzemlja" (Biondić et al., 1998). Kapelj (1997) je istraživala porijeklo jezerske vode, hidrogeokemijski facijes jezera i njegova odnosa s morem, užim slivom i širim regionalnim prostorom, a rezultati upućuju na veći doprinos obnavljanju jezerske vode padalinama, te manji doprinos iz krškog podzemlja. Otvorenost sustava prema drugim sredinama, moru ili dubokom okršenom podzemlju nije upitna, jer bi u suprotnom, uz ustanovljenu evaporaciju, jezero davno zaslanilo. Jezero se prema tome nalazi u hidrauličkoj ravnoteži s morem i dubokim krškim podzemljem, a njihov utjecaj je zbog toga teško razlikovati.

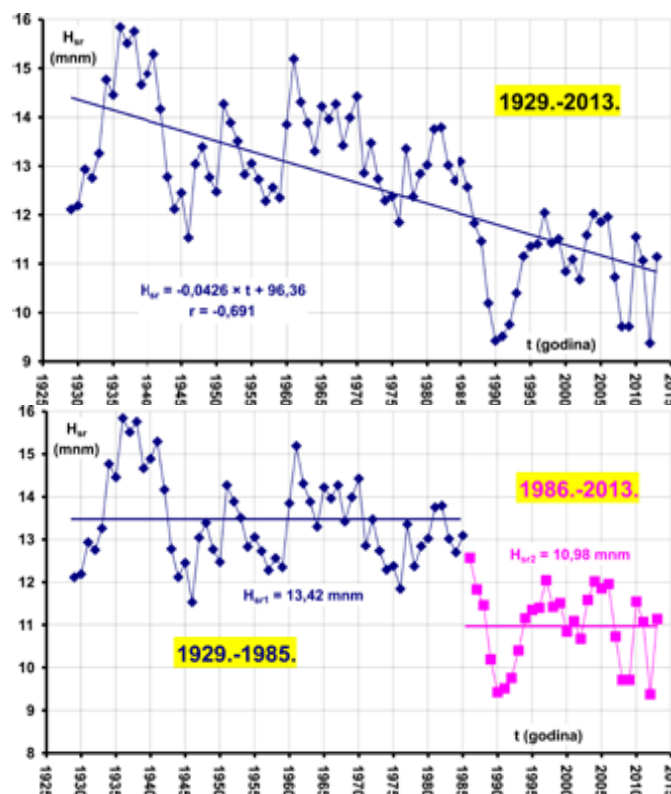
U razdoblju od 1929. do 1995. zabilježena minimalna razina jezerske vode bila je 9,11 m n.m. (1991. g.), a maksimalna razina 16,86 m n.m. (1938. g.), a u razdoblju od 1985. do 1990. godine (slika 11) došlo je do naglog pada razine jezera (Rubinić & Ožanić, 1992; Ožanić, 1996). Slivno područje Vranskog jezera prikazano je na Digitalnoj ortofoto karti 1:5000 (DOF5), Države geodetske uprave (slika 12). Vransko jezero nema površinskih vodotoka, koji bi donosili vodu u jezero, osim povremenih bujičnih tokova, za vrijeme kišnih razdoblja. To je posebno izraženo u južnom dijelu jezera, gdje se nalaze aluvijalne jezerske lepeze. Prema tome, hidrološki režim Vranskog jezera ovisi o otočkim oborinskim vodama (Petrik, 1957).

Rezultati hidroloških bilanci temeljili su se na analizama dinamike kolebanja razine jezera u funkciji crpljenja jezerske vode, količine oborina i isparavanja sa slobodne vodene površine. Zaključili su da se hidrološka bilanca može vezati za lokalni sliv od 24 km² (slika 12), a ako i postoje regionalni dotoci, mogu se zanemariti zbog hidraulički uvjetovane tromosti sustava. Za razdoblje od 1929. do 2013. godine modelskim proračunom dobivene

su sljedeće vrijednosti osnovnih parametara vodne bilance (Rubinić, 1990; Rubinić & Ožanić, 1992; Ožanić, 1996; Ožanić et al., 2003; Bonacci, 2014):

- godišnje oborine 1073 mm,
- izravni dotok na jezero iz oborina $0,195 \text{ m}^3/\text{s}$,
- gubici isparavanjem $0,202 \text{ m}^3/\text{s}$,
- gubici poniranjem $0,371 \text{ m}^3/\text{s}$
- dotok sa sliva $0,393 \text{ m}^3/\text{s}$,
- ukupni srednji dotok u vodonosnik $0,588 \text{ m}^3/\text{s}$.

Analize pokazuju da je usljed današnjih crpljenja razina vode u jezeru niža za 2,20 m od vodostaja koji bi jezero imalo bez crpljenja. Režim crpljenja i sušne godine, prema hidrološkoj interpretaciji, doveli su do tog sniženja razine vode u Vranskom jezeru.



Slika 11 Niz srednjih godišnjih vodostaja jezera, H_{sr} , opažen u razdoblju 1929.-2013. s ucrtanom linijom linearne regresije i upisanim koeficijentom linearne korelacije, r (Bonacci 2014). Grafički prikaz nizova srednjih godišnjih vodostaja jezera, H_{sr} , izmjenjenih u dva podrazdoblja: (1.) 1929.-1985. (modra boja); (2.) 1986.-2013. (ljubičasta boja), preuzeto iz Bonacci 2014.

Prema izračunatom izrazu višestruke linearne regresije Bonacci (2014), zaključuje da utjecaj srednje godišnje temperature zraka 26,8 puta je veći od utjecaja godišnjih oborina, a 6,5 puta od utjecaja prosječnog godišnjeg crpljenja. Prosječno godišnje crpljenje 4,1 puta značajnije utječe na promjenu zavisne varijable od godišnjih oborina. Ova je analiza ukazala na ključan utjecaj temperatura zraka na promjene razine vode u jezeru. Prevodeći to na hidrološki aspekt problema čini se da ključnu ulogu igra proces evaporacije (isparavanja sa slobodne vodne površine) i evapotranspiracije (isparavanja vode s golog tla, vegetacije i iz podzemne vode). Analize izvršene u radu Bonacci-a (2014) ukazale su na bitan utjecaj srednje godišnje temperature zraka na varijacije razine vode jezera. Procijenjeno je da se s porastom temperature zraka za 1 °C iz jezera evaporacijom i evapotranspiracijom gubi oko $7,8 \times 10^6$ m³ vode, što predstavlja stupac vode od oko 1 m (Bonacci, 2014).



Slika 12. Površinski sliv Vranskog jezera označen tamno plavom linijom (prikazan u DOF5, Državna geodetska uprava). Određen je pomoću ArcGIS-a (ESRI, 1999-2009). Točke V-1 i V-2 označavaju točke mjerenja svojstava vode Koeck, 2012).

Kemijski sastav vode istraživan je za potrebe projekta „CC-Waters“ u kojemu su sudjelovali istraživači sa ovog projekta, mjerena su dva profila kroz vodeni stupac, profil V-1 u južnom dijelu, te profil V-2 u sjevernom dijelu jezera (tablica 2). Kvaliteta vode Vranskog jezera je generalno visoka. Koncentracija nitrata u jezerskoj vodi je niska, dok je koncentracija klorida nešto viša, vjerojatno zbog utjecaja mora, kojeg vjetar rasprši do Vranskog jezera.

Tablica 2. Kemijska analiza vode Vranskog jezera na 2 profila, V-1 južni dio jezera i V-2 sjeverni dio jezera (preuzeto iz projekta „CC Waters“; Koeck, 2012). Oznake: EC-provodljivost, TDS-ukupno otopljene soli.

PROFIL V-1	T	EC	TDS	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ^{3--P}
Dubina	°C	μS/cm	mg/l		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1m	24,7	428	287	7,77	54	9,4	20	0,7	39,2	18	180	0,8	0,02
5m	21,9	427	286	7,87	54	9	26	0,8	30	18,2	180	0,8	0,01
10m	18,8	423	284	7,97	54	9,8	28	0,6	42	17,6	184	1	0,03
15m	12,9	426	285	8,12	54	9,8	30	1,1	44	17,5	184	0,6	0,01
20m	10,1	430	288	8,16	52	9,4	32	0,8	46	17,2	180	0,1	<0,01
25m	9,1	432	289	6,34	56	9,8	30	0,6	48	17,9	196	0,8	<0,01
30m	8,5	433	291	6,27	54	9,8	30	0,9	50	17,4	184	0,7	<0,01
35m	8,1	435	291	6,27	54	9,4	30	0,7	52	16,7	180	0,1	<0,01
40m	7,9	435	293	6,28	54	9,4	30	0,7	60	17,1	180	0,1	<0,01
45m	7,7	438	294	7,28	54	9,8	30	0,8	56	16,8	184	<0,1	<0,01
50m	7,8	439	295	7,35	54	9,8	30	1	62	16,6	184	<0,1	<0,01

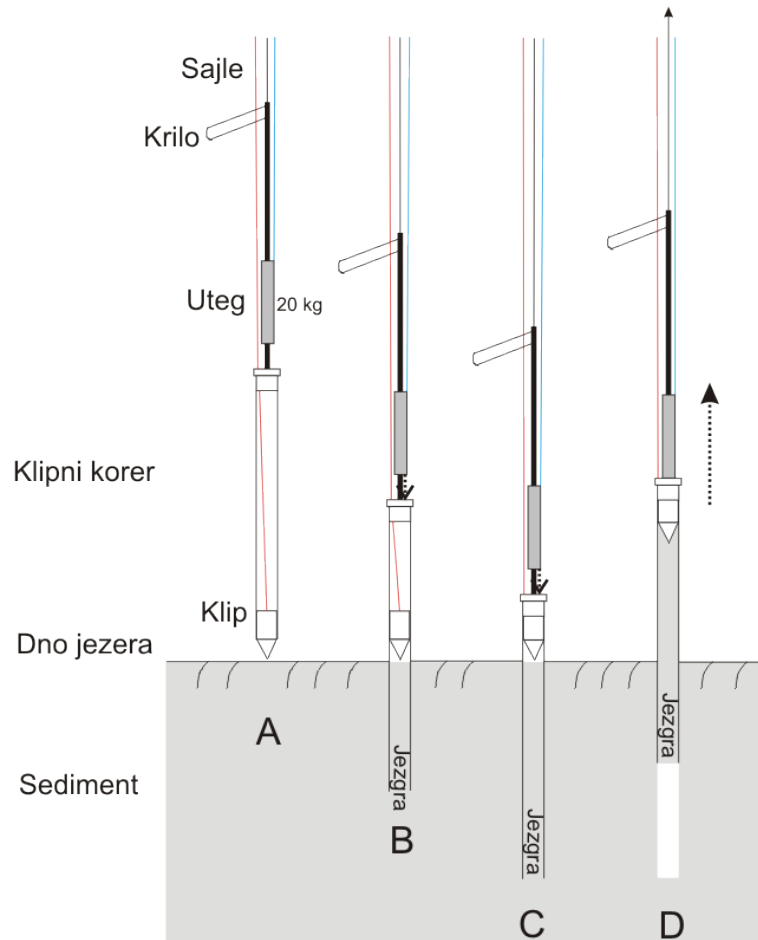
PROFIL V-2	T	EC	TDS	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ^{3--P}
Dubina	°C	μS/cm	mg/l		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1m	25	430	288	7,81	54	9,8	30	0,9	42	16	184	0,4	0,02
5m	23,3	427	287	7,9	54	9,8	32	1,1	44	16	184	0,4	0,03
10m	17,5	428	286	7,9	54	9,8	32	0,9	44	16	184	0,4	0,01
15m	12,8	427	288	7,28	54	9,8	32	0,8	44	18	184	0,2	0,01
20m	10,2	430	290	7,22	54	9,8	32	0,9	44	18	184	0,2	0,01
25m	9,2	433	290	6,27	54	9,8	32	1	46	18	184	0,2	<0,01
30m	8,7	433	290	6,27	54	10,2	32	0,8	42	15,9	188	0,8	<0,01
35m	8,3	435	291	6,28	56	9,6	32	1	45	16,3	182	0,7	<0,01
40m	7,9	436	292	6,28	54	10,4	34	1	30	16,8	188	0,8	<0,01
45m	7,8	437	292	6,46	54	10,2	32	0,9	32	17,4	188	0,9	<0,01
50m	7,7	438	293	6,28	54	10	32	0,8	34	18	188	1,5	<0,01

2. Metode istraživanja

2.1. Terenske metode

Terenska istraživanja u jezerima i slivnim područjima prilagođena su vrsti sedimenata koji se uzorkuje. Jezgre sedimenata u jezerima uzorkovane su pomoću istraživačke platforme HGI-a „Q2“ (slike 13 i 14), na koju je postavljen klipni korer (*Piston Corer* „Niederreiter“, UWITEC). Cijev ima promjer 60 mm.

Klipni korer je duga (3 m), teška cijev, koja je preko sajli i vitla povezana s tronožnim tornjem, koji se nalazi na aluminijskoj pontonskoj platformi (3x4 m). Ovaj tip klipnog korera (*Livingstone*) omogućuje vađenje dugačkih jezgri sedimenata, koji ostaje neporemećen (Glew et al., 2001). Klipni korer spušta se pomoću sajli do dna jezera kako bi se izvukao muljeviti jezerski sediment (slika 13). Klipni korer sastoji se od klipnog mehanizma. Način na koji klip funkcionira može se usporediti sa slamkom u vodi – ako stavimo prst na vrh slamke, a zatim izvučemo slamku, voda ostaje zarobljena unutar slamke. Slično tome, kad je korer utisnut u sediment, klip zakočen, udaranjem utegom na korer, utiskuje se u sediment i on u njega ulazi, a klip na dnu korera ostaje na mjestu gdje je zakočen i daljnjim bušenjem djeluje kao „čep“, odnosno stvara se podtlak i na taj način se zadržava sediment u koreru.



Slika 13. Funkcioniranje klipnog korera: A) spuštanje klipnog korera do dna jezera, krilo na šipki s utegom služi za stabilizaciju; B) bušenje sedimenata nakon što se klip zakoči, stvara se podtlak i korer sa cijevi se puni sedimentom, C) bušenje traje dok se cijev potpuno ne ispuni sedimentom, D) izvlačenje klipnog korera na površinu pomoću sajle klipnog korera. Modificirano prema Glew et al. (2001).

U klipni korer je umetnuta plastična cijev u koju ulazi neporemećeni sediment. Dugačka je 3 m kao i korer. Sustav je opremljen sajlama (3 sajle) s kojima se klipni korer može spustiti do oko 80 m dubine. Na jednu sajlu pričvršćen je klipni korer preko šipke na kojoj se nalazi uteg (crne boje na slici), na drugoj sajli privezan je uteg (1 uteg ima 20 kg, može se dodati i drugi pa je opterećenje 40 kg), s kojim se naizmjeničnim udarcima buši sediment (plava boja), dok je trećom sajlom pričvršćen klip (crvene boje). Klipni korer može se spojiti sa šipkama, s kojima se može izvaditi do 20 m neporemećenih jezgara sedimenta. Jezgre se prenose i pohranjuju u laboratorij u cijevima dužine do 3 m.



Slika 14 Istraživačka platforma HGI-a „Q2“ na Vranskom jezeru (bušotina CS 51).

Za potrebe ove studije uzorkovani su sedimenti iz Vranskog jezera i iz Lošinjskog kanala. Popis izvađenih jezgri prikazan je u tablici 3. U Vranskom jezeru izbušene su jezgre u središnjem dubokom dijelu jezera (VR-1, VR-1A i VR-2), zatim u sjevernom (CS-50 do CS-53) i južnom dijelu jezera (CS-20 do 23 te CS-55 do CS-57). U Lošinjskom kanalu izbušene su 4 jezgre sedimenata (LK-1 do LK-4).

Tablica 3. Popis jezgri sedimenata iz Vranskog jezera na Cresu i Lošinjskog kanala analiziranih za potrebe ove studije.

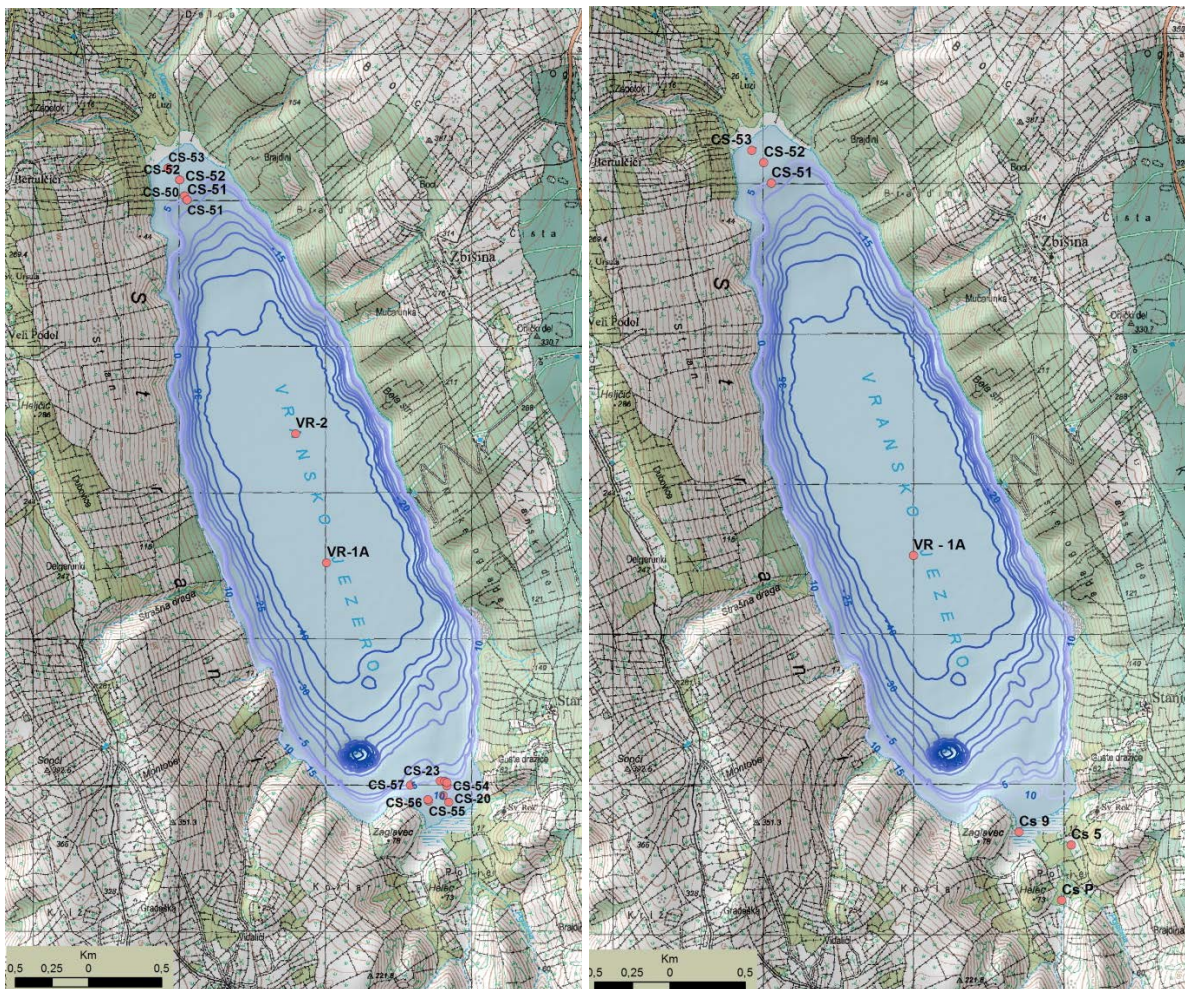
Lokacija	Oznaka	Kota (m)	Dužina jezgre (m)
Srednji dio Vranskog jezera	VR-1A	-43	7,5 m
	VR-1 i VR-2 (arhiv)		
Sjeverni dio Vranskog jezera	CS-50 (arhiv)	+6	3 m
	CS-51	+2,3	3 m
	CS-52	+8,8	6 m
	CS-53	+9,4	9 m
Južni dio Vranskog jezera	CS-20 do CS-24 (arhiv)	8 do 10	3-6 m
	CS-54 do CS-57 (arhiv)		
Lošinjski kanal	LK-1 (arhiv)	-42	2 m
	LK-2	-0,5	2,5 m
	LK-3	-5	3,5 m
	LK-4 (arhiv)	-2	3 m

U Vranskom jezeru (slika 15) uzorkovane su 2 jezgre sedimenata iz dubokog središnjeg dijela jezera, s 54 (VR-1 i 1A) i 50 m (VR-2) dubine vode. Jezgra sedimenata VR-1A detaljno je analizirana, dok je jezgra iste dužine pohranjena i arhivirana u HGI-u (VR-2). U sjevernom dijelu jezera izbušene su jezgre CS-50, CS-51, CS-52 i CS-53, s različitih dubina vode (slika 16 i 17), od kojih nije analizirana jedino jezgra CS-50, te je ona pohranjena u HGI-u na +4°C. Ujedno su arhivirane sve jezgre uzete iz južnog dijela jezera (CS-20 do 24 te CS-54 do CS-57), čije analize nisu načinjene jer zbog velike udaljenosti od obale nebi zahvatile kolebanja jezera u zadnjih 2 000 godina.

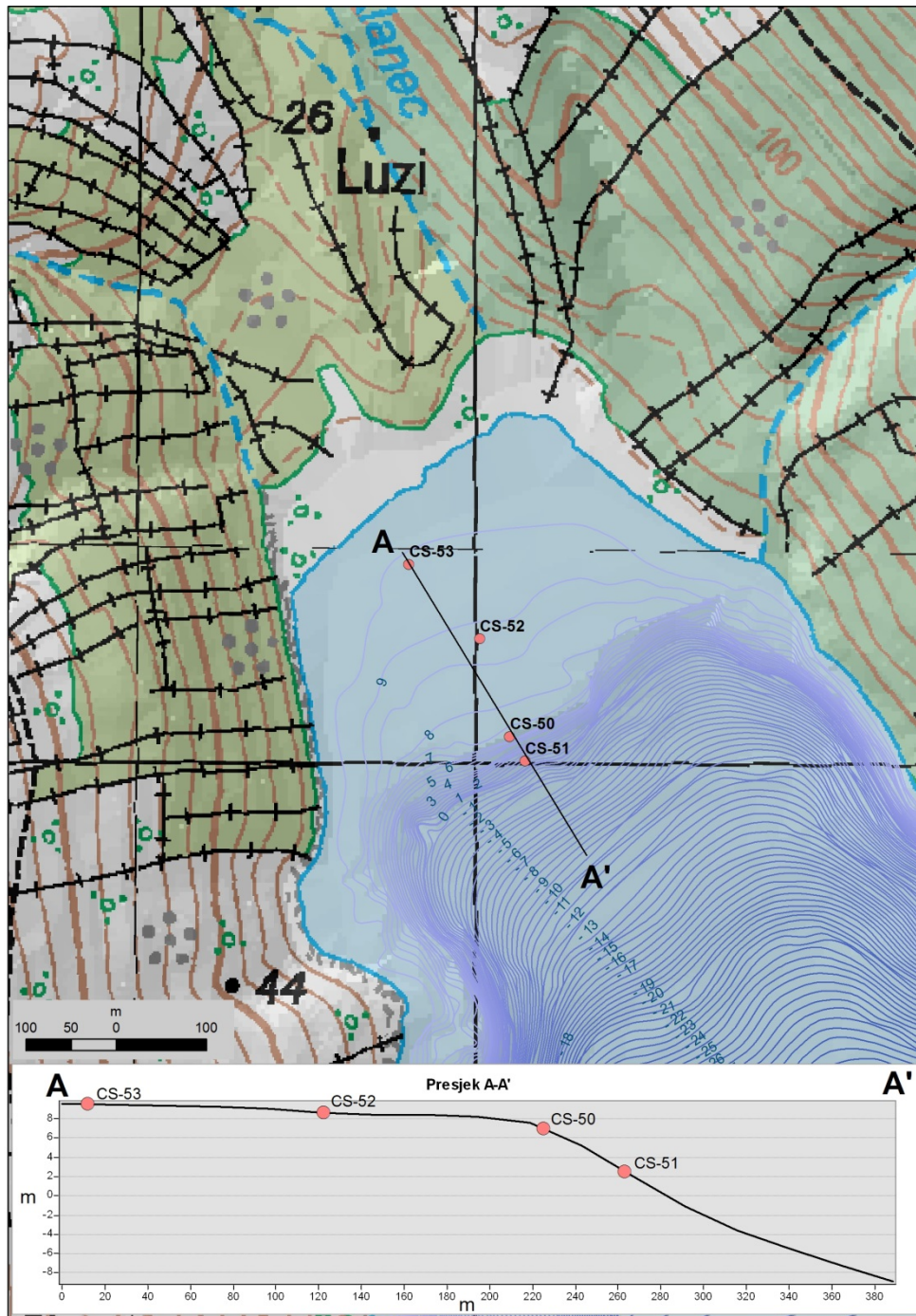
Za potebe ove studije korišteni su uzorci dobiveni bušenjem u prethodnim istraživanjima, profili Cs-5 i Cs-9 (Mesić et al., 2007). Na južnom dijelu jezera karakteristična je pojava aluvijalnih lepeza koje prelaze u deltu, gdje se taloži materijal koji nose bujični tokovi s ogoljelog dolomitično vapnenačkog prostora i gdje su se razvili jarci kanjonskog tipa (slika 18). Jezgra Cs-9 nalazi se u vršnom dijelu aluvijalne lepeze, čini poplavni nanos uz sam rub jezera, nalazi se na oko 13 m n.m. Sastoji se od jezerskih sedimenata čije je

prijeklo od erodiranih stijena dolomita u gornjem dijelu i erodiranog tla u donjem dijelu jezgre. Jezgra Cs-5 nalazi se u aluvijalnoj lepezi, na oko 15 m n.m. i nastavak je povremenog potoka, iz kojeg je uzorkovan profil Cs-P. Profil Cs-5 izgrađen je od crvenice. U bujičnom koritu povremenog potoka, na oko 25 m n.n, uzorkovan je profil tla Cs-P, koji predstavlja koluvij (sediment koji nastaje ispiranjem s viših terena bujičnim vodotocima). Uzorkovalo se u intervalu od 2 cm, a profil se može podijeliti na gornje smeđe dolomitizirano tlo do oko 40 cm (CsP 4-6 cm), zatim slijedi sloj tla s komadićima keramike od 170-188 cm (Cs-P 174-176 cm), ispod kojeg ponovno slijedi smeđe tlo te u donjem dijelu profila ispod 228 cm do 340 cm, žućkasti sitnozrnati sediment sličan lesu (lesoliki sediment).

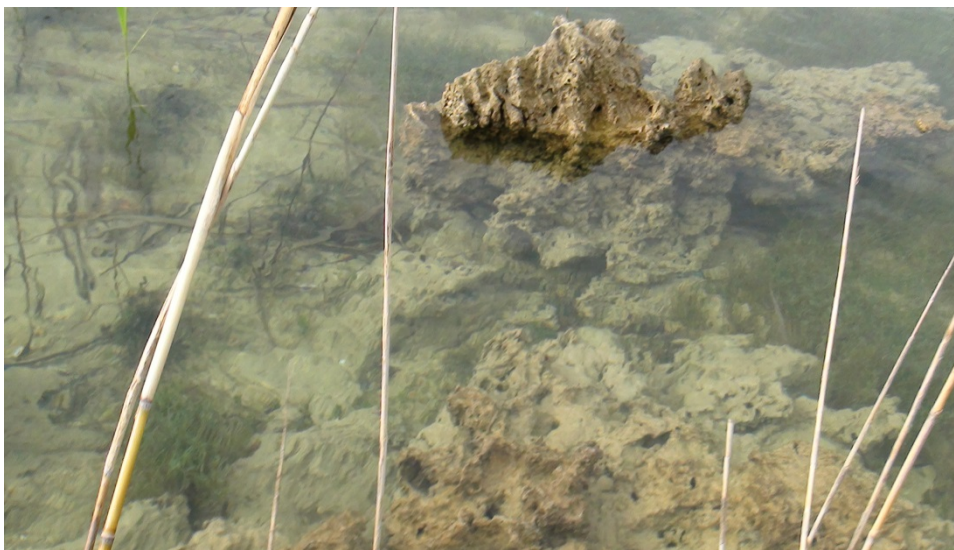
Na sjeverozapadnom dijelu jezera u velikoj paleodepresiji uz prometnicu Valun-Cres, ranije je uzeto desetak uzoraka tla do dubine 930 cm (Mesić et al., 2007). U ovom istraživanju korišten je jedan reprezentativan uzorak (VALUN-6). Iako je položaj uzorka VALUN-6 izvan granica površinskog sliva, uključen je u istraživanje zbog toga jer takav materijal također mogao biti izvor sedimenata u jezeru.



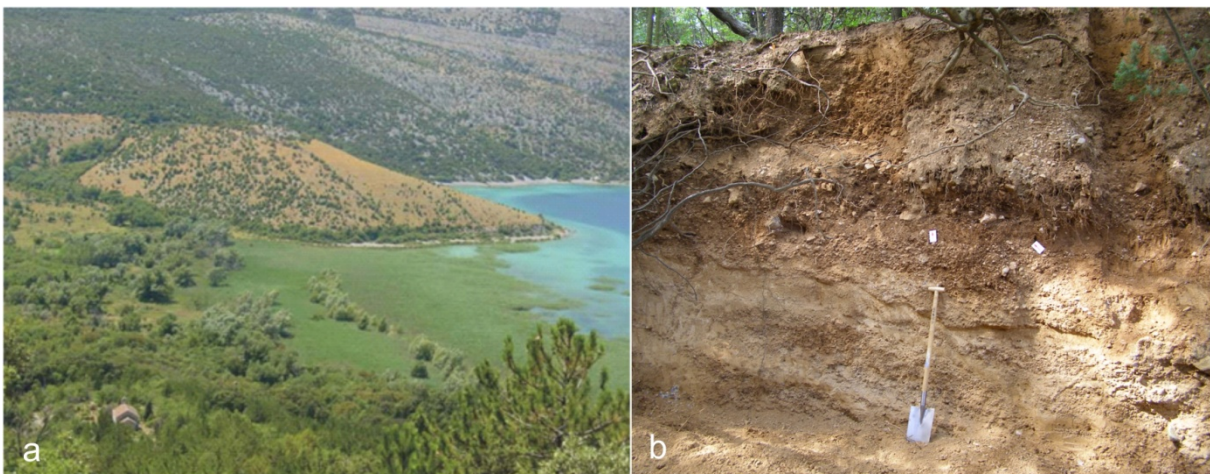
Slika 15. Topografska karta Vranskog jezera na Cresu (TK25, DGU), s lokacijama bušenja svih jezgri sedimenata (lijevo) i onih koje su poslužile za izradu ove studije (desno).



Slika 16. Topografska karta sjevernog dijela Vranskog jezera na Cresu (TK25, DGU), s batimetrijom u 1 m rezoluciji te profilom i položajem bušotina CS-50, CS-51, CS-52 i CS-53.

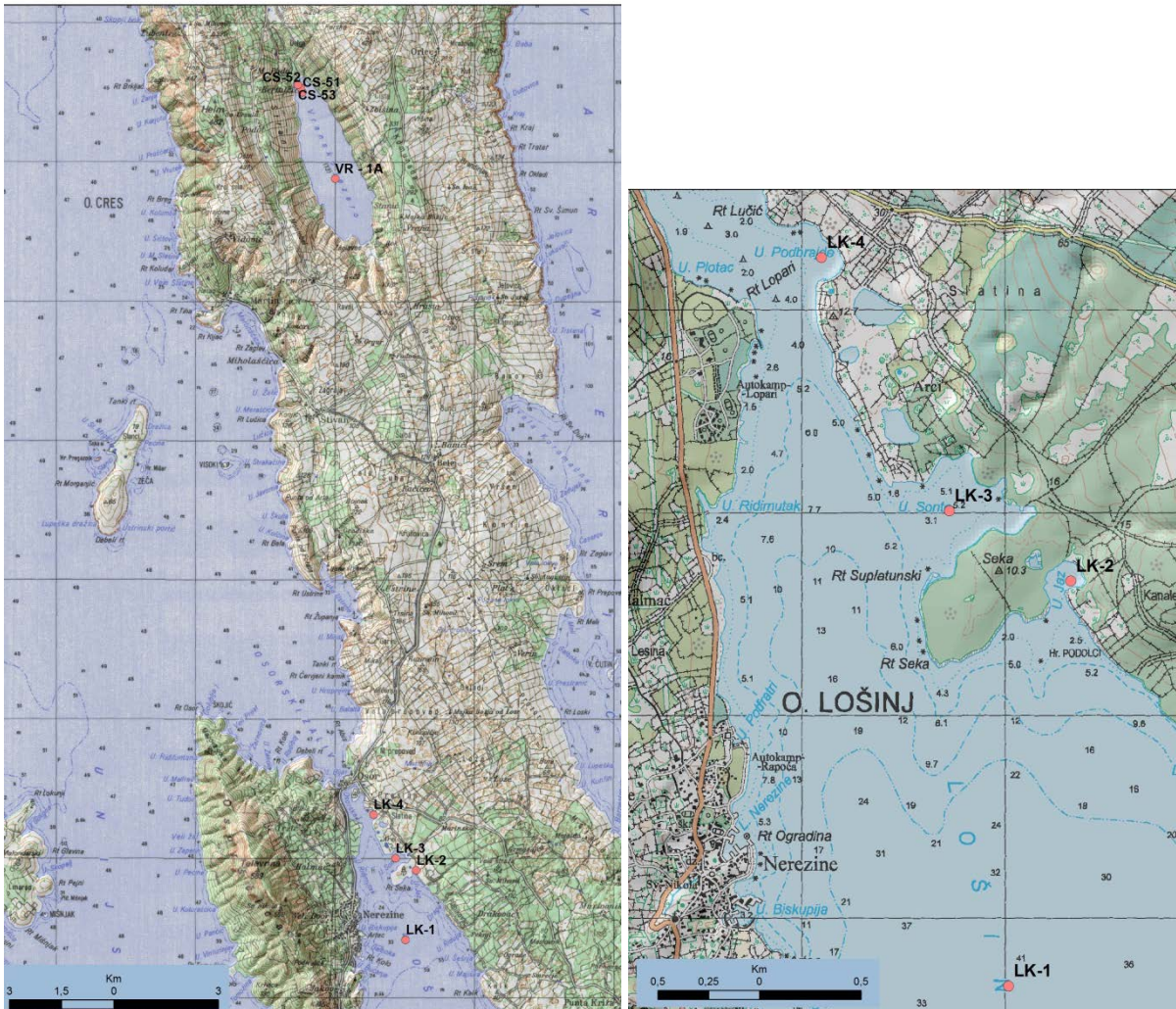


Slika 17. Kamenita sjeverna obala Vranskog jezera (jezge CS-50 do 53).



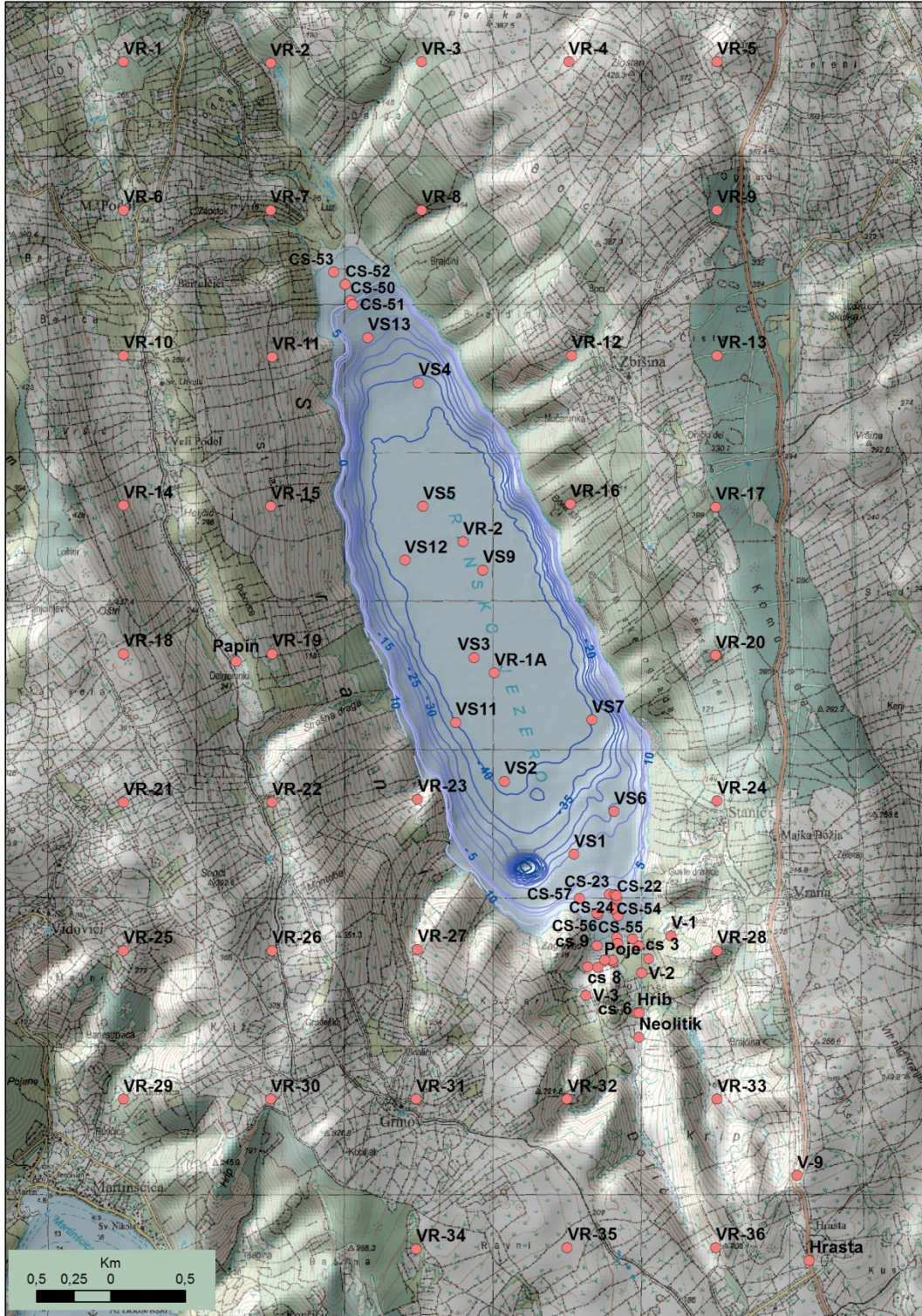
Slika 18. a) Aluvijalna lepeza na južnom dijelu Vranskog jezera, gdje se nalaze bušotine Cs-5 i Cs-9, b) profil Cs-P u koritu povremenog potoka na južnom dijelu Vranskog jezera.

U Lošinjskom zaljevu uzete su jezgre sedimenata iz različitih dijelova zaljeva odnosno na različitim dubinama mora (LK-1 do LK-4; slika 19), kako bi se dobila lokalna krivulja izdizanja morske razine tijekom posljednjih 6-7 tisuća godina, budući da je to razdoblje kritično za uspostavu sadašnjih razina Vranskog jezera. Analizirane su jezgre sedimenata LK-2 i LK-3, koje su uzorkovane u plićim dijelovima zaljeva i predstavljaju potopljene ponikve, dok su LK-1 i LK-4 arhivirane u HGI-u na +4°C.



Slika 19. Lokacije bušenja jezgri sedimenata iz Lošinjskog kanala u usporedbi s Vranskim jezerom na Cresu (lijevo), te položaj samih buština u Lošinjskom kanalu, LK-1 do LK-4 (desno).

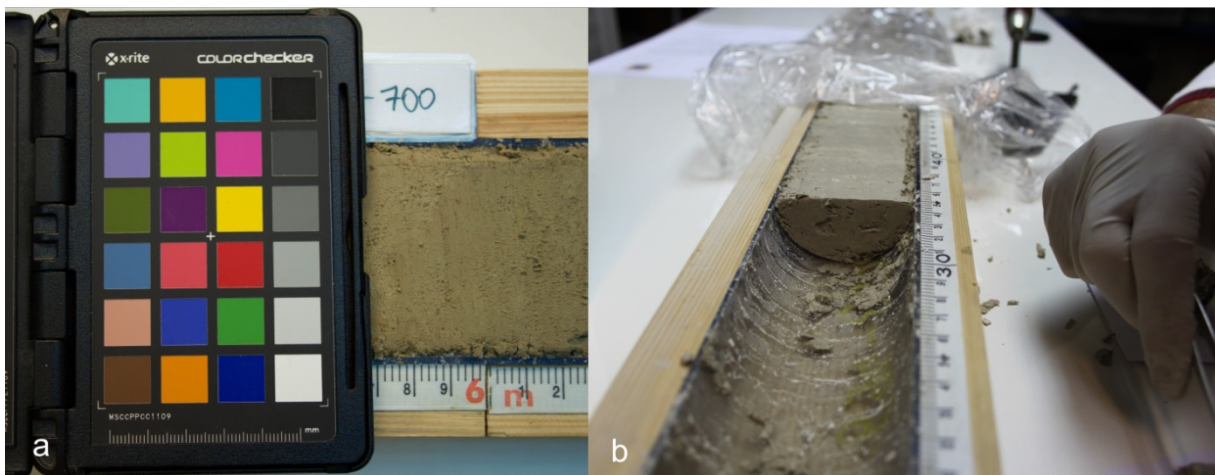
Na slici 20 prikazana je karta lokacija uzorkovanja vezana za sva dosadašnja istraživanja koje je provodio HGI na Vranskom jezeru. Uzorci sa svih lokacija su arhivirani u HGI-u. Jezgre jezerskih sedimenata čuvaju se na $+4^{\circ}\text{C}$, kako bi se sačuvala organske komponente sedimenata za buduće analize.



Slika 20. Prikaz svih lokacija koja su uzorkovana tijekom istraživanja Vranskog jezera i njegovog sliva u HGI-u. Svi uzorci su pohranjeni u HGI-u.

2.2. Laboratorijske metode

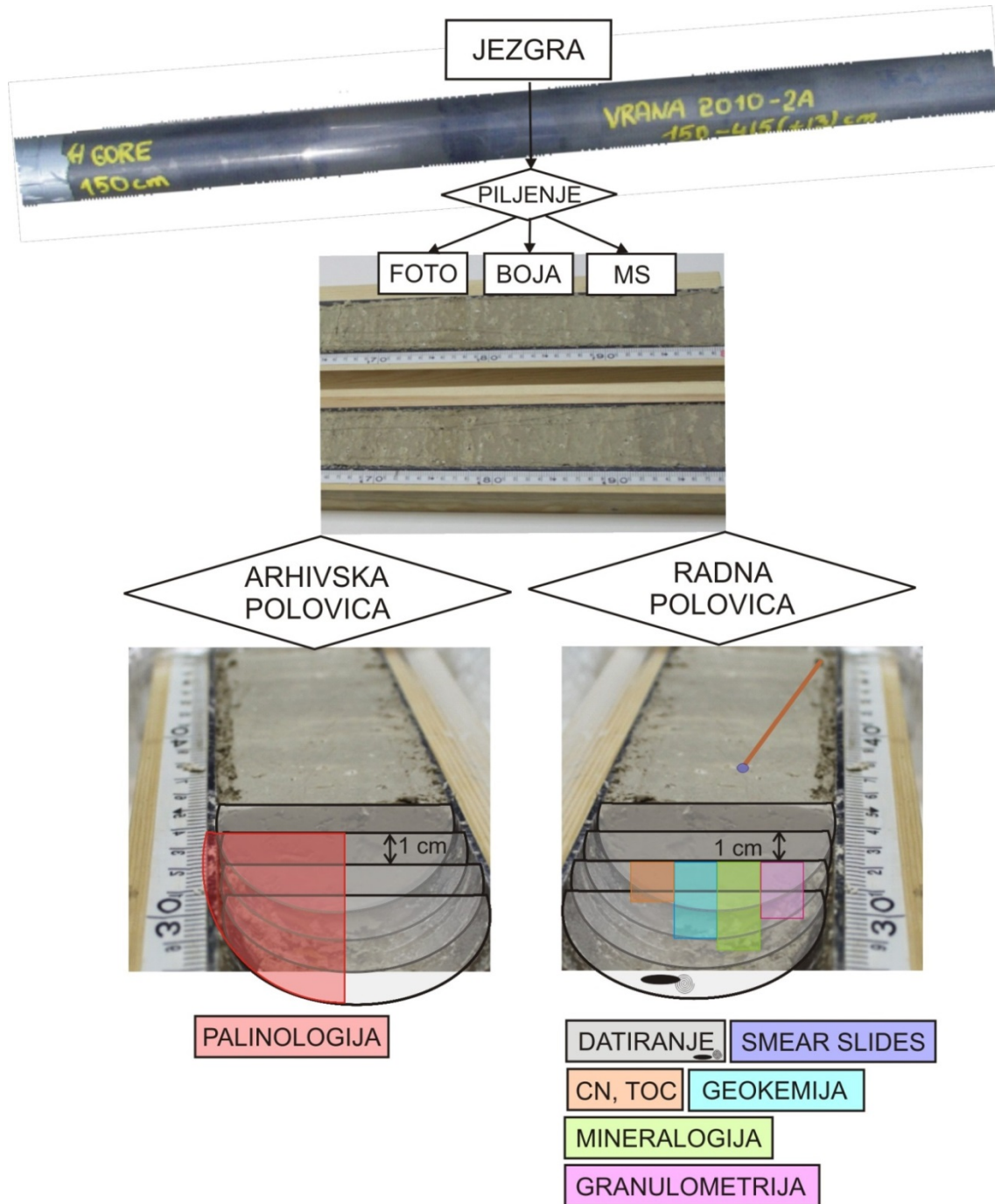
Priprema uzoraka za analizu napravljena je prema standardiziranom postupku pripreme jezgri sedimenata dobivenih u cijevima za bušenje. Cijevi se prvo moraju uzdužno prepiliti na 2 dijela, sediment se odvoji pomoću plastične niti (flaksa) debljine oko 0,3 mm, te se potom polovice stavljaju u metarske kalupe. Prvi korak pri istraživanju jezgri sedimenata jest vizualni opis jezgre, koji obuhvaća fotodokumentiranje prerezane jezgre (slika 21). Fotografiralo se pomoću fotoaparata Canon EOS 500D sa stalkom i uključenim reflektorom za osvjetljavanje. Istovremeno je uz svaku odrezanu jezgru fotografirana paleta za kalibraciju *X-Rite ColorChecker Passport* (X-Rite, Incorporated, 2009), pomoću koje se su se dobivene fotografije (u RAW formatu) kalibrirale u programu *Lightroom* (Adobe Photoshop Lightroom 3.3). Koristeći paletu boja *X-Rite ColorChecker Passport*, Lightroom kalibrira fotografije na način da stvara kalibracijski spektar koji se primjenjuje za odabrane fotografije.



Slika 21. a) Fotografirana jezgra s paletom za kalibraciju *X-Rite ColorChecker Passport*; b) Uzorkovanje polovice jezgre.

Nakon toga se jedna polovica jezgre prekriva tankom plastičnom folijom te se mjeri spektralna analiza boje i magnetski susceptibilitet. Potom slijedi uzorkovanje rezolucijom od 1 cm (slika 22), pri čemu se jedna polovica arhivira, dok se druga koristi za detaljan opis jezgre. Opis jezgre uključuje utvrđivanje intervala s promjenama boje i određivanje boje prema Munsellu. Jezgra se pregledava i za odabiranje materijala pogodnog za datiranje radioaktivnim ugljikom, te su izdvajani odlomci ili cijele ljuštore puževa ili školjaka, biljaka, korijena, sjemenki, ugljena. Također se uzima dio uzorka, vrlo mala količina pomoću vrha čačkalice, za izradu „smear slideova“, razmazanih preparata nekonsolidiranih sedimenata za

mikroskopiranje. Uzorci se potom suše na temperaturi od 40°C u sušioniku, te se usitnjavaju u ahatnom tarioniku. Nakon toga su uzorci spremni za daljnje analize: za granulometrijske analize (za koje se koristio neusitnjen uzorak), kemijske analize (1,5 + 1 g), te mineraloške analize ukupnih (bulk) uzoraka, netopivih ostataka i detaljne analize minerala glina (po 1 g iz svakog uzorka, a za potrebe veće količine uzorka centimetri su se spajali). Uzorci za palinološke analize uzimaju se iz arhivirane polovice (polovica unutar 1 cm). Sve analize učinjene su u Hrvatskom geološkom institutu, osim onih kod kojih je posebno istaknuto gdje su napravljene.



Slika 22. Shema pripreme jezgre za analize, detalji su opisani u tekstu.

2.2.1. Spektralna analiza boje i određivanje boje prema Munsellu

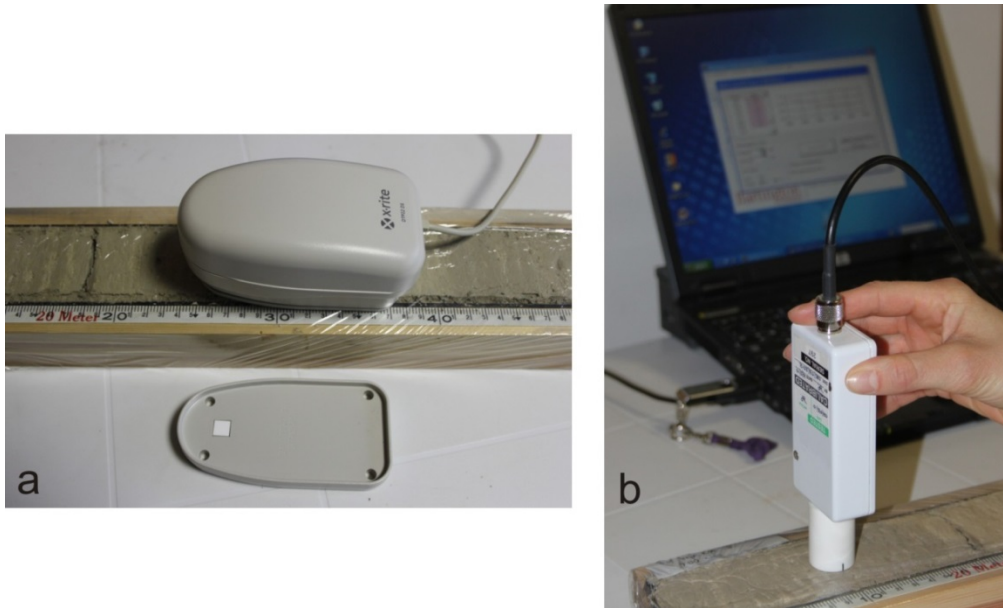
Boja je jedan od parametara koji se određuje na jezgrama odmah nakon dijeljenja na dvije polovice, kako ne bi došlo do promjene boje prilikom izloženosti zraku. Boja je mjerena u centimetarskom intervalu pomoću ručnog spektrofotometra, *X-Rite DTP22/Digital Swatchbook* (slika 23), s promjerom otvora 6 mm, Spektrofotometar mjeri reflektiranu

svjetlost s površine sedimenta, s rasponom valnih duljina od 400 do 700 nm (vidljivi spektar). Uređaj se kalibrira pomoću standarda bijelog opala („*white opal*“), koji se koristi zbog činjenice da je reflektirana svjetlost bijelog standarda kombinacija svih valnih duljina. Reflektirani spektar opisuje boju uzorka koji se skenirao te se ti spektralni podaci konvertiraju u prostor boje („*space color*“) CIE L^*a^*b . Model CIE L^*a^*b (CIELAB) je najkompletniji prostor boje određen prema međunarodnoj komisiji za osvjetljenje („*Commission Internationale de l'Eclairage*“) i opisuje sve boje vidljive ljudskom oku kao trodimenzionalan model. Parametar L^* definira svjetlinu i ima raspon od 0 (crno) do 100 (bijelo). Parametar a^* odnosi se na varijaciju u crvenoj i zelenoj boji i ima raspon od +60 (crveno) do -60 (zeleno). Parametar boje b^* definira varijaciju žute i plave boje i također ima raspon od +60 (žuto) i -60 (plavo). U teoriji ove analize stoji činjenica da uzorak ne može biti u isto vrijeme zelen i crven, niti plav i žut. Kao rezultat toga, pojedinačne vrijednosti mogu se koristiti za opis odnosa crveno/zeleno i žuto/plavo. Parametar L^* može poslužiti kao indikator udjela organskog ugljika (niže vrijednosti – tamnija boja i povećana koncentracija organskog ugljika) i karbonata (više vrijednosti – svjetlija boja i više karbonata) (Balsam et al., 1999), parametar a^* na povećanu koncentraciju Fe-minerala, crvenih kao što je hematit (St-Onge et al., 2007), dok parametar b^* može ukazivati na reduktivne i anoksične uvjete, te prema tome varijaciju u udjelu dijatomeja i organske tvari (Debret et al., 2006). Varijacije boje kroz jezgru mogu se koristiti za stratigrafiju i korelaciju promjena u okolišu jezera. Boja je određivana i prema Munsellovom atlasu boja (*Munsell Color*, 1994), prilikom pripreme uzoraka za sušenje, na mokrim uzorcima, pri danjem svjetlu. Na taj način određuju se vrijednosti nijanse boje – crveno, žuto, plavo, itd. („*hue*“), svjetline („*value*“) i saturacije bojom (*chroma*). Ova konvencionalna metoda korištena je kao rezervna metoda za spektralnu analizu boje, s kojom je boja kvantitativno izražena u CIE $L^*a^*b^*$ vrijednostima, te da bi se omogućila usporedba boje jezerskih sedimentata s tlima i sedimentima iz slivnog područja.

2.2.2. Analiza magnetskog susceptibiliteta

Magnetski susceptibilitet jest mjera magnetičnosti materijala, koje je inducirano slabim magnetskim poljem (Evans & Heller, 2003). Najveći magnetski susceptibilitet imaju magnetični minerali, kao što je magnetit (ferimagnetičan), dok malo niže vrijednosti ima hematit (antiferomagnetičan). Slab magnetski susceptibilitet imaju paramagnetični minerali (npr. minerali glina, biotit i pirit). Negativne vrijednosti imaju minerali koji su dijamagnetični i ne sadrže željezo, poput karbonata i kvarca, kao i organske tvari. Većina magnetičnih minerala u jezerskim sedimentima potječe iz sliva, a mogu biti uneseni u jezero rijekama i vjetrom. Atmosferski izvori magnetičnih minerala uključuju vulkanski materijal (tefru) i prašinu nastalu antropogenim aktivnostima (Last & Smol, 2001), te povišen magnetski susceptibilitet može biti indikator tefre i vulkanske aktivnosti u bližem području. Magnetski susceptibilitet u pleistocenskim/holocenskim jezerskim sedimentima varira kako se mijenjaju paleookolišni uvjeti u jezeru i slivu, odnosno karbonatna sedimentacija (nizak MS) ili erozija siliciklastičnog materijala (viši MS), te upućuje na klimatske promjene i ljudske aktivnosti (Dearing et al., 1999; Maher, 2011).

Magnetometrijska analiza uključivala je mjerenje magnetskog susceptibiliteta (MS) pomoću Bartingtonovog MS2 sistema, koristeći više različitih senzora. Svaki od tih senzora stvara slabo magnetsko polje i detektira magnetičnost materijala unutar senzora u odnosu na zrak. Bartingtonov MS2 sistem sastoji se od uređaja na kojeg se može spojiti više senzora, a uređajem upravlja program *Mulitibus2*. U ovom istraživanju korišteni su sljedeći senzori: MS2C („*Core Scanning sensor*“), koji mjeri volumni magnetski susceptibilitet („*volume, κ , magnetic susceptibility*“) na jezgri u pvc cijevi kako je izvađena, promjer senzora je 100 mm; zatim MS2E ravni površinski senzor (slika 23) koji mjeri volumni MS na prepiljenoj polovici jezgre sedimenata, pri čemu je bitno da se mjeri kad su senzor i površina jezgre približno iste temperature; te MS2G koji mjeri volumni MS suhih i usitnjenih uzoraka u 1 cm³ plastičnim posudama, ispunjenim do vrha te se primjenjuje odgovarajući korekcijski faktor. Uzorci jezgri sedimenata mjereni su s MS2C senzorom svaka 3 cm, dok su s površinskim senzorom MS2E mjereni u centimetarskim intervalima, na jezgri prekrivenoj tankom prozirnom plastičnom folijom. MS2G senzorom izmjeren je magnetski susceptibilitet uzoraka iz pojedinih slivnih područja. Uzorci su mjereni pri sobnoj temperaturi u niskom magnetskom polju („*low magnetic field*“) - 0,1 mT (mili Tesla) , a trajanje jednog mjerenja je 9 s za MS2C senzor, 12 s za MS2E senzor i 7 s za MS2G senzor. Rezultati su bezdimenzionalni, izraženi u SI ($\times 10^{-5}$). ili CGS ($\times 10^{-6}$) (centimetar, gram, sekunda) jedinicama za volumni MS.



Slika 23. a) Xrite uređaj za spektralno određivanje boje i kalibracijski standard bijeli opal; b) Bartingtonov uređaj za mjerenje magnetskog susceptibiliteta, s detektorom za površinska mjerenja (MS2E).

2.2.3. Mikroskopiranje rastresitih sedimenata

Mikroskopiranje rastresitih sedimenata metodom pripreme brisova tj. preparata dobivenih razmazivanjem („*smear slide*“) je jedan od najvažnijih izvora informacija o taloženju materijala u limnologiji. Priprema razmazanih preparata korištenjem malih količina nekonsolidiranog sedimenta je jeftina, brza i „*low tech*“ metoda, čija analiza zahtijeva samo petrografski mikroskop. Nažalost, zasad ne postoje reference za jezerske sedimente (postoje samo za marine sedimente, ali i one su malobrojne). Vodeći svjetski paleolimnološki istraživački centar *LacCore* iz Minnesote, SAD, razvio je online bazu podataka o jezerskim sedimentima, TMI (*Tool for Microscopic Identification*; <http://tmi.laccore.umn.edu>).

Analiza razmazanih preparata koristi se za određivanje mineralnog sastava, veličine čestica, njihovog sortiranja i zaobljenost, te prisutnosti organske materije (drvo, ugljen, palinomorfe), mikrofosila (dijatomeja, foraminifera) i vulkanskog stakla (tefre) te drugih važnih karakteristika za interpretaciju geokemijskih, bioloških i kronoloških podataka. Tom metodom mogu se odrediti autigene, biogene komponente (ljuštore, foraminifere), klastične ili terigene komponente u jezerskim sedimentima. Metoda predstavlja inicijalni opis jezgre i prema tome može dati preliminarnu paleookolišnu interpretaciju prije prvih analitičkih podataka ili služi kao potvrda utvrđenih uvjeta u okolišu u prošlosti.

Na predmetno staklo nakapa se destilirana voda i doda se vrlo malo uzorka uzetog direktno iz jezgre pomoću vrha čačkalice (ili metalnog štapića) i dispergira se u vodi. Potom se staklo s uzorkom stavi sušiti na grijač na nisku temperaturu (oko 60°C) 2-5 minuta. Kad je uzorak osušen, prekrije se pokrovnim stakalcem na koje se kapne 2-3 kapi optičkog vezivnog sredstva „Norland 61“. Norland optičko vezivo ima indeks loma RI=1,55-1,56. Stvrdnjuje se pod zračenjem UV lampe (moguće je koristiti i sunčevu svjetlost u nedostatku lampe) oko 2-3 minute (slika 24). U uzorcima je česta pojava mjehurića, uzrokovana optičkim sredstvom, koje se iz tog razloga mora čuvati okrenuto naopako (vrh bočice prema dolje), ali u prvim uzorcima mjehurići su neizbježna pojava. Uzorci su potom spremni za mikroskopsku analizu - korišten je Meiji Techno mikroskop i Moticom 2500 kamera. Iz svake jezgre napravljeno je oko 20-ak preparata kroz profil.



Slika 24. Izrada „smear slide“ preparata za mikroskopsku analizu nekonsolidiranih uzoraka, pomoću UV lampe i interpretacija podataka uz pomoć TMI baze.

2.2.4. Datiranje radioaktivnim ugljikom ^{14}C AMS

Datiranje metodom radioaktivnog ugljika ^{14}C akceleratorском masenom spektrometrijom (AMS) učinjeno je u centru *Beta Analytic Radiocarbon Dating*, Miami, SAD. Dio uzoraka mjereno je u *Gadam* centru, laboratoriju za datiranje radioaktivnim ugljikom u Gliwicama u Poljskoj. Za mjerenje vrlo slabih signala ugljika ^{14}C od drugih izotopa ugljika i dobivanje relativnog broja ^{14}C atoma u uzorku, potrebno je ubrzati čestice, te se zbog toga koristi AMS metoda. Za analizu se može koristiti više različitih materijala (slika 25): materijal organskog porijekla (drvo, ugljen, treset, biljke, organski sediment, kosti, kosa, koža), tekstil, kao i anorganski uzorci karbonata (ljuštore puževa, školjaka i foraminifera, koralji, sige, sedra). Za mjerenja pomoću AMS-a potrebna je vrlo mala količina uzorka, dovoljno je tek 10-

50 miligrama. Metoda se temelji na činjenici da je sav organski materijal u biosferi „obilježen“ radioaktivnim izotopom ^{14}C . Radioaktivni ugljik ^{14}C jedan je od tri prirodna izotopa ugljika, najzastupljeniji je stabilni izotop ^{12}C koji čini oko 98,9% ukupnog ugljika, zatim stabilni izotop ^{13}C čini 1,1%, dok se ^{14}C pojavljuje u tragovima – 1 dio na 10^{10} % (Walker, 2005). Kako bi mjerenu ^{14}C aktivnost u uzorku pretvorili u kalendarsku starost sa što većom preciznošću, moraju biti zadovoljene sljedeće pretpostavke: 1) jednolika i konstantna raspodjela izotopa ^{14}C i prema tome udjela $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ u globalnim spremnicima ugljika (atmosfera, biosfera, slatka i slana voda), 2) brza i potpuna izmjena ^{14}C između tih spremnika, 3) poznati udio različitih stabilnih ugljikovih izotopa (npr. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) i aktivnost ^{14}C u uzorku u trenutku prestanka izmjene tvari s okolinom odnosno smrti organizma („početna aktivnost“), te izostanak naknadne kemijske ili izotopne izmjene s ugljikom iz okoline nakon smrti organizma, 4) točno poznato vrijeme poluraspada izotopa ^{14}C , 5) stalna i jednolika prirodna produkcija ^{14}C u atmosferi. Precizno je određeno vrijeme poluraspada izotopa ^{14}C i prirodne razine ^{14}C u atmosferi, dok su ostale 3 pretpostavke upitne i vode do grešaka u datiranju metodom radioaktivnog ugljika (Walker, 2005).

Problem nepoznavanja početne aktivnosti ^{14}C u uzorku značajan je za datiranje karbonatnih materijala biogenog porijekla, u kojima je barem jedan dio ugljika, pa time i ^{14}C , porijeklom iz atmosfere (ljuštura, sige, sedre). Na takvim uzorcima potrebno je neovisnim metodama odrediti ili teorijski pretpostaviti, kakva je bila koncentracija ^{14}C u nekoj školjki ili sigi u trenutku taloženja. Sljedeći problem jest mogućnost taloženja sekundarnog karbonata i rekristalizacije na vanjskim ljušturama organizama, što rezultira dobivanjem nelogično mlađih starosti. Rutinska laboratorijska priprema ljuštura za ^{14}C analizu uključuje uklanjanje 20% vanjske strane ljušture (po težini) pomoću kiseline kako bi se dobio unutarnji materijal za datiranje (Walker, 2005).

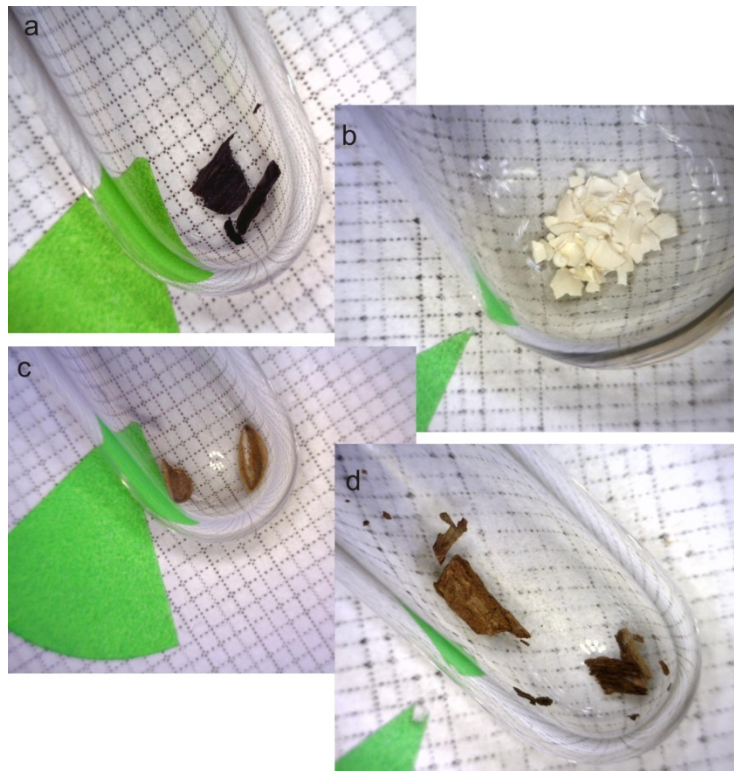
S obzirom da se u prirodi nalaze 3 izotopa ugljika, dolazi do izotopne frakcionacije pri prelasku ugljika iz jednog spremnika u drugi. Naime, biljke u procesima fotosinteze preferiraju lakše izotope ^{12}C , pa i ^{13}C , te će stoga imati veće koncentracije tog izotopa, a manjak ^{14}C . To znači da će biljka imati nižu ^{14}C aktivnost nego istodobna atmosfera, a datiranjem fosilnih biljaka dobit će se veća starost. Kako frakcionacija ovisi i o vrstama, različiti dijelovi biosfere imati će različite ^{14}C starosti. Datiranjem morskih organizama dobiju se obrnute vrijednosti, jer morska voda preferira apsorpciju težeg izotopa ^{14}C i ima manjak ^{12}C , što se prenosi na morske organizme (školjke, koralje) i oni će imati veću ^{14}C aktivnost (koja vodi mlađoj ^{14}C starosti). Izotopna frakcionacija se u laboratorijima korigira na temelju činjenice da je teži izotop ^{14}C dva puta veći u odnosu na ^{13}C . Izotopi ^{12}C i ^{13}C su stabilni i mogu se direktno mjeriti u uzorcima fosilnog materijala pomoću AMS-a i taj se odnos $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$

uspoređuje s odnosom standardnog PDB vapnenca (belemnitni karbonat iz kredne Pee Dee formacije), čime se dobije $\delta^{13}\text{C}$. Vrijednost $\delta^{13}\text{C}$ izražavaju se u ‰ i omogućuju točno mjerenje izotopne frakcionacije, koja se reflektirala u fosilnom uzorku. Većina materijala ima negativne vrijednosti $\delta^{13}\text{C}$ (Walker, 2005).

Prema međunarodnoj konvenciji, rezultati se izražavaju kao mjerena ^{14}C starost u godinama prije sadašnjosti, BP (*Measured Radiocarbon Age*), pri čemu je „sadašnjost“ = 1950. godina. Mjerena ^{14}C starost dobivena je ponavljanjem mjerenja, te se distribucija rezultata opisuje kao normalna (ili Gaussova) funkcija vjerojatnosti. Dobivena starost znači da se 68% vrijednosti nalazi u intervalu od plus-minus (\pm) jedne standardne devijacije (1σ) od aritmetičke sredine. Prema tome, postoji jedna trećina šanse da godina leži izvan tog raspona. Mjerena ^{14}C starost korigira se na izotopnu frakcionaciju, korištenjem $\delta^{13}\text{C}$, te se dobije konvencionalna ^{14}C starost u BP (*Conventional Radiocarbon Age*). Konvencionalna ^{14}C starost je nekalibrirana i također se prikazuje kao 1σ standardna devijacija (sa 68%-tnom vjerojatnošću). Konvencionalna starost ^{14}C mora se korigirati zbog varijacije u prirodnoj produkciji ^{14}C u atmosferi tijekom prošlosti, uzrokovanog fluktuacijama magnetskog polja Sunca i prema tome kozmičkog zračenja. Najčešća metoda koja se koristi za kalibraciju jest dendrokronologija, datiranje pomoću godova drveta. Danas su dostupne knjižnice s godovima drveta različitih kalendarskih godina koji mogu omogućiti vrlo precizno datiranje unatrag oko 12 000 godina. Drveće koje se najčešće koristi kao referentno su bor i hrast. Kalibracija pomoću godova drveta nije jednoznačna zbog više faktora, najvažniji razlog je ograničena preciznost individualnog mjerenja godova drveta i uzorka. Rezultati kalibracije su prema tome u rasponima godina, a ne apsolutne vrijednosti. Rasponi godina dobiveni su računanjem pomoću metode sjecišta, za što je potrebna kalibracijska krivulja (kalendarske godine dobivene godovima drveta na x osi i konvencionalna ^{14}C starost na y osi). Konačni rezultat izražava se u kalendarskim godinama – kal BP (cal BP) ili prema godinama prije i poslije Krista - kal BC (cal BC) ili kal AD (cal AD). Kalendarske godine izražavaju se s 95% vjerojatnošću ($\pm 2\sigma$), te za dobiveni rezultat možemo reći da se oko 95% vrijednosti godine nalazi u intervalu od plus-minus dvije standardne devijacije, s 5% mogućnošću da prava starost leži izvan tog raspona.

Beta laboratorij koristi kalibracijsku proceduru *Pretoria* (Talma & Vogel, 1993), te su uzorci u ovom istraživanju kalibrirani pomoću kalibracijskih krivulja sjeverne hemisfere IntCal.09 (Heaton et al., 2009; Reimer et al., 2009; Stuiver & Braziunas, 1993), s kojima su dobiveni rasponi kalendarskih godina s $\pm 1\sigma$ i $\pm 2\sigma$ kalibriranim rezultatima. Gadam centar kalibrira mjerene ^{14}C datume pomoću programa OxCal, verzija 4.2.3 (Bronk Ramsey et al., 2010) u kojem su korištene IntCal.13 kalibracijske krivulje (Reimer et al., 2013).

Modeli dubine-starosti (*age-depth models*) konstruirani su za pomoću programa CLAM 2.2 (Blaauw, 2010), kako bi se podaci prezentirali u kronološkom slijedu i izračunale brzine sedimentacije.



Slika 25. Materijali korišteni za datiranje metodom radioaktivnog ugljika ¹⁴C AMS: a) ugljen, b) ljuštura, c) biljni materijal, d) drvo.

2.2.5. Granulometrijske analize

Određivanje i interpretacija veličine čestica jedna je od osnovnih metoda pri opisu jezerskih sedimenata. Granulometrijski sastav je primarni indikator stupnja energije vode u jezerskim sedimentima. Pomoću granulometrijske analize ukupne (karbonatne) i nekarbonatne frakcije moguće je razlikovati bioinducirani (autigeni) i detritični karbonat u jezerskim sedimentima s tvrdom vodom (Arnaud, 2005). Granulometrijske analize učinjene su na laserskom difraktometru, *Shimadzu Laser Diffraction Particle Size Analyzer SALD-2300* (program *WingSALD II-2300*) raspona mjerenja od 17 nm do 2500 μm. Laserski difraktometar temelji se na difrakciji svjetlosti na česticama u suspenziji. Kao izvor svjetlosti, uređaj koristi poluvodički crveni laser, valne duljine 680 nm. Kada se svjetlost sudari s uzorkom, dolazi do apsorpcije i difrakcije svjetlosti i stvara se mreža refleksa, koja je kontrolirana sastavom materijala i medijem (relativni indeks refrakcije ili loma za vodu je

1,33). Veličina čestica određuje kako će se raspršiti svjetlost. Ako je čestica velika, kut raspršenja je manji, a ako je čestica manja tada je kut raspršenja obrnuto proporcionalan njegovoj veličini (veći), ali intenzitet je proporcionalan njegovoj veličini. Difrakcijska slika je slabija i šira za manje čestice, intenzivnija i uska za velike čestice. Prema širini se određuje veličina čestica, dok magnituda označava koncentraciju. Uređaj određuje veličinu čestica mjerenjem raspršenja na 32 kuta. Dobivene difrakcijske slike se potom obrađuju računskim putem. Rezultati granulometrijske analize su statistički obrađeni pomoću programa GRADISTAT8 (Blott, 2010), koji se koristi unutar *MS Excel*. U program se unose podaci dobiveni mjerenjem na laserskom difraktometru, tj. postotak sedimenta (količina zrna, tj. njihov maseni udio) u svakoj frakciji. Program računa sljedeće statističke parametre: srednju veličinu zrna ili medijan (D_{50}), prosječnu veličinu zrna (*Mean* M_z), mod (M_0), sortiranje (S_o), asimetričnost raspodjele (*skewness* Sk), zaoštrenost krivulje ili kurtosis (K). Srednja veličina zrna ili medijan je centralni rezultat koji dijeli distribuciju rezultata na dva jednaka dijela. Mod je najčešća veličina čestica (najveće frekvencije ili učestalosti), on je jednostavno vrh krivulje učestalosti. Sortiranje pokazuje jednoličnost distribucije. Asimetričnost raspodjele pokazuje devijacije u raspodjeli čestica, pozitivne vrijednosti pokazuju da sitne frakcije ima u suvišku (*fine skewed*) odnosno da je krivulja iskošena prema sitnijim sedimentima, negativna da krupne frakcije ima u suvišku (*coarse skewed*), odnosno da je krivulja iskošena prema krupnijim sedimentima (Blott & Pye, 2001). Zaoštrenost krivulje se odnosi na raspršenost raspodjele, ako je krivulja zaoštrena (*leptokurtic*), materijal je raspoređen oko jedne veličine zrna, a ako je zaravnjena (*platykurtic*), prisutno je više frakcija. Parametri granulometrijske analize izračunati su aritmetički i geometrijski (u μm) te logaritamski (phi-skala, ϕ) metodom momenata (*method of moments*). Linearnom interpolacijom su također izračunati statistički parametri prema Folk i Ward metodi (1957), koja uključuje i fizički opis uzoraka. Program također daje fizički opis teksturnih grupa kojima uzorci pripadaju prema Folk-u (1954) te postotke zrna u pojedinim frakcijama modificirano prema Wentworthu (1922). Grafički su distribucije veličine zrna prikazane u ternarnim dijagramima, a kumulativne distribucije podataka u metričkim i fi jedinicama. U GRADISTATu se koristi sljedeća skala veličine zrna: vrlo krupni pijesak (2-1 mm), krupni pijesak (1000-500 μm), srednji pijesak (500-250 μm), sitni pijesak (250-125 μm), vrlo sitni pijesak (125-63 μm), vrlo krupni silt (63-31 μm), krupni silt (31-16 μm), srednji silt (16-8 μm), sitni silt (8-4 μm), vrlo sitni silt (4-2 μm) i glina (<2 μm) (Blott & Pye, 2001). Uzorci iz pojedinih jezgri (oko 100 po jezgri) izračunati su simultano (program dozvoljava istovremeno računanje do 250 uzoraka).

Priprema uzorka uključuje odvagivanje 0,1 g uzorka, kojem se doda 2 ml vodikovog peroksida (H_2O_2) za uklanjanje organske tvari (ostavljeno preko noći). Prije mjerenja se

uzorci dispergiraju dodavanjem 2 ml otopine natrijevog heksametafosfata i ostave oko pola sata na tresilici. Potom se uzorak prenosi u suspenziji (oko 20 ml, ovisno o uzorku) u ćeliju za mjerenje ispunjenu destiliranom vodom (*flow cell*), u kojoj se nalazi pumpa za miješanje uzoraka, kojoj se može podešavati brzina. Nakon što se snizi maksimalni intenzitet svjetlosti i ustabili između 35 i 75%, moguće je mjeriti uzorak. Trajanje analize jednog uzorka je oko 5 s. Ćelija za mjerenje uzoraka mora se ispirati destiliranom vodom između svakog mjerenja.

2.2.6. Geokemijske analize

Kemijske analize jezerskih sedimenata mogu biti dobri indikatori promjena u razvoju jezera. Kemijski sastav jezerskih sedimenata ovisi o donosu materijala iz sliva i biogeokemijskih procesa unutar samog jezera. Donos materijala ovisi o tektonici, geološko-litološkoj podlozi, eroziji i načinu trošenja, površinskim i podzemnim vodama i vegetaciji. Vanjske i unutarnje utjecaje na kemijski sastav sedimenta u velikoj mjeri kontroliraju klimatski faktori, temperatura i padaline, a u posljednjih nekoliko tisuća godina značajan utjecaj ima i čovjek svojim aktivnostima, krčenjem šuma i razvojem poljoprivrede. Promjene u slivnom području reflektiraju se u jezerskim sedimentima. Kemijski elementi prisutni u jezeru kao indikatori pojedinih procesa u jezerskim sedimentima su sljedeći (Last & Smol, 2001):

- glavni litogeni elementi (Si, Al, Ti, K, Na, Mg, Fe, Zr, La), koji su indikatori terigenog donosa materijala iz sliva;
- Ca, Mg, Sr su indikatori taloženja karbonatnih minerala;
- mobilni elementi (Mo, Mn, Fe, V i S), koji su indikatori redoks uvjeta;
- alkalijski elementi (Na, K) i Mo, koji su indikatori utjecaja morske vode u sedimentima;
- elementi u tragovima (As, Co, Cu, Cr, Ag, V, Hg, Cd, Pb, Zn, Ni, Sb, Sn) su metali i teški metali koji su indikatori antropogenog onečišćenja;
- nutritivni elementi (C, N, P), koji su indikatori produktivnosti i stanja trofije jezera.

2.2.6.1. Analiza glavnih elemenata i elemenata u tragovima

Analiza ukupne koncentracije glavnih elemenata i elemenata u tragovima ukazuje na promjene paleookolišnih uvjeta u slivu, na povijest taloženja i erozije, kao što je istaknuto u prethodnom poglavlju. Distribucija teških metala i njihove povećane vrijednosti mogu govoriti o onečišćenju sedimenata.

Kemijske analize uzorkovanih sedimenata obavljene su masenom spektrometrijom s induktivno spregnutom plazmom (ICP-MS) u ACME Analytical Laboratories Ltd., Vancouver, Kanada. ICP-MS temelji se na induktivno združenoj plazmi, u kojoj se atomi većine kemijskih

elemenata ioniziraju te izlaze iz plazme u maseni spektrometar, gdje se razdvajaju na temelju njihovih omjera mase i naboja. Uzorci su usitnjeni u ahatnom tarioniku (oko 1,5 g) u laboratoriju Hrvatskog geološkog instituta te su poslani na analizu u ACME laboratorij. Uzorci za analizu otopljeni su pomoću smjese koncentriranih kiselina HCl-HNO₃-HClO₄-HF, pri 200°C. Tom metodom može se simultano analizirati ukupno 46 elementa. Analizirani su sljedeći elementi: Ag, Al, As, Au, Ba, Bi, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, La, K, Na, Nb, Ni, Mg, Mn, Mo, P, Pb, Sc, Sb, Sn, Sr, Ti, Th, U, V, W, Y, Zn, Zr. Točnost i preciznost analize provjeravana je ponavljanjem mjerenja pojedinih uzoraka i mjerenjem referentnih standardnih uzoraka (OREAS 24P, OREAS 45E; *Ore Research & Exploration Pty Ltd Assay Standards*).

2.2.6.2. Analize dušika i ugljika

Analiza udjela organskog ugljika i ukupnog dušika, važna je u paleolimnološkim istraživanjima jer može ukazivati na promjene u jezeru, tj. produktivnosti jezera i porijekla organske tvari. Važno je pri tome znati koji su izvori tih nutrijenata i njihovo ponašanje u vodi i sedimentima. Povećani udjeli organskog ugljika i ukupnog dušika u sedimentima ukazuju na povećan donos nutrijenata u jezero i produktivnosti jezera, te su povezani s toplijim klimatskim uvjetima. Koncentracije dušika variraju ovisno o terestičkim ili jezerskim biljkama odnosno fitoplanktonu u jezeru, koji su dva glavna izvora dušika u jezerskim sedimentima. Terestičke biljke imaju nizak udio dušika, dok su koncentracije N u fitoplanktonu mnogo više. Te se varijacije mogu pratiti pomoću odnosa organskog ugljika i ukupnog dušika, C/N. Visok omjer C/N ukazuje na organsku tvar sadržanu u terestičkim biljkama koje mogu biti donesene u jezero erozijom, dok niski omjer C/N pokazuje da dominira organska tvar porijeklom iz fitoplanktona (Meyers & Teranes, 2001).

Analize dušika i ugljika napravljene su na CN analizatoru za tla i sedimente, *Thermo Fischer Scientific, Flash 2000 NC Analyzer* (program *Eager Xperience*.) CN analizator radi na principu spaljivanja uzoraka na visokim temperaturama, uz nastanak CO₂, H₂O i N₂. Odvaže se 30 mg usitnjenog uzorka i pakira u kositrenu zdjelicu, koja se potom savije u kapsulu, te se tako pripremljen uzorak stavlja u automatski nosač uzorka. Uzorak se zajedno s kapsulom spaljuje u prvom reaktoru u čistom kisiku (99,996%) na 900°C, pri čemu se sav ugljik u uzorku oksidira u CO₂ i oslobađa. Također dolazi do oksidacije dušika u uzorku i nastaju dušikovi oksidi (NO_x) i molekularni dušik (N₂). Plin nosilac je helij (He), koji vodi nastale produkte do drugog reaktora, gdje bakar (Cu) reducira nastale dušikove okside do molekularnog dušika, na 680°C. Nastali plinovi (CO₂ i N₂) i voda potom prolaze kroz tzv.

adsorpcijski filter, gdje se uklanja zaostala voda pomoću magnezijevog perklorata, prije nego plinovi odu na plinsko-kromatografsku (GC) kolonu pri sobnoj temperaturi. Prvi kroz kolonu prolazi dušik, a zatim ugljikov dioksid, te se pomoću detektora toplinske provodljivosti (*TCD-thermal conductivity detector*) dobiju udjeli dušika i ugljika. Preciznost i točnost analize kontrolirana je ponavljanjem mjerenja pojedinih uzoraka i mjerenjem referentnog materijala – tlo koje sadrži poznate udjele dušika i ugljika (*Soil NC Reference Material; %N=0,21 i %C=2,29*).

Za određivanje ukupnog organskog ugljika, TOC (*Total Organic Carbon*) korištena je direktna metoda određivanja, u kojoj se anorganski ugljik (TIC, *Total Inorganic Carbon*) otapa prije mjerenja na CN analizatoru. To je učinjeno tako da se uzorak tretirao s klorovodičnom kiselinom (1 g uzorka + 8 ml 4,2M HCl) (modificirano prema Tanner & Wai Ting Tung, 2001), čime su otopljeni karbonatni minerali (kalcit, aragonit, dolomit), te se nakon toga izmjerio postotak organskog ugljika u netopivom ostatku. Da bismo dobili organski ugljik u uzorku, korišten je korekcijski faktor, $k_f = \text{početna/konačna masa uzorka}$. Omjer C/N predstavlja omjer između organskog ugljika (TOC) i ukupnog dušika (N). U svim su uzorcima izmjereni ukupni dušik i ugljik, te anorganski i organski ugljik.

2.2.7. Mineraloške analize

Mineraloške analize uključivale su kvalitativne fazne analize praha ukupnih (bulk) uzoraka, netopivih ostataka i orijentiranih uzoraka minerala glina na rendgenskom difraktometru (XRD). Također je na dijelu uzoraka, gdje je to bilo moguće, napravljena kvantitativna mineraloška analiza, koja je neovisna o faznoj analizi (identifikacija faza mora biti učinjena prije).

Mineraloške analize (XRD analize) učinjene su na rendgenskom difraktometru, *PANalytical X'Pert Powder*, opremljenim keramičkom rendgenskom cijevi Cu anode ($\text{CuK}\alpha 1$ zračenje valne duljine $\lambda = 1,5405 \text{ \AA}$) za stvaranje rendgenskog zračenja, vertikalnim goniometrom θ - θ geometrije i PIXcel detektorom.

Rendgenska difrakcija na prahu temelji se na difrakciji rendgenskih zraka na mrežnim ravninama kristala (Moore & Reynolds, 1997). Rendgenske zrake su dio elektromagnetskog zračenja, s valnim duljinama između 0,01 i 10 nm, koje su slične veličini atoma, te se prema tome koriste pri istraživanju minerala. Stvaraju se u rendgenskoj cijevi naglim usporavanjem brzih elektrona nakon što se sudare s Cu anodom (Klug & Alexander, 1974).

Na vertikalnom goniometru θ - θ geometrije, kao što je slučaj na difraktometru HGI-a, uzorak miruje u horizontalnom položaju, a rendgenska cijev i detektor se zakreću istim brzinama, na pokretnim „rukama“ kruga goniometra, određenog radijusa (Cullity & Stock, 2001). Skeniranjem uzorka kroz raspon 2θ kutova, uz idealan praškasti uzorak, dosegnuti su svi mogući difrakcijski smjerovi kristalne rešetke. Idealan prah je nasumično orijentiran uzorak, kod kojeg je moguće snimiti sve moguće orijentacije kristala. Nosači uzoraka su fiksni, koristimo dva tipa nosača – rotirajući nosač za uzorke praha i fiksni nosač za orijentirane uzorke. Ovisno o potrebama, moguće je zamijeniti te nosače i rekonfigurirati sistem iz jedne aplikacije u drugu u vrlo kratkom vremenu. Koristi se Bragg-Brentano geometrija ili refleksija, u kojoj ulazno rendgensko zračenje iz linijskog fokusa rendgenske cijevi divergira u difrakcijskoj ravnini i prolazi kroz optičke module dok ne dođe do uzorka (ne stvaraju se paralelne zrake) i reflektira se, prolazi kroz sekundarne optičke module i dolazi do detektora. Tako uređena geometrija ulaznog i difraktiranog zračenja te uzorka nalazi se u tzv. fokusnom krugu. Rendgenska cijev i detektor nalaze se pak na tzv. mjernom krugu (krugu goniometra), a uzorak je u sredini. Zbog toga što je uzorak ravan, zračenje je parafokusno. U stvarnoj fokusnoj geometriji, uzorak bi trebao biti lagano zakrivljen kako bi se potpuno podudarao s fokusnim krugom. Velik broj optičkih dodataka i opreme za rukovanje uzorcima dizajnirani su prema *PreFIX* konceptu modularne zamjene funkcionalnih komponenti (modularni dizajn) i jednostavno ih je dodavati ili mijenjati. Difraktometar je opremljen drugom generacijom poluvodičkog detektora, PANanalyticalovim *PIXcelom*. *PIXcel* sadrži odlične karakteristike koje su važne za XRD mjerenja, a uključuju veliku učinkovitost, linearnost, osjetljivost, te sposobnost detektora da proizvede puls čija je visina proporcionalna energiji detektiranog fotona. Kao i ostali dijelovi difraktometra, montiran je na pokretnu 2θ ruku goniometra.

Rendgenogram ili difraktogram je grafički prikaz ovisnosti intenziteta difraktiranog zračenja o difrakcijskom kutu (Braggov kut). Difrakciju na određenoj mrežnoj ravnini instrument bilježi kao difrakcijski maksimum i bilježi na kojem je stupnju θ došlo do difrakcije prema kutu zakretanja detektora, $^{\circ}2\theta$, te koji je intenzitet difraktiranog rendgenskog zračenja. Stupanj 2θ ovisi o međumrežnom razmaku na kojem je došlo do difrakcije, te kompjuter automatski pretvara 2θ kutove u međumrežne udaljenosti d , čime je određen položaj difrakcijskih maksimuma (pikova). Intenzitet difraktiranog zračenja ovisi o položaju atoma u strukturi. Konverzijom 2θ kutova difrakcijskih maksimuma na d -udaljenosti omogućena je identifikacija minerala, jer svaki mineral ima jedinstvenu difrakcijsku sliku (princip „otiska prsta“). To je temelj identifikacije mineralnih faza pomoću XRD analize. Njihova identifikacije

moguća je usporedbom rendgenograma standardnih podataka koji se nalaze prikupljeni u međunarodnim bazama podataka.

Rendgenski difraktometar je kontroliran pomoću programa *X'Pert Quantify*, dok se difrakcijske slike očitavaju i identificiraju pomoću *X'Pert HighScore Plus*, koji koristi bazu podataka *PDF-4/Minerals (ICDD International Centre for Diffraction Data, Powder Diffraction File, www.icdd.com)* te ona sadrži 97 % od svih poznatih minerala (39 410 minerala i materijala).

Kvantitativna fazna analiza (QXRD) temelji se na činjenici da je intenzitet difraktiranog zračenja neke faze u smjesi ovisan o koncentraciji te faze u smjesi (Klug & Alexander, 1974; Cullity & Stock, 2001). Odnos između intenziteta i koncentracije generalno nije linearan, jer intenzitet difraktiranog zračenja ovisi o apsorpcijskom koeficijentu smjese koji varira ovisno o koncentraciji svih komponenti u smjesi. Za pojedine uzorke u studiji korištena je Rietveld metoda za kvantitativno određivanje minerala pomoću programa BGMN (Bergmann et al., 1998). Rietveldova metoda zahtijeva kompletne stukturane modele za računanje intenziteta i temelji se na utočnjavanju i usklađivanju (*refinement*) struktura minerala koji su predmet istraživanja. Udio minerala dobije se na temelju usklađivanja eksperimentalne difrakcijske slike sa difrakcijskom slikom dobivenom računanjem iz utočnjene strukture minerala. Za pripremu uzoraka za QXRD, uzorci su usitnjeni i homogenizirani u McCroneovom mikronizirajućem mlinu.

Uzorci su usitnjeni u ahatnom tarioniku i pakirani na aluminijske nosače sa stražnje strane (*back loading*). Snimani su pri sljedećim uvjetima: napon i struja za generiranje zračenja bili su $U=45$ kV i $I=40$ mA, veličina koraka iznosila je $0,02^\circ 2\theta$, a vrijeme mjerenja po koraku 4 s. Korišteni su $0,04$ rad Sollerovi slitovi, pukotina za regulaciju divergencije primarnog snopa $\frac{1}{4}^\circ$ i $\frac{1}{2}^\circ$ primarna i sekundarna pukotina za sprječavanje raspršenja, brzina rotacije uzorka 1 okr/s. Snimalo se u području od $4-66^\circ 2\theta$. Na taj su način snimani ukupni uzorci i uzorci netopivih ostataka.

2.2.7.1. Analiza minerala glina

Za određivanje minerala glina pomoću XRD-a, potrebno je na odgovarajući način pripremiti uzorke. Minerali glina imaju specifičnu strukturu, izgrađenu od međusobno spojenih tetraedarskih ili oktaedarskih listova u TO i TOT slojeve, povezanih s međuslojnim kationima, hidroksidima ili vodom. Ta im struktura daje pločastu morfologiju i kalavost te prema tome jasno izražene bazalne mrežne ravnine, čiji su Millerovi indeksi 001, a najjači refleksi s njih se nalaze na niskim 2θ kutevima rendgenske difrakcije. To je osjetljivo

područje zbog instrumentalnih ograničenja snimanja na tako niskim kutevima, a ostali (hkl) refleksi su im često preklapljeni ili međusobno ili s drugim mineralnim fazama (kvarc i feldspati). Da bi se točno utvrdilo kojem mineralu glina pripadaju određeni difrakcijski maksimumi, potrebno je napraviti orijentirane uzorke, čime se naglašavaju bazalni maksimumi minerala glina, a potrebno je napraviti dodatne testove prema kojima se pojedini minerali razlikuju. U svakom drugom slučaju, preferirana orijentacija je nepoželjna pojava i teži se nasumičnoj orijentaciji uzoraka, pogotovo u kvantitativnoj rendgenskoj analizi. Za izradu orijentiranih uzoraka, potrebno je eliminirati mineralne faze koje smetaju pri identifikaciji minerala glina, kao što su karbonati, zatim izdvojiti frakciju u kojoj se minerali glina dominantno pojavljuju, a to je glinena frakcija ($<2 \mu\text{m}$). Postupci prema kojima se različiti minerali glina mogu identificirati, a to su saturacija različitim kationima (K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Li^+), interkalacija s polialkoholima (etilen glikol EG i glicerol), polarnim molekulama (voda, dimetil sulfoksid DMSO, hidrazin, formamid), organskim kationima (guanidin) te žarenje, temelje se na varijabilnim $d(00l)$ međumrežnim razmacima, koji su rezultat različitih svojstava odnosno struktura (Brindley & Brown, 1980; Moore & Reynolds, 1997). Uslijed tih postupaka mijenja se položaj, intenzitet i oblik difrakcijskih maksimuma minerala glina. U nasumično orijentiranim uzorcima, minerali glina imaju karakteristični maksimum s mrežne ravnine (060), koja može imati međumrežni razmak između 1,49-1,55 Å. Refleksi (060) omogućuju razlikovanje dioktaedarskih od trioktaedarskih minerala glina, jer duljina parametra b ovisi o veličini kationa koji se nalaze u oktaedarskom listu. Dioktaedarski minerali glina imaju niže vrijednosti $d(060)$, zbog trovalentnih kationa u strukturama (npr. Al^{3+}). Trioktaedarski minerali glina imaju veće vrijednosti refleksa 060 zbog većih dvovalentnih kationa u strukturama (npr. Mg^{2+}).

Za uklanjanje karbonata odnosno kalcita, koristila se puferirana otopina octene kiseline i natrijevog acetata (NaOAc) prema metodi Jackson (1956), koja je dugotrajna ali najmanje destruktivna za minerale glina. U 250 ml laboratorijske čaše dodalo se 10 g uzorka i 100 ml 1N puferirane otopine NaOAc (Buhrke et al., 1998). Povišen pH u jako kalcitičnim uzorcima snižava se na $\text{pH}=5$ pomoću klorovodične kiseline. Kod uzoraka s visokim udjelom kalcita, dodano je još 50 ml puferirane otopine NaOAc. Nakon što se otopio sav kalcit, uzorci su preneseni u 50 ml kivete za centrifugu i ispirani destiliranom vodom pomoću centrifuge (*mrc*) barem 5 puta. Na manjem broju uzorka se nakon otapanja karbonata uklonila organska tvar upotrebom 10% vodikovog peroksida (5 ml 10% H_2O_2). Uzorci su dispergirani pomoću ultrazvučne kupke (*EMAG*) uz dodavanje 3-5 mg natrijevog pirofosfata ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \times 10\text{H}_2\text{O}$). Nakon toga se izdvajala glinovita frakcija pomoću centrifuge. Prema parametrima centrifuge, vrijeme i brzina centrifugiranja određena je na 3 minute i 14 sekundi na 1000 okr/s za

glinovitu frakciju (pomoću programa *Centrifuge*; Krumm, 1994). Glinovita frakcija ostaje u suspenziji koja se dekantira. Suspenzija se potom nanosi na staklene pločice, veličine 2,5 x 2,5 mm, pomoću kapaljke. Na taj se način pripremaju orijentirani preparati minerala glina.

Identifikacija minerala glina utvrdila se snimanjem orijentiranih preparata na rendgenskom difraktometru, nakon provedenih tretmana: 1) prirodni, osušeni na zraku (*air dried, AD*); 2) tretirani s etilen glikolom (EG); 3) žareni na 400°C; 4) žareni na 550°C; 5) tretirani s DMSO (dimetil sulfoksid); 6) saturirani s K i sušeni na zraku (K-AD); 7) saturirani s K i žareni na 350°C (K-350°C); saturirani s Mg i tretirani s glicerolom (Mg-G). Orijetirani uzorci snimani su u području od 4 do 20 ili 30°2θ .

Kriteriji za određivanje minerala glina na temelju ovih snimanja prikazani su u tablici 4. Navedene promjene posljedica su strukturnih svojstava minerala glina. Tako su minerali glina tipa 1:1 sastavljeni od slojeva kojeg čine 1 tetraedarski i oktaedarski list, ti slojevi nemaju naboj (ili je jako nizak) i ne sadrže međuslojne katione ili vodu nego su povezani vodikovim vezama, a bazalni međumrežni razmak je $d(001)=7,16 \text{ \AA}$. Tom tipu pripada mineral kaolinit. Karakterističan je i pik $d(002)=3,58 \text{ \AA}$. Kaolinit se identificira žarenjem na 550°C, nakon čega mu maksimumi nestaju tj. postaje amorfan za XRD analizu, iako se djelomično sačuva struktura. Dehidroksilacija kaolinita rezultat je interakcije dvije susjedne hidroksilne skupine pri čemu nastaje voda, a kisik ostaje vezan u strukturi ($2\text{OH}^- \rightarrow \text{O}^{2-} + \text{H}_2\text{O}$). Kaolinit normalno dehidroksilira između 400 i 600°C. Kaolinit može pokazivati visok stupanj nepravilnosti u slaganju slojeva u strukturi (nereda), koji je rezultat nasumičnog premještanja Al vakancije u oktaedarskom listu (kaolinit je dioktaedarski mineral, s 2 zauzeta mjesta trioktaedarskim kationom, Al^{3+} , a treće slobodno mjesto može biti na različitim položajima). Bazalni refleksi kaolinita (001 i 002) postaju manje oštri i manjeg intenziteta s povećanjem nepravilnosti ili nereda. U nasumično orijentiranim uzorcima, slabo kristalizirani kaolinit pokazuje grupu spojenih refleksa odnosno spojenih pikova u području između 20-25°2θ i 35-40 °2θ. U orijentiranim uzorcima, dimetil sulfoksid (DMSO) se koristi za određivanje uređenog, dobro kristaliziranog kaolinita u odnosu na neuređeni, slabo kristalizirani. DMSO raskida vodikove veze između slojeva dobro kristaliziranog kaolinita i ulazi u strukturu te uzrokuje širenje kaolinita - promjenu difrakcijskog maksimuma sa 7 Å (točnije 7,15 Å) na 11,2 Å. Kod slabo kristaliziranog kaolinita pik ostaje na 7 Å (točnije 7,20 Å).

Tablica 4. Identifikacija minerala glina pomoću XRD analize, na temelju promjena d_{001} nakon dijagnostičkih postupaka na orijentiranim uzorcima (sušen na zraku AD, interkalacije s etilen glikolom EG, glicerolom G i dimetil sulfoksidom DMSO, K-saturirani, Mg-saturirani, žareni na 400, 550 i 350 °C); te d_{060} očitano na nasumično orijentiranim preparatima. MLM miješanoslojni minerali I-S (illit-smektit).

	d_{001} (Å) (XRD orijentiranih preparata)								d_{060} (Å) (nasumični)
	AD	EG	400°C	550°C	DMS O	K-AD	K- 350°C	Mg-G	
Kaolinit, neuređen	7	7	7	-	7		7	7	1,49
Kaolinit, uređen	7	7	7	-	11,2		7	7	1,49
Illit	10	10	10	10		10	10	10	1,50
Klorit	14	14	14	14		14	14	14	1,54-1,55
Vermikulit	14	14	13-10	12-10		10-11		14,5	di 1,50 tri 1,52-1,54
HIV	14	14	13-10	12-10		14	10		
Smektit	14	17	10	10		12-13		18	di: 1,49- 1,52; tri: 1,52- 1,55
MLM neuređeni I-S	10-15	10- 17	10	10					varijabilan

2.2.8. Palinološke analize

Palinologija je znanost o peludu, sporama i ostalim mikroskopskim palinomorfama. Palinomorfe su mikrofosili s organskom stijenkom veličine 5-500 µm, npr. ciste dinoflagelata, fikome prazinoficea, spore, pelud, ostaci foraminifera i člankonožaca. Peludno zrno je struktura koja sadrži muške spolne stanice (gamete) i presudno je za razmnožavanje biljnih vrsta (vjetrom ili kukcima prenosi se na ženski dio cvijeta). Pelud je obavijen vrlo čvrstom stijenkom (sporopoleninom). Peludna zrna su mikroskopske veličine, obično oko 15 do 100 µm već i mala količina peludnog praha sadrži tisuće i tisuće zrna. Pelud različitih jedinki je jedinstven po obliku, veličini i površinskim oznakama, a pod određenim uvjetima može preživjeti tisućama godina. Na taj način palinolozi mogu identificirati različite vrste i rekonstruirati vegetaciju nekog područja u prošlosti.

Palinološka analiza podrazumijeva mikroskopsku analizu ukupne palinološke organske komponente različitim optičkim metodama (prolazna svjetlost, interferencijski kontrast, fluorescencija), a uključuje palinostratigrafsku, palinofacijesnu i analizu palinološkog organskog facijesa. Najjednostavnija analiza peluda je palinostratigrafska analiza, dok je nešto kompleksnija palinofacijesna analiza, koja osim peluda, uključuje analizu ukupnog organskog mikrofacijesa u sedimentu koji sadrži ostatke vodenog i kopnenog bilja kao i ostatke životinja te na temelju kvalitativno/kvantitativnih odnosa i omjera palinološke organske komponente definira i interpretira sredine taloženja. Važan aspekt palinofacijesne analize je definiranje klimatskih uvjeta koji su vladali tijekom taloženja naslaga, te je ta analiza korištena u ovom istraživanju. Iz palinološke analize je moguće dobiti informacije o paleookolišnim i paleoklimatskim uvjetima.

U jezerskim sedimentima, istraživanje peluda temelji se na činjenici da je bio unesen u jezero vodom ili vjetrom i istaložio se u sedimentima. Jezerski sediment je odličan medij za očuvanje peluda jer osim što je kemijski pogodan, sediment se taloži tijekom vremena što omogućuje rekonstruiranje kronoloških promjena vegetacijskog pokrova u istraživanom prostoru. No, moraju se uzeti u obzir bioturbacije u sedimentu, koje mogu poremetiti istaloženi pelud. U sedimentu je također moguće pretaložavanje starijih sedimenata.

Nakon što se izvadi iz jezera, bitno je jezerski sediment držati dobro zatvoren, na niskim temperaturama (<4 °C), kako bi se spriječila biogena degradacija. Jezgre sedimenata su uzorkovane u centimetarskom intervalu, no zbog male količine adekvatnog materijala u 1 centimetru polovice jezgre za arhivu, uzorci za analize peluda su uzimani spajanjem 2 cm. Za pripremu palinoloških analiza korištena je standardizirana tehnika za izdvajanje organske

tvori (Moore et al., 1991). Uzorak se mora tretirati s natrijevim pirofosfatom ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) za dispergiranje glinenih čestica, klorovodičnom (10% HCl) i fluorovodičnom (40% HF) kiselinom za uklanjanje karbonatnih i siliciklastičnih (kvarca i minerala glina) minerala, te se potom separira organski ostatak sa cinkovim kloridom gustoće $>2 \text{ g/cm}^3$. Ostatak se prosijava preko najlonske mreže promjera $10 \mu\text{m}$, miješa s glicerolom i želatinom i slaže na mikroskopske preparate. Uzorci su pregledavani i brojeni koristeći Olympus BH-2 svjetlosni mikroskop pod različitim povećanjima ($\times 400$, $\times 600$ i $\times 1000$) i kameru Moticam 2300. Identifikacija peluda provodi se na minimalno 300 nabrojanih jedinki. Na temelju distribucije palinološke analize, pokušala se odrediti taložna sredina. Za interpretaciju i diskusiju jezgre VR-1A, korištena je palinološka analiza koju su učinili Schmidt et al. (2000).

2.2.9. Analiza ostrakodne faune

Mikropaleontoloških istraživanja provedena su na četrdeset uzoraka uzorkovanih iz jezgre oznaka CS 51, CS 52 i CS 53 koje su bušene na tri lokacije u Vranskom jezeru na Cresu. Uzorci su uzeti na različitim dubinama i iz različitih tipova sedimenta. Oznake uzoraka definiraju dubinu uzimanja uzoraka. U svim uzorcima u mikrofosilnoj zajednici dominira ostrakodna fauna. Kao popratna fauna nalaze se molusci, talusi i ogoniji *Chara*, biljno sjeme, dijelovi bilja, fitoplankton i tekamebe.

Ostrakodi su fosili malih dimenzija, obično manji od $1,5 \text{ mm}$ pa se nalaze u velikom broju u maloj količini uzorka. Žive u svim vodenim sredinama, a limnički ostrakodi su u kopnenim vodama ponekad jedini fosilni nalaz. Ljušturice ostrakoda građene su uglavnom od Ca i Mg karbonata, ali i drugih kemijskih elemenata kao što su Sr, K, Na, Mn, Fe, i Ba. Nakon uginuća ostaju u sedimentu, otporne su na stresne promjene vezane za dijagenezu, odnosno dobro se fosiliziraju. Osim primjene ostrakoda u biostratigrafskoj zonaciji, ovi organizmi su i odlični indikatori paleokoliša jer se kemijskom analizom ljušturice morskog ili limničkog ostrakoda dobije točan podatak o okolišu u kojem su jedinke boravile.

2.2.10. Analiza dijatomejskih zajednica

Analizirana je dijatomejska zajednica u ukupno 20 uzoraka siltnog sedimenta. Uzorci su pripremljeni za mikroskopiranje u Hrvatskom geološkom institutu (čišćenje, izrada trajnih preparata). U laboratoriju je uzeto 1 cm^3 uzorka iz jezgre bušotine, koji se prvo tretira s H_2O_2 (vodikovim peroksidom), kako bi se uklonila organska komponenta u sedimentu. Ovisno o potrebi, otopanja karbonatne komponente u sediment uzorci su bili tretirani s HCl (kloridnom kiselinom). Nakon tretmana oksidacije, uzorci su višekratno ispirani destiliranom vodom do

uklanjanja tragova kemikalija. Trajni preparati izrađeni su s kanada balzomom u svrhu preglednih preparata cjelokupne dijatomejske zajednice.

Trajni preparati su analizirani uz pomoć svjetlosnog mikroskopa Olympus i Zeiss (20x, 40x, 60x imerzija, 100x imerzija) i standardnih priručnika za determinaciju (Zabelina et al. 1951; Hindák et al., 1978; Hustedt 1985; Levkov et al., 2007; Cleve-Euler 1953a, b; Hajós 1968, 1986; Jurilj 1957), te uz pomoć taksonomskih baza na internetskim stranicama, koji sadrže recentne taksonomske podatke

(craticula.ncl.ac.uk/; westerndiatoms.colorado.edu/taxa/genus/; www-cyanosite.bio.purdue.edu/).

S ciljem sigurnije i potpunije taksonomske analize, izrađena je fotodokumentacija. Kvantitativna analiza uključila je brojanje najmanje 200 stanica, a abundancija je iskazana u obliku postotnog udjela stanica utvrđenih taksona: 5 - 9 % rijetko, 10 - 15 % učestalije, 16 - 35 % često, 36 - 50 % vrlo često, >50 % dominantna vrsta (Schrader & Gersonde 1978, Galović 2009). Dodatno se radi analize cjelokupne zajednice jezera koristio i parametar frekvencije pojavljivanja taksona u svim uzorcima profila. Interpretacija ekoloških karakteristika pronađenih taksona učinjena je po de Wolf 1982. Varijacije paleorazina Vranskog jezera (Cres) napravljene su prema Stevenson i Stoermer (1981) i Doriedson et al. (2014).

3. Rezultati

3.1. Opis jezgara i analiza razmazanih preparata

Jezgra VR-1A je dosta nehomogena i odlikuje se naglim ili čestim promjenama na dijelovima jezgre (slika 26). Gornji dio jezgre je smeđe boje (5Y4/2 po Munsellu), a od 24 do 55 cm sediment je taman, gotovo crn u sredini jezgre (5Y4/1), ali zbog brze oksidacije, na rubovima je boja svjetlija (2,5Y6/2 i 5Y5/2). Od 67 do 80 cm i od 95 do 100 cm su izrazito tamni sedimenti na površini polovice jezgre (GLEY 2,5/N, GLEY2,5/5GY). U tom sedimentu pronađeni su ostaci biljaka, listovi, sjemenke i čestice ugljena. Nakon toga slijede smeđi sedimenti 5Y3/2, do oko 175 cm, kada se pojavljuju crvenkasti sedimenti, tj. polovica je crvena (10YR3/3, 2,5Y3/3), a drugi dio sivi (5Y3/2), do 185 cm. Nakon toga slijede tamniji, homogeni sedimenti (5Y3/1, 2,5Y3/1). U ponekim uzorcima pronađen je ugljen. Od 256 cm dolazi do promjene, ponovno se pojavljuju tamni, crni sedimenti (GLEY2,5/N), javljaju se u debljim, tamnijim laminama, od 256-257 cm i 258-259 cm, a kao tanke lamine na 259,5 cm i 260,5 cm, te u intervalu od 265-270 cm. Nakon toga sediment je tamnije smeđi (2,5Y2,5/1), homogen. U uzorku 296-297 cm pronađena je mala školjka, na 302 i 307 cm ostrakodi i korjenčići, a na 329-330 cm puževi. U intervalu od 331 do 345 cm mijenja se izgled jezgre, pojavljuju se nepravilne lećaste pojave svjetlijeg pjeskovitijeg sedimenta. Unutar tog dijela, na 332, 337, 339 cm ima jako puno ljuštura. Boja je određena na tamnijem i svjetlijem sedimentu (5Y3/2 i 5Y5/2), te su i uzorkovani odvojeno na uzorku 343-344 cm. Od 345 cm sediment je tamniji (2,5Y3/1), homogen, glinovit, pronađeni su puževi, sjemenke i korjenčići (posebno na 358 cm). Na 347 cm javlja se puno sitnih ljuštura, a na 348. cm sediment djeluje kao treset, s puno korjenčića. Na 382. cm dolazi do sljedeće promjene, prijelaz u svjetliji sivi sediment (GLEY5/10Y, GLEY6/5GY, GLEY7/10Y), te je do kraja jezgre do 440 cm sediment uglavnom homogen, s malo biljaka, a uočen je klast na 389 cm (0,5-1 cm). Uočeno je da su krajevi jezgara crvenkasti, što upućuje na to da su vjerojatno oksidirali.

Jezgre sedimenata CS-51 (slika 27), CS-52 (Slika 28) i CS 53 (slika 29) svjetliji su boja, uglavnom 2,5Y6/2 i 5Y5/2 ili 5Y4/2. Najveće varijacije zapažaju se u pripovršinskim dijelovima jezgre do dubine od 30 cm, gdje je prisutnost čestica tla (gline) povišena. Unutar jezgara javljaju se povremeno tami organogeni slojevi, ljuštura puževa vrlo su rijetke. Detaljni opisi jezgara nalaze se u prilogima 1.1, 1.2 i 1.3, te je opisan svaki cm jezgre.

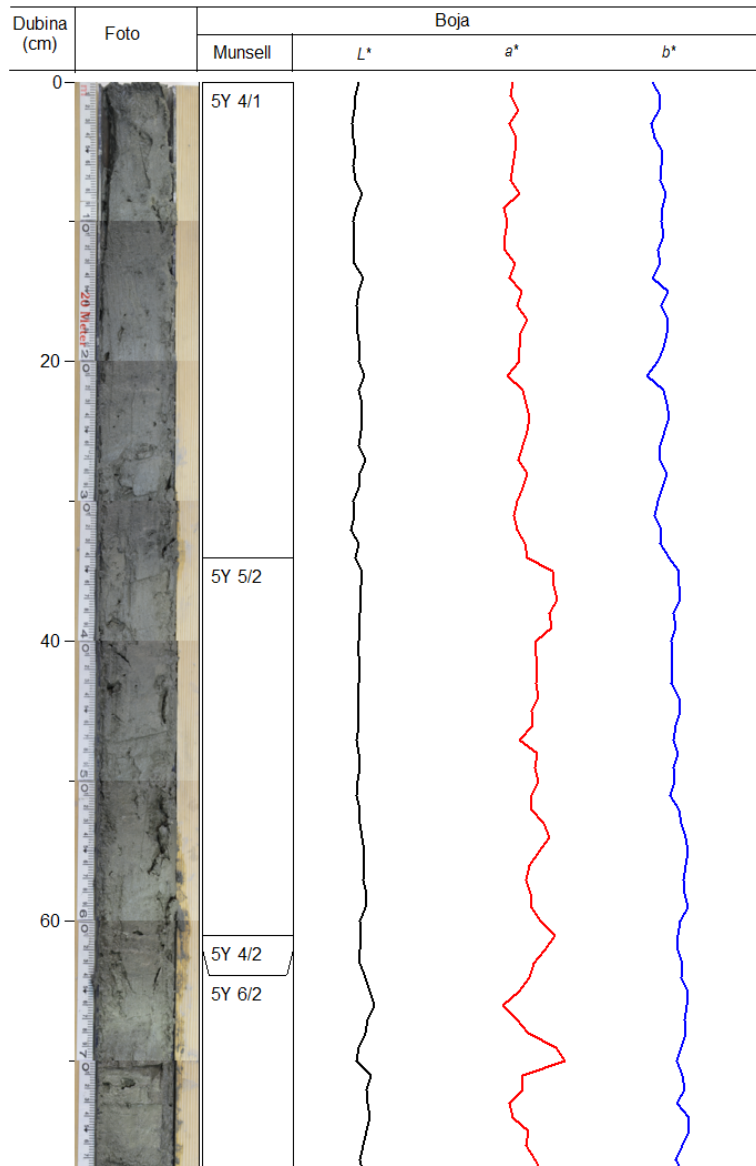
Jezgre morskog sedimenta iz potopljenih ponikva Lošinjskog zaljeva imaju sličan raspon boje od 5Y2,5/1 do 5Y5/2 ili 5Y4/2, no u dubljim dijelovima jezgara javljaju se žute boje 10Y3/3 i 10YR2/2 ili 10YR2/1. Ti se dijelovi odnose na starije terigene dijelove jezgara,

bilo tla (LK-2) ili močvarnih sedimenata u LK-3. Jezgra LK-2 (slika 30) sadrži oko 70 cm morskog sedimenta sa školjkama i puževima, dok je u jezgri LK-3 (slika 31) zabilježeno više od 2,5 m morskog sedimenta nataloženo na močvarne sedimente. Detaljni opisi jezgara nalaze se u prilogima 1.4 i 1.5, te je opisan svaki cm jezgre.

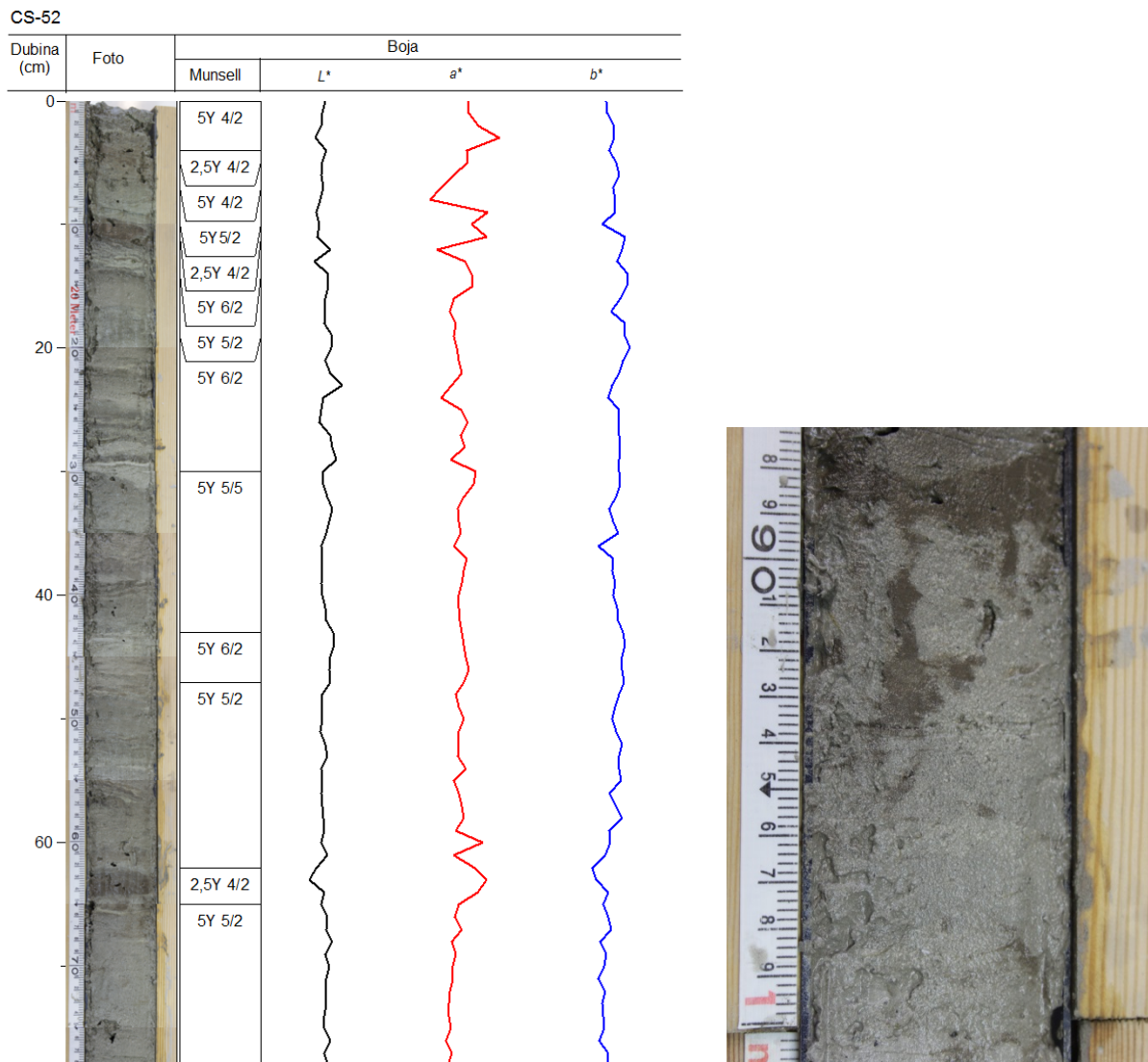


Slika 26. Fotodokumentirani dijelovi jezgre VR-1A: 67-103 cm – tamniji intervali; 246-275 cm – tamnije lamine; 326-355 cm – isprekidašani svjetliji i tamniji sediment, s ljušturama i korijenima od 340-345 cm; 370-390 cm – prijelaz iz glinovitog siliciklastičnog u karbonatni sediment.

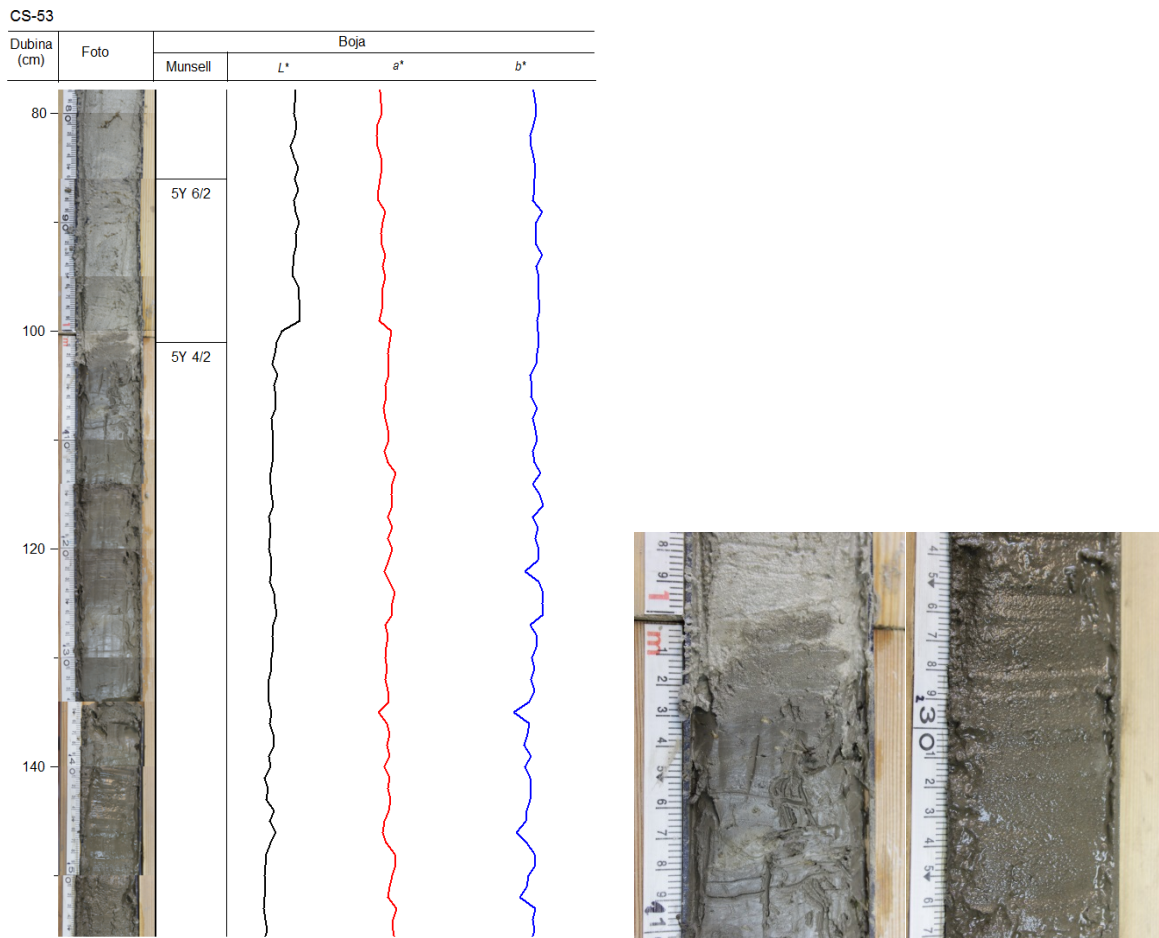
CS-51



Slika 27. Fotodokumentirani dijelovi jezgre CS-51 (dio od 0-75 cm): 216-228 cm – tamniji interval sa povećanim udjelom organske tvari.

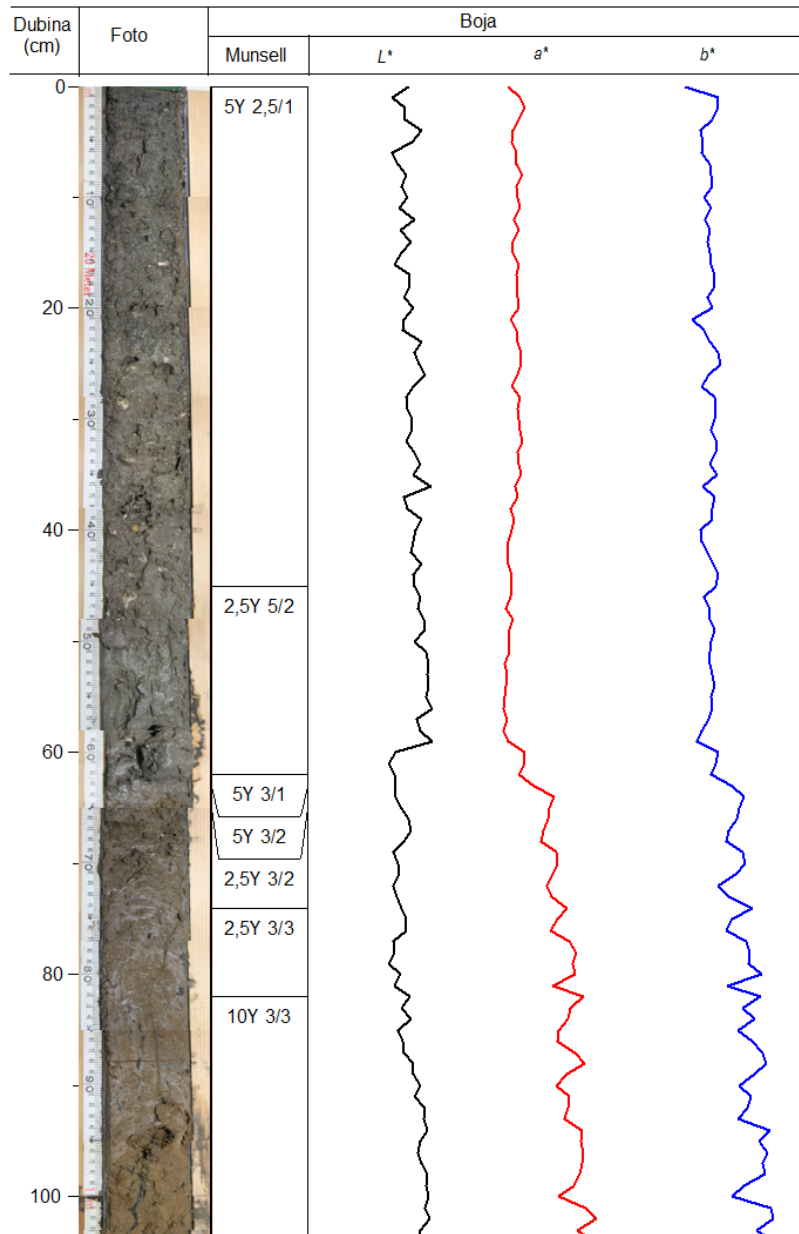


Slika 28. Fotodokumentirani dijelovi jezgre CS-52 (dio od 0-75 cm): 88-89 cm – sloj s povećanim udjelom terigenog sedimenta, migracija mineralne tvari u dublje slojeve kroz desikacijske pukotine?

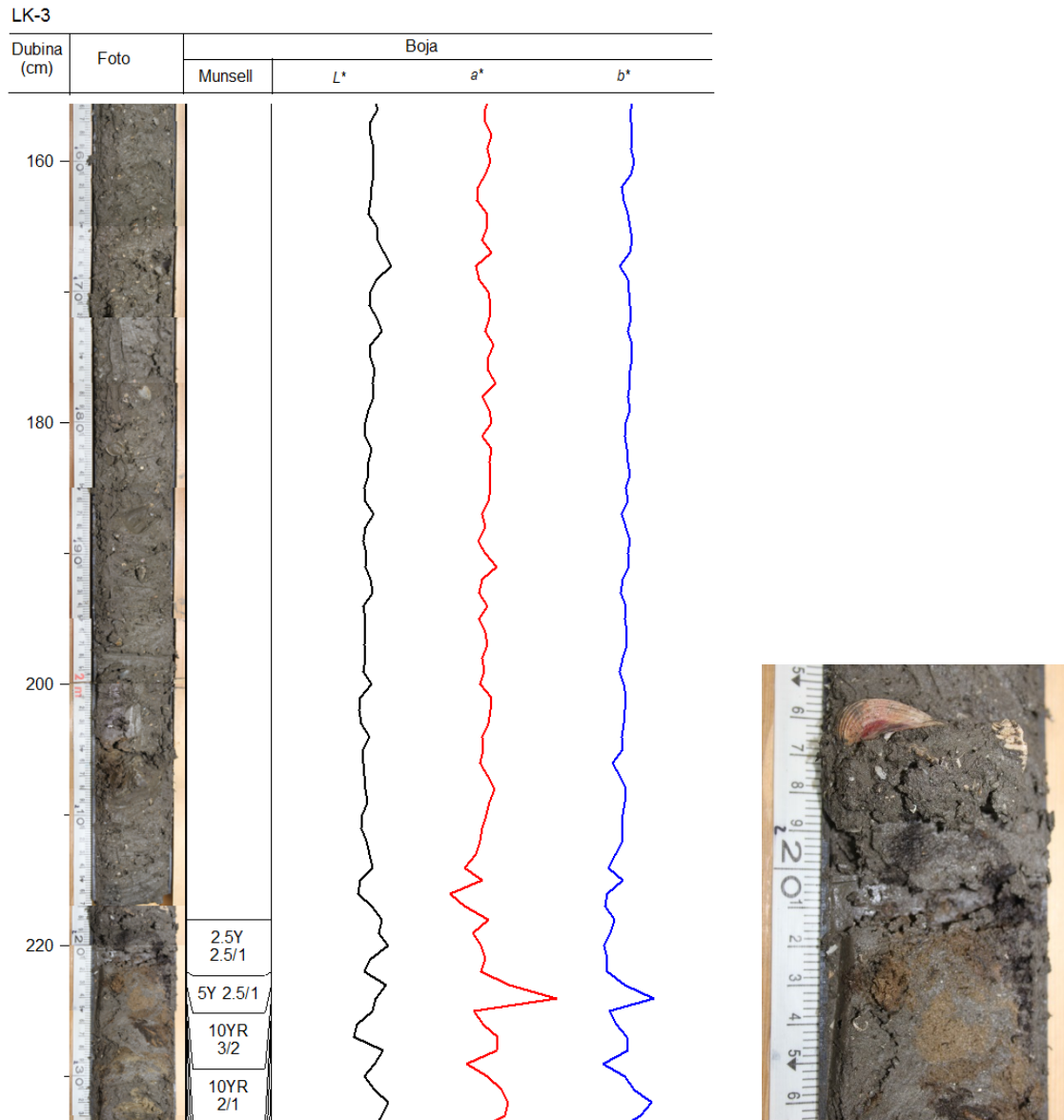


Slika 29. Fotodokumentirani dijelovi jezgre CS-53 (dio od 80-150 cm):101 cm – prijelaz iz siliciklastičnog sedimenta u karbonatnu sedimentaciju (svijetlo), 230 glinoviti sediment, siliciklastičan, terigeni.

LK-2



Slika 30 Fotodokumentirani dijelovi jezgre LK-2 (dio) : 64 cm – prijelaz iz kopnenih uvjeta i početak marinske sedimentacije.



Slika 31. Fotodokumentirani dijelovi jezgre LK-2 (dio od 160-230 cm): 222 cm – prijelaz iz močvarnog okoliša i početak marinske sedimentacije.

3.2. Rezultati spektralne analize boje

Kvantitativno određivanje boje u jezgrama VR-1A, CS-51, CS-52, CS-53 na Vranskom jezeru te LK-2 i LK-3 u Lošinjskom kanalu dobivena je spektralnom analizom boje u obliku CIE $L^*a^*b^*$, pri čemu je analiziran svaki cm jezgre, te pokazuje varijabilnost s dubinom (slike 32 do 37) ovisno o količini organske tvari, karbonata i gline iz tla.

Vrijednost L^* posebno varira u prvih 100 cm u jezgri VR-1A. Od 0 do 20 cm vrijednosti su niže, oko 41, osim na 9. cm (30,77) i od 11 do 12 cm (32 i 35,7). Od 21 do 60 cm sedimenti su svjetliji (50,01-54,03), s većim vrijednostima na 25 cm (60,70), 26 cm (60,68) i 49 cm (60,61). Od 61 do 77 cm se L^* snižava do 24,01, a nakon toga do 116 cm je interval izmjene tamnijih i svjetlijih sedimenata (22,09-39,49). Od 117 do 189 cm L^* je relativno konstantan s vrijednostima od 28,33 do 36,91, te od 190 do 269 cm s vrijednostima od 25,17 do 29,89, s nižim vrijednostima na 256 cm (21,06), 258 cm (21,94), 265 (20,52), 268 i 269 cm (19,60). Od 270 do 332 L^* iznosi između 24,16-32,42. Od 332 do 345 cm je interval nepravilno ispremiješanog sedimenta sa svjetlijim pjeskovitim proslojcima (23,51-44,87). Na 382. cm je promjena sedimenta u svjetliju boju (48,23-57,99) i tako je do 440. cm, dok je na dnu jezgre od 726 do 740 cm L^* je 39,5-42,88. Vrijednost a^* je viša u gornjem dijelu jezgre do 189 cm, s najvišim vrijednostima između 127 i 151 cm (najviše 6,17) te 164 i 184 cm (najviše 6,23). Niže su vrijednosti od 190 do 319 cm (0,27-1,44), s iznimkom na dubini 312 i 313 cm (2,88 i 3,36). Od 320 do 379 cm L^* je viši (1,37-2,44), s iznimkom na dubinama 338 i 340 cm (0,69 i 0,41). Od 380 cm do 424 cm vrijednosti b^* prelaze u negativne u rasponu od -1,82 do 0,53, a zadnjih 25 cm (425-440 cm) i 726-740 cm su visoke što je vjerojatno posljedica mjerenja nakon određenog vremena i oksidacije uzoraka, jer je kraj odrezan prije nego ostatak jezgre, a izmjeren kasnije. Vrijednost b^* iznosi oko 14 do 63 cm, s izrazito višim vrijednostima na 8 cm (29,50), između 19 i 22 cm (20,20-20,50) te 28 cm (20,21). Nakon nešto više vrijednosti na 64-66 cm (16,01-16,72), dolazi do smanjenja i veće varijacije od 73 do 108 cm (6,31-13,69). Najniže su vrijednosti između 109 i 116 cm (6,24-8,59), nakon čega su opet više vrijednosti od 117 do 185 cm (10,48-18,10). Od 186 do 381 cm su vrijednosti dosta niske (5,02-9,89), s iznimkom u intervalu 296 do 302 cm (8,88-10,25), 328 do 344 cm (8,15-12,99). Od 382 do 440 cm vrijednosti su više, s maksimumima na 382-383 cm (11,07-11,57), 388 cm (11,08), 391 cm (11,99).

U priobalnim jezgrama CS-51, CS-52 i CS-53 iz jezera za razliku od duboke jezgre VR-1A, koja zahvaća i pleistocenske naslage, varijacija boje je puno jednostavnija. Karbonatni sediment su uglavnom bez primjesa (organskog materijala ili detritičnog tla) i imaju vrijednosti L^* veće od 50, dok zaglinjeni dijelovi jezgara tj. dublji dijelovi jezgara CS-52

i CS-53 imaju vrijednosti uglavnom L^* ispod 40. Parametar L^* može poslužiti kao indikator udjela organskog ugljika (niže vrijednosti – tamnija boja i povećana koncentracija organskog ugljika u slučaju jezgara CS-51, 52 i 53) i te vrijednosti su niže od 40, dok kao indikator karbonata ima vrijednosti više od 50 – svjetlija boja i više karbonata (Balsam et al., 1999). Varijacije boje kroz jezgru mogu se koristiti za stratigrafiju i korelaciju promjena u okolišu jezera, za određivanje erozije te kao jednog indikatora dubine jezera. Parametri a^* (crveno) i parametar b^* izrazito su povišeni u prvih 30 cm jezgre CS-53 koja je najbliža obali i koja je u zoni fluktuacije razine jezera tijekom 20 stoljeća (+9,4 m), te pokazuje donos materijala erozijom tla, ali i organsku tvar koja nastaje odumiranjem priobalnih biljaka. U prvom metru jezgre CS-51, sedimenti pokazuju znatno niže vrijednosti L^* parametra u odnosu na dublje dijelove jezgre gdje dominira karbonatna sedimentacija, te se interpretacija promjene boje tumači kao posljedica eutrofikacije priobalja, budući da je podudarna s povećanjem ukupnog organskog ugljika i dušika.

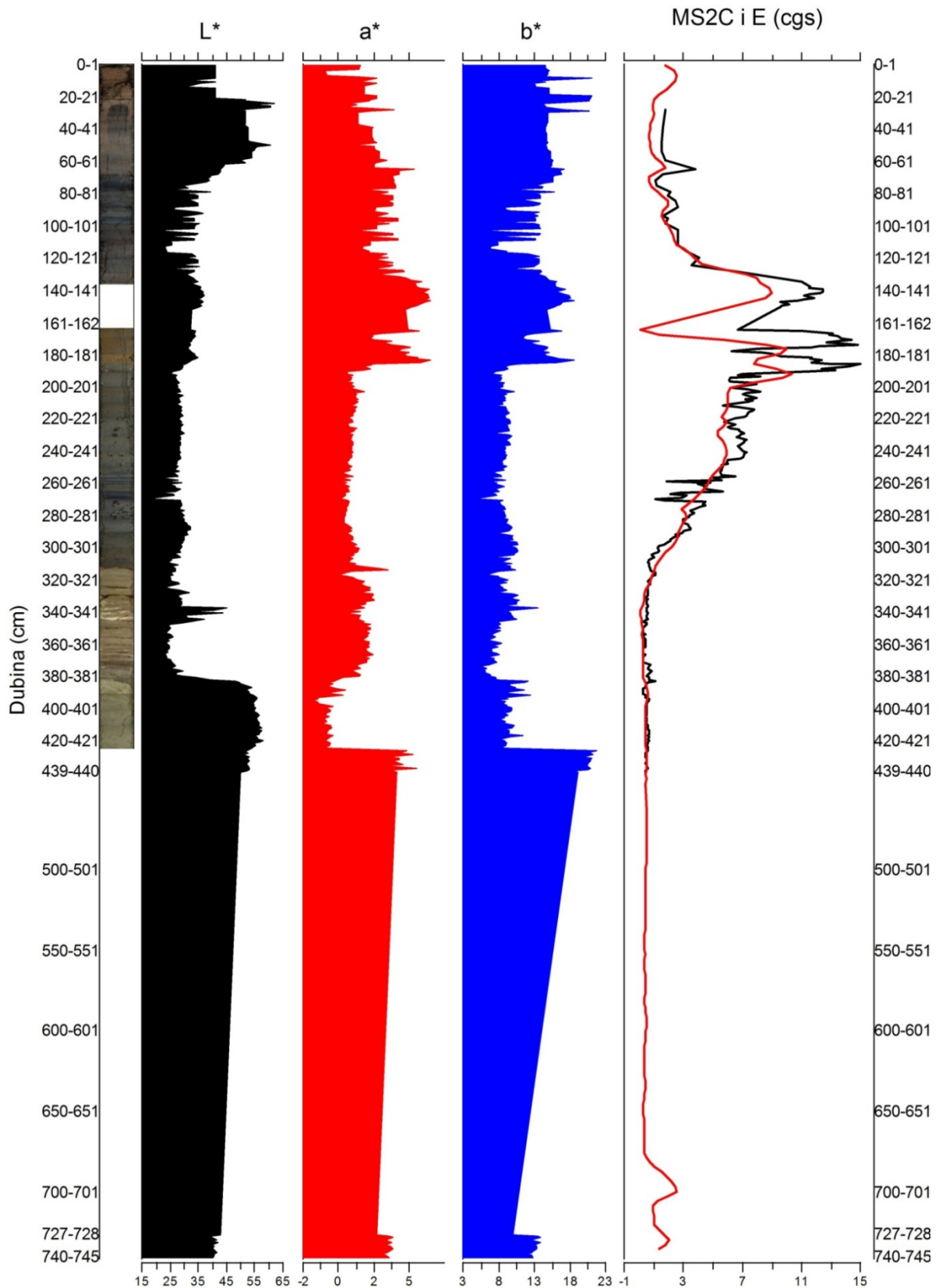
Jezgre LK-2 i LK-3 prema izmjerenim parametrima L^* puno su tamnije i vrijednosti L^* ne prelaze 45. U jezgri LK-2 uočava se da je L^* parametar sličan i za kopneni i marinski sediment jedino se snižava u zoni kontakta morskog sedimenta i površinskog sloja tla koji je bio obočen organskom tvari iz tla (slika 36).

3.3. Rezultati analize magnetskog susceptibiliteta

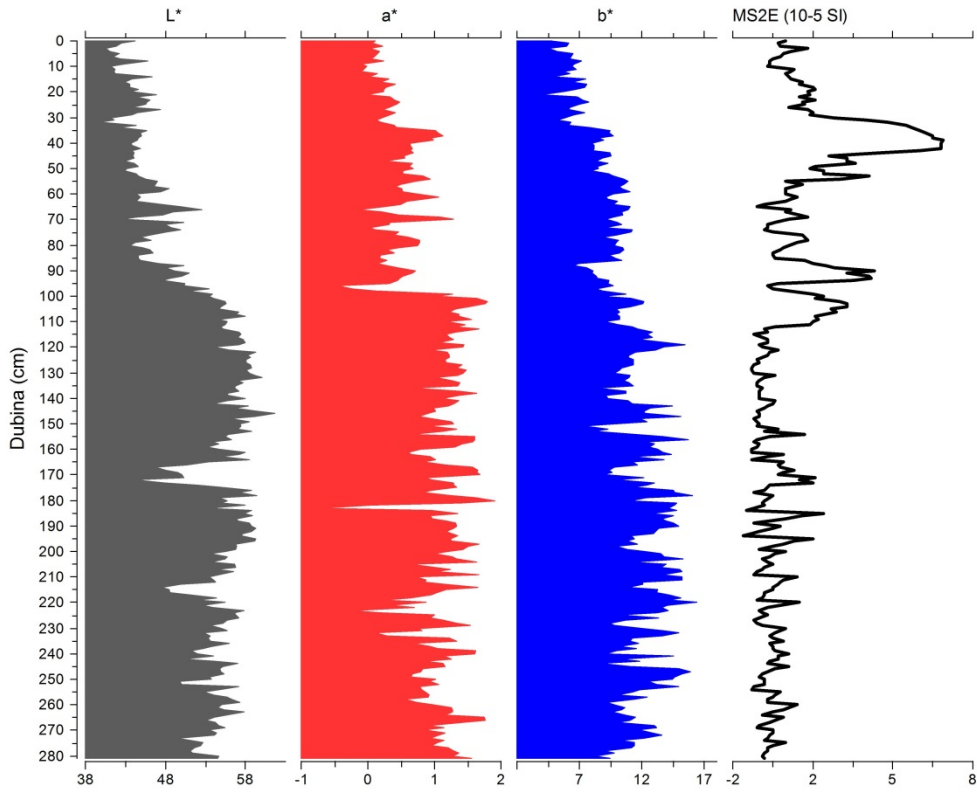
Magnetski susceptibilitet (MS) u jezgri VR-1A izmjeren je pomoću MS2C senzora za jezgru sedimentata u cijevi, u trocentimetarskom intervalu na cijelom rasponu jezgre. Nakon što je jezgra prepiljena na 2 polovice, magnetski susceptibilitet izmjeren je u jednocentimetarskom intervalu pomoću MS2E površinskog senzora, do 440. Magnetski susceptibiliteti dobiveni pomoću MS2C i MS2E senzora se generalno dobro preklapaju (slika 32). Uočljiv je niži MS u 100 cm jezgre, s višim vrijednostima na 64 cm ($MS2E=3,8 \times 10^{-6}$ cgs) koji zatim raste i viši je između 130 i 290 cm te je nizak nakon toga ($0,1-0,6 \times 10^{-6}$ cgs). Viši MS2E imaju sljedeći intervali: 134-150 cm ($9,6-12,5 \times 10^{-6}$ cgs), 165-175 cm ($11,1-14,4 \times 10^{-6}$ cgs), 181-190 cm ($11,5-15,1 \times 10^{-6}$ cgs). MS2C pokazao je viši MS pri kraju jezgre na 687-702 cm ($1,5-1,2 \times 10^{-6}$ cgs) i 726-732 cm ($1,7-2,1 \times 10^{-6}$ cgs).

Magnetski susceptibilitet (MS) u jezgrama CS-51, CS-52, CS-53 na Vranskom jezeru te LK-2 i LK-3 u Lošinjskom kanalu izmjeren je pomoću površinskog MS2E senzora nakon što je jezgra prepiljena na 2 polovice, magnetski susceptibilitet izmjeren je u jednocentimetarskim intervalima. Vrijednosti MS u jezerskim sedimentima niže su od 5×10^{-5} SI, a u dubljim intervalima većim donosom siliciklastičnom materijala, vrijednosti rastu. Više

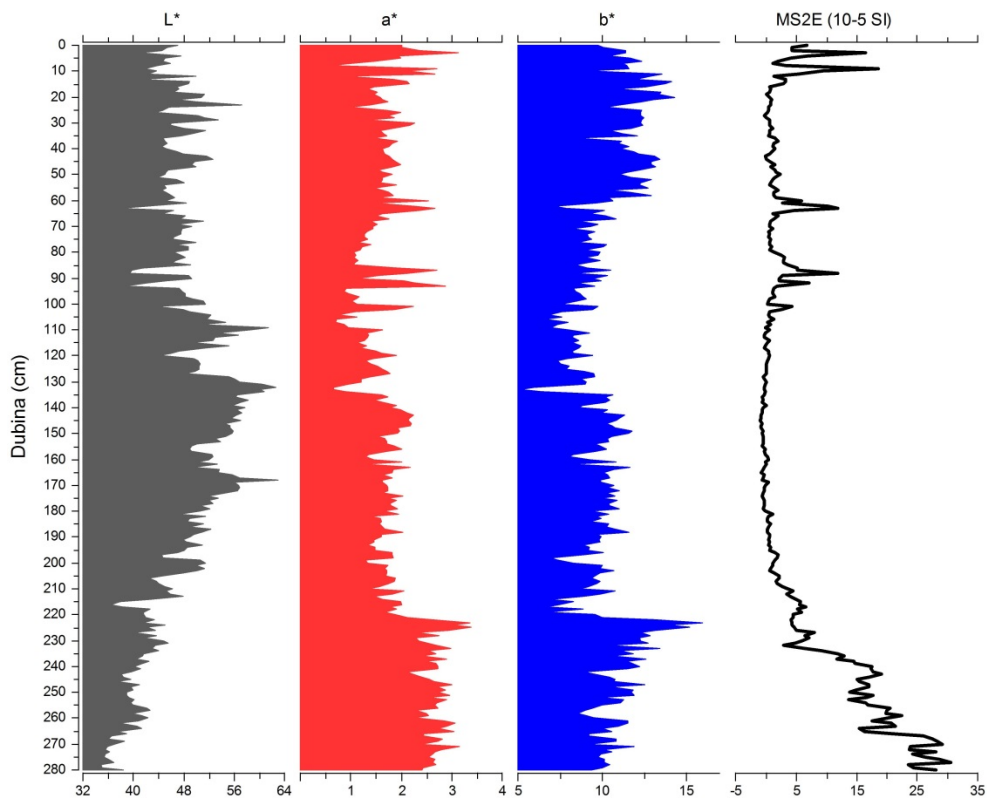
vrijednosti MS od 10×10^{-5} SI vezana su za dijelove jezgara gdje se uočava terigeni utjecaj ili kao u slučaju s LK-2 gdje je donji dio jezgre tlo iz ponikve te su vrijednosti MS više od 100×10^{-5} SI. U interpretaciji, MS je korišten za korelaciju jezgara te za kvantificiranje terigenog unosa magnetskih čestica iz tla u jezerske i morske sedimente. Utvrđeno je da dio magnetski susceptibiliteta potječe od djelovanja bakterija u reduktivnim uvjetima i stvaranja biogenih magnetita. Ovaj proces je izražen u površinskim uzorcima CS-53 i CS-52, ali ne i CS-51 (najdublja priobalna jezgra) gdje je povišeni MS vezan za unos magnetskih čestica erozijom (slika 33).



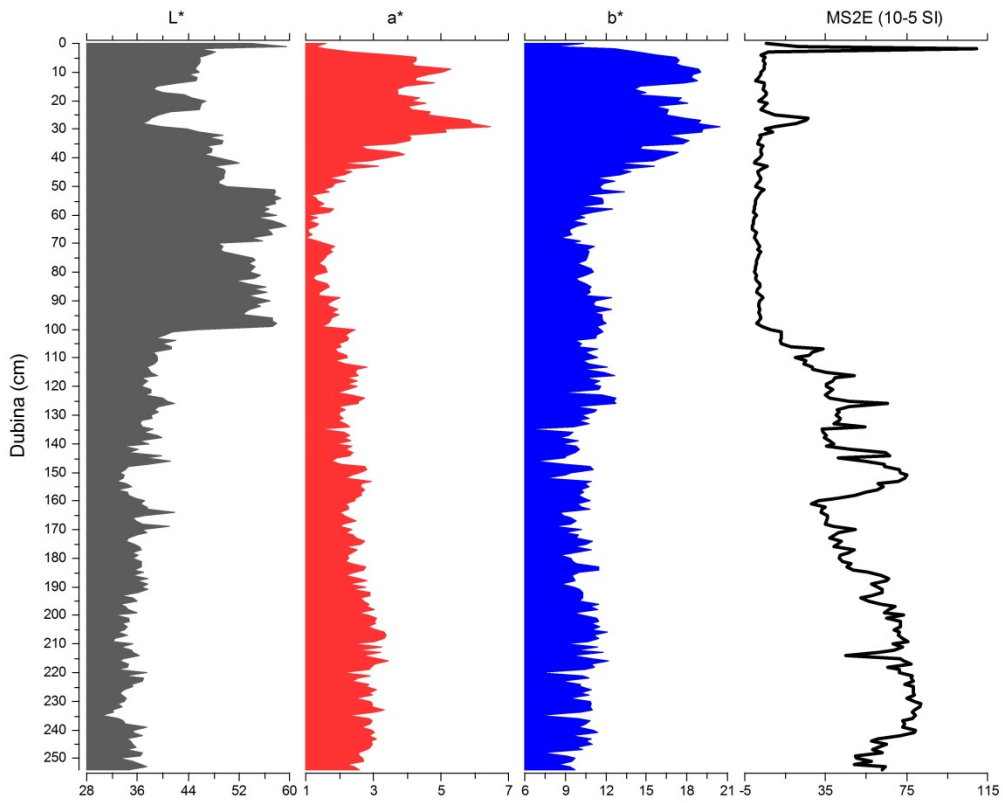
Slika 32. Spektralna analiza boje (CIE $L^*a^*b^*$) i magnetski susceptibilitet MS2E (crna linija) i MS2C (crvena linija) jezgre VR-1A iz Vranskog jezera na Cresu.



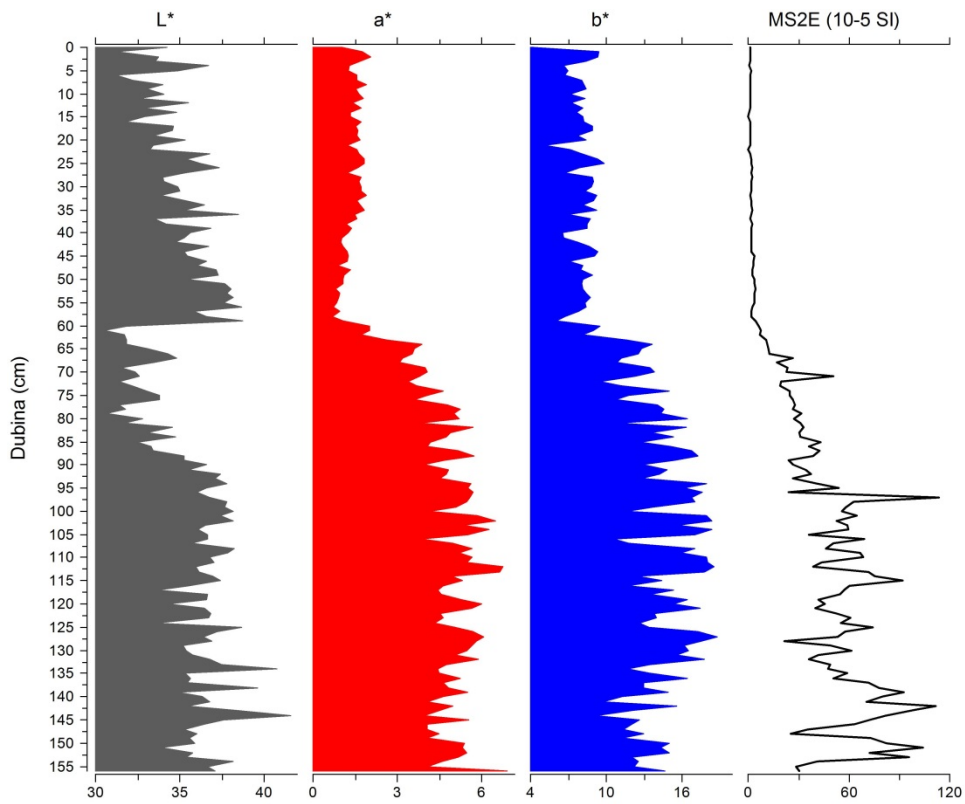
Slika 33. Boja i magnetski susceptibilitet jezgre CS-51.



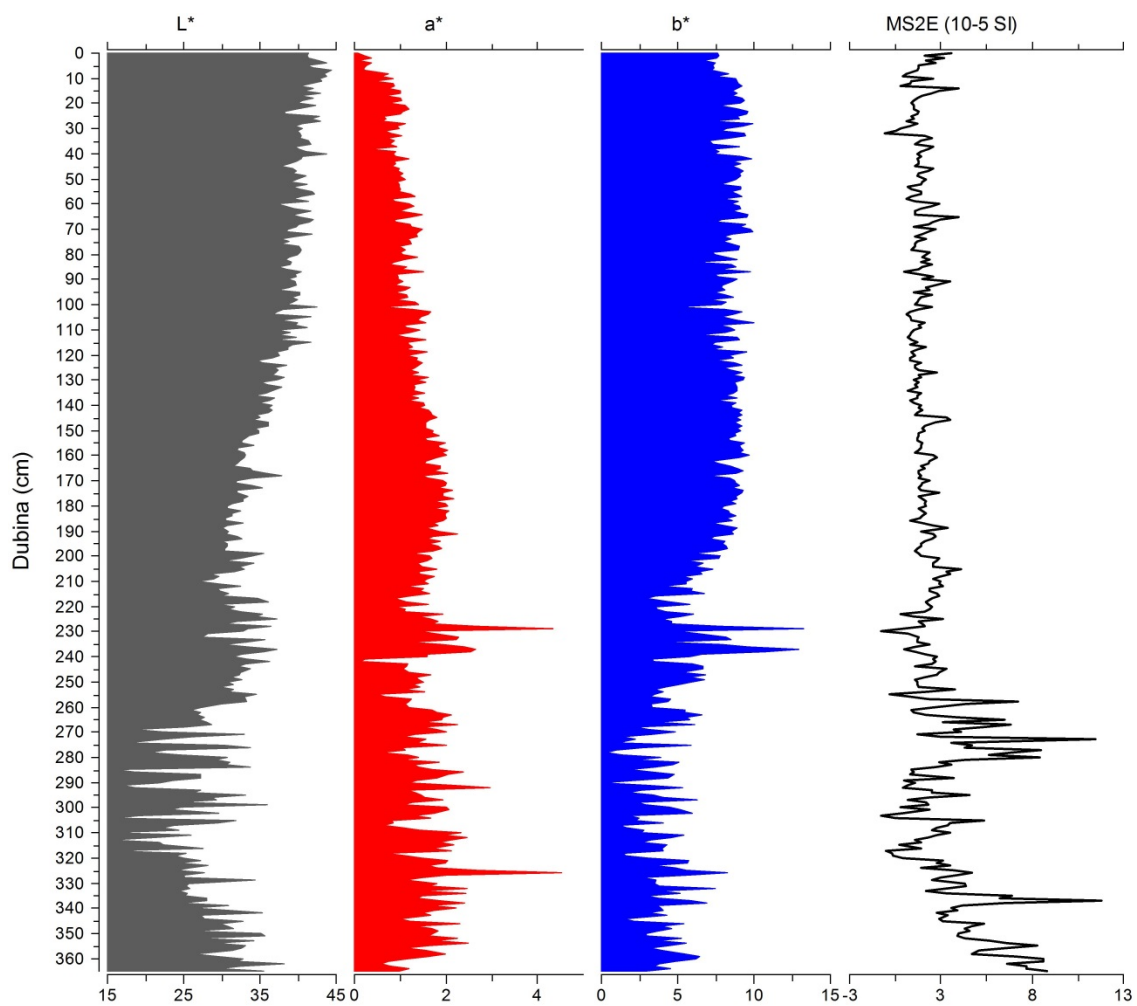
Slika 34. Boja i magnetski susceptibilitet jezgre CS-52.



Slika 35. Boja i magnetski susceptibilitet jezgre CS-53.



Slika 36. Boja i magnetski susceptibilitet jezgre LK-2.



Slika 37. Boja i magnetski susceptibilitet jezgre LK-3.

3.4. Rezultati datiranja radioaktivnim ugljikom ^{14}C

Za kronologiju Vranskog jezera ukupno je datirano sa radioaktivnim ugljikom ^{14}C 20 uzoraka. Datirani su uzorci iz VR-1A na dubinama 77, 189, 317, 521 i 733 cm (tablica 5), Datiranje dubljih dijelova jezgre VR-1A napravljeno je na 2 uzorka, s dubina 521 i 733 cm. Do uzorka s tih dubina došlo se rezanjem jezgre od krajeva cijevi, uzorkovano je po 25 cm od kraja cijevi kako bi se pronašao materijal za datiranje. Aktivnost ^{14}C u ta 2 uzorka je iznimno niska, identična s pozadinskim šumom, te nije bilo moguće odrediti točna starost i smatra se da su stariji od 43 500 godina (tablica 6). Tri su datuma iz ovog rada nadopunjena s dva datuma iz prijašnjeg istraživanja Vranskog jezera plitkim jezgrama: 18 cm – 290±40 BP (Cal BP 460 do 290) i 37 cm – 500±25 BP (Cal BP 544-507) (Mesić, 2004).

Također je analiziran jedan uzorak iz profila tla u slivu, Cs-P (tablica 7), s dubine 231 cm, koji se nalazio u lesu, odmah ispod koluvijalnih naslaga (granica je na 228 cm). Datiran je na Cal BP 18 798 do 18 523 .U prijašnjim istraživanjima datiran je uzorak keramike, koji se nalazi u sloju 170-188 cm, te je pokazao starost od 3580 ±40 BP (Mesić et al., 2005), kalibriran iznosi: Cal BP 3908 do 3820. Lesne naslage u profilu Cs-P datirane su na 24 260 ± 120 BP (Mesić et al., 2007), kalibriran na Cal BP 28 630 do 27 965, pomoću OxCal programa (Bronk Ramsey, 2010).

Iz prioblatih jezgri analizirani su sljedeći uzorci: CS-51 102-103, CS-52 266-267, CS-52 235-236, CS-52 179-180, CS-52 111-112, CS-53 249-250, CS-53 114-115, CS-53 23-24, LK-3 354, LK-3 252, LK-3 217, LK-3 93-95, LK-2 58-59, LK-2 42-43 (tablica 8). U njima je pronađen pogodan materijal za datiranje-ugljen, ostaci biljaka i ljuštore.

Tablica 5. Rezultati datiranja metodom AMS ^{14}C (*Gadam Centre*) uzoraka iz jezgre VR-1A. Mjereni ^{14}C datumi su kalibrirani pomoću OxCal programa (Bronk Ramsey, 2010) koji koristi IntCal13 kalibracijske krivulje (Reimer et al., 2013).

Uzorak VR-1A	Lab. br.	Materijal	Mjereni ^{14}C datum	Kalendarski datum (2 σ kalibracija)
77-78	GdA-3300	ugljen, biljka	1870 ± 25 BP	Cal BP 1874 do 1729
189-190	GdA-3301	ugljen, biljka	7155 ± 30 BP	Cal BP 8018 do 7937
317-318	GdA-3302	ugljen, biljka	10400 ± 35 BP	Cal BP 12420 do 12078

Tablica 6. Rezultati datiranja metodom AMS ^{14}C (*Beta Analytics*) dubljih uzoraka iz jezgre VR-1A. Oznake: Lab. br.-laboratorijski broj, NA-not available.

Uzorak VR-1A	Lab. br.	Materijal	Mjereni ^{14}C datum	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	Konvencionalni ^{14}C datum
521-523	Beta-328265	ljuštura	NA	-2,5‰	> 43500 BP
733-735	Beta-328266	ljuštura	NA	-1,2‰	> 43500 BP

Tablica 7. Rezultati datiranja metodom AMS ^{14}C (*Gadam Centre*) uzorka iz profila tla Cs-P. Mjereni ^{14}C datumi su kalibrirani pomoću OxCal programa (Bronk Ramsey, 2010) koji koristi IntCal13 kalibracijske krivulje (Reimer et al., 2013). Oznaka: Lab. br.-laboratorijski broj.

Uzorak Cs-P	Lab. br.	Materijal	Mjereni ^{14}C datum	Kalendarski datum (2σ kalibracija)
231 cm	GdA-3303	ugljen, biljka	15390 ± 60 BP	Cal BP 18798 do 18523

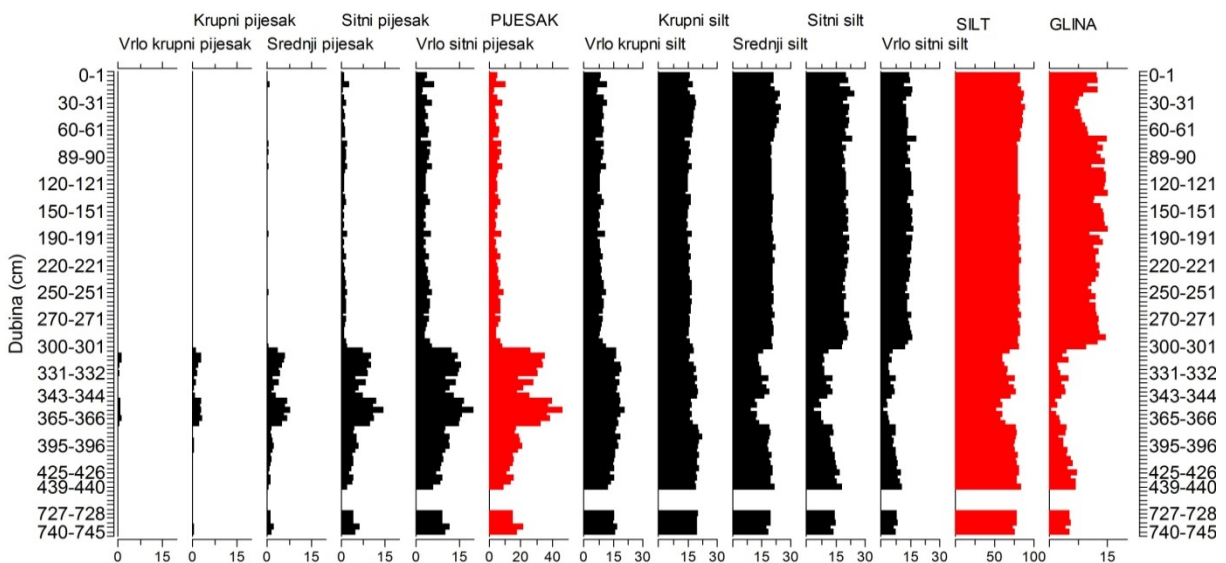
Tablica 8. Rezultati datiranja metodom AMS ^{14}C (*Beta Analytics*) uzorka iz jezgri Cs-51, Cs-52, CS-%3, LK-2 i LK3. Mjereni ^{14}C datumi su kalibrirani pomoću OxCal programa (Bronk Ramsey, 2010) koji koristi IntCal13 kalibracijske krivulje (Reimer et al., 2013). Oznaka: Lab. br.-laboratorijski broj.

Lab. br.	Uzorak	Materijal	Mjereni ^{14}C datum	Kalendarski datum (2 σ kalibracija)
385016	CS-51 102-103	ugljen, biljka	1350 \pm 30 BP	Cal AD 645 do 685 (Cal BP 1305 do 1265)
385015	CS-52 266-267	ugljen, biljka	5910 \pm 30 BP	Cal BC 4840 do 4715 (Cal BP 6790 do 6665)
385014	CS-52 235-236	ugljen, biljka	5820 \pm 30 BP	Cal BC 4725 do 4605 (Cal BP 6675 do 6555)
385013	CS-52 179-180	ugljen, biljka	4760 \pm 30 BP	Cal BC 3635 do 3515 (Cal BP 5585 do 5465) i Cal BC 3420 do 3405 (Cal BP 5370 do 5355) i Cal BC 3395 do 3385 (Cal BP 5345 to 5335)
385012	CS-52 111-112	ugljen, biljka	3780 \pm 30 BP	Cal BC 2290 do 2135 (Cal BP 4240 do 4085)
385011	CS-53 249-250	ugljen, biljka	6140 \pm 30 BP	Cal BC 5210 do 4995 (Cal BP 7160 do 6945)
385010	CS-53 114-115	ugljen, biljka	6040 \pm 30 BP	Cal BC 5005 do 4845 (Cal BP 6955 do 6795)
385009	CS-53 23-24	ugljen, biljka	430 \pm 30 BP	Cal AD 1430 do 1485 (Cal BP 520 do 465)
387752	LK-3 354	ljuštura	4000 \pm 30 BP	Cal BC 2290 do 2040 (Cal BP 4240 do 3990)
387751	LK-3 252	ljuštura	6260 \pm 30 BP	Cal BC 4960 do 4760 (Cal BP 6910 do 6710)
387750	LK-3 217	ljuštura	5550 \pm 30 BP	Cal BC 4215 do 3970 (Cal BP 6165 do 5920)
387749	LK-3 93-95	ljuštura	2510 \pm 30 BP	Cal BC 395 do 200 (Cal BP 2345 do 2150)
387748	LK-2 58-59	ljuštura	1200 \pm 30 BP	Cal AD 1035 do 1220 (Cal BP 915 to 730)
387747	LK-2 42-43	ljuštura	1000 \pm 30 BP	Cal AD 1250 do 1350 (Cal BP 700 do 600) i Cal AD 1375 do 1380 (Cal BP 575 do 570)

3.5. Rezultati granulometrijskih analiza

Granulometrijske analize na jezgrama sedimenata učinjena je na ukupno 388 uzoraka u ukupno 6 jezgara, ovako velik broj analiza bio je nužan da se utvrdio odnos karbonatne sedimentacije (sitni pijesak) i siliciklastičnog donosa matreijala (silt). Udjeli pojedinih frakcija grafički su prikazani na slikama 38 do 42, dok su tablično prikazani za svaki pojedinačni uzorak u priložima 2.1-2.6.

U jezgri VR-1A prevladava frakcija silta i ne pokazuje veću varijabilnost. Najviše ima srednjeg i sitnog silta, nešto manje krupnog i vrlo sitnog silta. Kroz cijelu jezgru, silta ima između 79,32 i 84,54 %, s nižim udjelom u intervalu 305-370 cm (52,56-69,20 %), koji razdvaja na 2 dijela viši udio silta od 335 do 343 (68,33-77,86 %). Nešto viši udio silta je između 15 do 65 cm (83,51-88,94 %). Udio pjeskovite frakcije nizak je od 0 do 300 cm (2,41-10,41 %), a najviši od 305 do 370 cm (26,05-46,85 %), s nižim intervalom od 335 do 343 cm (17,89-25,46 %). U prvih 300 cm u pjeskovitoj frakciji prevladava vrlo sitni pijesak s udjelom od 2,83 do 5,76 %, a od 305 do 370 cm se taj udio povećava i iznosi između 11,74 do 20,14 %. Od 375 do 439 cm vrlo sitnog pijeska je manje (6,11-11,80 %). U posljednja 24 cm jezgre udio vrlo sitnog pijeska je stalan, oko 9 %, osim u posljednjem uzorku gdje iznosi 11,79 %. Od 305 cm do kraja jezgre povećava se i udio krupnog, srednjeg i sitnog pijeska, s najvećim udjelom u intervalu od 305 do 370 cm. Udio glinene frakcije je niži u intervalu od 20 do 60 cm (5,79-9,90 %), najviši je od 65 do 295 cm (10,04-15,32 cm), te se nakon toga snižava i najniži je od 320 cm do 360 cm (0,43-2,19 %), s malo većim udjelom na 335 cm (5,16 %), 340 (4,04 %) i 343S-svjetliji (4,24 %).



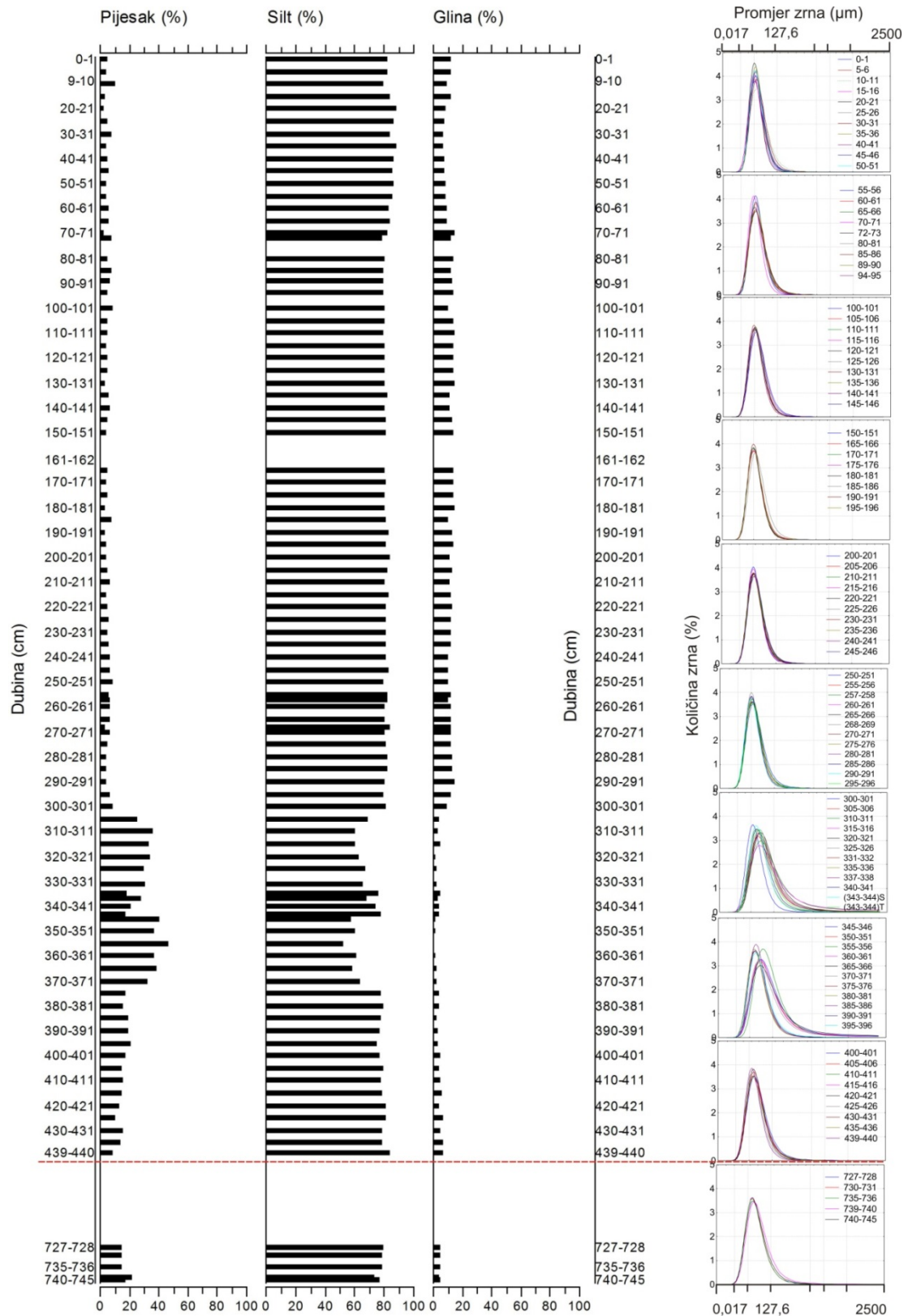
Slika 38. Rezultati granulometrijske analize i udio analiziranih frakcija u sedimentima jezgre VR-1A.

Udio pijeska, silta i glina po dubini jezgre VR-1A prikazani su na slici 38, zajedno s krivuljama učestalosti pojedinih veličina zrna. Svi analizirani uzorci pokazuju unimodalnu raspodjelu zrna. Uzorci od 0 do 300 cm imaju prosječnu veličinu zrna između 7,36 i 10,66 μm . Manju prosječnu veličinu zrna imaju uzorci 70-71 cm (6,44 μm), 130-131 cm (6,95 μm) i 180-181 cm (6,99 μm), dok višu imaju 10-11 (11,25 μm) i 30-31 cm (11,40 μm). Od 305 cm do 370 cm prosječna veličina zrna je puno veća i ima veliku varijaciju između 18,14 i 56,72 μm . Od 375 do 400 je prosječna veličina zrna između 17,61 i 21,79 μm , da bi nakon 405 cm iznosila između 11,97 i 16,79 μm . Pri dnu jezgre od 726 do 740 cm prosječna veličina zrna je opet malo viša (15,93-21,34 μm).

Uzorci su slabo sortirani, osim u intervalu od 305 do 370 cm, kad se izmjenjuju vrlo loše i slabo sortirani uzorci. Analize asimetričnosti raspodjele zrna (Sk) i zaoštrenosti krivulja (kurtozisa, K) u uzorcima jezgre VR-1A pokazale su da su svi uzorci simetrični te srednje zaoštrenih krivulja (mezokurtični).

Distribucija veličina čestica u jezgrama CS-51, CS-52, CS-53 na Vranskom jezeru te LK-2 i LK-3 iz Lošinjskog kanala bitno se razlikuju od duboke jezerske jezgre VR 1A koja se nalazi u dubokom dijelu jezera i prevladavaju sitne čestice. U tabicama 9 do 13 prikazani su osnovni staistički parametri za analizirane jezgre.

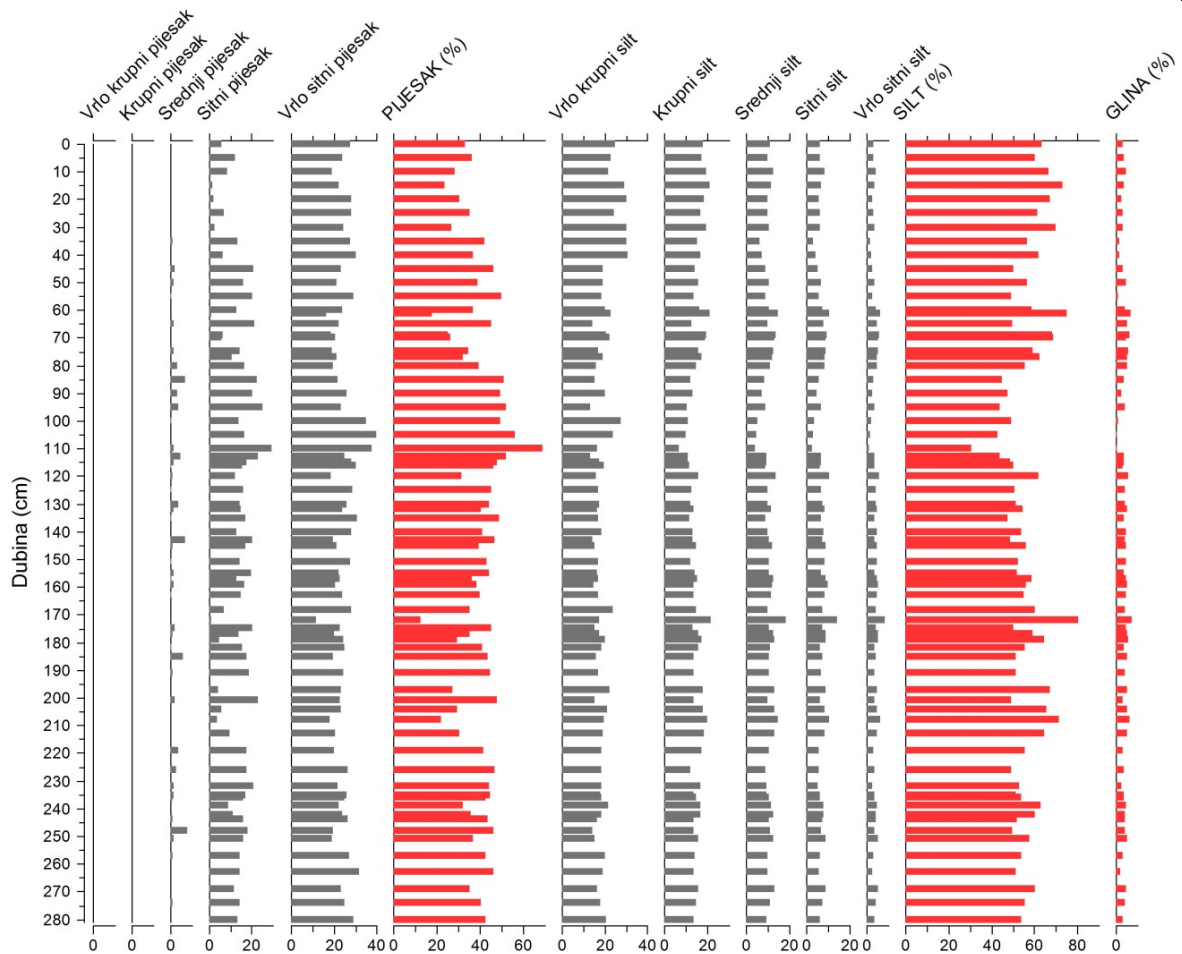
U jezgri CS-51 dominira silt (56 %) i pijesak (39,5 %) dok je gline 4% i ne prelazi 8 % u pojedinačnim uzorcima. Silta u pojedinim uzorcima ima i do 80 %, silt dominira do dubine od 0 do 100 cm, dok je pijesak ravnomjerno distribuiran duž jezgre. U jezgri CS-52 silt i pijesak su podjednako zastupljeni (48 %), ali je distribucija duž jezgre heterogenija - silt dominira u vršnim i donjim dijelovima jezgre dok je pijesak dominantan u središnjem dijelu jezgre. Najviše pijeska preko 80 % nalazi se na dubini od 220 cm kada počinje prevladavati karbonatna jezerska sedimentacija sa višom razinom jezera. U jezgri CS-51 koja je najbliža obali dominira silt (61 %), te ova jezgra ujedno ima najviše gline (8,5 %). Silt dominira od 100 cm nadalje a pijesak u intervalu od 100 do 30 cm. U prvih 30 cm podjednako su zastupljeni silt i pijesak. Silt dominira u morskim jezgrama LK-2 i LK-3 sa blagim porastom udjela pijeska u vršnim dijelovima jezgri. Jezgre pokazuju heterogenu distribuciju sa čestom izmjenom dominacije tih dviju frakcija.



Slika 39. Udio ukupnog pijeska, silta i gline po dubini jezgre VR-1A, s krivuljama učestalosti pojedinih veličina zrna u analiziranim uzorcima, grupiranim u polameterskim intervalima.

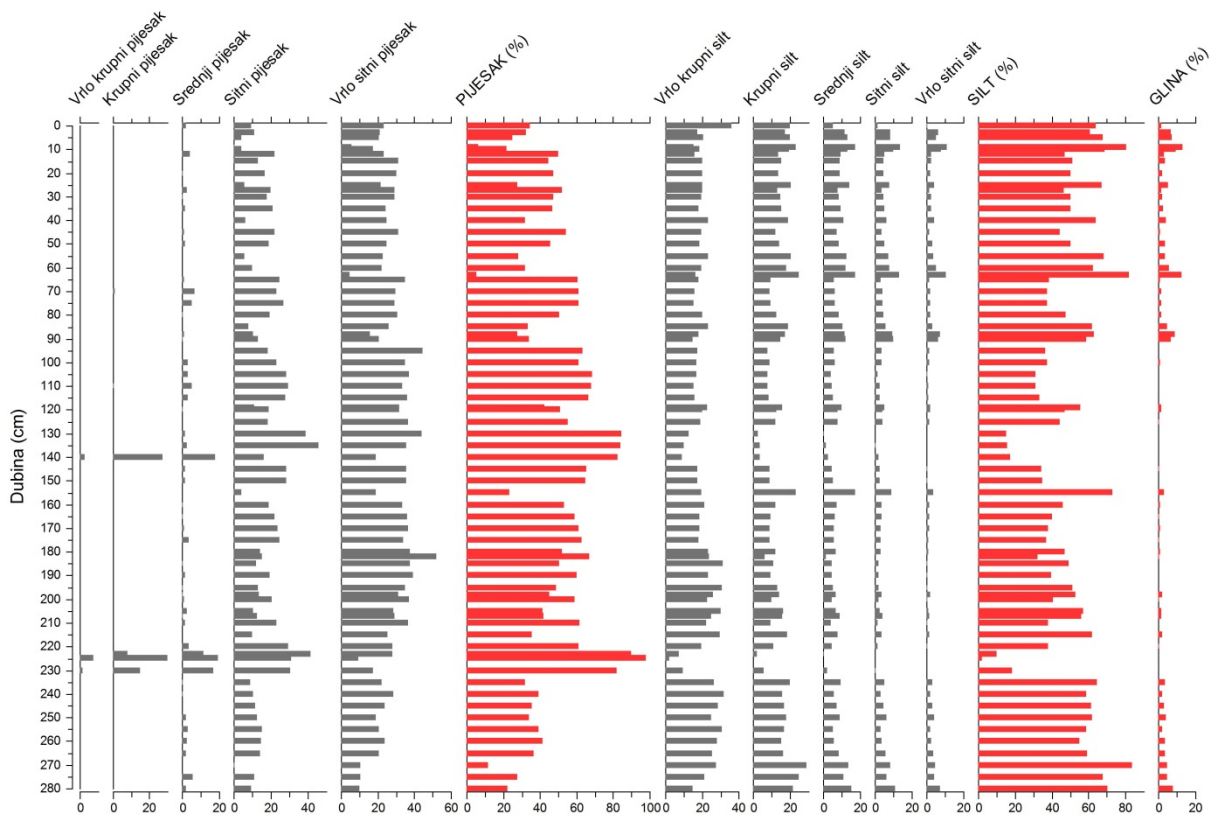
Tablica 9. Osnovni statistički parametri distribucije veličine čestica za jezgru CS-51.

Frakcija	N	Prosječna vr.	Medijan	Minimum	Maksimum	Standardna devijacija.
PIJESAK (%)	70	39,49	40,76	12,45	68,73	9,34
Vrlo krupni pijesak	70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Krupni pijesak	70	0,01	0,00	0,00	0,15	0,03
Srednji pijesak	70	1,29	0,70	0,00	7,75	1,74
Sitni pijesak	70	13,80	14,54	0,82	29,68	6,23
Vrlo sitni pijesak	70	24,39	23,90	11,63	39,94	4,73
Vrlo krupni silt	70	19,40	18,59	13,36	30,84	4,17
Krupni silt	70	15,04	14,67	6,72	21,39	2,92
Srednji silt	70	10,68	10,40	4,00	18,35	2,28
Sitni silt	70	7,25	7,12	2,58	14,16	1,88
Vrlo sitni silt	70	4,05	3,95	1,08	8,59	1,22
GLINA (%)	70	4,08	4,17	0,47	7,27	1,40
SILT (%)	70	56,43	55,35	30,80	80,28	8,50



Slika 40. Rezultati granulometrijske analize jezgre sedimenata CS-51.
 Tablica 10. Osnovni statistički parametri distribucije veličine čestica za jezgrou CS-52.

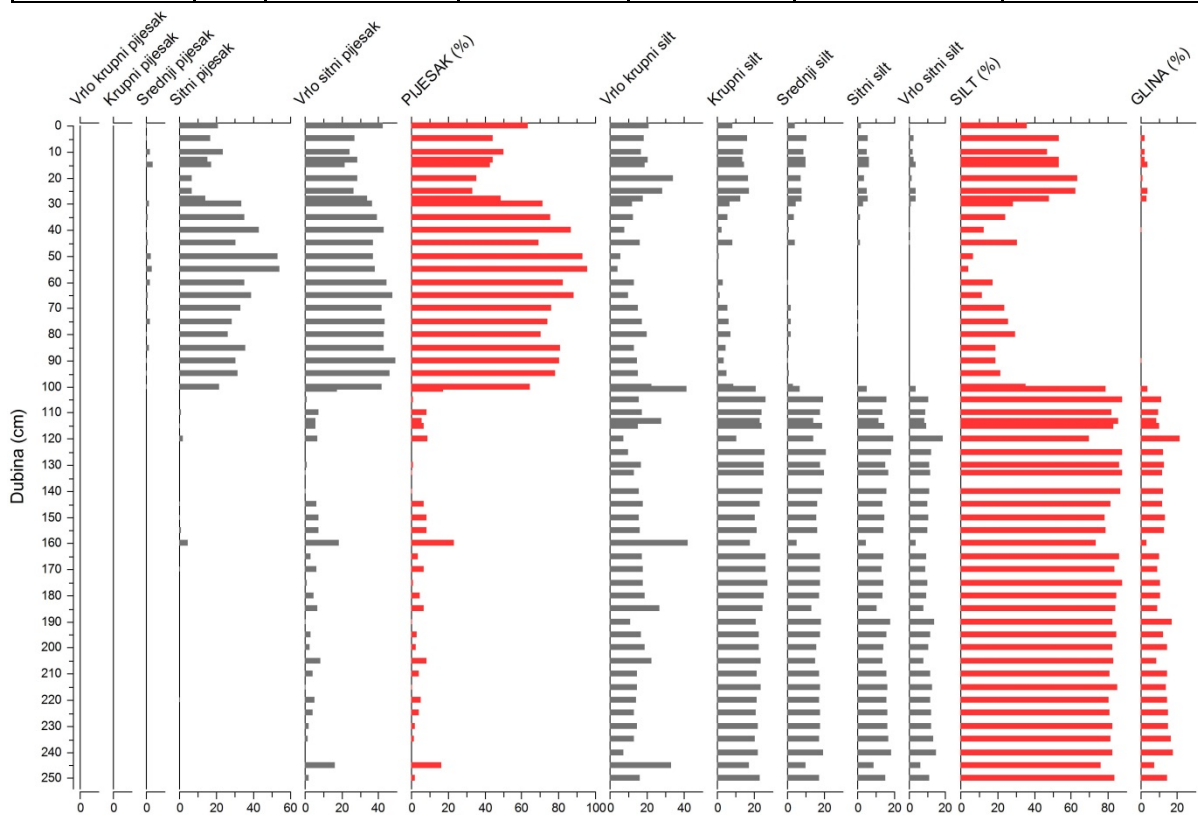
Frakcija	N	Prosječna vr.	Medijan	Minimum	Maksimum	Standardna devijacija.
PIJESAK (%)	68	48,44	48,11	5,11	97,72	19,36
Vrlo krupni pijesak	68	0,17	0,00	0,00	7,34	0,95
Krupni pijesak	68	1,21	0,00	0,00	29,92	5,23
Srednji pijesak	68	2,29	0,91	0,00	19,63	3,98
Sitni pijesak	68	17,19	15,87	0,14	45,92	9,52
Vrlo sitni pijesak	68	27,59	28,82	4,97	51,81	9,32
Vrlo krupni silt	68	20,46	19,96	2,19	36,32	6,16
Krupni silt	68	13,64	13,59	0,09	29,03	5,90
Srednji silt	68	7,75	7,18	0,00	17,31	3,96
Sitni silt	68	4,53	3,93	0,00	13,51	3,00
Vrlo sitni silt	68	2,56	1,93	0,00	11,10	2,37
GLINA (%)	68	2,62	1,60	0,00	13,05	2,94
SILT (%)	68	48,93	50,14	2,28	83,65	17,05



Slika 41. Rezultati granulometrijske analize jezgre sedimenata CS-52.

Tablica 11. Osnovni statistički parametri distribucije veličine čestica za jezgru CS-53.

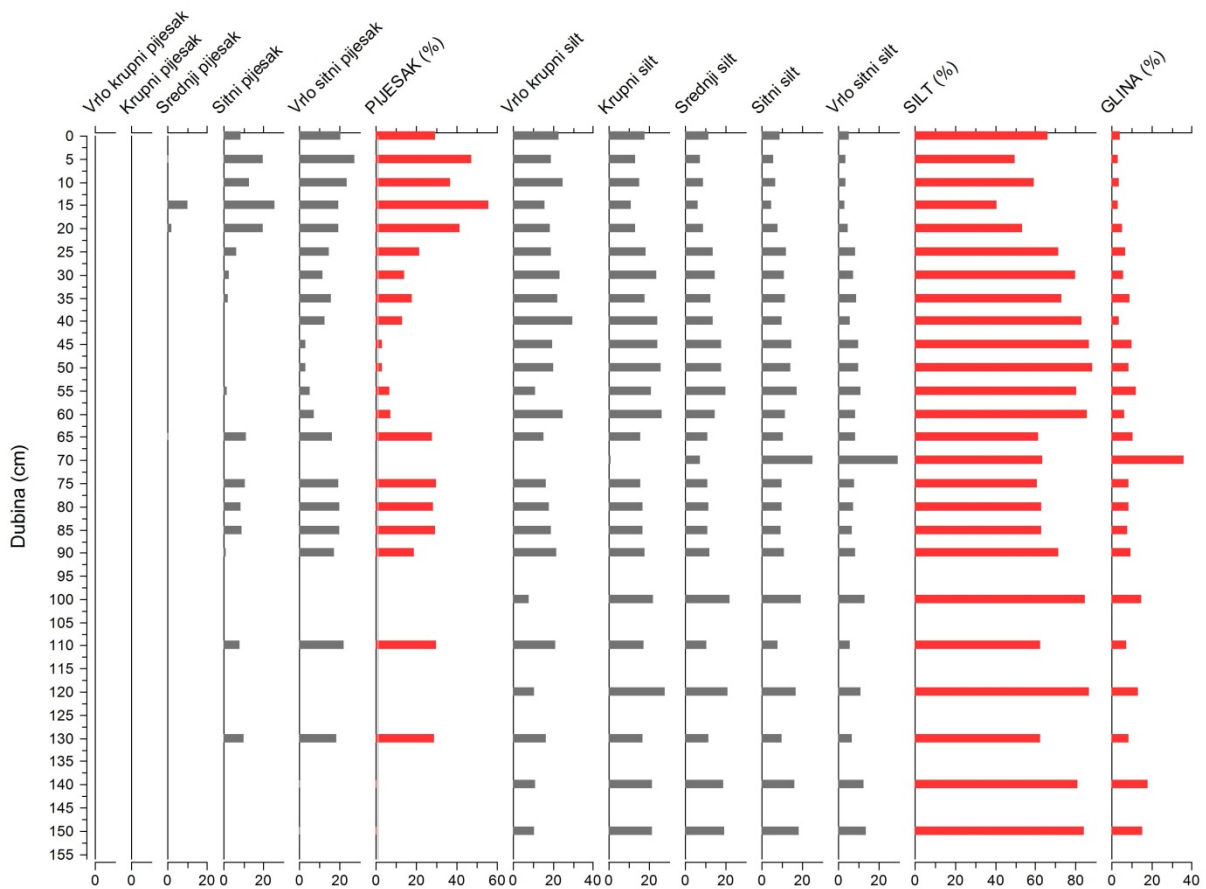
Frakcija	N	Prosječna vr.	Medijan	Minimum	Maksimum	Standardna devijacija.
PIJESAK (%)	55	31,32	8,50	0,04	95,73	33,37
Vrlo krupni pijesak	55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Krupni pijesak	55	0,00	0,00	0,00	0,10	0,02
Srednji pijesak	55	0,52	0,00	0,00	3,80	0,91
Sitni pijesak	55	12,11	0,77	0,00	54,46	16,15
Vrlo sitni pijesak	55	18,69	7,66	0,04	49,33	17,47
Vrlo krupni silt	55	17,46	16,23	4,13	42,24	7,58
Krupni silt	55	16,63	20,75	0,14	27,27	8,40
Srednji silt	55	11,29	13,95	0,01	21,27	7,11
Sitni silt	55	9,27	11,76	0,00	19,46	6,78
Vrlo sitni silt	55	6,67	8,27	0,00	18,67	5,40
GLINA (%)	55	7,36	8,58	0,00	21,26	6,32
SILT (%)	55	61,32	78,67	4,27	87,94	27,89



Slika 42. Rezultati granulometrijske analize jezgre sedimenata CS-53.

Tablica 12. Osnovni statistički parametri distribucije veličine čestica za jezgru LK-2.

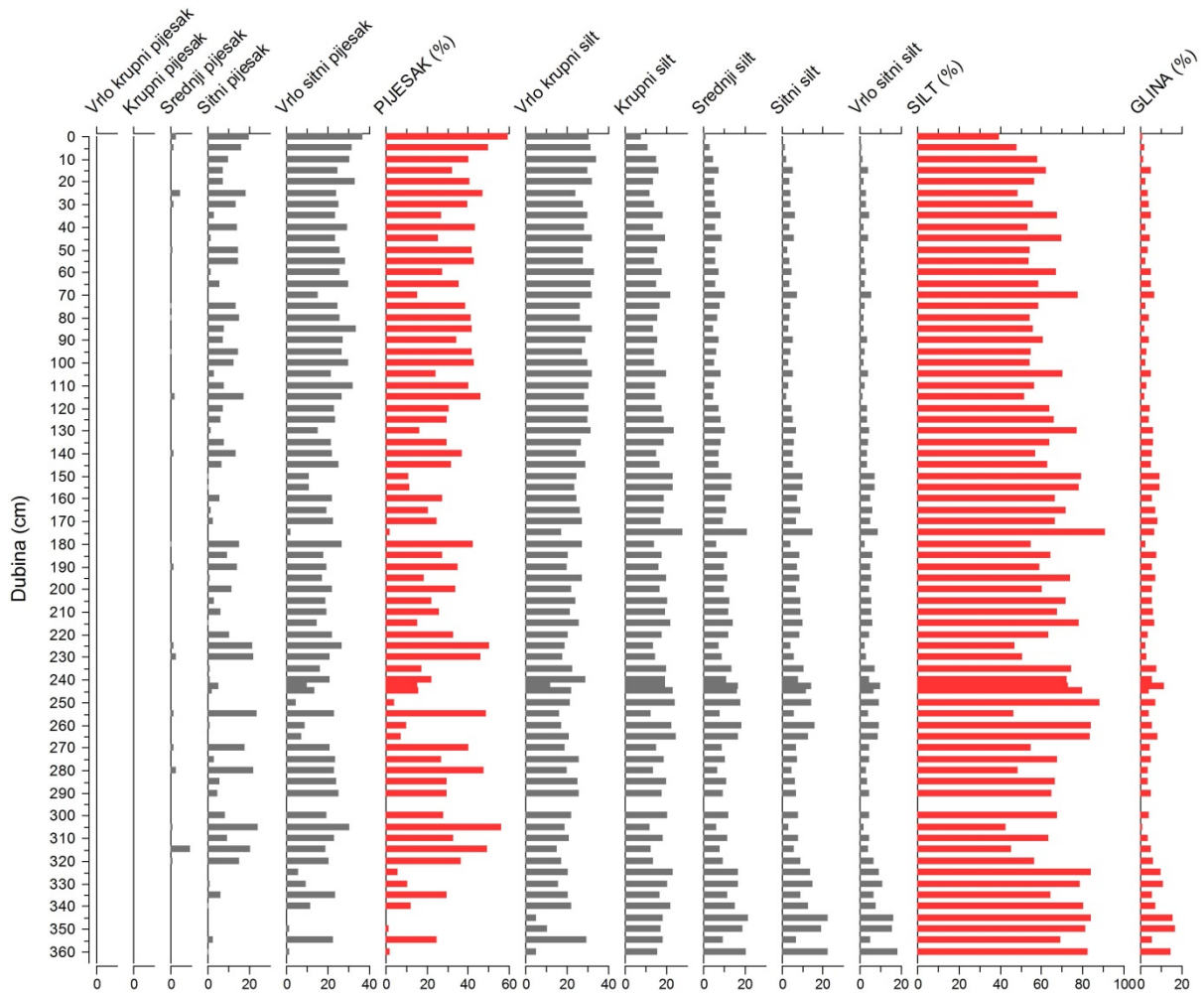
Frakcija	N	Prosječna vr.	Medijan	Minimum	Maksimum	Standardna devijacija.
PIJESAK (%)	25	19,73	18,88	0,00	55,76	16,16
Vrlo krupni pijesak	25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Krupni pijesak	25	0,00	0,00	0,00	0,11	0,02
Srednji pijesak	25	0,58	0,01	0,00	10,39	2,08
Sitni pijesak	25	6,36	2,50	0,00	25,88	7,35
Vrlo sitni pijesak	25	12,79	15,69	0,00	27,13	8,75
Vrlo krupni silt	25	17,67	19,00	0,01	30,05	6,39
Krupni silt	25	18,54	17,98	1,27	27,74	5,69
Srednji silt	25	13,44	12,17	6,20	22,01	4,49
Sitni silt	25	12,02	10,94	4,55	25,14	4,77
Vrlo sitni silt	25	8,88	8,19	3,14	29,48	5,17
GLINA (%)	25	9,71	8,48	3,20	36,46	6,83
SILT (%)	25	70,55	71,42	40,81	88,23	13,15



Slika 43. Rezultati granulometrijske analize jezgre sedimenata LK-2.

Tablica 13. Osnovni statistički parametri distribucije veličine čestica za jezgru LK-3.

Frakcija	N	Prosječna vr.	Medijan	Minimum	Maksimum	Standardna devijacija.
PIJESAK (%)	73	29,51	29,94	0,02	59,45	14,30
Vrlo krupni pijesak	73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Krupni pijesak	73	0,01	0,00	0,00	0,26	0,03
Srednji pijesak	73	0,58	0,01	0,00	9,41	1,35
Sitni pijesak	73	8,17	6,91	0,00	24,36	7,10
Vrlo sitni pijesak	73	20,76	22,51	0,02	36,92	8,18
Vrlo krupni silt	73	24,40	25,75	5,38	34,16	6,24
Krupni silt	73	17,61	17,66	8,04	28,13	3,68
Srednji silt	73	10,10	9,35	1,17	21,65	4,49
Sitni silt	73	7,58	6,82	0,08	22,53	4,53
Vrlo sitni silt	73	5,19	4,60	0,01	18,49	3,36
GLINA (%)	73	5,61	5,24	0,85	16,79	3,11
SILT (%)	73	64,88	64,42	39,70	90,81	11,88



Slika 44. Rezultati granulometrijske analize jezgre sedimenata LK-3.

3.6. Rezultati mineraloških analiza

3.6.1. Rezultati ukupnog mineralnog sastava jezgre VR-1A

U jezgri VR-1A analiziran je mineralni sastav 57 uzoraka (tablica 14, slika 46). Mineralni sastav se značajno razlikuje kroz jezgru u udjelu kvarca, kalcita i dolomita. U uzorcima su još prisutni kalijski feldspat i plagioklas, te muskovit/illit i minerali glina. U nekim uzorcima utvrđeni su amfibol i aragonit. Minerali glina detaljnije su opisani u sljedećem poglavlju.

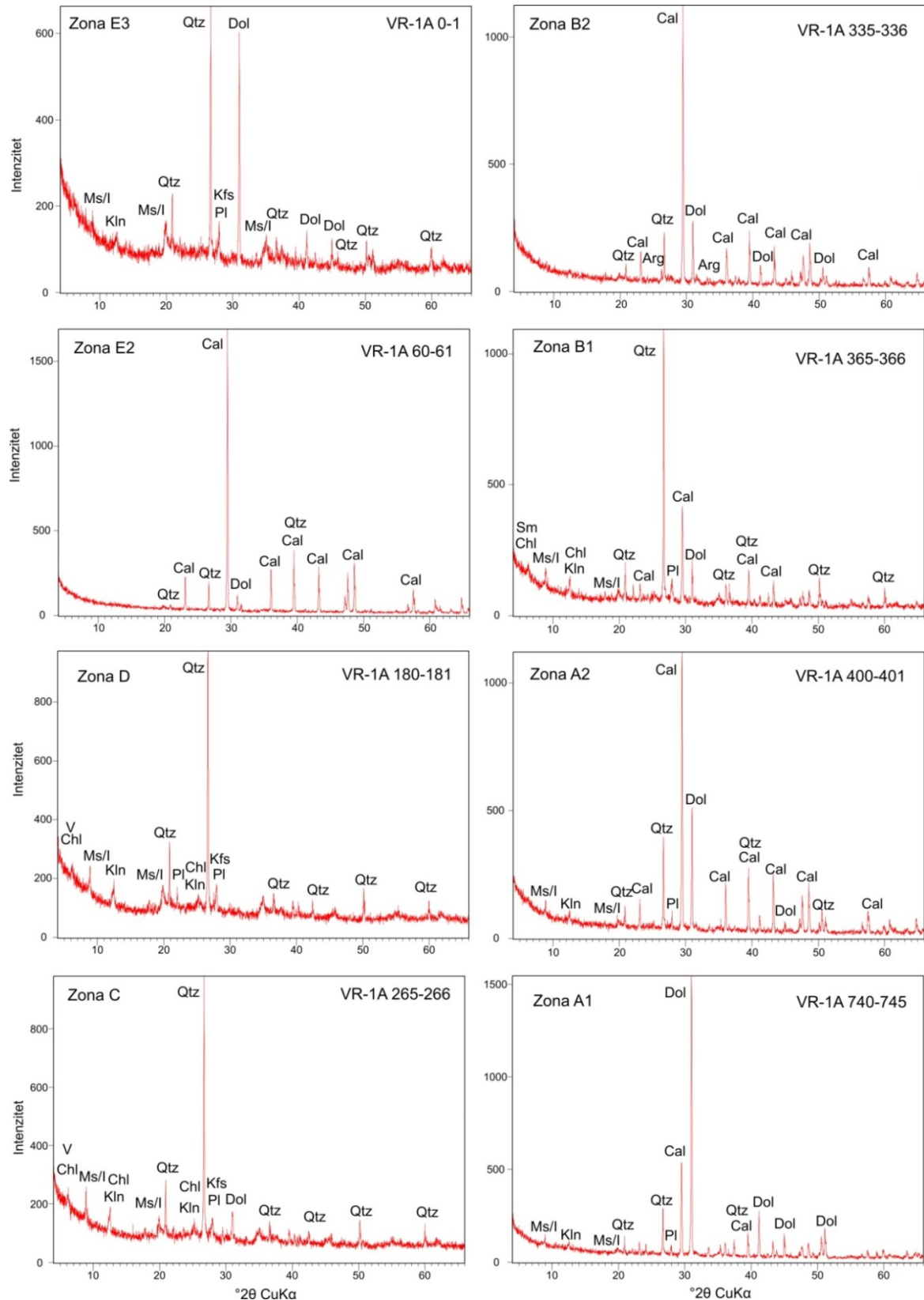
Prema mineralnom sastavu određeno je nekoliko zona po dubini jezgre, prema dominantnom mineralu u uzorcima. Izdvojeno je ukupno 5 zona, idući od vrha jezgre prema dnu: MIN-E, MIN-D, MIN-C, MIN-B i MIN-A, unutar kojih postoje podzone E1, E2 i E3, B1, B2 i B3, A1 i A2. Zona E dijeli se na 3 podzone; u zoni E3 (15-0 cm) dominiraju kvarc i dolomit, u E2 (80-20 cm) dominira kalcit, dok u E1 (120-100 cm) dominira kvarc, uz dolomit, plagioklas, te vrlo malo kalcita. U zoni D (255-130 cm) nema kalcita, nego dominira kvarc, uz kojeg su prisutni plagioklas i minerali glina, a povremeno i dolomit i amfibol. Od 280 do 257 cm (zona C) dominira kvarc, uz prisutnost dolomita, plagioklasa, kalijskog feldspata i minerala glina muskovit/illit, kaolinit, klorit i vermikulit. Zatim slijedi zona B, koja se dijeli na B1 (385-350 cm) s kvarcom, kalcitom i dolomitom kao glavnim sastojcima, B2 (345-331 cm) s dominantnim kalcitom te B3 (320-290 cm) u kojoj dominiraju kvarc i kalcit. Determinirani su i plagioklas, povremeno kalijski feldspat, aragonit u zoni B2, te minerali glina muskovit/illit, kaolinit, klorit i smektit. Od 385 cm do kraja jezgre na 745 cm dominiraju karbonatni minerali, te je ta zona podijeljena na A1 i A2 zbog toga što u A2 (440-385 cm) u uzorcima dominira kalcit, a u najdubljim dijelovima jezgre A1 (745-726 cm) dolomit. U A2 je dolomit također bitan sastojak, dok se udio kvarca smanjuje s dubinom. Prisutno je vrlo malo minerala glina muskovit/illit i kaolinit.

U odabranim uzorcima (13 uzoraka) karakterističnim za pojedine zone, napravljena je kvantitativna mineraloška analiza (slika 47).

Tablica 14. Mineralni sastav sedimenata iz jezgre VR-1A i izdvojene zone (A-E)-podzone (1-3). Oznake minerala (Kretz, 1983): Qtz-kvarc, Cal-kalcit, Dol-dolomit, Arg-aragonit, Kfs-kalijski feldspat, Pl-plagioklas, A-amfibol, Ms/l-muskovit/illit, Kln-kaolinit, Chl-klorit, V-vermikulit, Sm-smektit.

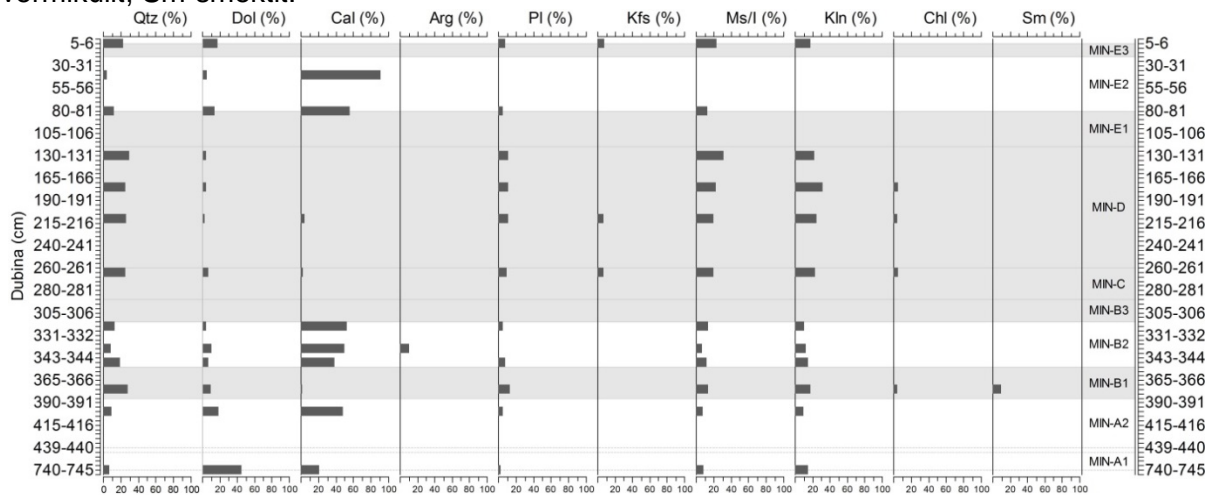
VR-1A	Mineralne faze - glavne	Mineralne faze - sporedne	Zone
0-1	Qtz, Dol	Kfs, Pl, Ms/l, Kln	MIN-E3
5-6	Qtz, Dol	Kfs, Pl, Ms/l, Kln	
10-11	Qtz, Dol	Kfs, Pl, Ms/l, Kln	
15-16	Cal, Qtz, Dol	Pl, Ms/l, Kln	
20-21	Cal	Qtz, Dol	MIN-E2
40-41	Cal	Qtz, Dol	
60-61	Cal	Qtz, Dol	
80-81	Cal	Qtz, Dol, Pl, Ms/l	
100-101	Qtz, Cal	Dol, Pl, Ms/l, Kln	MIN-E1
105-106	Qtz	Dol, Pl, Ms/l, Kln, Cal	
115-116	Qtz	Dol, Pl, Ms/l, Kln, Cal	
120-121	Qtz	Dol, Pl, Ms/l, Kln, Cal	
130-131	Qtz	Pl, Ms/l, Kln, Dol	MIN-D
150-151	Qtz	Pl, Ms/l, Kln, Chl, V, Dol	
165-166	Qtz	Pl, Ms/l, Kln	
170-171	Qtz	Pl, Ms/l, Kln, Chl, V	
175-176	Qtz	Pl, Ms/l, Kln, Chl, V	
180-181	Qtz	Pl, Ms/l, Kln, Chl, V	
190-191	Qtz	Pl, Ms/l, Kln, Chl, V	
195-196	Qtz	Pl, Ms/l, Kln, Chl, V	
200-201	Qtz	Pl, Kfs, Ms/l, Kln, Chl, V, A	
205-206	Qtz	Pl, Ms/l, Kln, Chl, V, A	
210-211	Qtz	Pl, Kfs, Ms/l, Kln, Chl, V	
220-221	Qtz	Pl, Kfs, Ms/l, Kln, Chl, V, Dol	
230-231	Qtz	Pl, Kfs, Ms/l, Kln, Chl, V, Dol	
240-241	Qtz	Pl, Kfs, Ms/l, Kln, Chl, V, A	
245-246	Qtz	Pl, Kfs, Ms/l, Kln, Chl, V, A, Dol	
250-251	Qtz	Dol, Pl, Kfs, Ms/l, Kln, Chl, V, A	
255-256	Qtz	Pl, Kfs, Ms/l, Kln, Chl, V, Dol	
257-258	Qtz	Dol, Pl, Kfs, Ms/l, Kln, Chl, V	MIN-C
265-266	Qtz	Dol, Pl, Kfs, Ms/l, Kln, Chl, V	
280-281	Qtz	Dol, Pl, Kfs, Ms/l, Kln, Chl, V	
290-291	Qtz	Cal, Pl, Kfs, Ms/l, Kln, Chl, V, A, Dol	MIN-B3
295-296	Qtz, Cal	Pl, Kfs, Ms/l, Kln, Chl, V, Dol	
300-301	Qtz, Cal	Pl, Ms/l, Kln	
315-316	Cal, Qtz	Pl, Ms/l, Kln	
320-321	Cal, Qtz	Dol, Pl, Ms/l, Kln	MIN-B2
331-332	Cal	Qtz, Arg, Pl	
335-336	Cal	Dol, Qtz, Arg	
337-338	Cal	Dol, Qtz, Arg	
340-341	Cal	Dol, Qtz, Arg, Ms/l, Kln	
343-344 S	Cal, Dol	Qtz, Ms/l, Kln, Pl	
343-344 T	Cal	Dol, Qtz, Arg, Ms/l, Kln, Plg	
345-346	Cal, Qtz	Dol, Pl, Ms/l, Kln	MIN-B1
350-351	Qtz, Cal	Pl, Ms/l, Kln, Chl, Sm	

355-356	Qtz, Cal, Dol	Pl, Ms/l, Kln	
360-361	Qtz, Cal, Dol	Pl, Ms/l, Kln	
365-366	Qtz, Cal	Dol, Pl, Ms/l, Kln, Chl, Sm	
370-371	Qtz, Dol	Cal, Pl, Kfs, Ms/l, Kln, Chl, Sm	
375-376	Qtz	Dol, Pl, Ms/l, Kln, Chl, Sm, Cal	
380-381	Qtz	Dol, Pl, Ms/l, Kln, Chl, Sm, Cal	
385-386	Cal, Dol, Qtz	Pl, Ms/l, Kln	MIN-A2
400-401	Cal, Dol, Qtz	Pl, Ms/l, Kln	
420-421	Cal, Dol	Qtz, Ms/l	
439-440	Cal, Dol	Qtz, Ms/l, Kln	
730-731	Dol	Cal, Qtz, Pl, Ms/l, Kln	MIN-A1
740-745	Dol	Cal, Qtz, Pl, Ms/l, Kln	



Slika 45. Rendgenogrami odabranih uzoraka iz jezgre VR-1A, reprezentativnih za izdvojene zone-podzone. Oznake minerala (Kretz, 1983): Qtz-kvarc, Cal-kalcit, Dol-dolomit, Arg-

aragonit, Kfs-kalijski feldspat, Pl-plagioklas, Ms/l-muskovit/illit, Kln-kaolinit, Chl-klorit, V-vermikulit, Sm-smektit.



Slika 46. Kvantitativni mineralni sastav na odabranim uzorcima iz jezgre VR-1A.

Mineralni sastav uzoraka iz sliva Vranskog jezera na Cresu uključivao je analizu 15 uzoraka s profila tla Cs-P, 4 uzorka iz profila jezgre Cs-5 i 7 uzoraka iz jezgre Cs-9, te 2 uzorka tla/paleotla Valun-5 i 6. U profilu tla Cs-P dominira dolomit, posebno u gornjem i donjem dijelu profila, dok se u sredini (120-240 cm) pojavljuje više kvarca, kalcita i minerala glina (muskovit/illit, kaolinit, klorit, vermikulit). U uzorcima u donjem dijelu profila pojavljuje se više smektitične komponente (sljedeće poglavlje). Još su prisutni kalijski feldspat, plagioklas i amfibol. U uzorcima Cs-5 dominantan je kvarc, te su još prisutni kalijski feldspati i plagioklas te minerali glina (Ms/l, Kln, Chl, V), a u gornjim uzorcima jezgre ima dolomita, dok u dubljim dijelovima nema, nego je prisutan amfibol. U jezgri Cs-9 također dominira kvarc, ali uz značajnije količine dolomita i kalcita, koje se smanjuju s dubinom, te u dubljim dijelovima preostaju samo kvarc, kalijski feldspat, plagioklas, te minerali glina (Ms/l, Kln, Chl, V) i amfibol. U uzorcima VALUN 5 i 6 pojavljuju se kvarc, kalijski feldspat, plagioklas, amfibol i minerali glina (Ms/l, Kln, Chl, V).

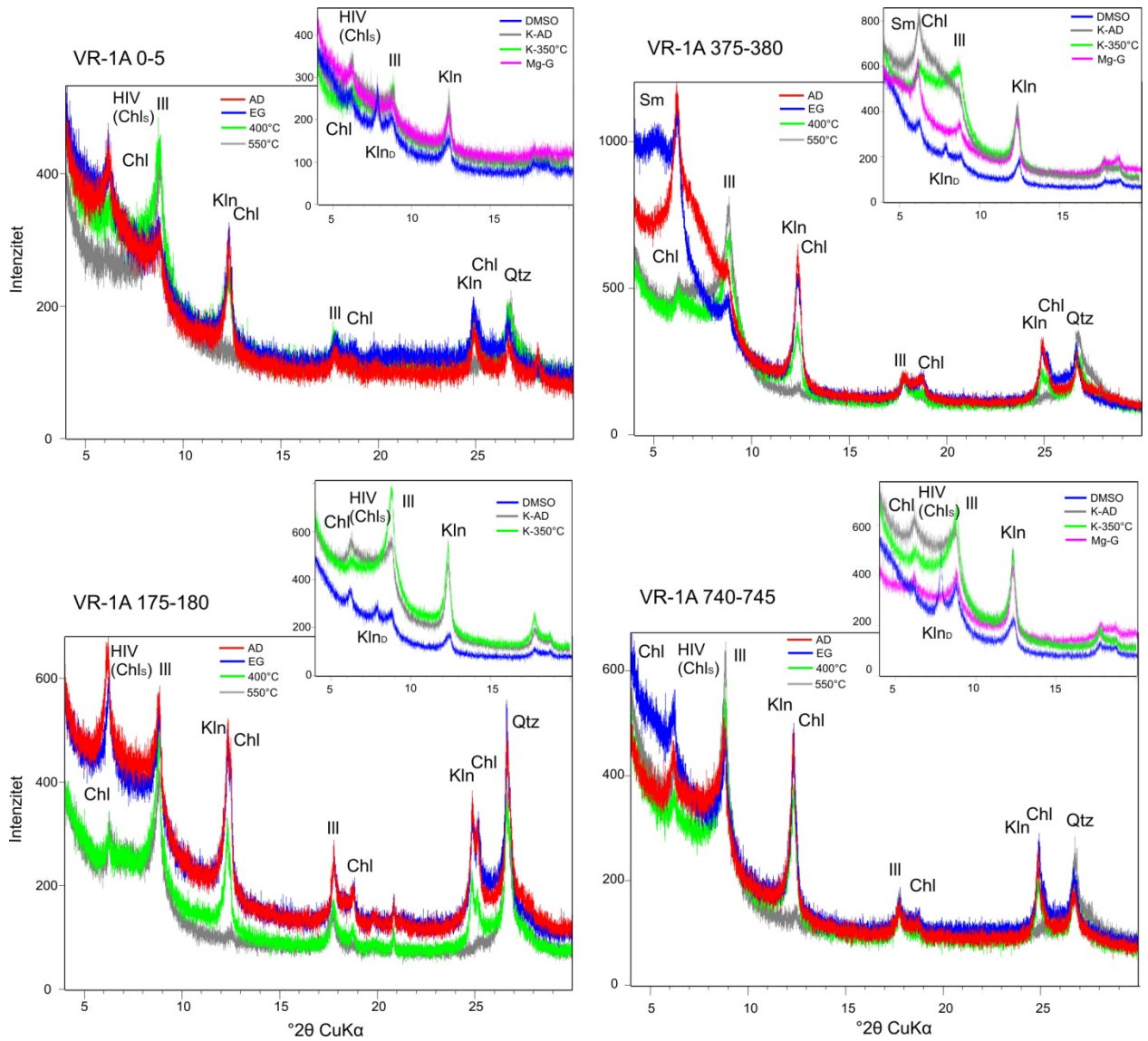
3.6.1.1. Rezultati analize minerala glina u jezgri VR-1A

Detaljna analiza minerala glina učinjena je na 13 uzoraka iz jezgre VR-1A. U tablici 15 prikazani su tretmani primijenjeni na pojedinim uzorcima i koji su minerali glina identificirani. Kroz jezgru je dosta jednoličan sastav minerala glina (slika 47). U najdubljem uzorku na 740 cm utvrđeni su klorit, hidroksil interstratificirani vermikulit ili sekundarni klorit, illit, uređen i neuređen kaolinit. Klorit je određen maksimumom na 14 Å, koji ostaje na tom mjestu nakon tretmana s etilen glikolom i žarenja, kao i nakon saturiranja s kalijem i žarenjem na 350°C. No, nakon žarenja kalijem saturiranog uzorka, došlo je do povećanja intenziteta maksimuma na 10 Å, što znači da je u uzorku prisutan i hidroksil interstratificirani vermikulit ili sekundarni klorit. Jasno su uočljivi i ostali maksimumi klorita na 7,1 i 3,53 Å, koji se poklapaju s maksimumima kaolinita, te su gotovo nestali nakon žarenja na 550°C. Kaolinit je tretmanom s DMSO određen kao uređen i neuređen, s vrlo jasnim maksimumima na 7 (neuređen) i 11,2 Å (uređen). Illit je utvrđen pomoću maksimuma na 10 i 5 Å, koji ostaju nepromijenjeni nakon svih dijagnostičkih postupaka.

Sljedeći je uzorak 400-405 cm, u kojem se nalazi smektit, klorit, illit, uređen i neuređen kaolinit. Smektit je određen maksimumom na 14 Å, koji nakon tretmana s etilen glikolom prelazi na oko 17 Å, te se nakon žarenja povećava intenzitet maksimuma na 10 Å. No, dio maksimuma na 14 Å je ostao nakon etilen glikola i nakon žarenja, te je saturiranjem s kalijem ostao na 14 Å, kao i nakon žarenja na 350°C. Kalijem saturiran uzorak je također pokazivao viši intenzitet od 10-13 Å, te nakon žarenja puno viši intenzitet na 10 Å, što znači da u uzorku ima smektita. Napravljena je i saturacija s magnezijem i glicerolom te je takav uzorak pokazao maksimum na 14 (klorit) i 17 Å (smektit). Illit i kaolinit su određeni prije spomenutim maksimumima. Slično ponašanje maksimuma imaju i uzorci 320-325, 340-345, 345-350, 375-380 cm, koji također sadrže smektit, klorit, illit i neuređen i uređen kaolinit. Maksimum uređenog kaolinita je u uzorku 375-380 cm puno nižeg intenziteta. U uzorcima iznad 380 cm više nema smektita, nego se pojavljuju klorit i hidroksil interstratificirani vermikulit ili sekundarni klorit, uz illit i uređen i neuređen kaolinit, s tim da uzorci 130-135 i 210-215 cm imaju vrlo slabe 11,2 Å maksimume uređenog kaolinita.

Tablica 15. Analizirani uzorci kroz jezgru VR-1A i dijagnostički postupci kojim su podvrgnuti, te utvrđeni minerali glina. Oznake: AD-sušen na zraku, EG-tretiran s etilen glikolom, G-tretiran s glicerolom, DMSO-dimetil sulfoksid, Ill-illit, Kln-neuređen kaolinit, Kln_D-uređen kaolinit, Chl-klorit, Sm-smektit, HIV-hidroksil interstratificirani vermikulit, Chl_S-sekundarni klorit.

VR-1A (cm)	AD	EG	400°C	550°C	DMSO	K AD	K-350°C	Mg-G	Minerali glina
5-10	x	x	x	x	x	x	x	x	Chl, HIV ili Chl _S , Ill, Kln, Kln _D
40-45	x	x	x	x					Chl, HIV ili Chl _S , Ill, Kln
80-85	x	x	x	x	x	x	x		Chl, HIV ili Chl _S , Ill, Kln, Kln _D
130-135	x	x	x	x	x	x	x		Chl, HIV ili Chl _S , Ill, Kln, Kln _D
175-180	x	x	x	x	x	x	x		Chl, HIV ili Chl _S , Ill, Kln, Kln _D
210-215	x	x	x	x	x	x	x	x	Chl, HIV ili Chl _S , Ill, Kln, Kln _D
265-270	x	x	x	x	x	x	x		Chl, HIV ili Chl _S , Ill, Kln, Kln _D
320-325	x	x	x	x	x	x	x	x	Sm, Chl, Ill, Kln, Kln _D
340-345	x	x	x	x	x			x	Sm, Chl, Ill, Kln, Kln _D
345-350	x	x	x	x	x	x	x		Sm, Chl, Ill, Kln, Kln _D
375-380	x	x	x	x	x	x	x	x	Sm, Chl, Ill, Kln, Kln _D
400-405	x	x	x	x	x	x	x	x	Sm, Chl, Ill, Kln, Kln _D
740-745	x	x	x	x	x	x	x	x	Chl, HIV ili Chl _S , Ill, Kln, Kln _D



Slika 47. Rendgenogrami orijentiranih preparata uzoraka iz jezgre VR-1A. Oznake: AD-sušen na zraku, EG- tretiran s etilen glikolom, G- tretiran s glicerolom, DMSO-dimetil sulfoksid, III-illit, Kln-neuređen kaolinit, Kln_D-uređen kaolinit, HIV-hidroksil interstratificirani vermikulit, Chl_S-sekundarni klorit, Chl-klorit, Sm-smektit.

3.6.2. Rezultati ukupnog mineralnog sastava jezgri CS-51, CS-52, CS-53, LK-2 i LK-3

U jezgrama sedimenata iz sjevernog dijela Vranskog jezera (CS-51, CS-52 i CS-53), te Lošinjskog kanala (LK-2 i LK-3) utvrđen je mineralni sastav metodom rendgenske difrakcije na prahu (tablice 16 i 17).

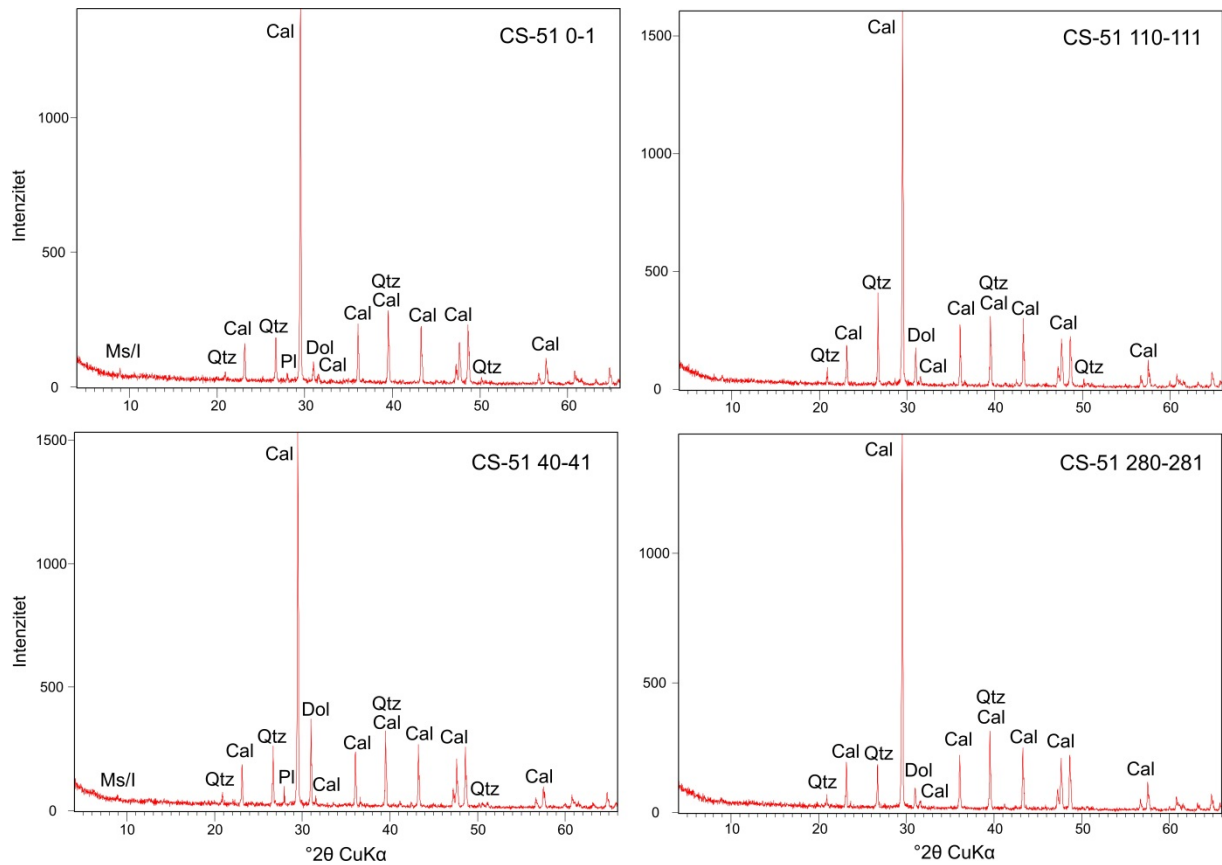
U jezgri CS-51 (slika 48) dominantna mineralna faza jest kalcit, dok su kvarc i dolomit prisutni u manjim količinama. Plagioklas i muskovit/illit prisutni su u vršnim dijelovima jezgre (uzorci 0-1 i 40-41 cm).

U jezgri CS-52 (slika 49) kalcit je dominantna mineralna faza u uzorcima do oko 230 cm, prisutni su još kvarc i dolomit, a potom se u donjim uzorcima jezgre (uzorak 260-261 cm) udio kalcita smanjuje, a kvarc postaje dominantna mineralna faza. U uzorku 260-261 cm prisutni su muskovit/illit, plagioklas, te ostali minerali glina (smektit ili klorit i kaolinit), te aragonit i amfibol. Viši udio siliciklastičnih minerala od oko 230 cm do kraja jezgre (282 cm) podudara se s visokim magnetskim susceptibilitetom tom dijelu jezgre i ukazuje na promjenu u okolišu-povećanu eroziju i donos siliciklastičnog materijala. U uzorcima 0-1 i 63-64 cm uočavaju se muskovit/illit i plagioklas, te ostali minerali glina (smektit ili klorit i kaolinit) u uzorku 63-64 cm, u kojima je vidljiv također povišeni magnetski susceptibilitet, što ukazuje na eroziju siliciklastičnog materijala.

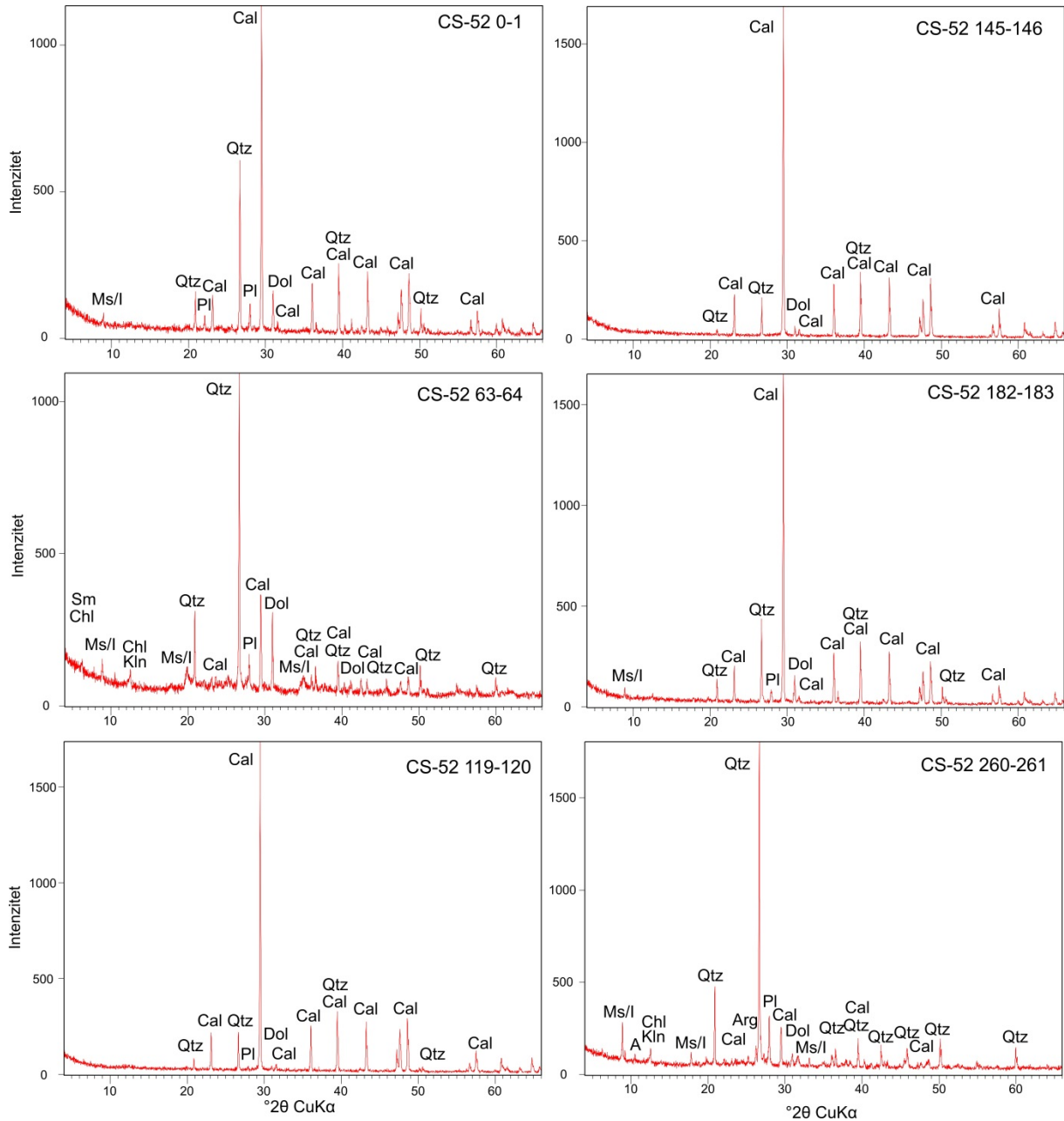
U jezgri CS-53 (slika 50) kalcit je dominantna mineralna faza, dok su u manjim količinama prisutni kvarc, dolomit, plagioklas i muskovit/illit, do oko 110 cm jezgre. Nakon toga dominantna mineralna faza jest kvarc, dok su kalcit i dolomit prisutni u vrlo malim količinama. Također, dublji dijelovi jezgre sadrže i ostale minerale glina (smektit ili klorit, kaolinit). Vidljiv je povišeni magnetski susceptibilitet u dijelovima jezgre gdje je viok udio kvarca i minerala glina, od 110. cm jezgre, što ukazuje na eroziju siliciklastičnog materijala i promjenu okoliša.

Tablica 16. Mineralni sastav u jezgrama sedimenata iz sjevernog dijela Vranskog jezera (CS-51, CS-52 i CS-53). Simboli (Kretz, 1983): Cal-kalcit, Dol-dolomit, Qtz-kvarc, Ms/I-muskovit/illit, Pl-plagioklas, Kfs-K-feldspat, Sm-smektit, Chl-klorit, Kln-kaolinit, Arg-aragonit, A-amfibol.

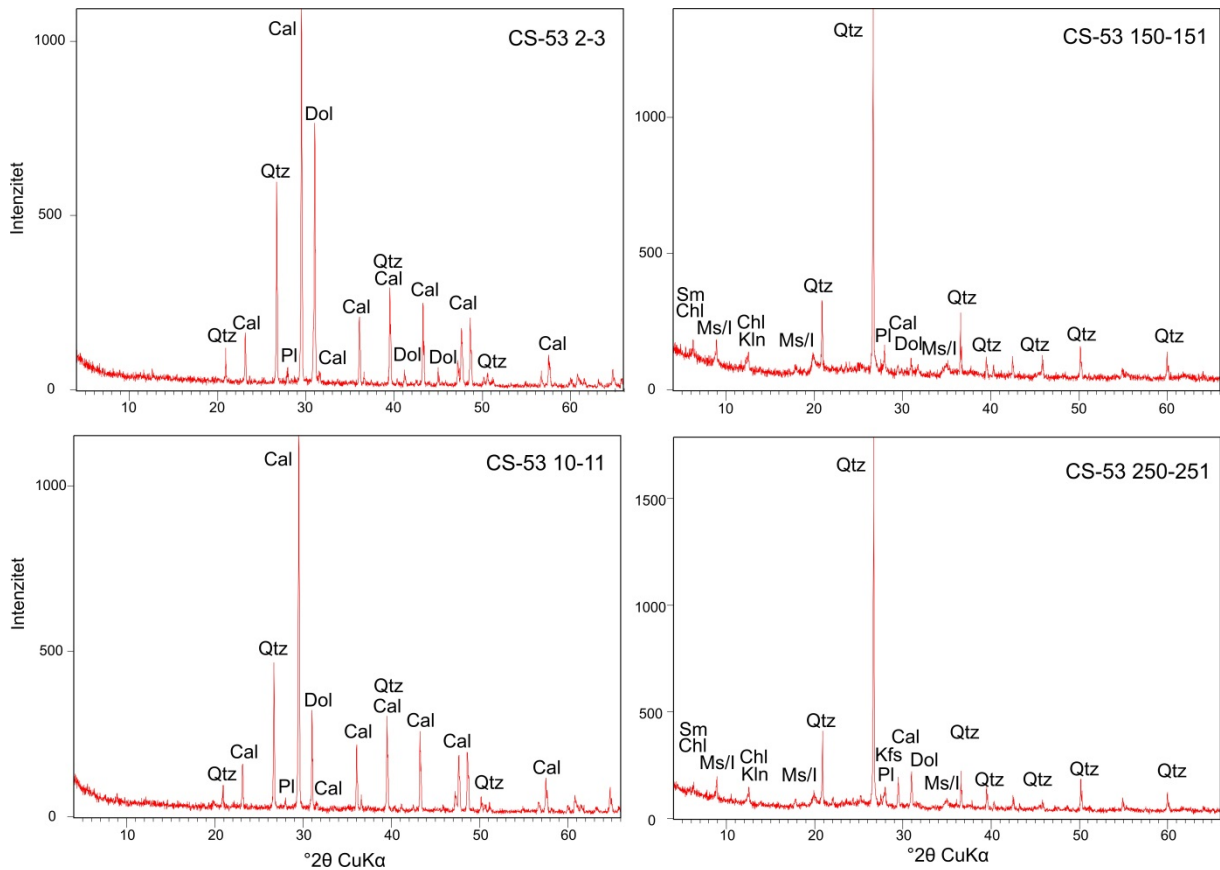
Uzorak	Mineralni sastav
CS-51	
0-1	Cal, Qtz, Dol, Ms/I, Pl
40-41	Cal, Qtz, Dol, Pl, Ms/I
75-76	Cal, Qtz, Dol
110-111	Cal, Qtz, Dol
151-152	Cal, Qtz, Dol
213-214	Cal, Qtz, Dol
280-281	Cal, Qtz, Dol
CS-52	
0-1	Cal, Qtz, Dol, Ms/I, Pl
63-64	Qtz, Cal, Dol, Ms/I, Chl ili Sm, Kln, Pl
119-120	Cal, Qtz, Dol, Pl
145-146	Cal, Qtz, Dol
182-183	Cal, Qtz, Dol, Ms/I, Pl
260-261	Qtz, Cal, Dol, Ms/I, Pl, Arg, A, Chl ili Kln
CS-53	
2-3	Cal, Qtz, Dol, Pl, Ms/I
10-11	Cal, Qtz, Dol, Pl, Ms/I
85-86	Cal, Qtz, Dol, Pl, Ms/I
150-151	Qtz, Ms/I, Sm ili Chl, Kln, Pl, Dol, Cal
200-201	Qtz, Ms/I, Sm ili Chl, Kln, Dol, Cal, Pl
250-251	Qtz, Ms/I, Sm ili Chl, Kln, Dol, Cal, Pl, Kfs



Slika 48. Rendgenogrami kroz jezgru sedimenata CS-51. Simboli minerala (Kretz, 1983): Cal-kalcit, Dol-dolomit, Qtz-kvarc, Ms/l-muskovit/illit, Pl-plagioklas.



Slika 49. Rendgenogrami kroz jezgru sedimenata CS-52. Simboli minerala (Kretz, 1983): Cal-kalcit, Dol-dolomit, Qtz-kvarc, Ms/l-muskovit/illit, Pl-plagioklas, Sm-smektit, Chl-klorit, Kln-kaolinit, Arg-aragonit, A-amfibol.



Slika 50. Rendgenogrami kroz jezgru sedimenata CS-53. Simboli minerala (Kretz, 1983): Cal-kalcit, Dol-dolomit, Qtz-kvarc, Ms/I-muskovit/illit, Pl-plagioklas, Kfs-K-feldspat, Sm-smektit, Chl-klorit, Kln-kaolinit.

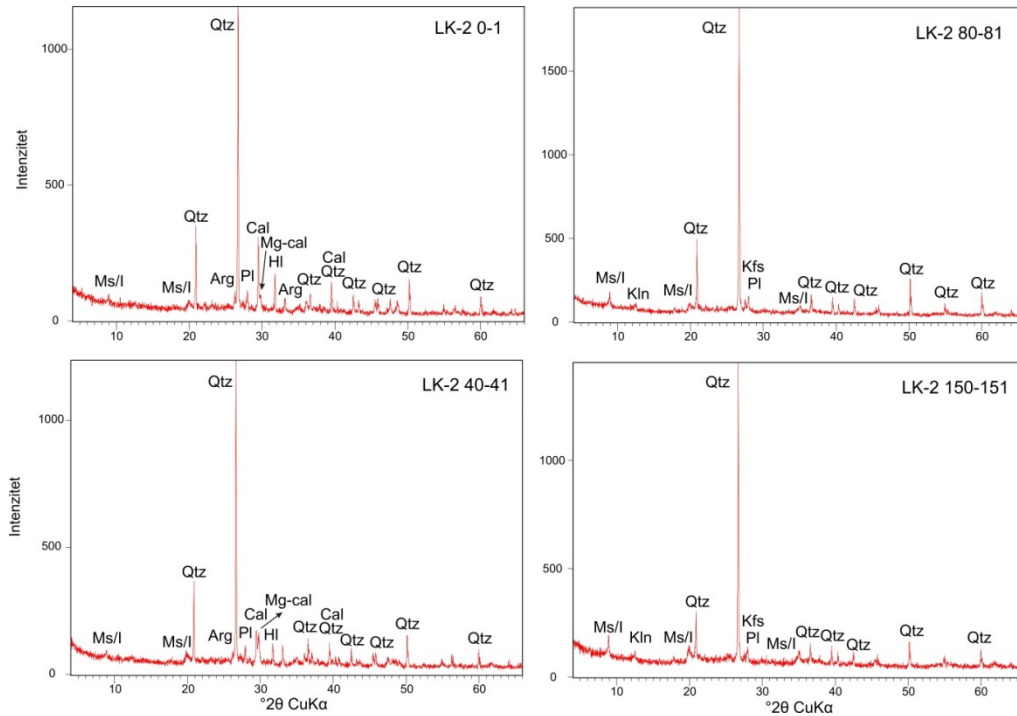
U jezgrama sedimenata Lošinjskog kanala (tablica 17), kvarc je dominantna mineralna faza u svim uzorcima, a udio kalcita se mijenja ovisno o dubini sedimenata. U uzorcima se pojavljuje halit, kao posljedica sušenja uzoraka iz morske vode.

U jezgri LK-2 (slika 51) kalcit, Mg-kalcit, aragonit i halit pojavljuju se u malim količinama u gornjim uzorcima jezgre, do 80 cm, te nakon toga više nisu prisutni. U svim uzorcima prisutni su plagioklas i muskovit/illit, dok se kaolinit pojavljuje u uzorcima od 80 cm do kraja jezgre.

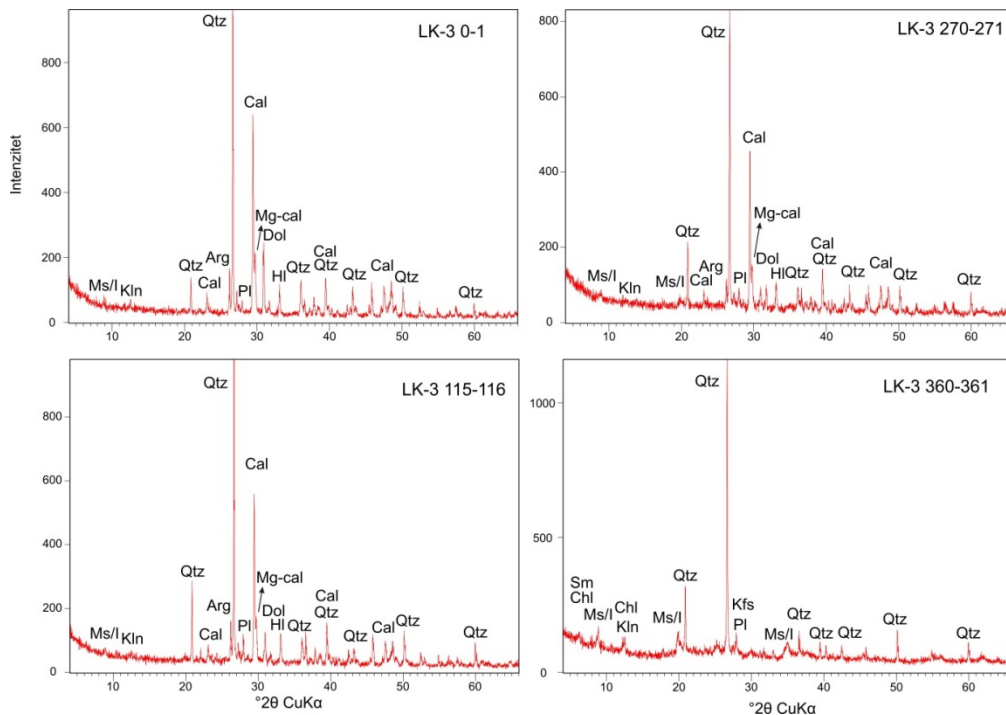
U jezgri LK-3 (slika 52) kvarc je dominantna mineralna faza, uz dosta visok udio kalcita i Mg-kalcita. Također su prisutni aragonit, dolomit i halit, a u nešto manjim količinama plagioklas, muskovit/illit i kaolinit. Iznimka je najdublje analizirani uzorak, 360-361 cm, u kojima nisu prisutni karbonatni minerali (kalcit, Mg-kalcit, aragonit i dolomit), nema ni halita, dok se pojavljuju ostali minerali glina, smektit ili klorit, te je viši udio kaolinita nego u prethodnim uzorcima.

Tablica 17. Mineralni sastav u jezgrama sedimenata iz Lošinjskog kanala (LK-2 i LK-3). Simboli (Kretz, 1983): Cal-kalcit, Mg-cal-Mg kalcit, HI-halit, Dol-dolomit, Arg-aragonit, Qtz-kvarc, Ms/l-muskovit/illit, Pl-plagioklas, Kfs-K-feldspat, Sm-smektit, Chl-klorit, Kln-kaolinit.

Uzorak	Mineralni sastav
LK-2	
0-1	Qtz, Cal, Mg-cal, HI, Arg, Ms/l, Pl
40-41	Qtz, Cal, Mg-cal, HI, Arg, Ms/l, Pl
80-81	Qtz, Ms/l, Pl, Kfs, Kln
120-121	Qtz, Ms/l, Pl, Kfs, Kln
150-152	Qtz, Ms/l, Pl, Kfs, Kln
LK-3	
0-1	Qtz, Cal, Mg-cal, HI, Arg, Dol, Pl, Ms/l, Kln
50-51	Qtz, Cal, Mg-cal, HI, Arg, Dol, Pl, Ms/l, Kln
115-116	Qtz, Cal, Mg-cal, HI, Arg, Dol, Pl, Ms/l, Kln
210-211	Qtz, Cal, Mg-cal, HI, Arg, Dol, Pl, Ms/l, Kln
225-226	Qtz, Cal, Mg-cal, HI, Arg, Dol, Pl, Ms/l, Kln
243-244	Qtz, Cal, Mg-cal, HI, Arg, Dol, Pl, Ms/l, Kln
270-271	Qtz, Cal, Mg-cal, HI, Arg, Dol, Pl, Ms/l, Kln
300-301	Qtz, Cal, Mg-cal, HI, Arg, Dol, Ms/l, Pl, Kln
360-361	Qtz, Ms/l, Sm ili Chl, Kln, Pl, Kfs



Slika 51. Rendgenogrami kroz jezru sedimenata LK-2. Simboli minerala (Kretz, 1983): Cal-kalcit, Mg-cal-Mg kalcit, HI-halit, Arg-aragonit, Qtz-kvarc, Ms/l-muskovit/illit, PI-plagioklas, Kfs-K-feldspat, Klin-kaolinit.



Slika 52. Rendgenogrami kroz jezru sedimenata LK-3. Simboli minerala (Kretz, 1983): Cal-kalcit, Mg-cal-Mg kalcit, HI-halit, Arg-aragonit, Qtz-kvarc, Ms/l-muskovit/illit, PI-plagioklas, Kfs-K-feldspat, Sm-smektit, Chl-klorit, Klin-kaolinit.

3.7. Rezultati geokemijskih analiza

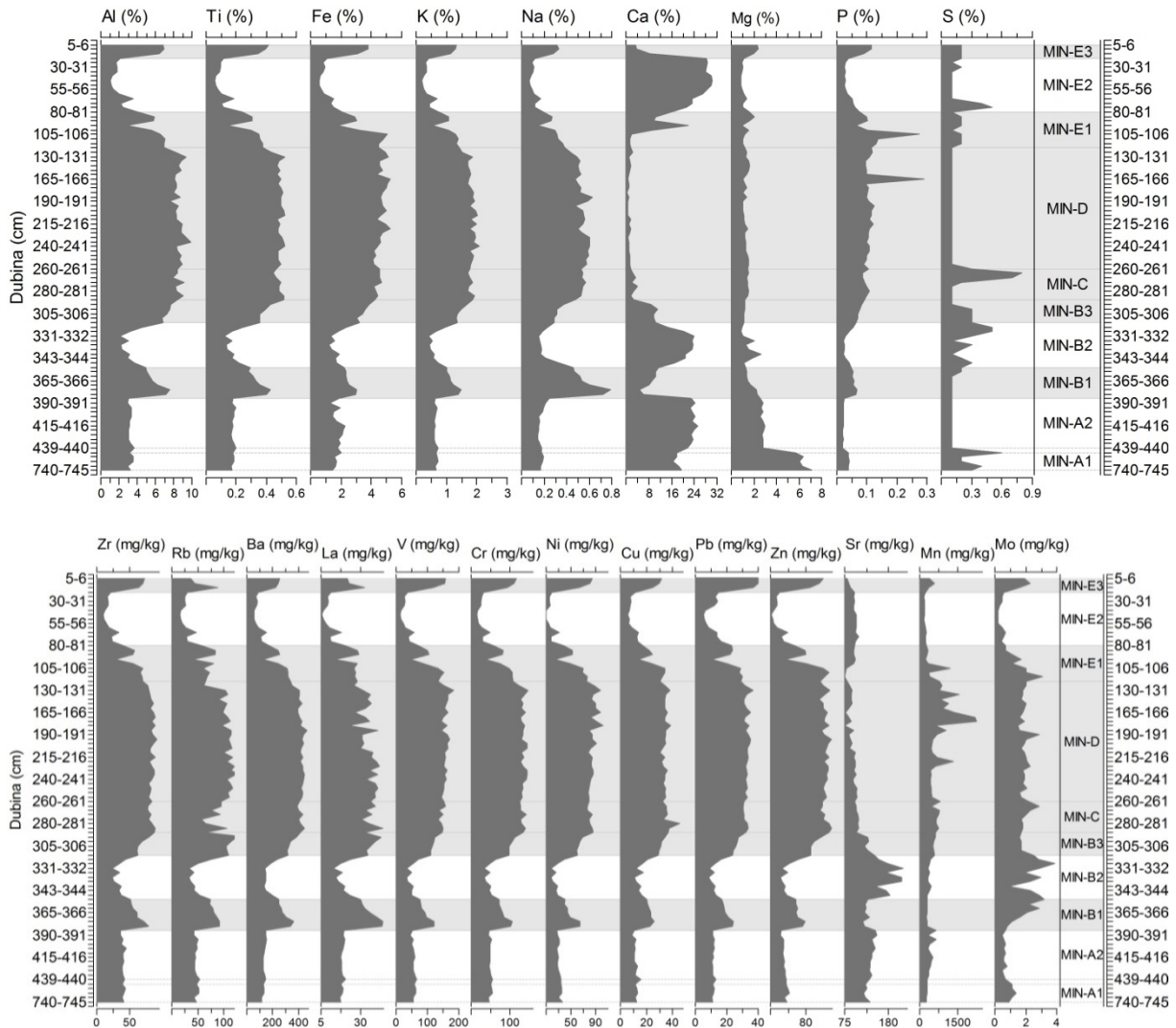
3.7.1. Rezultati analize glavnih elemenata i elemenata u tragovima

Geokemijska analiza učinjena je na ukupno 372 uzoraka iz svih 6 jezgara, od toga 96 uzoraka iz jezgre VR-1A. Rezultati su prikazani kao distribucija određenih elemenata po dubini, odvojenih kao makro (%) i mikro elementi (mg/kg). Ukupno je analizirano 46 kemijskih elemenata. Tablični prikaz rezultati analiza svih jezgri prikazan je u priložima od 4.1 do 4.6.

U jezgri **VR-1A**, prema prethodno utvrđenom mineralnom sastavu, izdvojeno je 10 zona, idući od dna jezgre prema vrhu: A1, A2, B1, B2, B3, C, D, E1, E2 i E3. Mineraloške zone su umetnute u prikaz raspodjele elemenata po dubini, pri čemu se vidi da su promjene u mineralnim fazama kroz jezgru vezane za promjene u kemijskom sastavu. Na temelju udjela Al analizirani sedimenti su podijeljeni u dvije grupe, s niskim koncentracijama Al (grupa 1) i visokim koncentracijama Al (grupa 2), prikazane na slici 53 bijelom (grupa 1) i sivom (grupa 2) pozadinom, a za svaku od tih grupa provedena je deskriptivna statistička analiza (tablice 18 i 19). Zlato ima koncentracije ispod granice detekcije (<0,1 mg/kg), te je isključeno iz statističke analize.

Udjeli makro elemenata Al, Ti, Fe, K, Na i P imaju međusobno sličnu raspodjelu po dubini jezgre i koncentracije su im više u prvim centimetrima jezgre (0-15 cm), te se nakon toga snižavaju do 100 cm. Potom rastu u intervalu od 100 do 315 cm. Zatim su ponovno niske koncentracije do 350 cm, a povećavaju se od 350 do 385 cm. Od 385 cm do kraja jezgre su opet niže koncentracije spomenutih makro elemenata. Ove promjene su u skladu s izdvojenim mineralnim zonama. Kemijski su izdvojene 2 grupe, na temelju visokih i niskih koncentracija aluminijskih elemenata. Aluminij ima niske koncentracije u grupi 1 (1,08-4,98 %), a visoke 5,08 i 9,87 % u grupi 2. Titan ima niske koncentracije u rasponu 0,057-0,292 % (grupa 1), a visoke 0,283-0,525 % (grupa 2). Željezo unutar grupe 1 varira između 0,54 i 2,32 %, dok unutar grupe 2 iznosi 2,31-5,27 %. Kalij ima niske koncentracije (grupa 1) u iznosu 0,2-1,02 %, a visoke (grupa 2) između 1,02-2,09 %. Natrij varira unutar grupe 1 između 0,07 i 0,456 %, a unutar grupe 2 između 0,263 i 0,791 %. Fosfor ima niske koncentracije unutar grupe 1 i iznose 0,018-0,077 %, a visoke koncentracije u grupi 2 (0,052-0,291 %). Kalcij ima koncentracije koje su obrnute ponašanju prethodnih makro elemenata, odnosno viši su u gornjem dijelu jezgre (0-10 cm), zatim se povećava do 100 cm, nizak je od 100 do 315 cm, potom je visok do 350 cm, nešto niži do 385 cm, a nakon toga ponovno viši do kraja jezgre. Prema utvrđenim grupama, niske koncentracije su mu unutar grupe 2 i kreću se u rasponu 0,45-11,18 %, a visoke unutar grupe 1 i iznose 11,36-30,15 %. Magnezij ima relativno

konstantan udio kroz jezgru od 0 do 370 cm (0,81-1,99 %), osim od 0-10 cm (2,28-2,41 %) te na 335 cm (2,03 %) i 343 S (svjetlije) (2,66 %). Od 375 cm do 440 cm su koncentracije više (2,2-2,94 %), a najveće su od 726-745 cm (5,7-7,12 %). Udio sumpora je uravnotežen kroz jezgru (0,1-0,3 %), uz nekoliko karakterističnih viših udjela na 70 cm (0,4 %), 72 cm (0,5 %), 265 cm (0,8 %), 268 cm (0,7 %), 320-325 cm (0,5 %) te 727 cm (0,6 %) i 739 cm (0,4 %).



Slika 53. Rezultati kemijskih analiza kroz jezgru VR-1A. Prikazana je distribucija makro elemenata (%) i mikro elemenata (mg/kg) po dubini, s utvrđenim mineralnim zonama (MIN-A1, A2, B1, B2, B3, C, D, E1, E2, E3) te bijelom i sivom pozadinom koje označavaju 1. i 2. kemijsku grupu (prema aluminiju).

Raspodjela mikro elemenata Zr, Rb, Ba, La, V, Cr, Ni, Cu, Pb, Zn i Mn kroz dubinu ima međusobno sličan trend, dok se Sr i Mo ponašaju obrnuto u odnosu na ostale elemente. Većina elemenata ima više koncentracije u prvim centimetrima jezgre (0-15 cm), te se nakon

toga snižavaju do 100 cm. Potom su viši u intervalu od 100 do 315 cm. Zatim su ponovno niske koncentracije do 350 cm, a povećavaju od 350 do 385 cm. Od 385 cm do kraja jezgre su opet niže koncentracije. Cirkonij ima niske koncentracije unutar 1. grupe u rasponu 10,7-51,8 mg/kg, a visoke unutar 2. grupe 52,6-96,3 mg/kg. Rubidij unutar 1. grupe varira između 15-76,5 mg/kg, a unutar 2. grupe između 35,8-125,7 mg/kg. Barij ima niske koncentracije (1. grupa) između 56-252 mg/kg, a visoke (2. grupa) između 224-464 mg/kg. Lantan ima nizak udio unutar 1. grupe (5,5-30,1 mg/kg), a viši unutar 2. grupe (21,9-44,6 mg/kg). Koncentracija vanadija unutar 1. grupe je od 13-75 mg/kg, unutar 2. grupe 80-184 mg/kg. Krom unutar grupe 1 ima vrijednosti 15-73 mg/kg, a unutar grupe 2 iznosi 73-147 mg/kg. Nikal iznosi unutar 1. grupe 10-41 mg/kg, a unutar 2. grupe 39,4-101,5 mg/kg. Bakar ima niske koncentracije unutar 1. grupe (5,8-20,8 mg/kg), a visoke unutar 2. grupe (21-45,6 mg/kg). Udio olova je nizak unutar 1. grupe (5,4-23,2 mg/kg), a visok unutar 2. grupe (17,7-41,9 mg/kg). Cink unutar grupe 1 varira između 14-66 mg/kg, a unutar grupe 2 između 61-131 mg/kg. Mangan iznosi unutar 1. grupe 177-672 mg/kg, a unutar 2. grupe 270-2267 mg/kg. Stroncij, s druge strane, ima visoke koncentracije unutar 1. grupe (96-216 mg/kg), a niske unutar 2. grupe (75-146 mg/kg). Molibden također ima visoke koncentracije unutar 1. grupe (0,2-3,9 mg/kg), a niže unutar 2. grupe (0,7-3,1 mg/kg).

U jezgri **CS-51** udjeli makro elemenata Al, Ti, Fe, K, Na i P imaju međusobno sličnu raspodjelu po dubini jezgre i koncentracije su im više u prvih 100 centimetrima jezgre, te se javljaju dva pika jedan na dubini 170 cm, a drugi na 240 cm (slika 54). Koncentracije su uglavnom niske zbog dominacije kalcita u sedimentima. Prosječna vrijednost Al je oko 1% (tablica 20), a u uzorcima od 100 cm naviše oko 2%. Distribucije ostalih elemenata pokazuju istu raspodjelu koja je posljedica njihove povezanosti sa detritičnim udjelom tj. siliciklastičnim mineralima. Kalcij ima koncentracije koje su obrnute ponašanje prethodnih makro elemenata, odnosno niži je u gornjem dijelu jezgre, u prosjeku 30 %, a viši u donjem dijelu 38 %, svakako je dokaz dominantne karbonatne sedimentacije.

Raspodjela mikro elemenata Zr, Rb, Ba, La, V, Cr, Ni, Cu, Pb, Zn i Mn kroz dubinu ima međusobno sličan trend, dok Sr ima slično ponašanje kao i Ca tj. obrnuto u odnosu na ostale elemente. Većina elemenata ima više koncentracije u prvih 100 centimetrima jezgre te je povezano sa makroelementima koji nose signaturu siliciklastičnog detritusa (vidi mineraloške analize).

U jezgri **CS-52** siliciklastična sedimentacija je povremno izražena pa ima nekoliko intervala sa 7 % Al, što je tipično za tla, a ovi intervali javljaju se u vršnom dijelu jezgre te u

dubljim dijelovima jezgre ispod 230 cm. Udjeli ostalih makro elemenata Ti, Fe, K, Na i P imaju međusobno sličnu raspodjelu po dubini jezgre koja je podudarna sa distribucijom Al. Koncentracije su im najviše više u donjem dijelu jezgre jezgre, te se javljaju tri pika jedan na dubini 90 cm a drugi na 60 i treći u intervalu od 0-10 cm (slika 55). Koncentracije su uglavnom niske zbog dominacije kalcita u sedimentima. Prosječna vrijednost Al je oko 3,5% (tablica 21) a u uzorcima niže od 230 cm najviše oko 7%. Distribucije ostalih elemenata pokazuju istu raspodjelu koja je posljedica njihove povezanosti sa detritičnim udjelom tj. siliciklastičnim mineralima. Kalcij ima koncentracije koje su obrnute ponašanju prethodnih makro elemenata, odnosno viši je u gornjem dijelu jezgre, u prosjeku 30 %, a u donjem dijelu pada na manje od 10 %, što je dokaz dominantne karbonatne sedimentacije kroz veći dio jezgre.

Raspodjela mikro elemenata Zr, Rb, Ba, La, V, Cr, Ni, Cu, Pb, Zn i Mn kroz dubinu ima međusobno sličan trend, dok Sr ima vlastitu distribuciju i ne ponaša se slično kao i Ca tj ima ujednačenu distribuciju neovisno o karbonatnoj sedimentaciji, uočava se blagi porast u vršnih 90 cm (slika 56).

U jezgri **CS-53** (slika 56, tablica 22) udjeli makro elemenata Al, Ti, Fe, K, Na i P imaju međusobno sličnu raspodjelu po dubini jezgre i koncentracije su im više u od 100 centimetra jezgre do kraja ja analizirane jezgre na 250, i koncentracije Al u tom dijelu jezgre iznose između 6 i 8 %. U intervalu od 95 do 30 cm svi ovi elementi imaju niske koncentracije, a dominira Ca s koncentracijama preko 30%. Distribucija Mg pokazuje da u vršnim dijelovima ove jezgre postoji mogućnost donosa detritičnog dolomita.

Raspodjela mikro elemenata Zr, Rb, Ba, La, V, Cr, Ni, Cu, Pb, Zn i Mn kroz dubinu ima niske koncentracije u intervalu 95 do 30 centimetrima jezgre gdje dominira karbonatna sedimentacija za razliku od ostalih intervala gdje su viši što je povezano sa makroelementima koji nose signaturu siliciklastičnog detritusa.

Ponašanje i distribucija elementa u jezgrama iz **Lošinjskog kanala** u nekim elementima su slični, tako da su distribucije makro elemenata Al, Ti, Fe, K, i P slične i recipročne distribuciji kalcija (slike 57 i 58, tablice 23 i 24). U marinskim sedimentima slične distribucije imaju Ca, Na, Sr i Mo, dok ostali mikroelementi i makroelementi su vezani za udio detritične siliciklastične frakcije sedimenta.

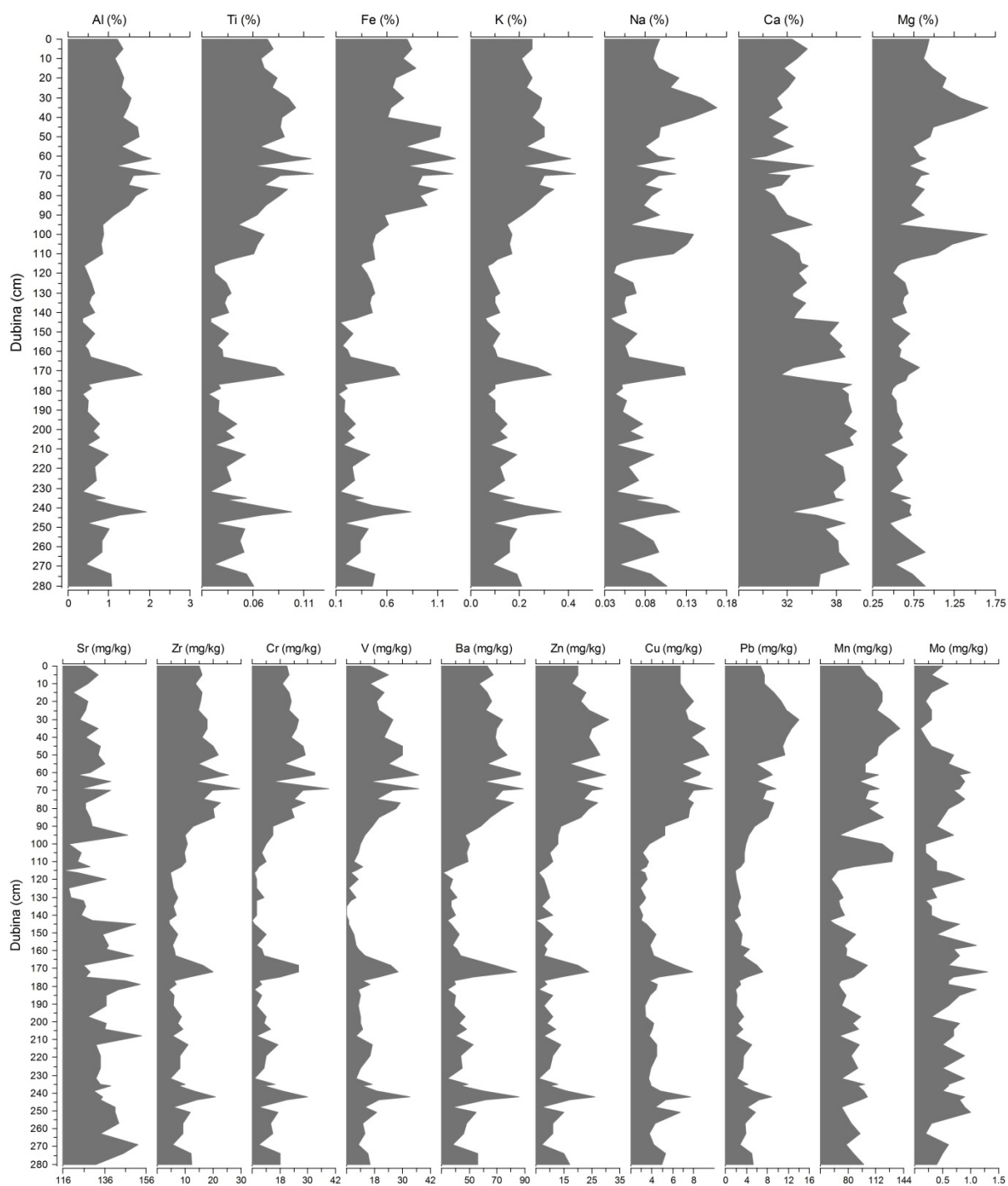
Jezgre LK-2 i LK-3 pokazuju različiti razvoj - dok se u LK-3 uočava postepeni porast morskog utjecaja na sedimente, u jezgri LK-2 vidljivo je da je došlo do naglog potapljanja ponkive sa crvenicom (slika 57).

Tablica 18. Osnovni statistički parametri analiziranih elemenata unutar grupe 1 (prema Al) za jezgru VR-1A.

Element	N	Minimum	Maksimum	Prosječna vr.	Medijan	Standardna devijacija
Ag (mg/kg)	41	0,05	0,2	0,06	0,05	0,04
Al (%)	41	1,08	4,98	2,86	3,06	0,88
As (mg/kg)	41	1	21	5,54	4	4,30
Ba (mg/kg)	41	56	252	130,78	132	42,03
Be (mg/kg)	41	0,5	2	0,99	1	0,55
Bi (mg/kg)	41	0,1	0,6	0,20	0,2	0,08
Ca (%)	41	11,36	30,15	22,77	23,21	4,29
Cd (mg/kg)	41	0,05	0,6	0,28	0,3	0,15
Ce (mg/kg)	41	11	62	32,12	35	10,55
Co (mg/kg)	41	2,1	11	6,72	7	2,17
Cr (mg/kg)	41	15	73	42,63	46	13,18
Cu (mg/kg)	41	5,8	20,8	12,15	11,8	3,49
Fe (%)	41	0,54	2,32	1,52	1,6	0,49
Hf (mg/kg)	41	0,3	1,2	0,88	1	0,29
In (mg/kg)	41	0,025	0,1	0,03	0,025	0,02
K (%)	41	0,2	1,02	0,56	0,6	0,18
La (mg/kg)	41	5,5	30,1	16,23	18	5,22
Li (mg/kg)	41	9,7	39,6	26,42	27,6	8,25
Mg (%)	41	0,81	7,12	2,29	1,65	1,69
Mn (mg/kg)	41	177	672	324,10	310	114,69
Mo (mg/kg)	41	0,2	3,9	1,14	0,7	0,97
Na (%)	41	0,07	0,456	0,17	0,161	0,07
Nb (mg/kg)	41	1,9	9,8	5,37	5,9	1,70
Ni (mg/kg)	41	10	41	25,9	28,5	8,31
P (%)	41	0,018	0,077	0,03	0,028	0,01
Pb (mg/kg)	41	5,4	23,2	11,75	11,6	3,12
Rb (mg/kg)	41	15	76,5	41,26	43,6	13,43
Re (mg/kg)	41	0,0025	0,008	0,00	0,0025	0,00
S (%)	41	0,1	0,6	0,20	0,1	0,14
Sb (mg/kg)	41	0,1	0,7	0,40	0,4	0,14
Sc (mg/kg)	41	1	9	4,54	5	1,55
Se (mg/kg)	41	0,5	2	0,62	0,5	0,29
Sn (mg/kg)	41	0,4	68,2	3,23	1,3	10,43
Sr (mg/kg)	41	96	216	134,49	135	32,95
Ta (mg/kg)	41	0,1	0,7	0,37	0,4	0,13
Te (mg/kg)	41	0,25	7,5	1,94	1,2	2,06
Th (mg/kg)	41	1,7	10,1	5,57	6,2	1,89
Ti (%)	41	0,057	0,292	0,16	0,173	0,05
Tl (mg/kg)	41	0,25	0,8	0,49	0,5	0,17
U (mg/kg)	41	0,7	2,7	1,76	1,7	0,49
V (mg/kg)	41	13	75	47,29	53	15,54
W (mg/kg)	41	0,2	1,2	0,70	0,8	0,25
Y (mg/kg)	41	4	16,9	9,56	10,3	2,73
Zn (mg/kg)	41	14	66	37,02	38	11,26
Zr (mg/kg)	41	10,7	51,8	32,36	36,2	10,79

Tablica 19. Osnovni statistički parametri analiziranih elemenata unutar grupe 2 (prema Al), za jezgru VR-1A.

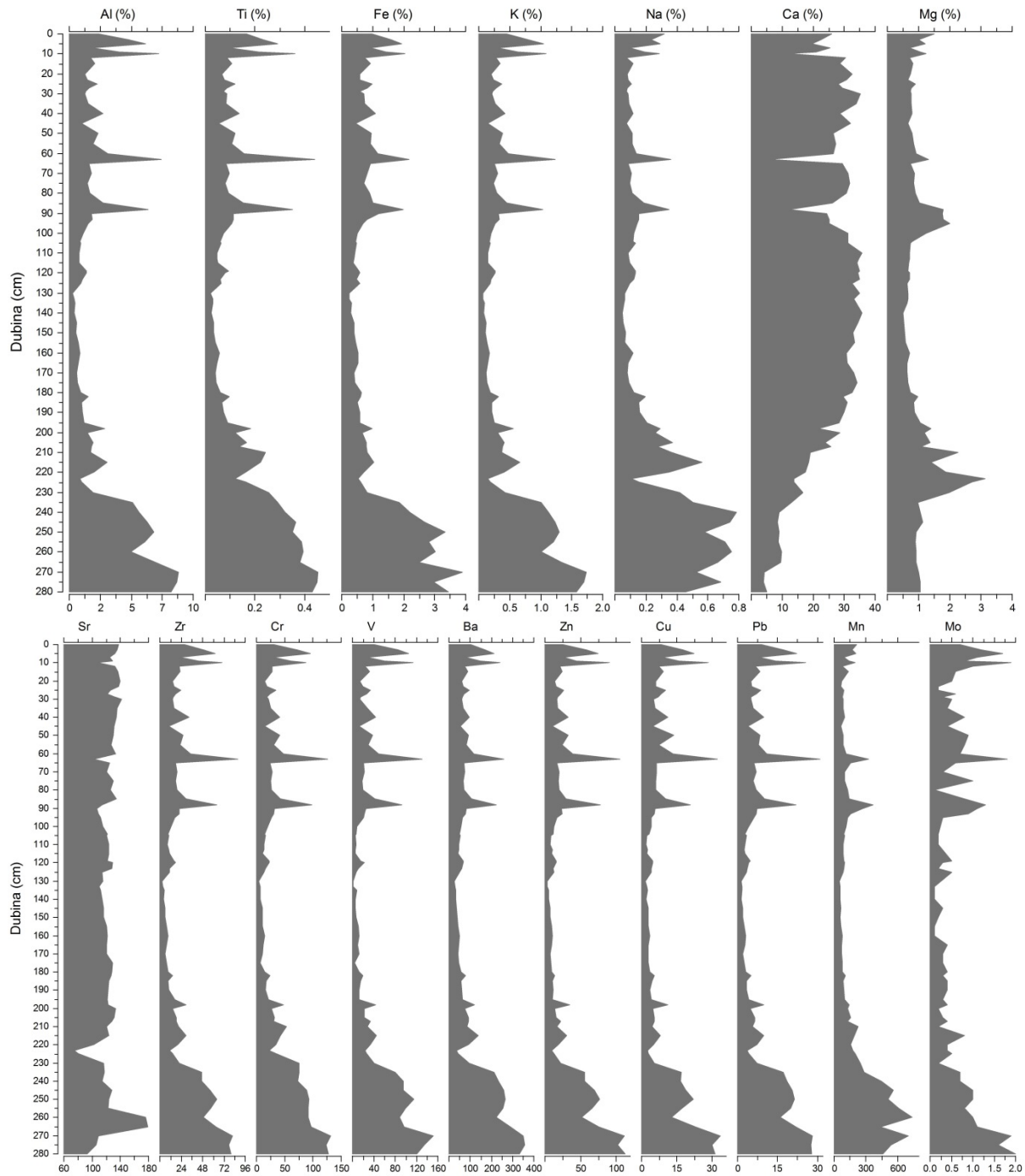
Element	N	Minimum	Maksimum	Prosječna vr.	Medijan	Standardna devijacija
Ag (mg/kg)	55	0,05	0,1	0,07	0,05	0,02
Al (%)	55	5,08	9,87	7,81	8,26	1,13
As (mg/kg)	55	6	46	13,73	12	6,40
Ba (mg/kg)	55	224	464	373,84	406	67,97
Be (mg/kg)	55	1	4	3,05	3	0,84
Bi (mg/kg)	55	0,4	1,2	0,61	0,6	0,13
Ca (%)	55	0,45	11,18	3,61	1,81	3,53
Cd (mg/kg)	55	0,2	0,9	0,6	0,6	0,15
Ce (mg/kg)	55	47	93	71,96	73	10,34
Co (mg/kg)	55	11,3	24,6	18,86	19,2	3,03
Cr (mg/kg)	55	73	147	119,93	129	20,93
Cu (mg/kg)	55	21	45,6	32,03	33,8	4,80
Fe (%)	55	2,31	5,27	4,15	4,43	0,80
Hf (mg/kg)	55	1,5	2,8	2,18	2,3	0,32
In (mg/kg)	55	0,025	0,14	0,06	0,07	0,03
K (%)	55	1,02	2,09	1,62	1,74	0,30
La (mg/kg)	55	21,9	44,6	34,49	34,7	5,74
Li (mg/kg)	55	38,7	100,2	74,59	80,3	15,08
Mg (%)	55	0,99	2,41	1,40	1,34	0,34
Mn (mg/kg)	55	270	2267	679,51	567	423,97
Mo (mg/kg)	55	0,7	3,1	1,88	1,9	0,45
Na (%)	55	0,263	0,791	0,49	0,519	0,12
Nb (mg/kg)	55	9,4	17,8	14,69	15,6	2,29
Ni (mg/kg)	55	39,4	101,5	75,88	79,8	14,27
P (%)	55	0,052	0,291	0,10	0,099	0,04
Pb (mg/kg)	55	17,7	41,9	30,22	31,8	5,18
Rb (mg/kg)	55	35,8	125,7	94,09	100,2	20,73
Re (mg/kg)	55	0,0025	0,007	0,00	0,0025	0,00
S (%)	55	0,1	0,8	0,16	0,1	0,13
Sb (mg/kg)	55	0,4	1,6	1,14	1,2	0,29
Sc (mg/kg)	55	8	15	12,76	13	1,94
Se (mg/kg)	55	0,5	3	0,9	1	0,54
Sn (mg/kg)	55	2,6	76,6	13,49	5,6	14,74
Sr (mg/kg)	55	75	146	100,33	97	16,69
Ta (mg/kg)	55	0,6	1,3	1,02	1,1	0,18
Te (mg/kg)	55	0,25	2,2	0,42	0,25	0,42
Th (mg/kg)	55	9,7	15,8	13,47	13,4	1,60
Ti (%)	55	0,283	0,525	0,44	0,475	0,07
Tl (mg/kg)	55	0,8	1,9	1,42	1,5	0,25
U (mg/kg)	55	2,2	6,6	3,58	3,4	0,87
V (mg/kg)	55	80	184	140,69	150	24,59
W (mg/kg)	55	1,2	2,5	1,98	2,1	0,37
Y (mg/kg)	55	16,9	27,1	22,31	22,8	2,75
Zn (mg/kg)	55	61	131	108,13	115	18,87
Zr (mg/kg)	55	52,8	96,3	77,40	80,8	10,99



Slika 54. Rezultati kemijskih analiza kroz jezgru CS-51. Prikazana je distribucija odabranih makro elemenata (%) i mikro elemenata (mg/kg) po dubini.

Tablica 20. Osnovni statistički parametri analiziranih elemenata za jezgru CS-51.

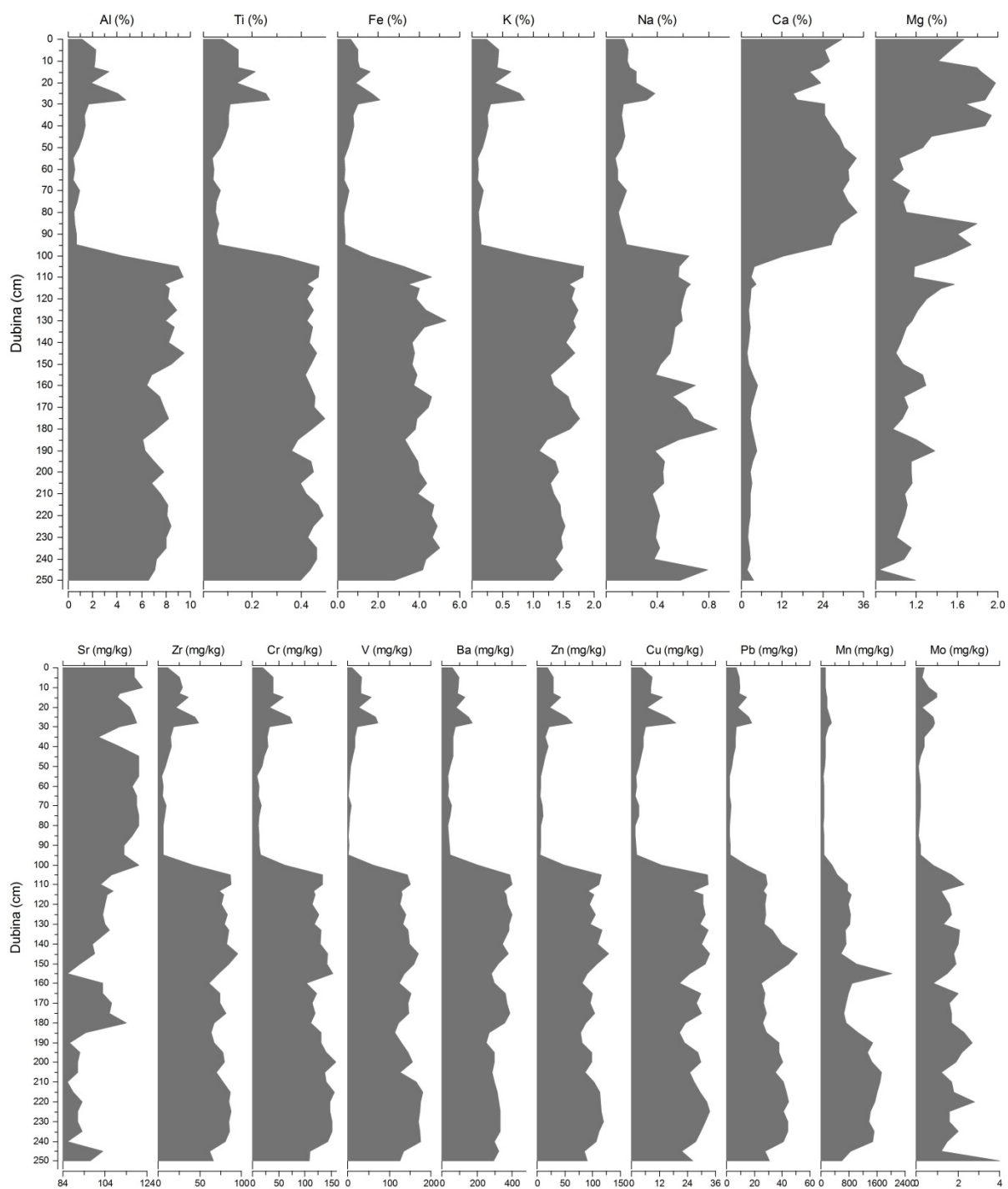
Element	N	Prosječna vr.	Minimum	Maksimum	Standardna devijacija
Ag (mg/kg)	69	0,10	0,10	0,10	0,00
Al (%)	69	0,99	0,35	2,26	0,50
As (mg/kg)	69	1,80	1,00	6,00	1,32
Ba (mg/kg)	69	53,65	31,00	89,00	15,79
Be (mg/kg)	69	1,00	1,00	1,00	0,00
Bi (mg/kg)	69	0,10	0,10	0,20	0,01
Ca (%)	69	35,17	26,49	101,00	8,75
Cd (mg/kg)	69	0,15	0,10	0,50	0,08
Ce (mg/kg)	69	13,23	4,00	25,00	5,99
Co (mg/kg)	69	2,49	0,60	6,70	1,49
Cr (mg/kg)	69	16,29	6,00	39,00	7,99
Cu (mg/kg)	69	5,20	2,10	10,60	2,40
Fe (%)	69	0,55	0,14	1,30	0,31
Hf (mg/kg)	69	0,31	0,10	0,80	0,16
In (mg/kg)	69	0,05	0,05	0,05	0,00
K (%)	69	0,18	0,06	0,43	0,09
La (mg/kg)	69	7,11	2,30	13,80	3,15
Li (mg/kg)	69	9,13	3,10	20,30	4,78
Mg (%)	69	0,76	0,46	1,66	0,26
Mn (mg/kg)	69	92,52	59,00	140,00	19,64
Mo (mg/kg)	69	0,58	0,10	1,30	0,26
Na (%)	69	0,08	0,04	0,17	0,03
Nb (mg/kg)	69	2,05	0,80	4,60	0,94
Ni (mg/kg)	69	8,96	0,90	29,10	6,38
P (%)	69	0,01	0,01	0,02	0,00
Pb (mg/kg)	69	5,36	1,70	14,10	3,13
Rb (mg/kg)	69	13,48	4,60	31,60	7,00
Re (mg/kg)	69	0,01	0,01	0,01	0,00
S (%)	69	0,36	0,10	0,70	0,13
Sb (mg/kg)	69	0,16	0,10	0,40	0,08
Sc (mg/kg)	69	1,83	1,00	4,00	0,87
Se (mg/kg)	69	1,10	1,00	2,00	0,30
Sn (mg/kg)	69	2,35	0,10	27,20	5,36
Sr (mg/kg)	69	132,94	116,00	154,00	8,56
Ta (mg/kg)	69	0,14	0,10	0,30	0,05
Te (mg/kg)	69	8,65	0,50	27,80	6,77
Th (mg/kg)	69	1,91	0,60	4,00	0,94
Ti (%)	69	0,06	0,02	0,12	0,03
Tl (mg/kg)	69	0,50	0,50	0,50	0,00
U (mg/kg)	69	1,01	0,60	1,60	0,24
V (mg/kg)	69	16,81	6,00	37,00	7,73
W (mg/kg)	69	0,23	0,10	0,60	0,12
Y (mg/kg)	69	3,87	1,30	7,60	1,77
Zn (mg/kg)	69	14,96	5,00	31,00	7,30
Zr (mg/kg)	69	11,68	4,30	29,50	5,99



Slika 55. Rezultati kemijskih analiza kroz jezgru CS-52. Prikazana je distribucija odabranih makro elemenata (%) i mikro elemenata (mg/kg) po dubini.

Tablica 21. Osnovni statistički parametri analiziranih elemenata za jezgru CS-52.

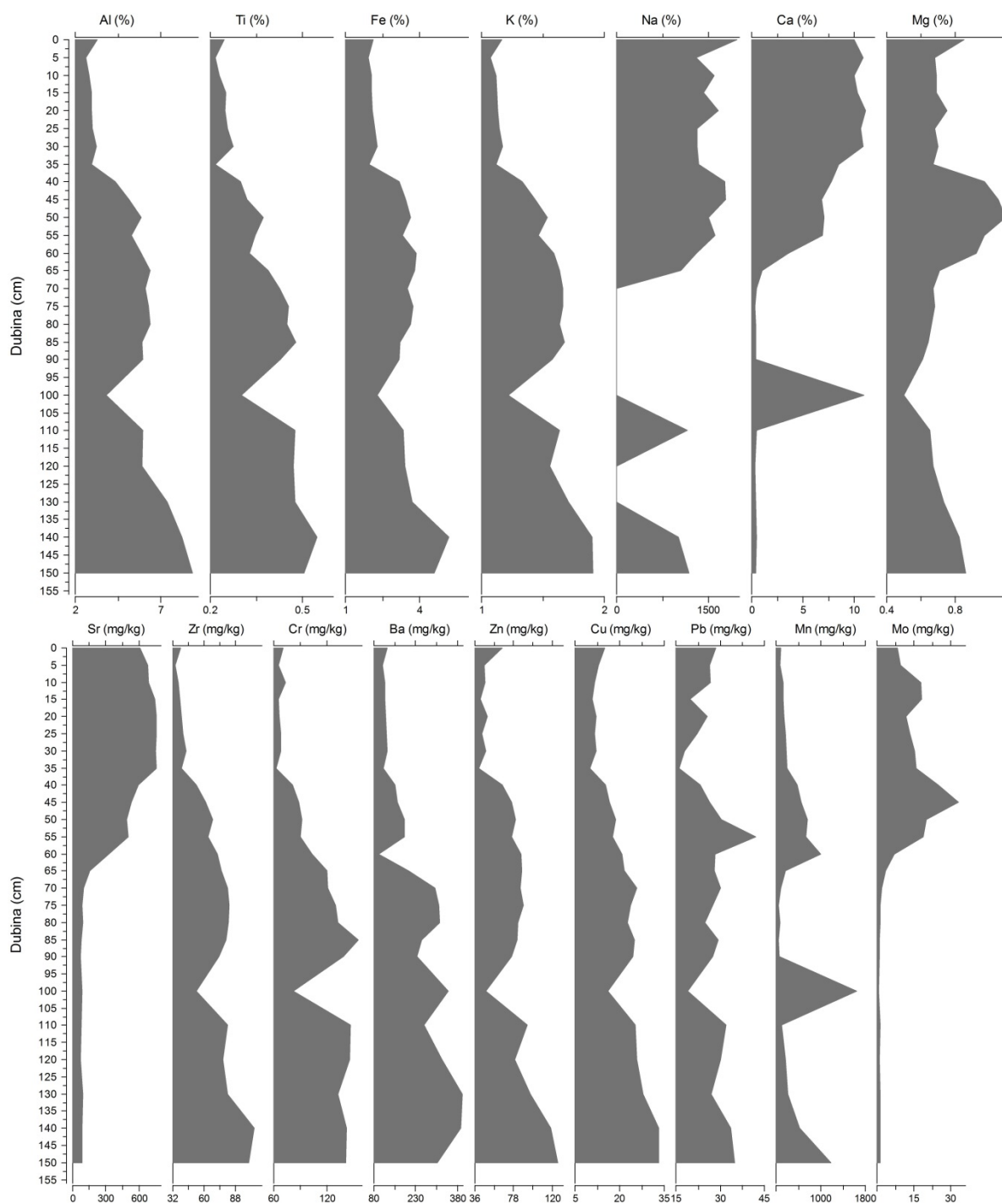
Element	N	Prosječna vr.	Minimum	Maksimum	Standardna devijacija
Ag (mg/kg)	76	0,10	0,10	0,20	0,01
Al (%)	76	2,38	0,26	8,45	2,16
As (mg/kg)	76	4,39	1,00	13,00	2,91
Ba (mg/kg)	76	106,04	26,00	358,00	83,20
Be (mg/kg)	76	1,21	1,00	4,00	0,57
Bi (mg/kg)	76	0,16	0,10	0,60	0,12
Ca (%)	76	25,34	3,98	35,82	9,31
Cd (mg/kg)	76	0,24	0,10	0,80	0,19
Ce (mg/kg)	76	31,97	6,00	107,00	23,77
Co (mg/kg)	76	5,00	0,40	18,80	4,59
Cr (mg/kg)	76	39,05	4,00	131,00	33,14
Cu (mg/kg)	76	8,96	1,70	33,60	8,00
Fe (%)	76	1,05	0,23	3,89	0,84
Hf (mg/kg)	76	0,70	0,10	2,50	0,59
In (mg/kg)	76	0,05	0,05	0,10	0,01
K (%)	76	0,45	0,06	1,73	0,42
La (mg/kg)	76	16,06	3,10	53,60	11,81
Li (mg/kg)	76	20,47	2,10	78,40	19,49
Mg (%)	76	1,02	0,51	3,13	0,49
Mn (mg/kg)	76	173,75	49,00	735,00	157,82
Mo (mg/kg)	76	0,60	0,10	2,00	0,48
Na (%)	76	0,22	0,05	0,78	0,20
Nb (mg/kg)	76	4,71	0,60	15,80	4,00
Ni (mg/kg)	76	21,43	0,20	81,30	20,76
P (%)	76	0,01	0,00	0,04	0,01
Pb (mg/kg)	76	8,75	1,30	30,80	7,52
Rb (mg/kg)	76	29,29	3,40	97,10	23,83
Re (mg/kg)	76	0,01	0,01	0,01	0,00
S (%)	76	0,24	0,10	0,60	0,14
Sb (mg/kg)	76	0,36	0,10	1,30	0,35
Sc (mg/kg)	76	4,07	1,00	15,00	3,47
Se (mg/kg)	76	1,30	1,00	4,00	0,73
Sn (mg/kg)	76	3,45	0,10	84,90	10,02
Sr (mg/kg)	76	122,99	75,00	179,00	14,99
Ta (mg/kg)	76	0,34	0,10	1,10	0,28
Te (mg/kg)	76	1,61	0,50	4,70	1,13
Th (mg/kg)	76	5,00	0,80	15,20	3,92
Ti (%)	76	0,15	0,02	0,46	0,12
Tl (mg/kg)	76	0,62	0,50	1,60	0,27
U (mg/kg)	76	1,35	0,40	3,20	0,66
V (mg/kg)	76	37,80	1,00	152,00	37,57
W (mg/kg)	76	0,57	0,10	2,10	0,51
Y (mg/kg)	76	8,54	1,80	23,60	6,32
Zn (mg/kg)	76	29,07	3,00	113,00	27,74
Zr (mg/kg)	76	25,52	2,90	87,60	21,26



Slika 56. Rezultati kemijskih analiza kroz jezgru CS-53. Prikazana je distribucija odabranih makro elemenata (%) i mikro elemenata (mg/kg) po dubini.

Tablica 22. Osnovni statistički parametri analiziranih elemenata za jezgru CS-53.

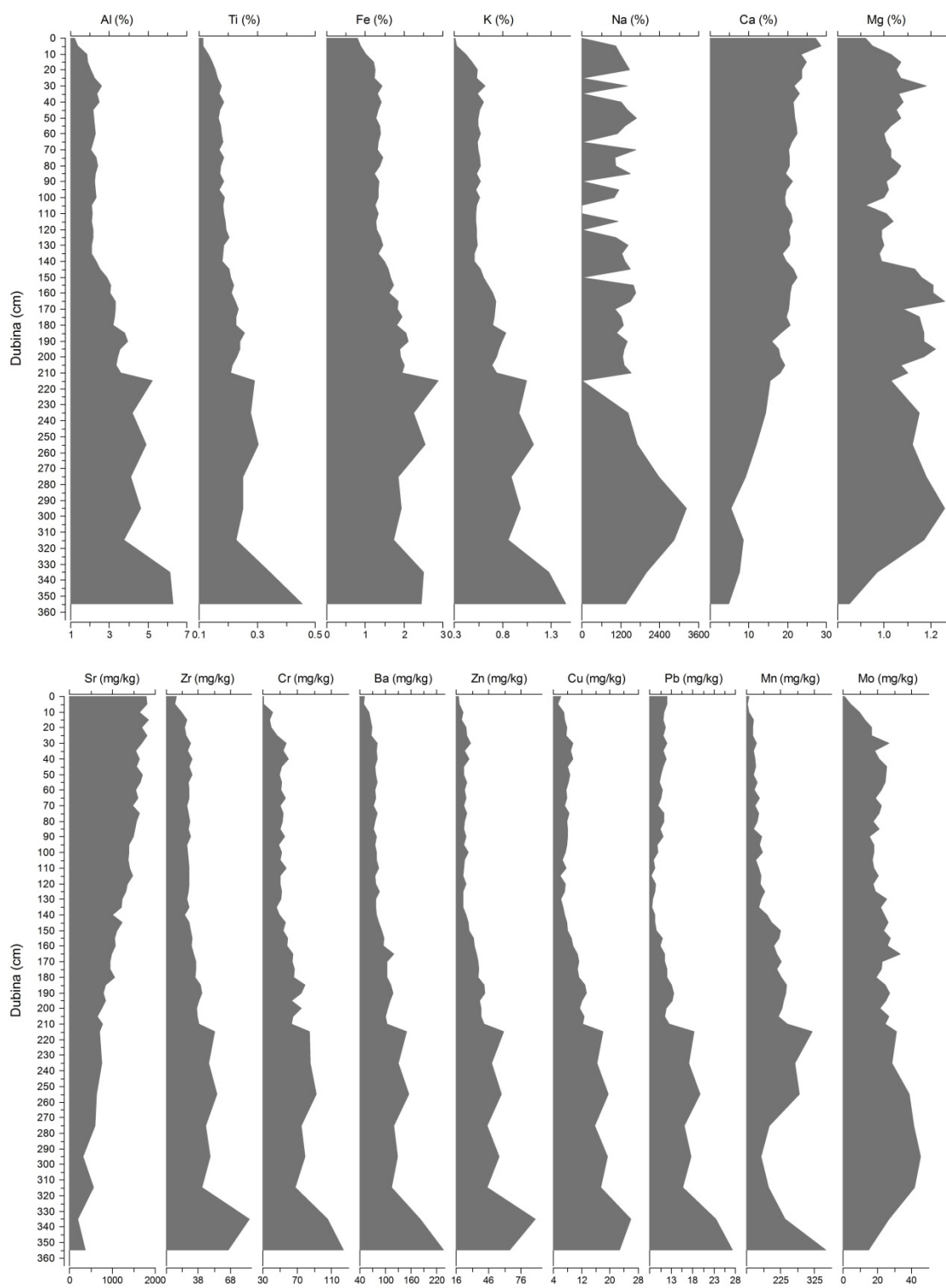
Element	N	Prosječna vr.	Minimum	Maksimum	Standardna devijacija
Ag (mg/kg)	54	0,12	0,10	0,20	0,04
Al (%)	54	5,17	0,43	9,49	3,25
As (mg/kg)	54	11,78	1,00	21,00	6,64
Ba (mg/kg)	54	225,39	34,00	401,00	136,82
Be (mg/kg)	54	2,19	1,00	4,00	1,12
Bi (mg/kg)	54	0,37	0,10	0,80	0,22
Ca (%)	54	12,81	1,65	34,21	12,20
Cd (mg/kg)	54	0,38	0,10	1,00	0,23
Ce (mg/kg)	54	58,30	11,00	102,00	30,64
Co (mg/kg)	54	14,21	1,10	47,50	10,17
Cr (mg/kg)	54	88,17	9,00	158,00	53,79
Cu (mg/kg)	54	18,92	1,50	33,40	11,96
Fe (%)	54	2,70	0,32	5,34	1,72
Hf (mg/kg)	54	1,48	0,10	2,70	0,91
In (mg/kg)	54	0,07	0,05	0,17	0,04
K (%)	54	1,01	0,09	1,83	0,63
La (mg/kg)	54	26,64	5,10	42,70	13,31
Li (mg/kg)	54	44,41	2,70	84,10	28,59
Mg (%)	54	1,31	0,83	1,98	0,31
Mn (mg/kg)	54	670,28	72,00	2018,00	566,12
Mo (mg/kg)	54	1,22	0,10	4,00	0,86
Na (%)	54	0,38	0,07	0,87	0,21
Nb (mg/kg)	54	9,81	0,90	16,90	5,88
Ni (mg/kg)	54	53,14	2,60	113,50	35,94
P (%)	54	0,028	0,002	0,063	0,019
Pb (mg/kg)	54	22,66	1,90	51,20	15,27
Rb (mg/kg)	54	52,66	4,90	101,10	30,22
Re (mg/kg)	54	0,01	0,01	0,01	0,00
S (%)	54	0,12	0,10	0,30	0,05
Sb (mg/kg)	54	0,84	0,10	2,00	0,57
Sc (mg/kg)	54	8,83	1,00	16,00	5,31
Se (mg/kg)	54	1,04	1,00	2,00	0,19
Sn (mg/kg)	54	3,26	0,20	19,70	3,65
Sr (mg/kg)	54	105,65	86,00	122,00	11,37
Ta (mg/kg)	54	0,68	0,10	1,20	0,42
Te (mg/kg)	54	1,29	0,50	8,10	1,36
Th (mg/kg)	54	9,16	1,40	16,80	5,02
Ti (%)	54	0,30	0,04	0,50	0,17
Tl (mg/kg)	54	1,03	0,50	1,90	0,46
U (mg/kg)	54	2,00	0,50	3,30	0,86
V (mg/kg)	54	93,28	1,00	181,00	65,80
W (mg/kg)	54	1,28	0,10	2,50	0,82
Y (mg/kg)	54	16,28	2,70	26,70	8,85
Zn (mg/kg)	54	66,83	5,00	129,00	42,61
Zr (mg/kg)	54	52,49	4,70	95,70	31,87



Slika 57. Rezultati kemijskih analiza kroz jezgru LK-2. Prikazana je distribucija odabranih makro elemenata (%) i mikro elemenata (mg/kg) po dubini.

Tablica 23. Osnovni statistički parametri analiziranih elemenata za jezgru LK-2.

Element	N	Prosječna vr.	Minimum	Maksimum	Standardna devijacija
Ag (mg/kg)	25	0,11	0,10	0,30	0,04
Al (%)	25	5,50	3,03	9,25	1,80
As (mg/kg)	25	23,04	9,00	45,00	9,99
Ba (mg/kg)	25	216,16	97,00	397,00	96,73
Be (mg/kg)	25	2,48	1,00	4,00	0,96
Bi (mg/kg)	25	0,40	0,20	0,60	0,12
Ca (%)	25	5,23	0,31	11,12	4,62
Cd (mg/kg)	25	0,31	0,10	1,00	0,24
Ce (mg/kg)	25	79,72	59,00	110,00	13,86
Co (mg/kg)	25	14,06	5,20	27,60	6,51
Cr (mg/kg)	25	103,32	63,00	156,00	32,70
Cu (mg/kg)	25	19,59	9,90	33,20	6,94
Fe (%)	25	3,12	1,92	5,22	0,89
Hf (mg/kg)	25	1,80	0,90	2,80	0,57
In (mg/kg)	25	0,07	0,05	0,19	0,03
K (%)	25	1,27	0,71	1,96	0,39
La (mg/kg)	25	35,98	28,10	51,50	5,47
Li (mg/kg)	25	69,37	40,00	94,70	19,05
Mg (%)	25	0,72	0,46	1,05	0,15
Mn (mg/kg)	25	504,84	245,00	1652,00	341,57
Mo (mg/kg)	25	9,25	0,60	33,10	9,20
Na (%)	25	969,09	0,64	1963,00	712,75
Nb (mg/kg)	25	12,02	6,70	19,00	3,76
Ni (mg/kg)	25	53,27	27,40	95,50	19,28
P (%)	25	0,025	0,013	0,038	0,007
Pb (mg/kg)	25	27,08	16,10	42,00	5,63
Rb (mg/kg)	25	79,12	43,10	125,10	25,31
Re (mg/kg)	25	0,02	0,01	0,06	0,02
S (%)	25	1,03	0,10	3,00	0,87
Sb (mg/kg)	25	0,96	0,60	1,50	0,22
Sc (mg/kg)	25	9,96	6,00	15,00	3,03
Se (mg/kg)	25	1,12	1,00	2,00	0,33
Sn (mg/kg)	25	4,96	1,30	41,20	7,75
Sr (mg/kg)	25	370,60	71,00	758,00	291,15
Ta (mg/kg)	25	0,84	0,50	1,20	0,25
Te (mg/kg)	25	0,76	0,50	2,10	0,43
Th (mg/kg)	25	11,76	7,80	16,40	2,62
Ti (%)	25	0,36	0,22	0,55	0,10
Tl (mg/kg)	25	0,96	0,50	1,50	0,28
U (mg/kg)	25	4,43	1,70	8,90	2,30
V (mg/kg)	25	98,60	62,00	165,00	28,09
W (mg/kg)	25	1,56	0,80	2,90	0,60
Y (mg/kg)	25	20,38	14,50	29,60	4,26
Zn (mg/kg)	25	73,16	40,00	126,00	23,27
Zr (mg/kg)	25	64,05	34,30	105,00	20,89



Slika 58. Rezultati kemijskih analiza kroz jezgru LK-3. Prikazana je distribucija odabranih makro elemenata (%) i mikro elemenata (mg/kg) po dubini.

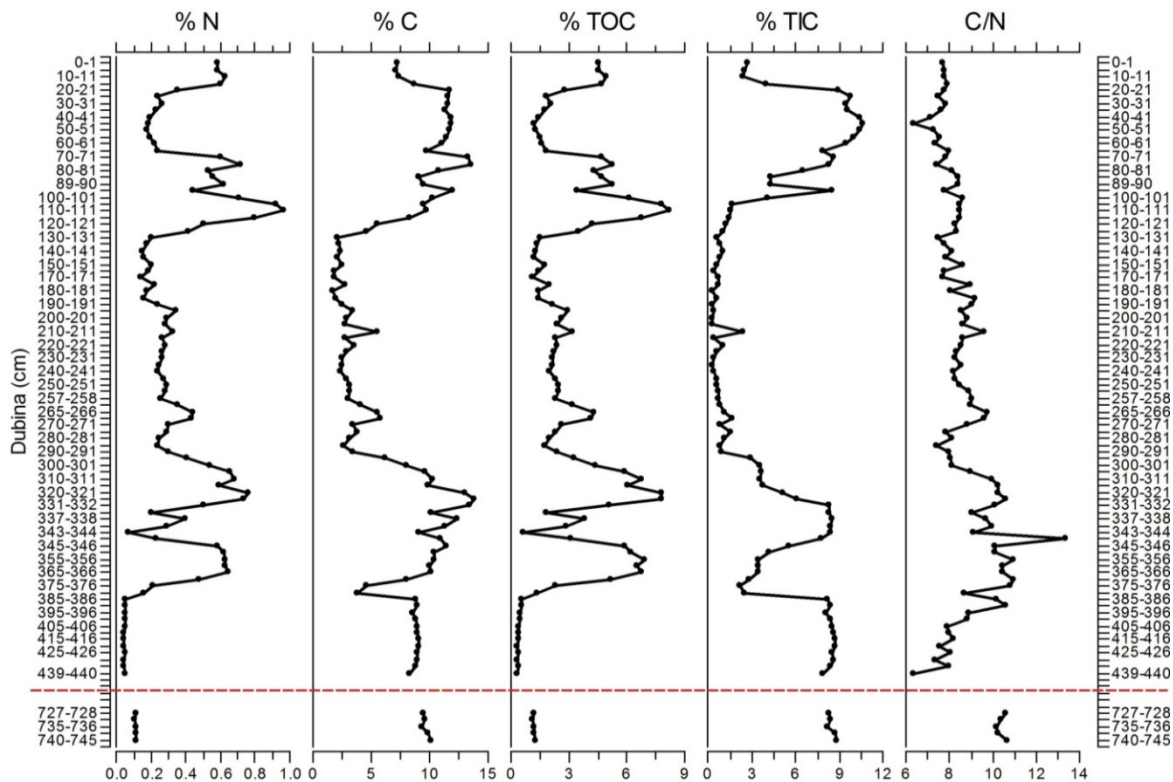
Tablica 24. Osnovni statistički parametri analiziranih elemenata za jezgru LK-3.

Element	N	Prosječna vr.	Minimum	Maksimum	Standardna devijacija
Ag (mg/kg)	51	0,12	0,10	0,20	0,04
Al (%)	51	2,89	1,19	6,29	1,11
As (mg/kg)	51	22,51	10,00	31,00	4,89
Ba (mg/kg)	51	94,49	49,00	236,00	32,86
Be (mg/kg)	51	1,16	1,00	2,00	0,37
Bi (mg/kg)	51	0,16	0,10	0,50	0,09
Ca (%)	51	19,22	4,85	28,67	4,92
Cd (mg/kg)	51	0,19	0,10	0,50	0,11
Ce (mg/kg)	51	50,57	33,00	94,00	9,71
Co (mg/kg)	51	5,58	2,20	18,70	3,01
Cr (mg/kg)	51	59,75	31,00	124,00	17,21
Cu (mg/kg)	51	10,33	5,30	25,90	4,52
Fe (%)	51	1,60	0,79	2,89	0,43
Hf (mg/kg)	51	0,97	0,50	2,30	0,32
In (mg/kg)	51	0,05	0,05	0,11	0,01
K (%)	51	0,66	0,31	1,45	0,22
La (mg/kg)	51	25,13	16,80	52,00	5,73
Li (mg/kg)	51	39,86	12,90	97,50	17,57
Mg (%)	51	1,07	0,85	1,26	0,09
Mn (mg/kg)	51	188,78	128,00	358,00	49,27
Mo (mg/kg)	51	22,69	0,70	45,20	8,18
Na (%)	51	1156,37	0,81	3210,00	706,66
Nb (mg/kg)	51	6,55	3,30	13,90	1,99
Ni (mg/kg)	51	27,68	10,90	72,90	12,42
P (%)	51	0,012	0,007	0,040	0,006
Pb (mg/kg)	51	11,70	7,90	26,80	3,69
Rb (mg/kg)	51	40,88	15,50	92,00	16,74
Re (mg/kg)	51	0,05	0,01	0,09	0,02
S (%)	51	1,32	0,30	2,50	0,52
Sb (mg/kg)	51	1,22	0,20	2,00	0,34
Sc (mg/kg)	51	5,51	3,00	13,00	1,98
Se (mg/kg)	51	1,18	1,00	2,00	0,39
Sn (mg/kg)	51	2,73	0,70	37,90	6,44
Sr (mg/kg)	51	1205,02	185,00	1839,00	438,18
Ta (mg/kg)	51	0,45	0,20	1,00	0,13
Te (mg/kg)	51	5,20	0,50	12,60	3,28
Th (mg/kg)	51	7,58	4,70	16,10	2,06
Ti (%)	51	0,21	0,11	0,46	0,06
Tl (mg/kg)	51	0,61	0,50	1,20	0,18
U (mg/kg)	51	11,28	2,60	35,50	5,58
V (mg/kg)	51	59,84	24,00	132,00	19,09
W (mg/kg)	51	0,65	0,40	1,50	0,23
Y (mg/kg)	51	14,45	10,80	26,60	2,85
Zn (mg/kg)	51	32,65	18,00	90,00	14,04
Zr (mg/kg)	51	34,03	15,80	86,20	11,77

3.7.2. Rezultati analize dušika i ugljika

U jezgri sedimenata izmjereni su udjeli ukupnog dušika i ugljika te organskog ugljika (TOC) direktnom metodom, ukupno 372 uzoraka iz svih šest jezgara, od toga 96 uzoraka iz jezgre VR-1A. (slika 59). Također je utvrđen omjer između dušika i organskog ugljika (C/N). Tablični prikaz rezultata CN analiza svih jezgri prikazan je u prilogima od 3.1 do 3.6.

Udio dušika je viši u prvih 15 cm jezgre VR-1A (0,59-0,63 %), potom se snižava i nizak je od 25 do 65 cm (0,18-0,27 %). Od 70 do 125 cm je povišen i iznosi najviše na dubinama 70 cm (0,60 %), 72 cm (0,71 %), 89 cm (0,62 %) i 100-115 cm (0,71-0,96 %). Nakon toga se ponovno snižava i od 130 do 290 cm je niži (0,14-0,30 %), s višim udjelima na 195 cm (0,35 %), 210 cm (0,33 %) te od 260 do 268 cm (0,36-0,45 %). Od 295 cm udio dušika raste, najviši je od 300 do 331 cm (0,50-0,76 %). Ispod toga se snižava i na 335 cm iznosi 0,20 i na 343cm iznosi 0,07 %. Potom ponovno raste i viši je od 345 do 365 cm (0,58-0,65 %), a nakon toga se snižava i od 385 cm je jako nizak, 0,05 %. Od 726 do 740 cm je malo viši i iznosi 0,11 i 0,12 %. Udio ukupnog ugljika je također niži u prvih 15 cm (7,26-8,72 %), ali ispod toga se povećava i visok je od 20 do 115 cm, od 20 do 60 iznosi oko 11 %, nakon toga ima najviši udio na 70 i 72 cm (13,35 i 13,57), te 94 i 100 cm (11,97 i 10,22 %). Potom se udio ugljika snižava i od 130 do 290 cm varira između 1,73 i 3,39 %, s višim udjelima na 210 cm (5,59 %) i 260-268 cm (4,08-5,84 %). Ispod toga je ponovno viši udio ugljika, od 300 do 370 cm, s najvišim udjelima od 320 do 331 cm (12,98-13,87 %). Na 375 i 380 cm je vrlo nizak i iznosi 4,57 i 3,87 %, a nakon toga na 385 cm raste do 8,77 % i relativno je konstantan do kraja jezgre na 740 cm (8,27-10,13 %). Udio organskog ugljika je viši u prvih 15 cm (4,51-4,91), potom se snižava i nizak je od 20 do 65 cm (1,19-2,76 %). Od 70 cm do 125 cm je viši, s najvišim udjelima od 105 do 115 cm (6,78-8,18 %). Ispod toga se snižava i od 130 do 290 cm iznosi između 1,10 i 2,98 %, s najvišim udjelima u intervalu od 260 do 268 cm (3,20-4,33 %). Ispod toga ponovno raste i od 295 do 370 cm mogu se uočiti 2 veća intervala 300-331 cm (4,40-7,78 %) i 345-370 cm (5,20-6,90 %), koje dijeli interval s nižim udjelima od 335 do 343 cm (0,66 do 3,85 %). Ispod toga od 385 do 440 cm je vrlo nizak TOC (0,35-0,57 %). Od 726 do 740 cm iznosi od 1,14-1,35 %. Udio anorganskog ugljika (TIC) prati promjene udjela ukupnog ugljika. Omjer C/N pokazuje kroz cijelu jezgru vrijednosti od 6,36 do 10,66, koje se povećavaju s dubinom, te na 343 cm u tamnijem uzorku iznosi 13,37.



Slika 59. Udio ukupnog dušika i ugljika, organskog (TOC) i anorganskog ugljika (TIC) te omjer organskog ugljika i dušika (C/N) jezgre VR-1A.

Udjeli ukupnog dušika i ugljika, u jezgri **CS-51** pokazuju blago povećanje u intervalu od 0 do 95 mada su ukupni udjeli mali i udio organskog (TOC) ugljika je manji od 1,5 % za razliku sedimenta iz dubljeg dijela jezera gdje udjeli dosežu i 6 %. Omjer organskog ugljika i dušika (C/N) je ispod 10 što ukazuje na dominantno algalnu produkciju sa jednim pikom preko 20 na dubini od 60 cm što ukazuje na donos terestičke organske tvari (slika 60, tablica 26). U jezgri **CS-52** u prosjeku je manje organskog ugljika (1 %), a odnos C/N od 10,6 pokazuje začajniiji utjecaj erodiranog tla te su vrijednosti karakteristične za TOC iz tla (slika 61, tablica 27). Organskog ugljika je najmanje u jezgri **CS-53** (0,88 %), a odnos C/N je 9,6. U intervalu od 95 cm do dna jezgre omjer C/N pokazuje vrijednosti veće od 11 a javljaju se i pikovi sa vrijednostima preko 15, što ukazuje na veliki udio organske tvari porijeklom iz kopnenih biljaka (slika 62, tablica 28).

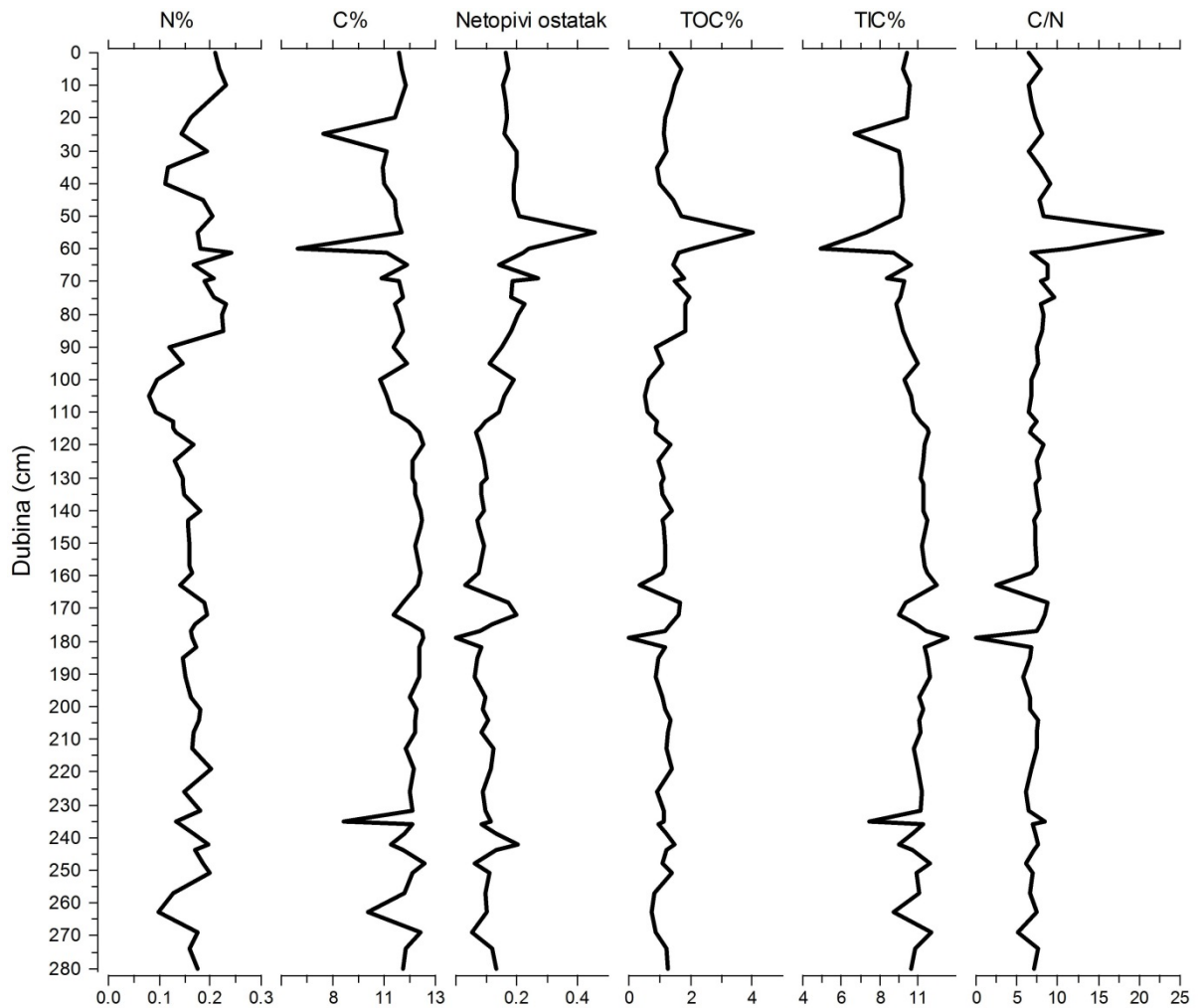
U jezgrama iz Lošinjskog zaljeva, u potpljenoj ponikvi **LK-3** u kojoj je prije marinske sedimentacije bila razvijen močvarni okoliš, vrlo su visoke vrijednosti organskog ugljika koje povremeno prelaze 20 % (slika 64, tablica 30) u močvarnom dijelu jezgre odnos C/N je iznad te ukazuje na dominaciju kopnenih biljaka. U jezgri **LK-2** zapaža se porast TOC u marinskom

sedimentu prema gore (2,2 %) isto tako i udio dušika raste. U LK-3 trend je suprotan te udio organskog ugljika konstantno pada prema površini (slika 63, tablica 29).

Rezultati analize ukupnog dušika i ugljika te organskog ugljika uzoraka sedimenata i tala iz sliva Vranskog jezera na Cresu prikazani su u tablici 25. Analizirano je 5 uzoraka iz profila tla Cs-P i 5 iz jezgri Cs-5 i Cs-9, te 1 uzorak Valun 6. Najviši udjeli dušika su u gornjem dijelu profila Cs-P (4-6 i 174-176 cm), dok je udio ugljika konstantan (oko 10 %) kroz cijeli profil, osim u uzorku 174-176 cm (4,05 %). Udio organskog ugljika je, kao i dušika, povišen u prva dva uzorka profila Cs-P. Omjer C/N je oko 10 u uzorcima Cs-5 i Cs-9 i u uzorku Cs-P 174-176 cm, dok u ostalima iznosi oko 7.

Tablica 25. Udio ukupnog dušika i ugljika, organskog (TOC) i anorganskog ugljika (TIC) te omjer organskog ugljika i dušika (C/N) uzoraka iz sliva Vranskog jezera na Cresu.

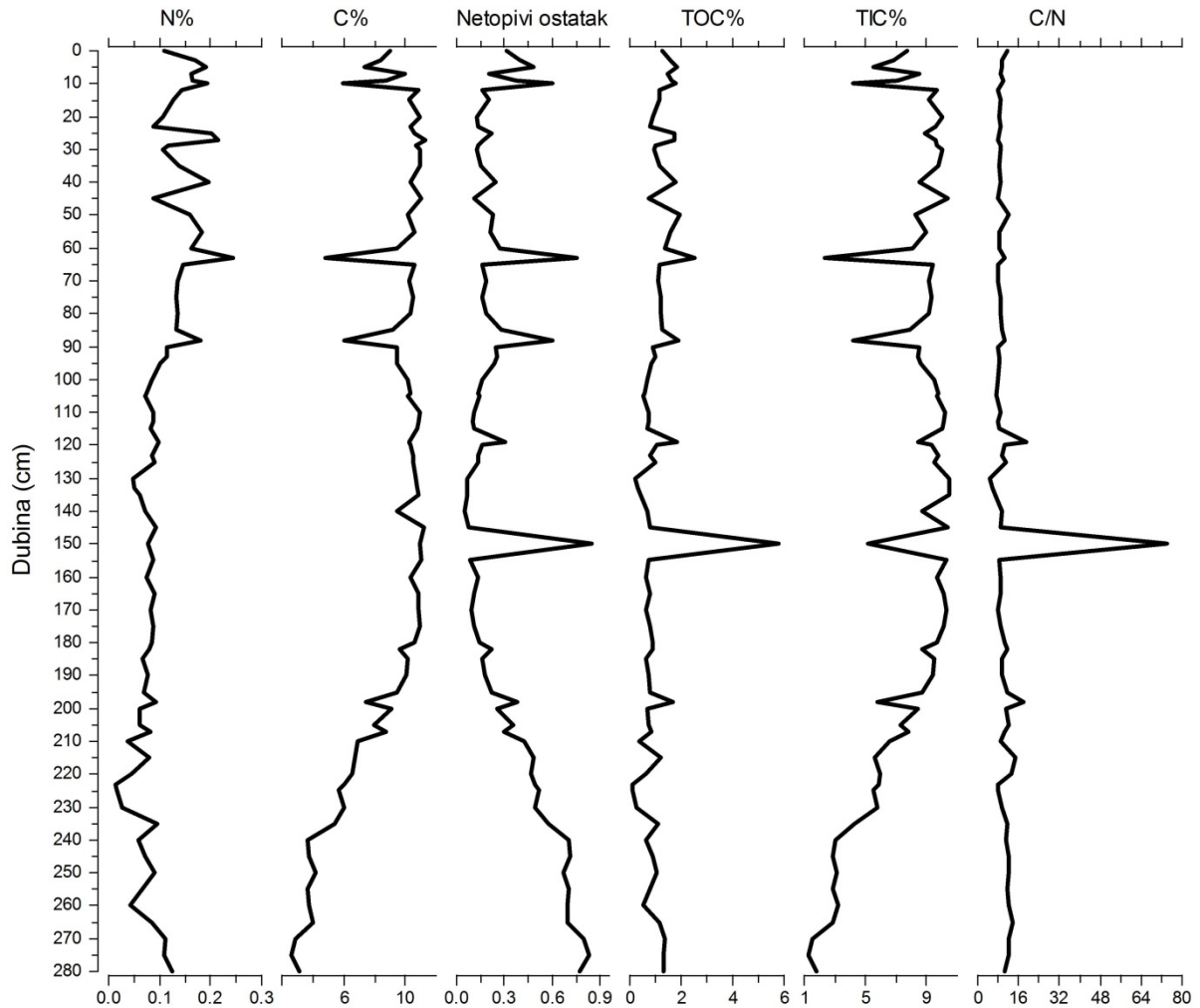
Cres Sliv	% N	% C	% TOC	% TIC	C/N
Cs-P 4-6	0,29	10,98	2,29	8,86	7,62
Cs-P 174-176	0,12	4,05	1,01	4,81	10,14
Cs-P 228-230	0,02	7,25	0,19	7,13	7,75
Cs-P 246-248	0,02	10,38	0,17	10,40	7,66
Cs-P 304-306	0,02	9,89	0,16	9,78	7,23
Cs-5 108-110	0,09	1,41	0,78	0,63	9,17
Cs-5 506-514	0,05	0,49	0,49	0,00	10,78
Cs-9 265-270	0,03	2,11	0,37	1,74	11,01
Cs-9 433-438	0,04	0,93	0,42	0,51	10,48
VALUN 6 750-780	0,06	0,68	0,68	0,00	11,53



Slika 60. Udio ukupnog dušika i ugljika, organskog (TOC) i anorganskog ugljika (TIC) te omjer organskog ugljika i dušika (C/N) jezgre CS-51.

Tablica 26. Osnovni statistički parametri za udio ukupnog dušika i ugljika, organskog (TOC) i anorganskog ugljika (TIC) te omjer organskog ugljika i dušika (C/N) u jezgri CS-51.

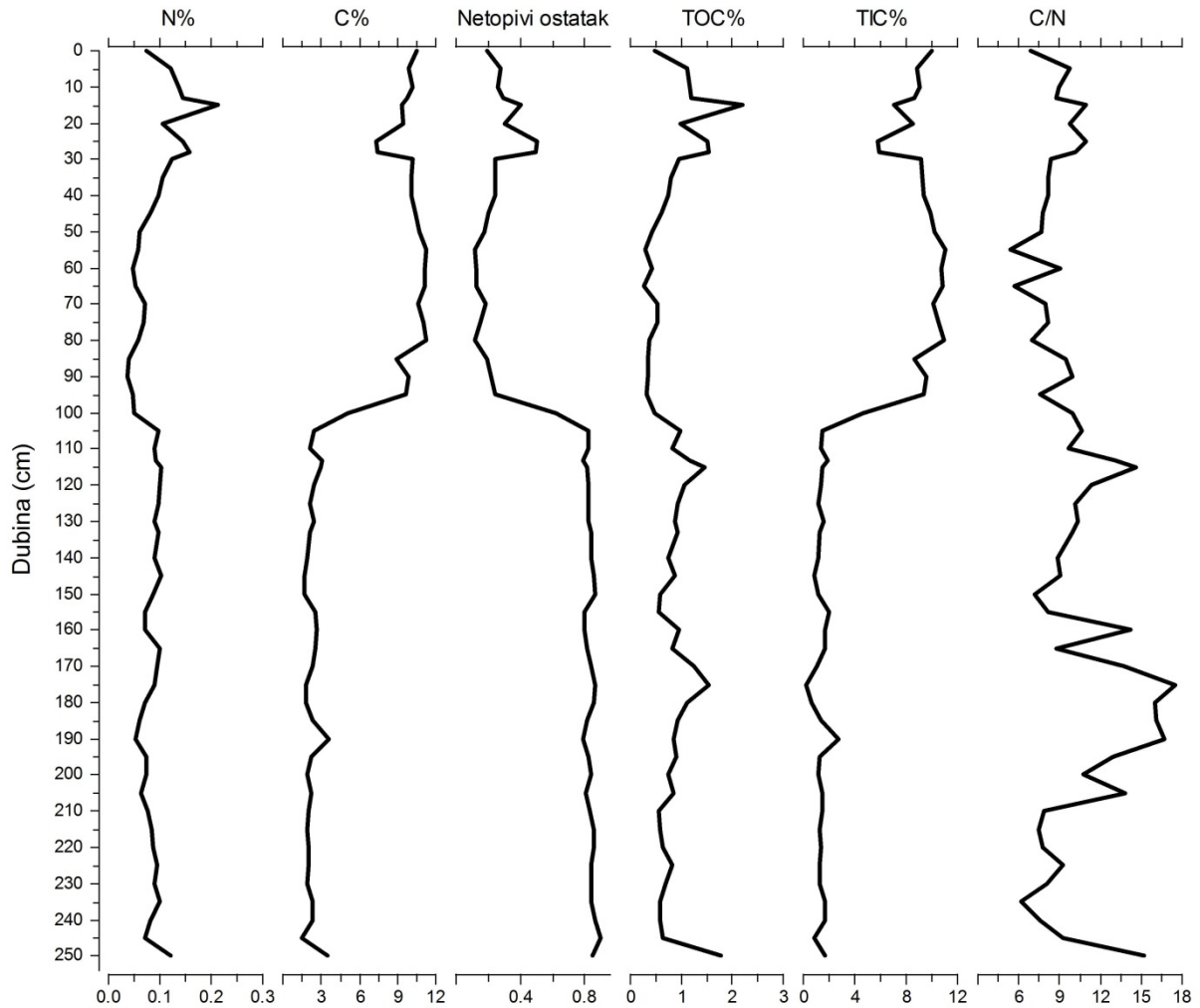
	N	Prosječna vr.	Minimum	Maksimum	Standardna devijacija
N%	69	0,166	0,079	0,241	0,035
Netopivi ostatak	69	0,133	0,000	0,456	0,067
TOC%	69	1,247	0,000	4,020	0,502
TIC%	69	10,406	4,686	12,649	1,212
C/N	69	7,462	0,000	22,857	2,357



Slika 61. Udio ukupnog dušika i ugljika, organskog (TOC) i anorganskog ugljika (TIC) te omjer organskog ugljika i dušika (C/N) jezgre CS-52.

Tablica 27. Osnovni statistički parametri za udio ukupnog dušika i ugljika, organskog (TOC) i anorganskog ugljika (TIC) te omjer organskog ugljika i dušika (C/N) u jezgri CS-52.

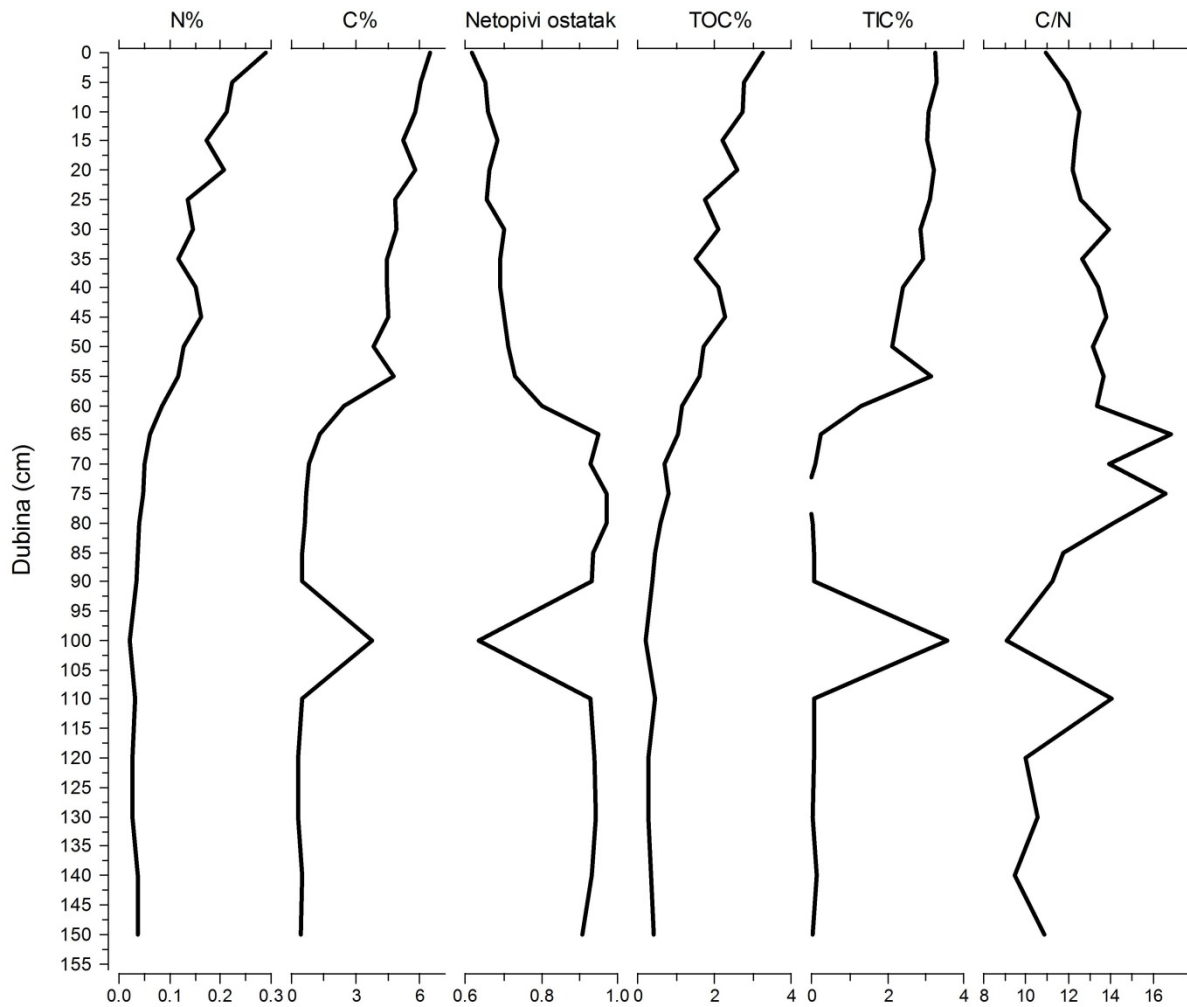
	N	Prosječna vr.	Minimum	Maksimum	Standardna devijacija
N%	76	0,104	0,015	0,243	0,047
Netopivi ostatak	76	0,309	0,055	0,848	0,226
TOC%	76	1,077	0,115	5,805	0,726
TIC%	76	7,725	1,296	10,505	2,627
C/N	76	10,651	4,755	74,382	7,747



Slika 62. Udio ukupnog dušika i ugljika, organskog (TOC) i anorganskog ugljika (TIC) te omjer organskog ugljika i dušika (C/N) jezgre CS-53.

Tablica 28. Osnovni statistički parametri za udio ukupnog dušika i ugljika, organskog (TOC) i anorganskog ugljika (TIC) te omjer organskog ugljika i dušika (C/N) u jezgri CS-53.

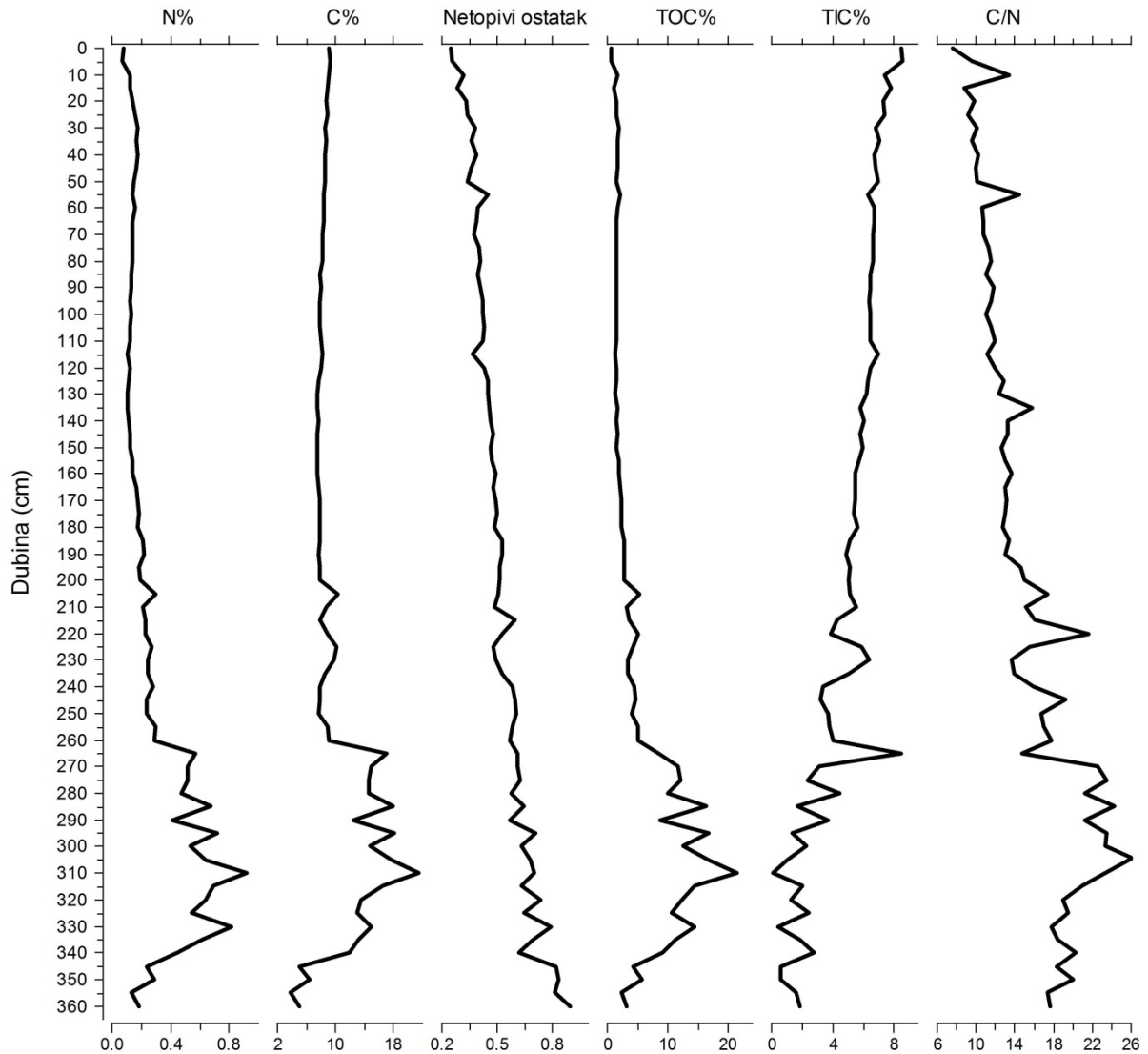
	N	Prosječna vr.	Minimum	Maksimum	Standardna devijacija
N%	54	0,088	0,037	0,213	0,032
Netopivi ostatak	54	0,590	0,116	0,902	0,301
TOC%	54	0,842	0,276	2,211	0,399
TIC%	54	4,643	0,253	11,015	4,000
C/N	54	9,478	4,920	16,988	2,893



Slika 63. Udio ukupnog dušika i ugljika, organskog (TOC) i anorganskog ugljika (TIC) te omjer organskog ugljika i dušika (C/N) jezgre LK-2.

Tablica 29. Osnovni statistički parametri za udio ukupnog dušika i ugljika, organskog (TOC) i anorganskog ugljika (TIC) te omjer organskog ugljika i dušika (C/N) u jezgri LK-2.

	N	Prosječna vr.	Minimum	Maksimum	Standardna devijacija
N%	25	0,104	0,022	0,290	0,076
Netopivi ostatak	25	0,798	0,618	0,973	0,133
TOC%	25	1,353	0,205	3,280	0,951
TIC%	25	1,617	0,113	3,561	1,466
C/N	25	12,991	9,456	17,246	1,921



Slika 64. Udio ukupnog dušika i ugljika, organskog (TOC) i anorganskog ugljika (TIC) te omjer organskog ugljika i dušika (C/N) jezgre LK-3.

Tablica 30. Osnovni statistički parametri za udio ukupnog dušika i ugljika, organskog (TOC) i anorganskog ugljika (TIC) te omjer organskog ugljika i dušika (C/N) u jezgri LK-3.

	N	Prosječna vr.	Minimum	Maksimum	Standardna devijacija
N%	73	0,267	0,072	0,919	0,199
Netopivi ostatak	73	0,516	0,249	0,901	0,142
TOC%	73	4,706	0,609	21,424	4,824
TIC%	73	4,956	0,047	8,567	2,203
C/N	73	15,051	7,645	26,166	4,449

3.8. Rezultati palinološko-palinofacijsne analize

Palinološka analiza uzorka obuhvaća palinofacijsnu i palinostratigrafsku odredbu.

Palinofacijs

Palinofacijs predstavlja ukupni organski mikrofacijs bilo koje sedimentne stijene koja sadrži ostatke vodenog i kopnenog bilja kao i ostatke životinja (Combaz, 1964). Korištena je kvantitativna metoda procjene relativnog odnosa pojedinih tipova macerala. Sredina taloženja je interpretirana na temelju palinofacijsnih značajki i tipova macerala, kao i facijsne distribucije sporomorfa, dinosporinskih cista i prazinofocejskih fikoma (Tyson, 1995; Batten, 1996).

Organski klasti analiziranih uzoraka klasificirani su u glavne grupe macerala: inertinit, vitrinit, liptinit i amorfna organska tvar (Stach et al., 1982; Robert, 1988).

Inertinitni klasti su nastali od biljnog tkiva procesima oksidacije uglavnom prije taloženja. Vitriniti su nastali dijelom od biljnog tkiva, a dijelom su produkt biokemijske pretvorbe biljnih komponenti tijekom humifikacije i gelifikacije. Liptinit obuhvaća alginit (algalnog porijekla - dinosporinske ciste, prazinofocejske fikome,...), sporinit (reproduktivni elementi nižih i viših biljaka, odnosno spore pteridofita i pelud gimnospermi i angiospermi) i kutinit. Amorfni liptinit predstavlja produkt anaerobne biodegradacije alga, fito-, zooplanktona, bakterijskih lipida. U sedimentološkom smislu, amorfni liptinit je autohtoni maceral. U sredinama taloženja s naglašenim terestričkim utjecajem (klastični faciyesi) u formi inkluzija u amorfnom liptinitu najčešće se pojavljuje pirit, dok je amorfni liptinit bez inkluzija piritu izvanredan pokazatelj zaštićene sredine taloženja bez terestričkog utjecaja.

Veća raznolikost peluda vodenog bilja je vjerojatnija u plićim (<5 m) dubinama, kako na Birch jezeru i jezera u presjeka (Edwards i sur, 2000). *Myriophyllum*, *Nymphaea* i *Nuphar* pelud imaju tendenciju da se najčešće nalaze u vodi <5 m dubine, dok pelud *Potamogeton* dominira među peludom vodenog bilja u jezerima 9-14 m dubine. Vrlo visoka brojnost (npr do 90%) *Isoetes* spora može ukazivati na priobalnog uvjete. *Equisetum* spore i *Pediastrum* alga ne pokazuju korelaciju s dubinom jezera iako velika brojnost (> 50%) alga *Pediastrum* je povezane s vrlo plitkim jezerima (<3 m).

Palinostratigrafija

Palinostratigrafska interpretacija kvartara se u kopnenim, odnosno slatkovodnim okolišima temelji na zajednicama sporomorfa - spore pteridofita i pelud gimnospermi i angiospermi (Moore et al, 1991; Kapp et al, 2000). Za preciznu palinostratigrafsku odredbu slatkovodnih

kvartarnih naslaga potrebno je detaljno snimiti geološki stup, a pri tome izbjegavati neperspektivne naslage koje su u bilo kojoj fazi sedimentacije bile izložene oksidaciji. Kod rekonstrukcije biljnog pokrova i klime potrebno je obratiti pozornost na različitu otpornost sporomorfa na oksidaciju i koroziju. Najotpornije sporomorfe na oksidaciju su *Lycopodium* i *Polypodium*, pa *Pinus*, *Tilia*, *Alnus*, *Corylus*, *Betula*, *Carpinus*, dok su najosjetljiviji *Populus*, *Quercus*, *Ulmus*, *Fagus*, *Acer* i *Salix* (Havinga, 1964, 1984). Uslijed toga neki rodovi mogu potpuno izostati iz zajednice i možemo dobiti krivu sliku vegetacije. Također je ustanovljeno da sadržaj sporopolenina u stjenci utječe na otpornost na koroziju (Brooks & Shaw, 1972), pa su često Asteraceae, Chenopodiaceae i Poaceae dominantne u palinološkoj zajednici u uzorku, makar nisu dominirale u biljnom pokrovu. U tlima se vrlo rijetko sačuvaju sporomorfe (uglavnom one s višim udjelom sporopolenina u stjenci) i to samo u tlima u kojima je pH manji od 5,5-6 (MacDonald, 1996).

U kvartaru ne postoje provodne sporomorfe, već se na temelju promjena u sastavu zajednice može govoriti o klimi i vegetaciji, a time indirektno i o starosti u širem smislu.

Prve rekonstrukcije postglacijalne vegetacije hrvatske obale, na temelju palinoloških analiza, dao je Beug (1962, 1967) kad na Mljetu razlikuje četiri šumska perioda: period A – listopadna šuma hrasta (9000-7600 BP), period B – *Juniperus-Phillyrea* (7600-6300 BP), period C – *Quercus ilex* (6300-2200 BP) i period D – *Pinus-Quercus ilex* (2200-0 BP). Vegetacijom Mljeta bavili su se i Jahns i Bogaard (1998) i utvrdili kako na mjestu današnjeg Velikog i Malog jezera, prije 9000 godina, uslijed rasta podzemnih voda dolazi do plavljenja suhih polja i formiranja močvara. Prije 8000 godina močvare prelaze u duboka jezera, u početku sa slatkom, a kasnije boćatom vodom. Između 6400 BP i 5300 BP Veliko jezero je u kontaktu s Jadranskim morem, a Malo jezero nešto kasnije. Pretpostavljaju kako su jezera umjetno spojili Grci ili Rimljani. Period miješane listopadne hrastove šume trajao je do 8000 BP (6000 BC). Na prijelazu u Atlantik gusta hrastova šuma se prorijeđuje i formiraju se šumarci, a na otvorenom prostoru *Juniperus*, *Phillyrea* i druga vazdazelena vegetacija. Imigracijom hrasta crnike *Quercus ilex* prije nekih 6400 BP (4400 BC) formiraju se guste šume hrasta crnike koje djelomično zamjenjuje alepski bor oko 3100 BP (1100 BC) zbog ljudskog djelovanja.

Multidisciplinarnim istraživanjima (analiza kladocera, dijatomeja, makroflore, te geokemijska i palinološka analiza) sedimenata Vranskog jezera na Cresu, Schmidt et al. (2000) su utvrdili najstarije sedimente na 5 m dubine (17300 cal BP) nakon čega se mogu pratiti značajne promjene razine jezera, vezane za paleookolišne promjene i dizanje morske razine nakon mlađeg drijasa (YD). Izdvojene su peludne zone (PZ), od 1 do 5, koje se dijele u podzone: PZ 1/1 dominacija bora (*Pinus*), PZ 1/2 prijelazna zona prema brezi (*Betula*), PZ 2/1

dominacija breze, PZ 2/2 ponovno povećanje bora, PZ 3 dominacija bora i hrasta (*Quercus*), PZ 4/1 Chenopodiaceae, PZ 4/2 *Pistacia*, *Phillyrea*, Oleaceae, *Ostrya*, PZ 4/3 *Juniperus*, PZ 5/1 hrast, PZ 5/2 *Juniperus*, *Pinus*, *Olea*. Zone PZ1 i PZ2 približno odgovaraju pleistocenu, PZ3 i PZ4/1 starijem holocenu, PZ4/2 srednjem, a PZ4/3 i PZ5 mlađem holocenu.

Šoštarić (2005) daje pregled razvoja vegetacije u obalnom području Hrvatske. Na početku postglacijalnog razdoblja (predboreal-boreal, mezolitik) postoje miješane listopadne šume u kojima je prevladavao hrast. Na početku atlantske faze (mezolitik-neolitik) te su šume imale termofilni karakter i prevladavao je hrast tipa *Quercus pubescens*, miješan s drugim tipovima termofilnog listopadnog drveća. Sredinom atlantske faze submediteranske drvenaste svojite zamjenjuje vazdazelena vegetacija u kojoj prevladavaju svojite poput *Phyllirea*, *Pistacia* i *Juniperus*, a submediteranski tip vegetacije povlači se u unutrašnji obalni pojas. Krajem atlantika ponovno dolazi do promjene vegetacije i prevlast preuzima eumediteranski vazadeleni hrast crnika (*Quercus ilex*). Može se zaključiti da je krajem atlantika i početkom subboreala u osnovnim crtama utemeljen današnji tip potencijalne prirodne vegetacije na hrvatskom dijelu jadranske obale, koji čine eumediteranski prsten s pretežitim hrastom crnikom, nešto širi u južnom dijelu, nešto uži na sjevernom dijelu, na koji se prema unutrašnjosti nastavlja submediteranski tip šuma s karakterizirajućim hrastom meduncem. Antropogeni utjecaj na vegetaciju obalnog područja prisutan je već u neolitik i početkom brončanog doba. Nesumnjivo su se prastanovnici bavili stočarstvom i ratarstvom i to se odražavalo na prirodnu vegetaciju, ali je teško reći u kojoj mjeri. Sigurni i nedvojbeni znakovi antropogenog utjecaja potječu iz antičkog razdoblja, kada su značajno porasle ratarska i druge aktivnosti što je dovelo do pretvaranja većih površina šuma u ratarske površine, makiju i pašnjake. Nakon tog razdoblja izmjenjuju se povremene faze regeneracije i ponovne devastacije prirodne vegetacije.

U novije vrijeme jezerske i morske naslage Italije i zapadnog dijela Jadranskog mora, te Sredozemnog mora analizirane su unutar projekta LAMA (Magny & Combourieu Nebout, 2013).

Rezultati

Na temelju palinoloških analiza iz jezgre CS-52 (slike 65-73; tablica 31) i CS-53 (slike 73-88, tablica 32) rekonstruirane su promjene u okolišu, klimi i vegetaciji.

Uzorak CS-52 3-4cm

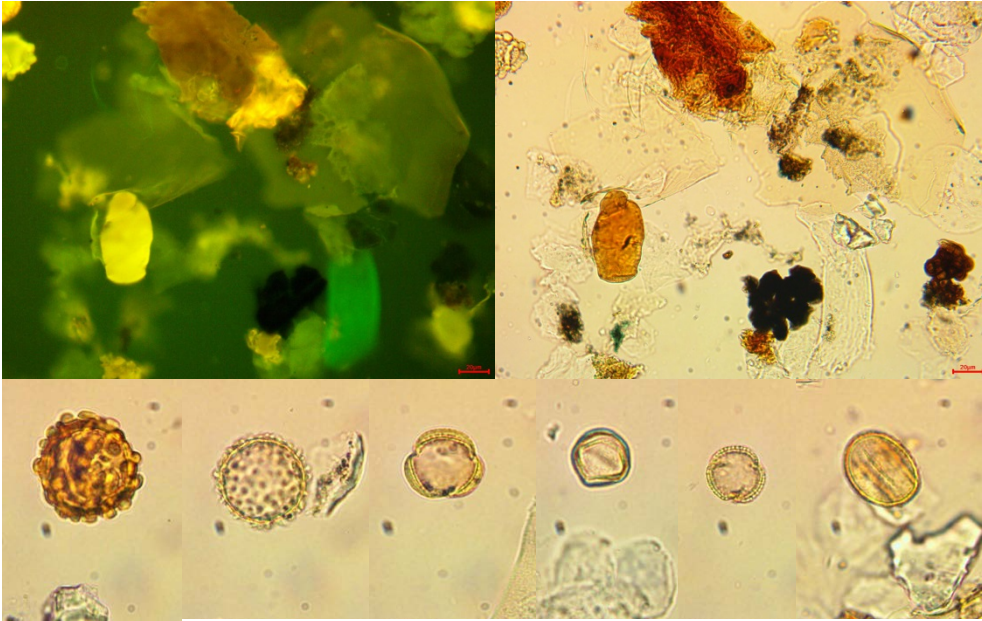
- **Palinofacijes:** U uzorku postoji relativno malo organskog ostatka koji čine zooklasti i fitoklasti te malo sporinita.
- **Fosili:** Vrlo malo peluda hrasta crnike *Quercus ilex* i običnog graba *Carpinus*, lipe *Tilia* te zoospora *Concentricystes circulus*
- **Okoliš:** Priobalni disoksični slatkovodni okoliš u koji je povremeno donашan terigeni materijal iz relativne blizine.
- **Klima:** Cs - Sredozemna klima



Slika 65. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-52 3-4cm

Uzorak CS-52 23-24cm

- **Palinofacijes:** U uzorku postoji relativno malo organskog ostatka mješovitog sastava. Dominiraju fitoklasti, a zastupljeni su još amorfni liptinit, zooklasti, sporinit i rezinit.



Slika 66. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-52 23-24cm

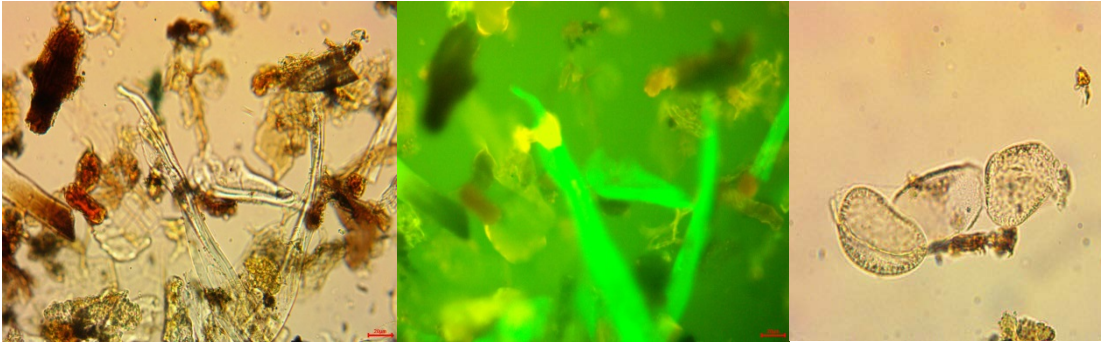
- Fosili: Veći udio mediteranskih elemenata, posebice hrasta crnike *Quercus ilex* i maslina *Olea* te *Artemisia* u odnosu na pelud listopadnog drveća *Q. robur*, običnog graba *Carpinus*, lipe *Tilia* i hrasta lužnjaka *Quercus robur*, te pelud vodenog bilja *Ceratophyllum*, *Elodea*, zoospora *Concentricystes circulus*.
- Okoliš: Priobalni, plitki (<5 m dubine) disoksični slatkovodni okoliš u koji je povremeno donosan terigeni materijal iz relativne blizine, razmjerno tople i hranjivim tvarima bogate (eutrofne) vode
- Klima: Cs - Sredozemna klima

Uzorak CS-52 40-41 cm

- Palinofacijes: U uzorku postoji relativno puno organskog ostatka mješovitog sastava. Zastupljeni su fitoklasti, zooklasti, amorfni liptinit, sporinit i rezinit.
- Okoliš: Priobalni (<5 m dubine) disoksični slatkovodni okoliš u koji je povremeno donosan terigeni materijal iz relativne blizine, razmjerno tople i hranjivim tvarima bogate (eutrofne) vode
- Fosili: Manji udio mediteranskih elemenata, posebice hrasta crnike *Quercus ilex* u odnosu na pelud listopadnog drveća hrasta *Quercus robur*, crnog graba *Ostrya*, Cichoriaceae, bora *Pinus* i fragmenti peluda jele *Abies* i smreke *Picea* te pelud

vodenog bilja *Polygonum*, *Ceratophyllum*, *Elodea* i *Lemna*, zoospora *Concentricystes circulus*, spore paprati *Pteridium*.

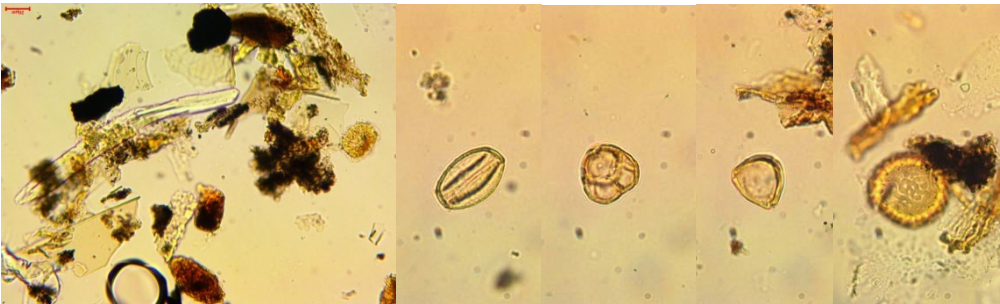
- Klima: Cs - Sredozemna klima



Slika 67. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-52 40-41 cm

Uzorak CS-52 70-71 cm

- Palinofacijes: U uzorku postoji relativno puno organskog ostatka bez promjene u sastavu organskog ostatka u odnosu na prethodni uzorak, pa i u ovom uzorku postoje fitoklasti, zooklasti, amorfni liptinit, sporinit i rezinit.

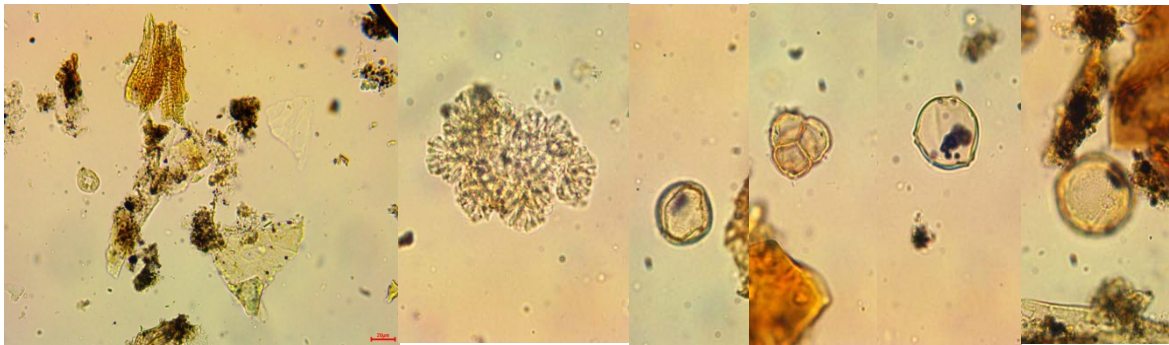


Slika 68. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-52 70-71cm

- Fosili: Manji udio mediteranskih elemenata, posebice hrasta crnike *Quercus ilex* u odnosu na pelud listopadnog drveća običnog graba *Carpinus*, lješnjaka *Corylus*, hrasta *Quercus robur*, bora *Pinus*, zeljastog bilja Ericaceae te pelud vodenog bilja *Ceratophyllum*.
- Okoliš: Priobalni (<5 m dubine) disoksični slatkovodni okoliš u koji je povremeno donosan terigeni materijal iz relativne blizine, razmjerno tople i hranjivim tvarima bogate (eutrofne) vode.
- Klima: Cs - Sredozemna klima

Uzorak CS-52 113-114cm

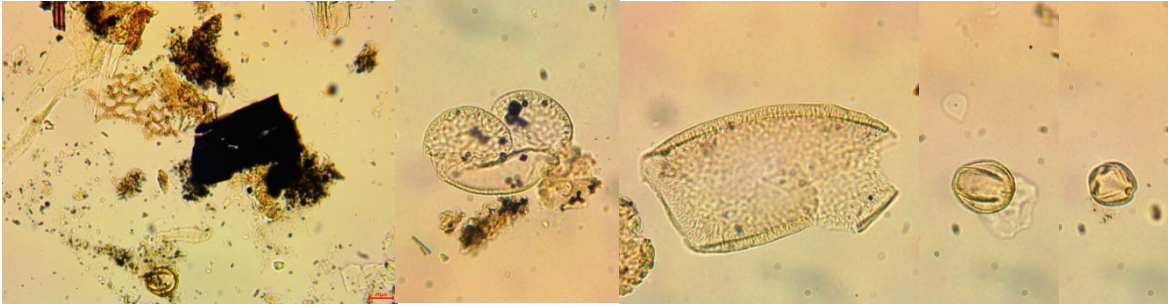
- **Palinofacijes:** U uzorku postoji relativno puno organskog ostatka bez promjene u sastavu organskog ostatka u odnosu na prethodni uzorak, pa i u ovom uzorku postoje fitoklasti, zooklasti, amorfni liptinit, sporinit, rezinit, ali i pirit.
- **Fosili:** Veći udio mediteranskih elemenata, posebice hrasta crnike *Quercus ilex* u odnosu na pelud listopadnog drveća crnog graba *Ostrya*, običnog graba *Carpinus*, lipe *Tilia*, bukve *Fagus* i hrasta *Quercus robur*, bora *Pinus* i fragmenti peluda jele *Abies* i zeljastog bilja Ericaceae, zoospora *Concentricystes circulus*, zelene alge *Botryococcus*.
- **Okoliš:** Priobalni disoksični slatkovodni okoliš u koji je povremeno donasan terigeni materijal iz relativne blizine, povremeno zamočvareno ili je donesen močvarni materijal.
- **Klima:** Cs - Sredozemna klima



Slika 69. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-52 113-114cm

Uzorak CS-52 133-134cm

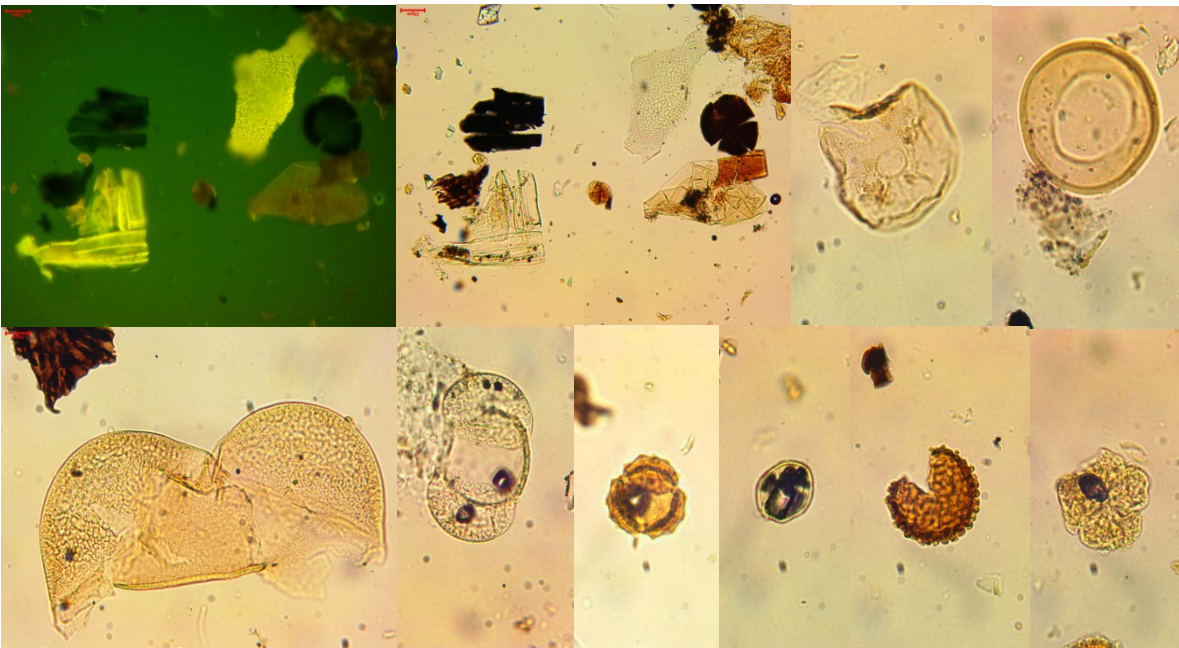
- **Palinofacijes:** U uzorku postoji vrlo malo organskog ostatka mješovitog sastava.
- **Fosili:** Podjednaki udio mediteranskih elemenata, posebice hrasta crnike *Quercus ilex* i zelenika *Phyllirea* u odnosu na pelud listopadnog drveća crnog graba *Ostrya* i hrasta lužnjaka *Quercus robur*, pelud *Pinus* i fragmenti peluda jele *Abies*.
- **Okoliš:** Priobalni disoksični slatkovodni okoliš u koji je povremeno donasan terigeni materijal iz relativne blizine.
- **Klima:** Cs - Sredozemna klima



Slika 70. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-52 133-134 cm

Uzorak CS-52 182-183cm

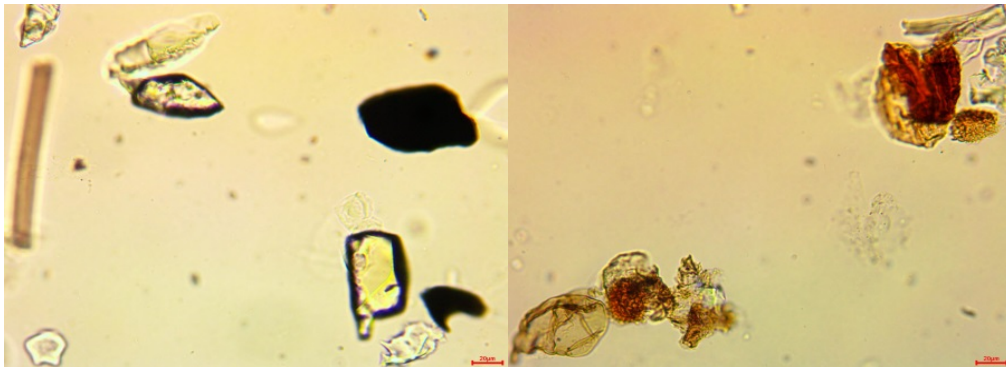
- Palinofacijes: U uzorku postoji relativno puno organskog ostatka bez promjene u sastavu organskog ostatka u odnosu na prethodni uzorak, pa i u ovom uzorku postoje fitoklasti, zooklasti, amorfni liptinit, sporinit i rezinit.
- Fosilij: Manji udio mediteranskih elemenata, posebice hrasta crnike *Quercus ilex* u odnosu na pelud listopadnog hrasta *Quercus robur*, pelud bora *Pinus* i smreke *Picea*, Asteraceae te pelud vodenog bilja *Ceratophyllum*, zoospora *Concentricystes circulus*, spore paprati *Pteridium*, zelene alge *Botryococcus*, prazinofocejske fikome i okučene amebe *Arcella*.
- Okoliš: Priobalni (<5 m dubine) disoksični slatkovodni okoliš u koji je povremeno donosan terigeni materijal iz relativne blizine - razmjerno tople i hranjivim tvarima bogate (eutrofne) vode.
- Klima: Cf- umjereno topla vlažna klima



Slika 71. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-52 182-183 cm

Uzorak CS-52 223-224cm

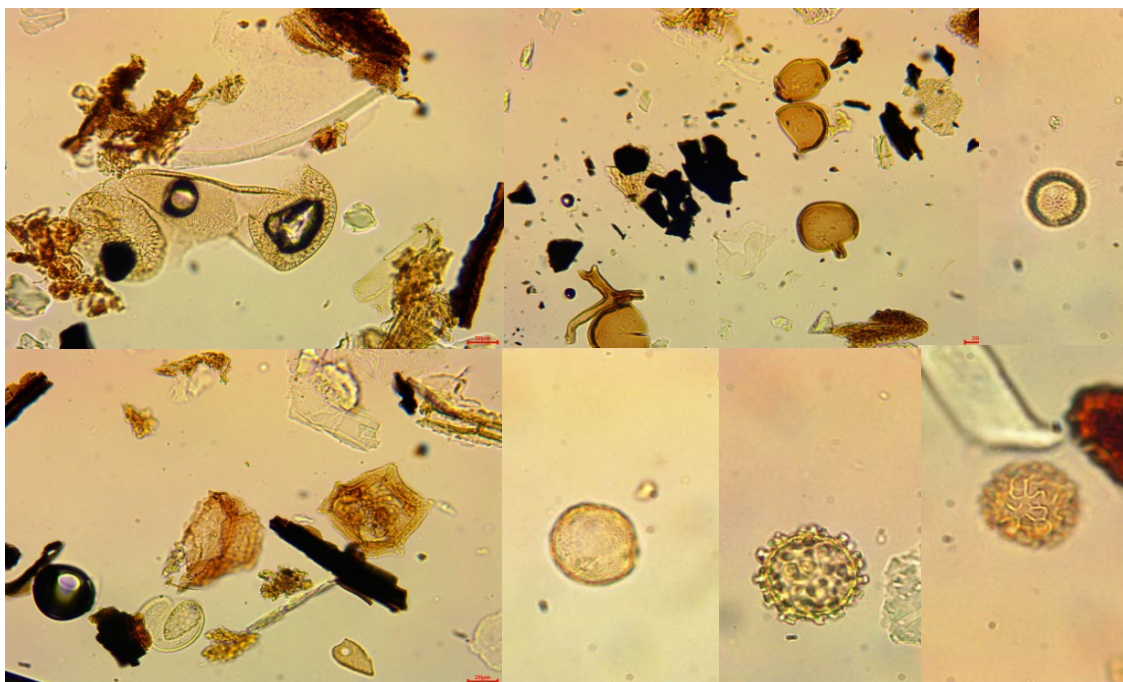
- Palinofacijes: U uzorku postoji premalo organskog ostatka. Zastupljeni su rijetki inertinitni klasti (charcoal) i rezinit.
- Fosili: nema
- Okoliš: Priobalni oksični slatkvodni okoliš visoke dinamike tj. s jakim donosom terigenog materijala iz relativne blizine, vjerojatno spiranja uslijed velike količine oborina i sječe šuma i požara.
- Klima: ?



Slika 72. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-52 223-224 cm

Uzorak CS-52 270-271cm

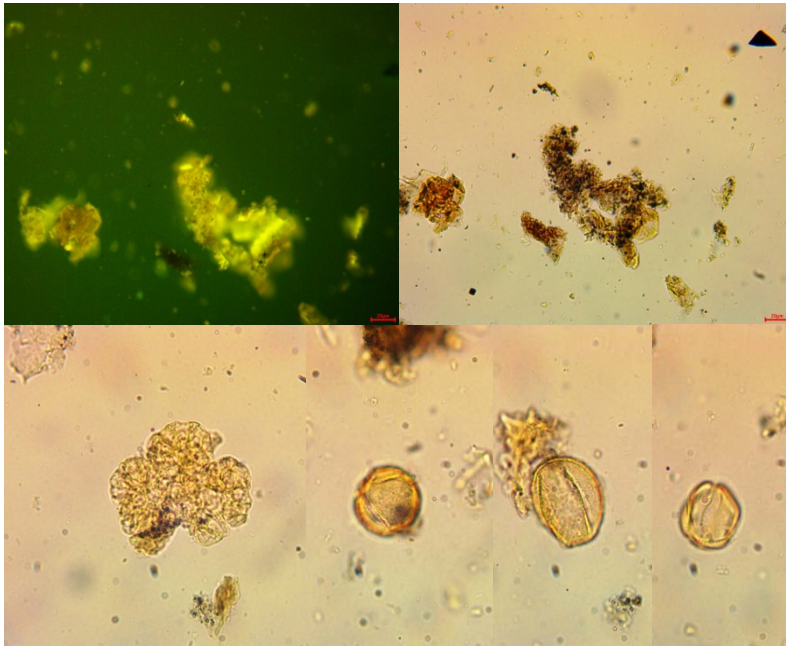
- Palinofacijes: U uzorku postoji relativno puno organskog ostatka u kojem dominiraju fitoklasti. Zastupljeni su još zooklasti, sporinit i amorfni liptinit.
- Fosili: Podjednaki udio mediteranskih elemenata, posebice hrasta crnike *Quercus ilex* i masline *Olea* u odnosu na pelud listopadnog hrasta *Quercus robur*, Cichoriaceae, pelud bora *Pinus* i fragmenti peluda jele *Abies* i smreke *Picea* te pelud vodenog bilja *Polygonum*, *Ceratophyllum*, zoospora *Concentricystes circulus*.
- Okoliš: Priobalni (<5 m dubine) disoksični slatkvodni okoliš u koji je povremeno donosan terigeni materijal iz relativne blizine.
- Klima: Cf- umjereno topla vlažna klima



Slika 73. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-52 270-271 cm

Uzorak CS-53 8-9cm

- Palinofacijes: U uzorku postoji relativno malo organskog ostatka u kojem dominira amorfni liptinit, a zastupljeni su još fitoklasti, zooklasti, kutinit i sporinit.
- Fosili: Veći udio mediteranskih elemenata, posebice hrasta crnike *Quercus ilex* u odnosu na pelud listopadnog drveća bukve *Fagus* i hrasta *Quercus robur*, Cichoriaceae, pojedinačni *Botryococcus*.
- Okoliš: Priobalni disoksični - anoksični slatkovodni okoliš, razmjerno tople i hranjivim tvarima bogate (eutrofne) vode, povremeno stratificiran.
- Klima: Cs - Sredozemna klima

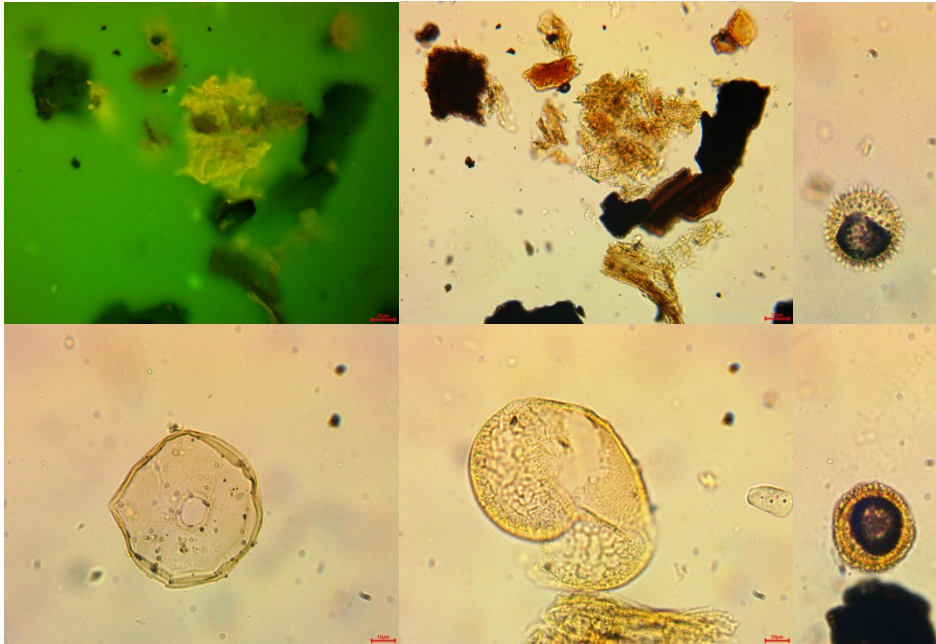


Slika 74. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-53 8-9 cm

Uzorak CS-53 26-27cm

- Palinofacijes: I u ovom uzorku postoji relativno malo organskog ostatka. Uočena je promjena u sastavu organskog ostatka u odnosu na prethodni uzorak, pa u ovom uzorku dominiraju fitoklasti. Lignohuminski klasti su uglavnom vitrinitni od kojih neki djelomice poprimaju amorfni habitus, a ostatak čine inertinitni klasti. Zastupljeni su još zooklasti, rezinit, kutinit i sporinit.
- Okoliš: Priobalni (<5 m dubine) disoksični slatkovodni okoliš u koji je povremeno donosan terigeni materijal iz relativne blizine, razmjerno tople i hranjivim tvarima bogate (eutrofne) vode.

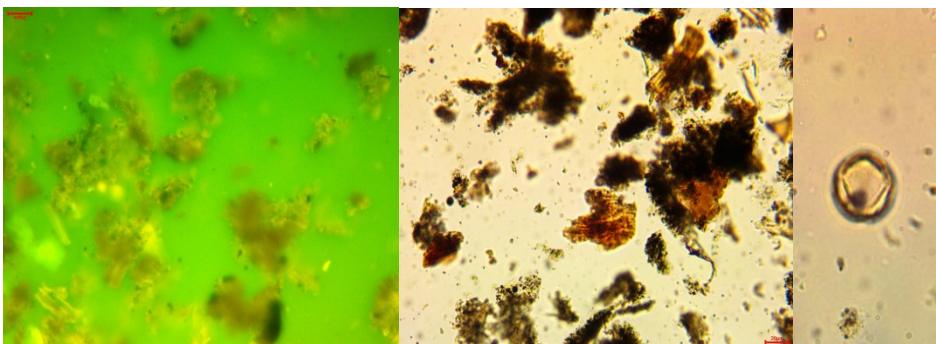
- **Fosili:** Pelud *Pinus* i pelud vodenog bilja *Ceratophyllum* i *Elodea*, zoospora *Concentricystes circulus*, prasinoficejske fikome.
- **Klima:** Cs - Sredozemna klima



Slika 75. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-53 26-27 cm

Uzorak CS-53 51-52cm

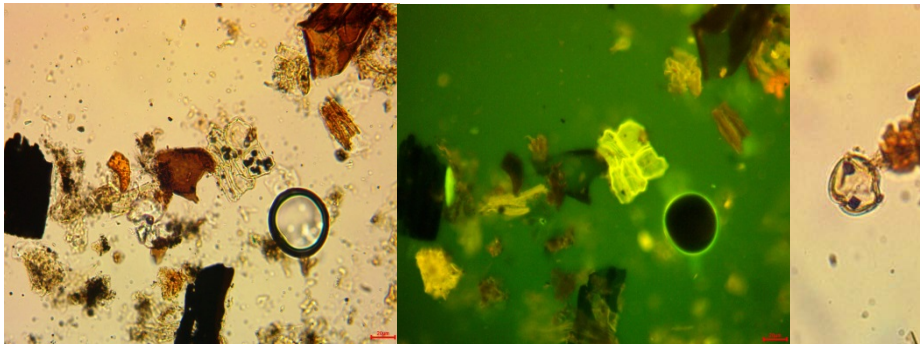
- **Palinofacijes:** U uzorku postoji relativno malo organskog ostatka u kojem dominira amorfni liptinit, a zastupljeni su još fitoklasti, zooklasti i sporinit.
- **Fosili:** Rijetki pelud hrasta crnike *Quercus ilex*, *Botryococcus* i oštećeni pelud jele *Abies* koji su možda doneseni s većih udaljenosti (bura s Velebita?)
- **Okoliš:** Priobalni disoksični - anoksični slatkovodni okoliš, razmjerno tople i hranjivim tvarima bogate (eutrofne) vode, povremeno stratificiran.
- **Klima:** Cs - Sredozemna klima



Slika 76. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-53 51-52cm

Uzorak CS-53 70-71cm

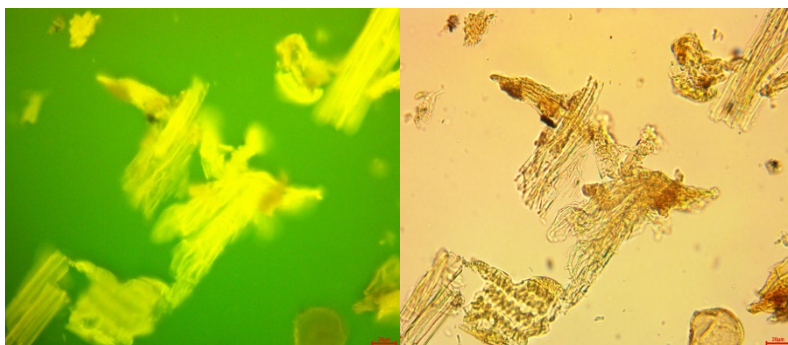
- Palinofacijes: Promjena u sastavu organskog ostatka u odnosu na prethodni uzorak, pa u ovom uzorku dominiraju fitoklasti. Lignohuminski klasti su uglavnom strukturirani vitriniti, a postoje i inertiniti. Zastupljeni su još zooklasti, sporinit i pirit.
- Okoliš: Priobalni (<5 m dubine) disoksični slatkovodni okoliš u koji je povremeno donosan terigeni materijal iz relativne blizine.
- Fosili: Veći udio mediteranskih elemenata, posebice hrasta crnike *Quercus ilex* u odnosu na pelud listopadnog drveća običnog graba *Carpinus*, lipe *Tilia*, brijesta *Ulmus* i hrasta *Quercus robur*, bisakatni pelud *Pinus* i fragmenti peluda jele *Abies* te pelud vodenog bilja *Polygonum*, zoospora *Concentricystes circulus*, spore paprati *Pteridium* i *Polypodium vulgare*.
- Klima: Cs - Sredozemna klima



Slika 77. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-53 70-71cm

Uzorak CS-53 87-88 cm

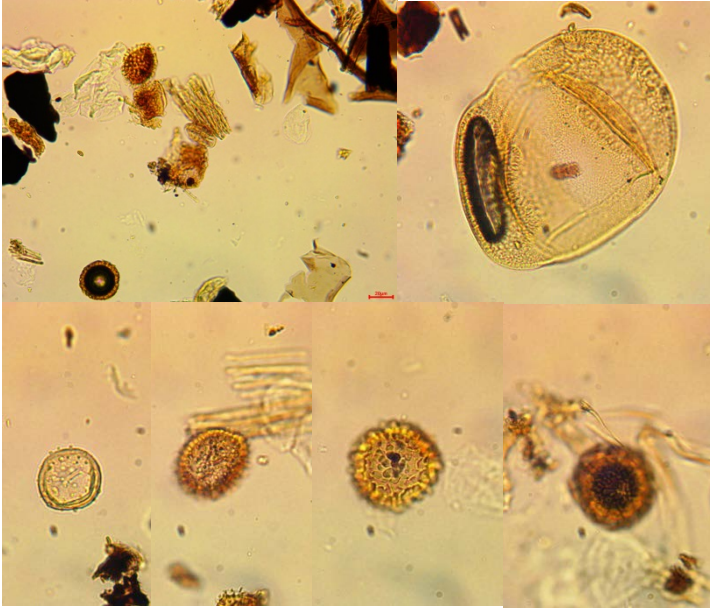
- Palinofacijes: U uzorku postoji relativno puno organskog ostatka. Nova promjena u sastavu organskog ostatka u odnosu na prethodni uzorak. I u ovom uzorku dominiraju fitoklasti s time da prevladava kutinit i liptinit. Zastupljeni su još zooklasti i sporinit.
- Fosili: Fragmenti peluda jele *Abies*.
- Okoliš: Priobalni disoksični - anoksični slatkovodni okoliš, razmjerno tople i hranjivim tvarima bogate (eutrofne) vode.
- Klima: Cf- umjereno topla vlažna klima?



Slika 78. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-53 87-88 cm

Uzorak CS-53 106-107cm

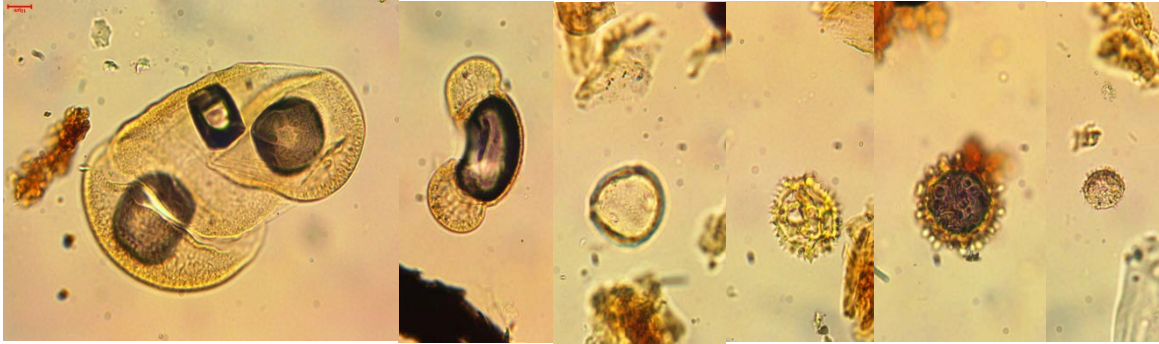
- Palinofacijes: U uzorku postoji relativno malo organskog ostatka. Promjena u sastavu organskog ostatka u odnosu na prethodni uzorak, koja se očituje u smanjenom udjelu liptinita. Zastupljeni su još zooklasti, rezinit i sporinit..
- Fosili: Manji udio mediteranskih elemenata, posebice hrasta crnike *Quercus ilex* u odnosu na pelud listopadnog drveća *Q. robur*, običnog graba *Carpinus*, lipe *Tilia*, brijesta *Ulmus* i hrasta *Quercus robur*, bisakatni pelud *Pinus* i fragmenti peluda jele *Abies* i smreke *Picea* te pelud vodenog bilja *Polygonum*, *Ceratophyllum*, *Elodea* i *Lemna*, zoospora *Concentricystes circulus*, spore paprati *Polypodium*. Cichoriaceae, *Botryococcus*. Fragmenti peluda jele *Abies* su možda doneseni s većih udaljenosti (bura s Velebita?)
- Okoliš: Priobalni (<5 m dubine) disoksični slatkovodni okoliš u koji je povremeno donosan terigeni materijal iz relativne blizine, razmjerno tople i hranjivim tvarima bogate (eutrofne) vode.
- Klima: Cf- umjereno topla vlažna klima



Slika 79. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-53
106-107 cm

Uzorak CS-53 122-123cm

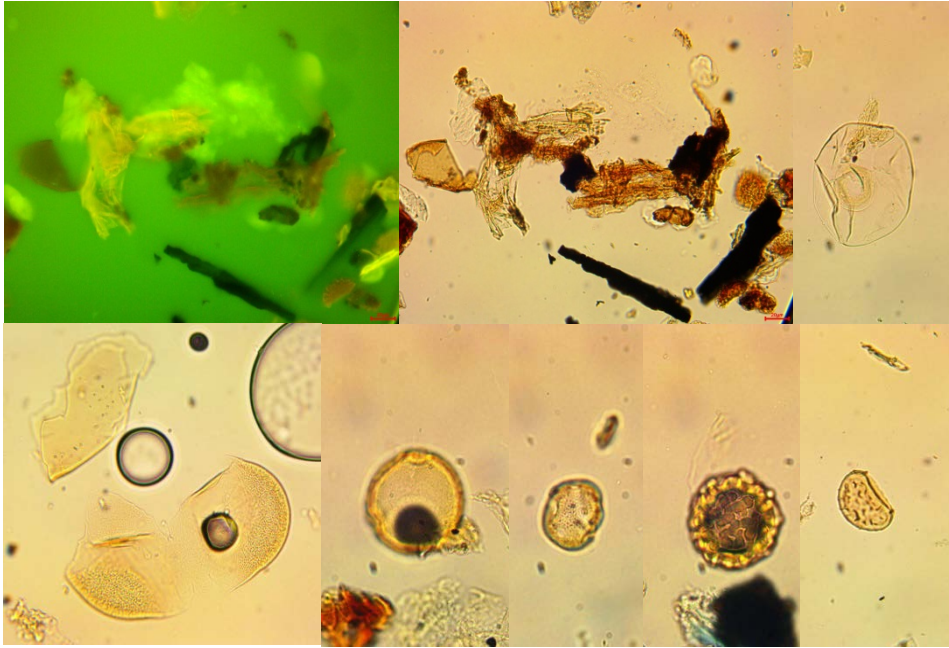
- Palinofacijes: U uzorku postoji relativno puno organskog ostatka bez promjene u sastavu organskog ostatka u odnosu na prethodni uzorak, pa i u ovom uzorku dominiraju fitoklasti. Zastupljeni su još zooklasti, sporinit i amorfni liptinit.
- Fosili: Manji udio mediteranskih elemenata, posebice hrasta crnike *Quercus ilex* u odnosu na pelud listopadnog drveća *Q. robur*, običnog graba *Carpinus*, lipe *Tilia*, brijesta *Ulmus* i hrasta *Quercus robur*, pelud *Plantago* i Cichoriaceae, pelud *Pinus* i fragmenti peluda jele *Abies* i smreke *Picea* te pelud vodenog bilja *Ceratophyllum* i *Lemna*, spore paprati *Polypodium*.
- Okoliš: Priobalni (<5 m dubine) disoksični slatkovodni okoliš u koji je povremeno donosan terigeni materijal iz relativne blizine, razmjerno tople i hranjivim tvarima bogate (eutrofne) vode.
- Klima: Cf- umjereno topla vlažna klima



Slika 80. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-53 122-123 cm

Uzorak CS-53 138-139cm

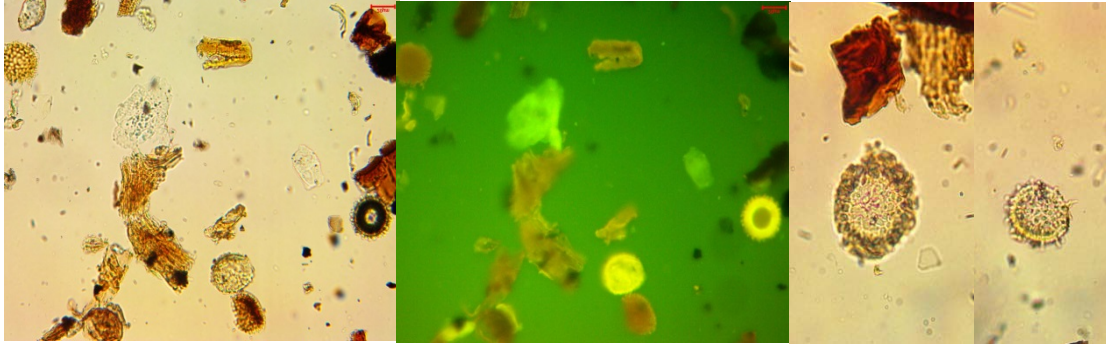
- **Palinofacijes:** U uzorku postoji relativno malo organskog ostatka bez promjene u sastavu organskog ostatka u odnosu na prethodni uzorak, pa i u ovom uzorku dominiraju fitoklasti (i charcoal). Zastupljeni su još amorfni liptinit, zooklasti, sporinit i rezinit.
- **Fosili:** Manji udio mediteranskih elemenata, posebice hrasta crnike *Quercus ilex* u odnosu na pelud listopadnog drveća običnog graba *Carpinus*, lipe *Tilia*, brijesta *Ulmus* i hrasta *Quercus robur*, pelud *Pinus* i fragmenti peluda jele *Abies* i smreke *Picea* te pelud *Plantago* i *Poaceae*, spore paprati *Polypodium* te pelud vodenog bilja *Ceratophyllum*, kao i zoospora *Concentricystes circulus* i prazinofocejske fikome.
- **Okoliš:** Priobalni (<5 m dubine) disoksični slatkovodni okoliš u koji je povremeno donosan terigeni materijal iz relativne blizine, razmjerno tople i hranjivim tvarima bogate (eutrofne) vode.
- **Klima:** Cf- umjereno topla vlažna klima



Slika 81. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-53 138-139 cm

Uzorak CS-53 156-157cm

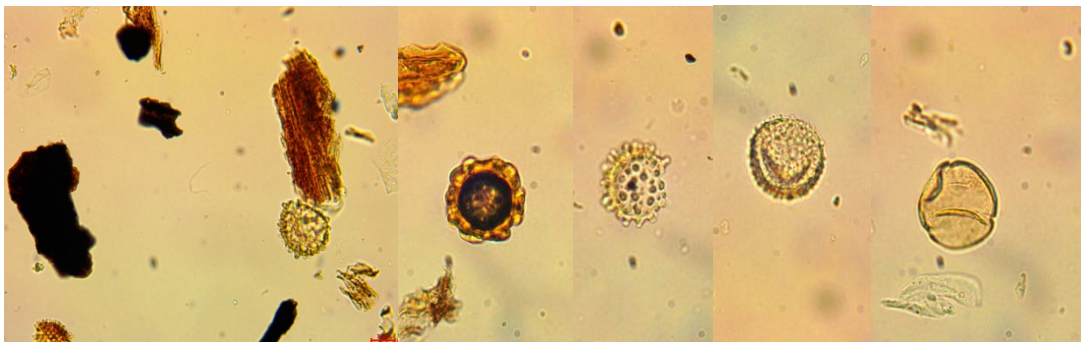
- Palinofacijes: U uzorku postoji relativno puno organskog ostatka bez promjene u sastavu organskog ostatka u odnosu na prethodni uzorak, pa i u ovom uzorku dominiraju fitoklasti. Zastupljeni su još zooklasti, sporinit i amorfni liptinit.
- Fosili: Nešto manji udio mediteranskih elemenata, posebice hrasta crnike *Quercus ilex* u odnosu na pelud listopadnog drveća *Q. robur*, običnog graba *Carpinus*, lipe *Tilia*, brijesta *Ulmus* i bukve *Fagus*, bisakatni pelud *Pinus* i fragmenti peluda jele *Abies* i smreke *Picea* te pelud vodenog bilja *Polygonum*, *Ceratophyllum*, *Elodea* i *Lemna*, zoospora *Concentricystes circulus*, spore paprati *Pteridium*.
- Okoliš: Priobalni (<5 m dubine) disoksični slatkovodni okoliš u koji je povremeno donosan terigeni materijal iz relativne blizine, razmjerno tople i hranjivim tvarima bogate (eutrofne) vode.
- Klima: Cf- umjereno topla vlažna klima



Slika 82. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-53 156-157 cm

Uzorak CS-53 171-172cm

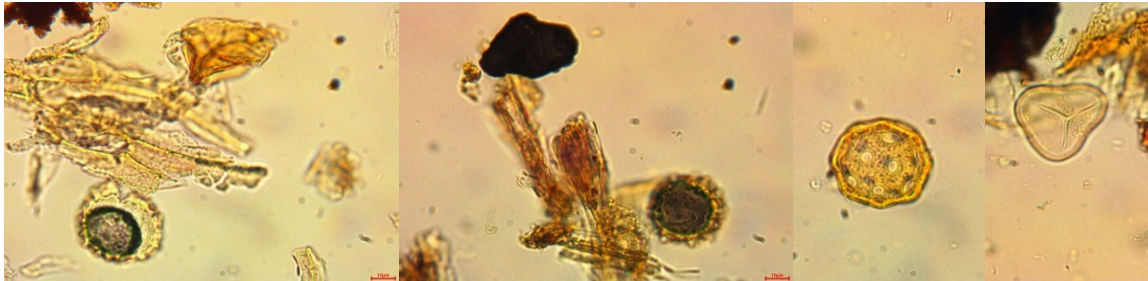
- Palinofacijes: U uzorku postoji relativno puno organskog ostatka bez promjene u sastavu organskog ostatka u odnosu na prethodni uzorak, pa i u ovom uzorku dominiraju fitoklasti. Zastupljeni su još zooklasti, sporinit i amorfni liptinit.
- Fosili: Nešto manji udio mediteranskih elemenata, posebice hrasta crnike *Quercus ilex* u odnosu na pelud listopadnog drveća *Q. robur*, običnog graba *Carpinus*, lipe *Tilia*, brijesta *Ulmus* i bukve *Fagus*, bisakatni pelud *Pinus* i fragmenti peluda jele *Abies* i smreke *Picea* te pelud vodenog bilja *Polygonum*, *Ceratophyllum*, *Elodea* i *Lemna*, zoospora *Concentricystes circulus*, spore paprati *Pteridium*.
- Okoliš: Priobalni (<5 m dubine) disoksični slatkovodni okoliš u koji je povremeno donosan terigeni materijal iz relativne blizine, razmjerno tople i hranjivim tvarima bogate (eutrofne) vode.
- Klima: Cf- umjereno topla vlažna klima



Slika 83. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-53 171-172 cm

Uzorak CS-53 186-187cm

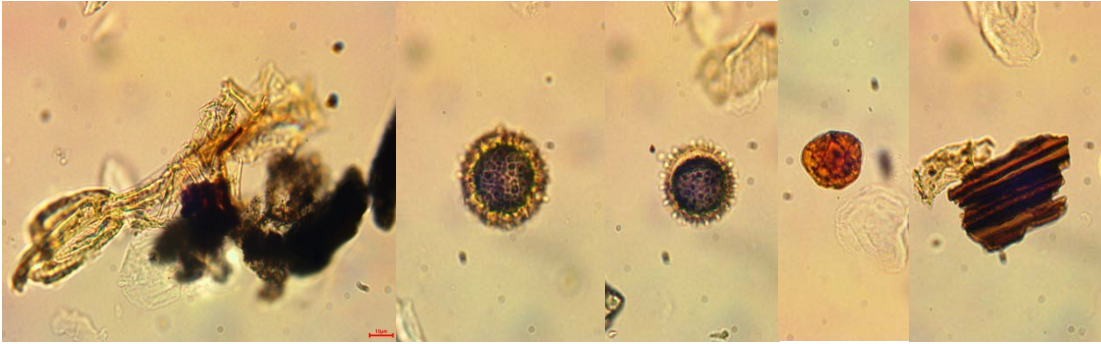
- **Palinofacijes:** U uzorku postoji relativno puno organskog ostatka bez promjene u sastavu organskog ostatka u odnosu na prethodni uzorak, pa i u ovom uzorku dominiraju fitoklasti. Zastupljeni su još zooklasti, sporinit i amorfni liptinit.
- **Fosili:** Nešto manji udio mediteranskih elemenata, posebice hrasta crnike *Quercus ilex* u odnosu na pelud listopadnog drveća *Q. robur*, običnog graba *Carpinus*, lipe *Tilia* i bukve *Fagus*, pelud *Silene*, pelud *Pinus* i fragmenti peluda jele *Abies* i smreke *Picea*, spore paprati *Pteridium* te pelud vodenog bilja *Polygonum*, *Ceratophyllum* i *Lemna*.
- **Okoliš:** Priobalni (<5 m dubine) disoksični slatkovodni okoliš u koji je povremeno donosan terigeni materijal iz relativne blizine, razmjerno tople i hranjivim tvarima bogate (eutrofne) vode.
- **Klima:** Cf- umjereno topla vlažna klima



Slika 84. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-53 186-187 cm

Uzorak CS-53 202-203cm

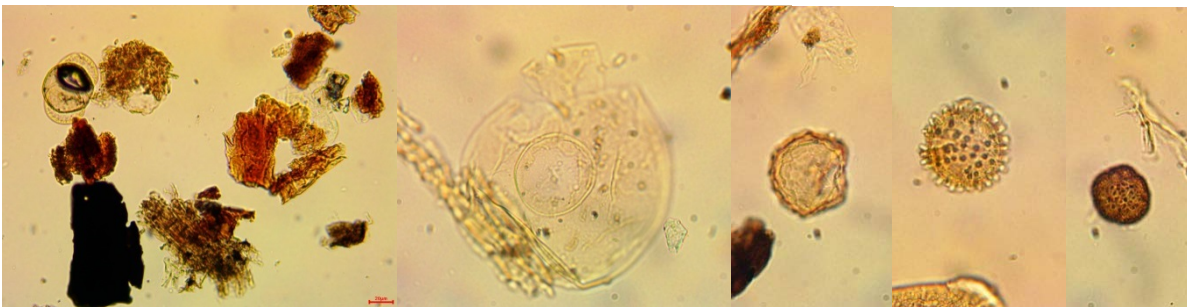
- **Palinofacijes:** U uzorku postoji vrlo malo organskog ostatka. Postoje rijetki fitoklasti, sporinit i rezinit.
- **Fosili:** Pelud vodenog bilja *Ceratophyllum* i *Elodea*.
- **Okoliš:** Priobalni (<5 m dubine) disoksični slatkovodni okoliš u koji je povremeno donosan terigeni materijal iz relativne blizine, razmjerno tople i hranjivim tvarima bogate (eutrofne) vode.
- **Klima:** Cf- umjereno topla vlažna klima



Slika 85. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-53 202-203 cm

Uzorak CS-53 218-219cm

- Palinofacijes: U uzorku postoji relativno malo organskog ostatka. I u ovom uzorku dominiraju fitoklasti. Zastupljeni su još zooklasti, sporinit i rezinit.
- Fosili: Vrlo mali udio listopadnog drveća u odnosu na četinjače; pelud bora *Pinus* i fragmenti peluda jele *Abies* i smreke *Picea* te pelud vodenog bilja *Polygonum* i *Elodea*, spore gljiva i prazinofocejske fikome.
- Okoliš: Priobalni (<5 m dubine) disoksični slatkovodni okoliš u koji je povremeno donosan terigeni materijal iz relativne blizine, razmjerno tople i hranjivim tvarima bogate (eutrofne) vode.
- Klima: Cf- umjereno topla vlažna klima



Slika 86. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-53 218-219 cm

Uzorak CS-53 236-237cm

- Palinofacijes: U uzorku postoji relativno puno organskog ostatka bez promjene u sastavu organskog ostatka u odnosu na prethodni uzorak, pa i u ovom uzorku dominiraju fitoklasti (charcoal). Zastupljeni su još zooklasti, sporinit i amorfni liptinit.
- Fosili: Pelud bora *Pinus* i spore paprati *Polypodium* i *Pteridium*, pelud vodenog bilja *Ceratophyllum* i *Lemna* te prazinofocejske fikome.

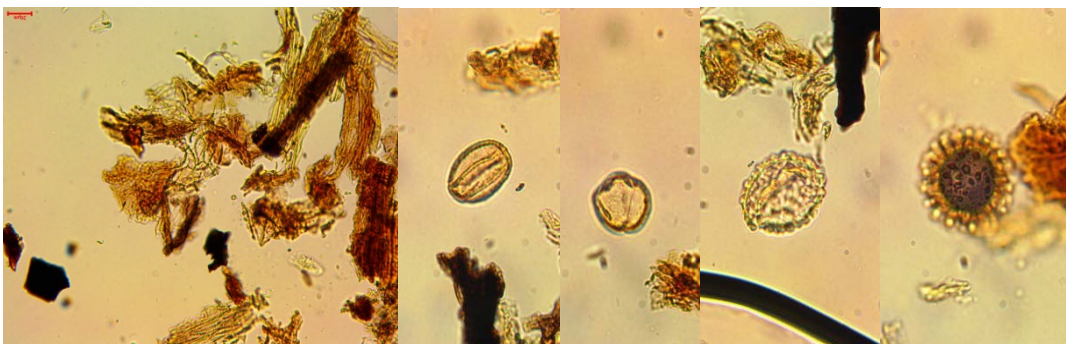
- Okoliš: Priobalni (<5 m dubine) disoksični slatkovodni okoliš u koji je povremeno donosan terigeni materijal iz relativne blizine, razmjerno tople i hranjivim tvarima bogate (eutrofne) vode.
- Klima: Cf- umjereno topla vlažna klima



Slika 87. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-53 236-237 cm

Uzorak CS-53 249-250cm

- Palinofacijes: U uzorku postoji puno organskog ostatka - dominiraju fitoklasti. Zastupljeni su još zooklasti, sporinit i rezinit.
- Fosili: Manji udio mediteranskih elemenata, posebice hrasta crnike *Quercus ilex* u odnosu na pelud listopadnog drveća *Q. robur* te pelud vodenog bilja *Polygonum*, *Ceratophyllum*, *Elodea* i prazinoficejske fikome.
- Okoliš: Priobalni (<5 m dubine) disoksični slatkovodni okoliš u koji je povremeno donosan terigeni materijal iz relativne blizine, razmjerno tople i hranjivim tvarima bogate (eutrofne) vode.
- Klima: Cf- umjereno topla vlažna klima



Slika 88. Palinomorfe i palinofacijes u uzorku CS-53 249-250 cm

Tablica 31. Rezultati palinoloških analiza uzoraka CS-52.

No.	Uzorak	Pelud	Okoliš	glavni biom	klima
1	CS-52 3-4cm	<i>Quercus ilex, Carpinus, Tilia</i>	Priobalni disoksični slatkovodni	mediteranska vegetacija	Cs - Sredozemna klima
2	CS-52 23-24cm	<i>Quercus ilex, Quercus robur, Artemisia, Olea, Ceratophyllum, Elodea</i>	Priobalni, plitki (<5 m dubine) disoksični slatkovodni, eutrofni	mediteranska vegetacija	Cs - Sredozemna klima
3	CS-52 40-41 cm	<i>Quercus ilex, Quercus robur, Ostrya, Pinus, Abies, Picea, Polygonum, Ceratophyllum, Elodea i Lemna</i>	Priobalni, plitki (<5 m dubine) disoksični slatkovodni, eutrofni	mediteranska vegetacija	Cs - Sredozemna klima
4	CS-52 70-71 cm	<i>Quercus ilex, Quercus robur, Carpinus, Corylus, Erica, Ceratophyllum</i>	Priobalni, plitki (<5 m dubine) disoksični slatkovodni, eutrofni	mediteranska vegetacija	Cs - Sredozemna klima
5	CS-52 113-114cm	<i>Quercus ilex, Quercus robur, Tilia, Fagus, Erica, Pinus, Abies, Botryococcus</i>	Priobalni, plitki (<3 m dubine) disoksični slatkovodni, eutrofni	mediteranska vegetacija	Cs - Sredozemna klima
6	CS-52 133-134cm	<i>Quercus ilex, Quercus robur, Ostrya, Pinus, Abies, Fraxinus</i>	Priobalni disoksični slatkovodni	mediteranska vegetacija	Cs - Sredozemna klima
7	CS-52 182-183cm	<i>Quercus robur, Quercus ilex, Pinus, Picea, Ceratophyllum, Pteridium, Botryococcus, prazinoficejske fikome, Arcella</i>	Priobalni, plitki (<3 m dubine) disoksični slatkovodni, eutrofni	listopadna šuma	Cf- umjereno topla vlažna klima
8	CS-52 223-224cm	-	Priobalni oksični slatkovodni, visoke dinamike	-	-
9	CS-52 270-271cm	<i>Quercus ilex, Quercus robur, Olea Pinus, Abies, Picea, Polygonum, Ceratophyllum</i>	Priobalni, plitki (<5 m dubine) disoksični slatkovodni	vodeno bilje	Cf- umjereno topla vlažna klima

Tablica 32. Rezultati palinoloških analiza uzoraka CS-53.

No.	Uzorak	Pelud	Okoliš	glavni biom	klima
1	CS-53 8-9cm	<i>Quercus ilex</i> , <i>Quercus robur</i> , <i>Fagus</i> , <i>Cichoriaceae</i> , <i>Botryococcus</i>	Priobalni, plitki (<3 m dubine), slatkovodni disoksični - anoksični, eutrofni, stratificiran	mediteranska vegetacija	Cs - Sredozemna klima
2	CS-53 26-27cm	<i>Pinus</i> , <i>Ceratophyllum</i> , <i>Elodea</i> , <i>praznoficejske</i> <i>fikome</i>	Priobalni, plitki (<5 m dubine) disoksični slatkovodni, eutrofni	mediteranska vegetacija	Cs - Sredozemna klima
3	CS-53 51-52cm	<i>Quercus ilex</i> , <i>Botryococcus</i> , <i>Abies</i>	Priobalni, plitki (<3 m dubine), slatkovodni disoksični - anoksični, eutrofni, stratificiran	mediteranska vegetacija	Cs - Sredozemna klima
4	CS-53 70-71cm	<i>Quercus ilex</i> , <i>Quercus robur</i> , <i>Carpinus</i> , <i>Tilia</i> , <i>Ulmus</i> , <i>Pinus</i> , <i>Abies</i> , <i>Polygonum</i> , <i>Pteridium</i> , <i>Polypodium</i>	Priobalni, plitki (<5 m dubine) disoksični slatkovodni, eutrofni	mediteranska vegetacija	Cs - Sredozemna klima
5	CS-53 87-88 cm	<i>Abies</i>	Priobalni, slatkovodni disoksični - anoksični, eutrofni, stratificiran		
6	CS-53 106- 107cm	<i>Quercus robur</i> , <i>Quercus ilex</i> , <i>Carpinus</i> , <i>Tilia</i> , <i>Ulmus</i> , <i>Pinus</i> , <i>Abies</i> , <i>Picea</i> , <i>Polygonum</i> , <i>Ceratophyllum</i> , <i>Elodea</i> , <i>Lemna</i> , <i>Polypodium</i> , <i>Botryococcus</i>	Priobalni, plitki (<5 m dubine) disoksični slatkovodni, eutrofni	listopadna šuma	Cf- umjereno topla vlažna klima

No.	Uzorak	Pelud	Okoliš	glavni biom	klima
7	CS-53 122- 123cm	<i>Quercus robur</i> , <i>Quercus ilex</i> , <i>Carpinus</i> , <i>Tilia</i> , <i>Ulmus</i> , Cichoriaceae, <i>Pinus</i> , <i>Abies</i> , <i>Picea</i> , <i>Polygonum</i> , <i>Ceratophyllum</i> , <i>Lemna</i> , <i>Polypodium</i>	Priobalni, plitki (<5 m dubine) disoksični slatkovodni, eutrofni	listopadna šuma	Cf- umjereno topla vlažna klima
8	CS-53 138- 139cm	<i>Quercus robur</i> , <i>Quercus ilex</i> , <i>Carpinus</i> , <i>Tilia</i> , <i>Ulmus</i> , <i>Pinus</i> , <i>Abies</i> , <i>Picea</i> , <i>Polygonum</i> , <i>Ceratophyllum</i> , <i>Polypodium</i> , prazinofigejske fikome	Priobalni, plitki (<5 m dubine) disoksični slatkovodni, eutrofni	listopadna šuma	Cf- umjereno topla vlažna klima
9	CS-53 156- 157cm	<i>Quercus robur</i> , <i>Quercus ilex</i> , <i>Carpinus</i> , <i>Tilia</i> , <i>Ulmus</i> , <i>Fagus</i> , <i>Pinus</i> , <i>Abies</i> , <i>Picea</i> , <i>Polygonum</i> , <i>Ceratophyllum</i> , <i>Elodea</i> i <i>Lemna</i> , <i>Pteridium</i>	Priobalni, plitki (<5 m dubine) disoksični slatkovodni, eutrofni	listopadna šuma	Cf- umjereno topla vlažna klima
10	CS-53 171- 172cm	<i>Quercus robur</i> , <i>Quercus ilex</i> , <i>Carpinus</i> , <i>Tilia</i> , <i>Ulmus</i> , <i>Fagus</i> , <i>Pinus</i> , <i>Abies</i> , <i>Picea</i> , <i>Polygonum</i> , <i>Ceratophyllum</i> , <i>Elodea</i> i <i>Lemna</i> , <i>Pteridium</i>	Priobalni, plitki (<5 m dubine) disoksični slatkovodni, eutrofni	listopadna šuma	Cf- umjereno topla vlažna klima
11	CS-53 186- 187cm	<i>Quercus robur</i> , <i>Quercus ilex</i> , <i>Carpinus</i> , <i>Tilia</i> , <i>Fagus</i> , <i>Pinus</i> , <i>Abies</i> , <i>Picea</i> , <i>Polygonum</i> , <i>Ceratophyllum</i> , <i>Elodea</i> i <i>Lemna</i>	Priobalni, plitki (<5 m dubine) disoksični slatkovodni, eutrofni	listopadna šuma	Cf- umjereno topla vlažna klima
12	CS-53 202- 203cm	<i>Ceratophyllum</i> , <i>Elodea</i>	Priobalni, plitki (<5 m dubine) disoksični slatkovodni, eutrofni	vodeno bilje	Cf- umjereno topla vlažna klima
13	CS-53 218- 219cm	<i>Pinus</i> , <i>Abies</i> , <i>Picea</i> , <i>Polygonum</i> , <i>Elodea</i> , prazinofigejske fikome	Priobalni, plitki (<5 m dubine) disoksični slatkovodni, eutrofni	vodeno bilje	Cf- umjereno topla vlažna klima

No.	Uzorak	Pelud	Okoliš	glavni biom	klima
14	CS-53 236- 237cm	<i>Pinus, Ceratophyllum, Lemna, Polypodium, Pteridium, prazinofigejske fikome</i>	Priobalni, plitki (<5 m dubine) disoksični slatkovodni, eutrofni	vodeno bilje	Cf- umjereno topla vlažna klima
15	CS-53 249- 250cm	<i>Quercus ilex, Quercus robur, Polygonum, Ceratophyllum, Elodea, prazinofigejske fikome</i>	Priobalni, plitki (<5 m dubine) disoksični slatkovodni, eutrofni	vodeno bilje	Cf- umjereno topla vlažna klima

Zaključak

Kroz analizirane uzorke iz jezgre CS 52 i CS 53 možemo pratiti razvoj vegetacije na području današnjeg Vranskog jezera na Cresu od listopadne šume u umjereno toploj vlažnoj klimi do mediteranske vegetacije u sredozemnoj klimi. Promjena je uočena u jezgri CS 52 između uzoraka s dubine 133-134cm i 182-183cm, a u jezgri CS 53 između uzoraka s dubine 70-71cm i 106-107cm što odgovara prijelazu srednjeg u mlađi holocen uz suhlu klimu.

Na temelju painomorfi približno su određene paleorazine Vranskog jezera. U jezgri CS 52 možemo pratiti prijelaz od priobalnog, plitkog (<5 m dubine) disoksičnog slatkovodnog okoliša preko oksičnog okoliša visoke dinamike ponovo u priobalni, plitki (<5 m dubine) disoksični slatkovodni okoliš uz male izmjene u dubini (i vrlo plitkog, tj. <3 m dubine) tijekom vremena. Slično je i u jezgri CS 53 koja je locirana nešto dalje od obale, gdje je dulje vrijeme priobalni, plitki (<5 m dubine) disoksični slatkovodni, eutrofni okoliš. Uočava se kratkotrajna promjena na prijelazu u mlađi holocen kad okoliš postaje disoksični - anoksični, stratificiran nakon čega se može partiti prijelaz u priobalni, plitki (<5 m dubine) disoksični okoliš uz male izmjene u dubini (i vrlo plitki, tj. <3 m dubine) tijekom vremena.

3.9. Rezultati analize ostrakodne faune

Rezultati mikropaleontoloških istraživanja četrdeset uzoraka uzorkovanih iz jezgre oznaka CS 51, CS 52 i CS 53 koje su bušene na tri lokacije u Vranskom jezeru na Cresu. Uzorci su uzeti na različitim dubinama. Oznake uzoraka definiraju dubinu uzimanja uzoraka. U svim uzorcima u mikrofosilnoj zajednici dominira ostrakodna fauna. Kao popratna fauna nalaze se molusci, talusi i oogoniji *Chara*, biljno sjemenje, dijelovi bilja, fitoplankton i tekamebe.

Ostrakodi su fosili malih dimenzija, obično manji od 1,5 mm pa se nalaze u velikom broju u maloj količini uzorka. Žive u svim vodenim sredinama, a limnički ostrakodi su u kopnenim vodama ponekad jedini fosilni nalaz. Ljušturice ostrakoda građene su uglavnom od Ca i Mg karbonata, ali i drugih kemijskih elemenata kao što su Sr, K, Na, Mn, Fe, i Ba. Nakon uginuća ostaju u sedimentu, otporne su na stresne promjene vezane za dijagenezu, odnosno dobro se fosiliziraju. Osim primjene ostrakoda u biostratigrafskoj zonaciji, ovi organizmi su i odlični indikatori paleookoliša jer se kemijskom analizom ljušturice morskog ili limničkog ostrakoda dobije točan podatak o okolišu u kojem su jedinke boravile.

Genetski sustav dozvoljava ostrakodima da se za vrijeme života lako i relativno brzo adaptiraju na lokalne uvjete, ali ekofiziološke reakcije pojedinih ostrakodnih vrsta pokazuju da su one jako osjetljive na fizikalno - kemijske promjene okoliša (Carbonel & Tölderer-Farmer, 1987). Najvažniji preduvjet za analizu paleoekosustava koji predstavlja kompleksni odnos paleozajednica i abiotskih okolišnih parametara je rekonstrukcija paleozajednice. Rekonstrukcija holocenskih zajednica Vranskog jezera na Cresu olakšana je činjenicom da većina holocenskih rodova s jednom ili više vrsta živi i danas tako da za većinu ostrakoda postoje poznati rezultati djelovanja abiotskih faktora odnosno reakcije pojedinih organizama na njihovo djelovanje.

Mnoge ostrakodne vrste pokazuju dobru toleranciju prilikom variranja okolišnih uvjeta i sposobne su opstati i preživjeti u ekstremnim okolišima, dok su druge ograničene na strogo prepoznatljive biotope i osjetljive su na neznatne promjene jednog ili više okolišnih čimbenika. Utjecaj okoliša na liniju evolucije ostrakoda je neosporan. Prve promjene očituju se kao intraspecijske varijacije, a ukoliko dolazi do stresnih situacija nastupa promjena cijelih zajednica.

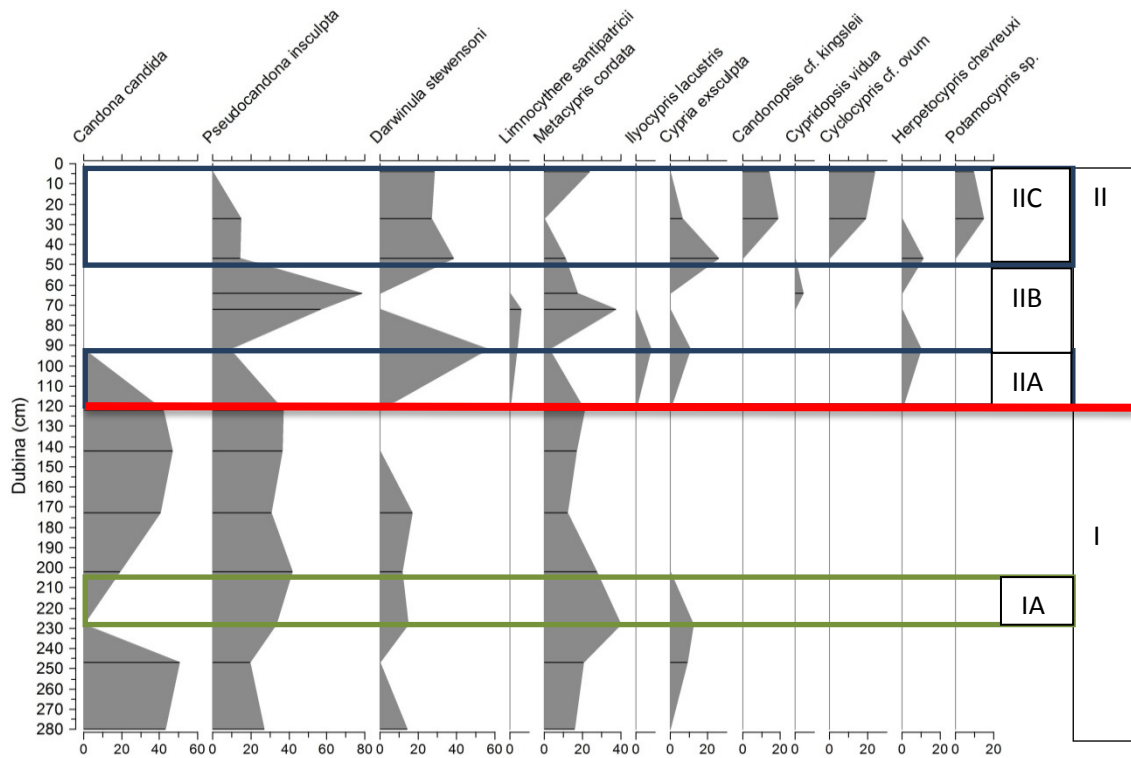
Za ostrakodnu analizu uzorci su iz jezgri uzimani sukcesivno u intervalima od 5 cm. Svi uzorci su pripremljeni metodom šlemanja u laboratoriju Zavoda za mineralne sirovine na Hrvatskom geološkom institutu, Zagreb. Uz pomoć Zeiss stereomikroskopa izdvojene su ostrakodne juvenilne i adultne ljušturice (cijele i odvojene) zajedno s popratnim mikrofosilnim sadržajem. Ostrakodi su izdvajani kvantitativno kako bi se očuvao relativni sastav

tanatocenoze. Većina ostrakodne faune determinirana je precizno ako su očuvanost ljušturice i stadij razvoja jedinki bili dovoljno dobri za specifičnu odredbu, dok je ostala popratna mikrofauna samo navedena ili determinirana na razini roda. Identifikacija vrsta, nomenklatura i osnove ekološke interpretacije bazirane su na monografiji Meisch-a (2000). Raspon i broj ostrakodnih vrsta u odnosu na dubinu jezgre te podjela ostrakodnih zajednica po zonama i podzonama prikazana je na dijagramima (slike 89, 90, i 91). Ostrakodne jedinke, cijele i odvojene, fotografirane su (slike 92, 93 i 94) na skenirajućem elektronskom mikroskopu (SEM-u) u laboratoriju Hrvatskog geološkog instituta.

Jezgra CS 51

Iz jezgre CS 51 odabrao je trinaest uzoraka. Uzorci su uzimani u intervalima po pet cm, osim jenog uzorka koji je uzet u intervalu od 4 cm. Najstariji uzorak uzet je na dubini od 278-282 cm, iza kojeg slijede uzorci na dubinama: 245-250 cm, 226-250 cm, 200-205 cm, 171-176 cm, 140-145 cm, 120-125 cm, 90-95 cm, 70-75 cm, 62-67 cm, 45-50 cm, 25-30 cm i zadnji na dubini od 2-7 cm. U uzorcima je ukupno determinirano 12 vrsta: *Candona candida* (O.F. Müller), *Pseudocandona insculpta* (G.W. Müller), *Ilyocypris lacustris* Kaufmann, *Darwinula stevensoni* (Brady & Robertson), *Limnocythere santipatricii* (Brady & Robertson), *Cypridopsis vidua* (O.F. Müller), *Cyclocypris ovum* (Jurine), *Cypria exculpta* (Fischer), *Candonopsis kingsleii* (Brady & Robertson), *Metacypris cordata* Brady & Robertson, *Herpetocypris chevreuxi* (Sars) i *Potamocypris* sp..

Najzastupljenije vrste koje se nalaze u gotovo svim uzorcima osim najmlađem su vrste *Pseudocandona insculpta* i *Metacypris cordata*. Brojnost ljušturica vrste *Pseudocandona insculpta* varira, a u najvećem broju vrsta je nađena u uzorcima 200-205cm i 63-67cm, dok je vrsta *Metacypris cordata* najbrojnija na dubinama jezgre od 230 cm do 200 cm. U uzorcima jezgre CS 51 nađena je vrsta *Candona candida* koja preferira niže temperature vode (Viehberg 2006), a pojavljuje se u jezgri od 282 cm do 120 cm. Iznad 120 cm javljaju se nove vrste *Candonopsis kingsleii*, *Herpetocypris chevreuxi*, *Cypridopsis vidua* i *Potamocypris* sp., tj. taksoni širokog ekološkog raspona čiji nalaz upućuje na spuštanje nivoa jezerske vode.



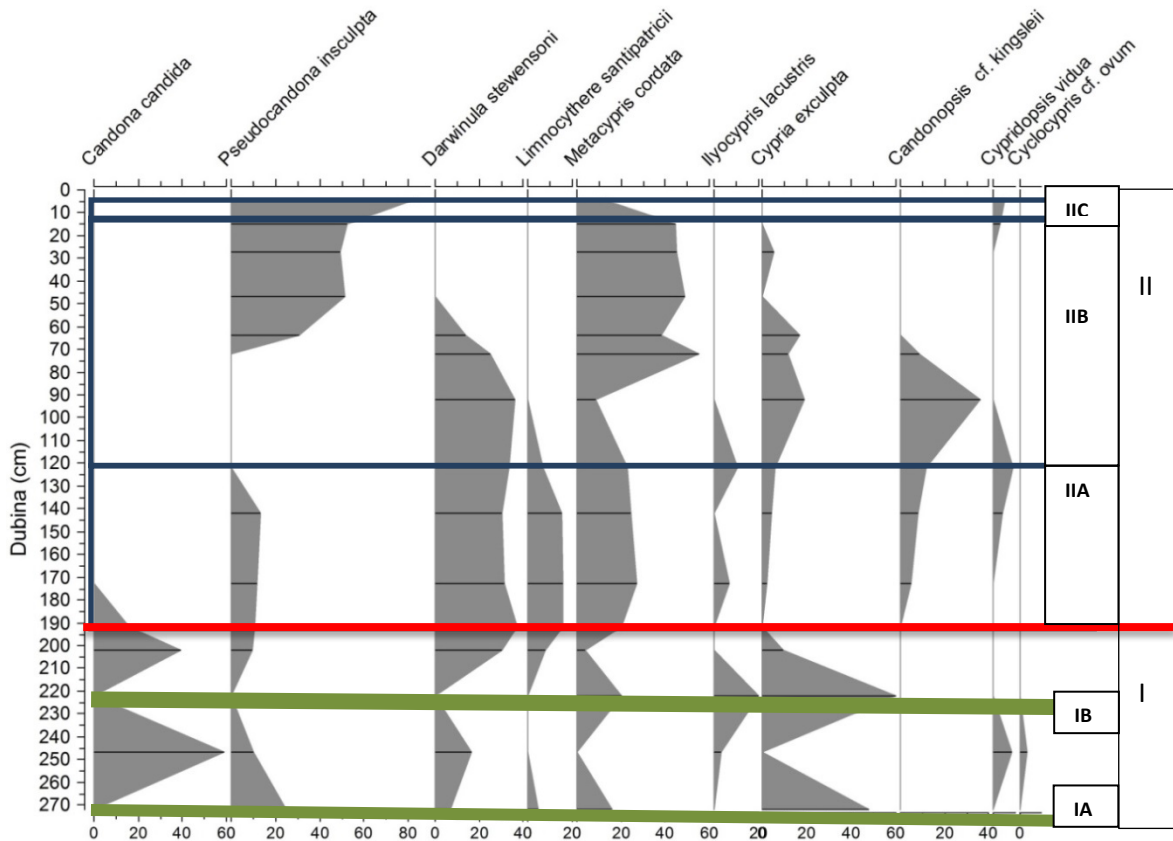
Slika 89. Dijagram rasprostranjenosti ostrakodnih vrsta po dubinama jezgre CS 51 i prikazom ostrakodnih zona (I,II) i podzona.

Prema sastavu ostrakodne zajednice u jezgri CS 51 mogu se postaviti dvije glavne ostrakodne zone: prva (**I**) od 282 cm do 120 cm i druga zona (**II**) od 120 cm do 2 cm. Prva i druga zona izdvojene su zbog nalaza ljušturica / zadnje pojave ljušturica vrste *Candona candida*. Unutar prve zone izdvojena je jedna podzona **IA** na dubini od 226 cm do 205 cm u kojoj nema ljušturica vrste *C. candida* (uzorku 226 - 230 cm), ali u kojoj se nalaze brojnije ljušturice vrste *Metacypris cordata*. Početak druge zone (**II**) obilježila je zadnja pojava vrste *C. candida*. U ovoj zoni najbrojnije su plitkovodne vrste, koje preferiraju područja s bujnijom vegetacijom. U drugoj zoni se mogu izdvojiti tri podzone: **IIA** od 120 cm do 90 cm, podzona za koju je karakteristična hladnija plića vodena sredina; **IIB** od 90 cm do 50 cm zona postepenog snižavanje nivoa jezerske vode; i **IIC** od 50 do 2 cm, podzona plitkovodnog okoliša sa stalnim varijacijama nivoa jezerske vode.

Kao popratna mikrofauna u svim uzorcima jezgre CS 51 nalaze se oogonije i talusi *Chara*, najvjerovatnije *Chara vulgaris*. Od dubine 120 cm do 285 cm uz dijelove *Chara* češći su planispiralni pužići roda *Gyraulus* i operkulumi. Za uzorke u intervalu od 40 cm do 125 cm često se nalazi *Diffugia* sp. te u najvišem dijelu jezgre od 50 cm do 2 cm čest je i fitoplankton.

Jezgra CS 52

Iz jezgre CS 52 odabrao je petnaest uzoraka za mikropaleontološku analizu. Uzorci su uzimani u intervalima po pet cm, osim dva uzorka koja su uzeta u intervalu od 4 cm. Najstariji uzorak uzet je na dubini od 270-275 cm, iza kojeg slijede uzorci na dubinama: 245-250 cm, 220-225 cm, 200-205 cm, 190-195 cm, 171-175 cm, 140-145 cm, 120-125 cm, 90-95 cm, 70-75 cm, 62-67 cm, 45-50 cm, 25-30 cm, 13-18 cm i zadnji na dubini od 2-6 cm. U svim uzorcima determinirano je 10 vrsta: *Candona candida* (O.F. Müller), *Pseudocandona insculpta* (G.W. Müller), *Ilyocypris lacustris* Kaufmann, *Darwinula stevensoni* (Brady & Robertson), *Limnocythere santipatricii* (Brady & Robertson), *Cypridopsis vidua* (O.F. Müller), *Cyclocypris* cf. *ovum* (Jurine), *Cypria exculpta* (Fischer), *Candonopsis kingsleii* (Brady & Robertson) i *Metacypris cordata* Brady & Robertson. Najzastupljenija vrsta u svim uzorcima je *Metacypris cordata* koju nije nađena samo u jednom uzorku. Česte su i vrste *Pseudocandona insculpta*, *Darwinula stevensoni* i *Cypria exculpta*. Tri vrste su ograničene za određene dubinske intervale jezgre. To su *Candona candida* za dubinu jezgre od 250 cm do 190 cm ; *Candonopsis kingsleii* za interval 175 cm do 70 cm i *Limnocythere santipatricii* za 205 cm do 120 cm. Rjeđe i u manjem broju su nađene vrste *Ilyocypris lacustris*, *Cypridopsis vidua* i *Cyclocypris* cf. *ovum*.



Slika 90. Dijagram rasprostranjenosti ostrakodnih vrsta po dubinama jezgre CS 52 i prikazom ostrakodnih zona (I,II) i podzona.

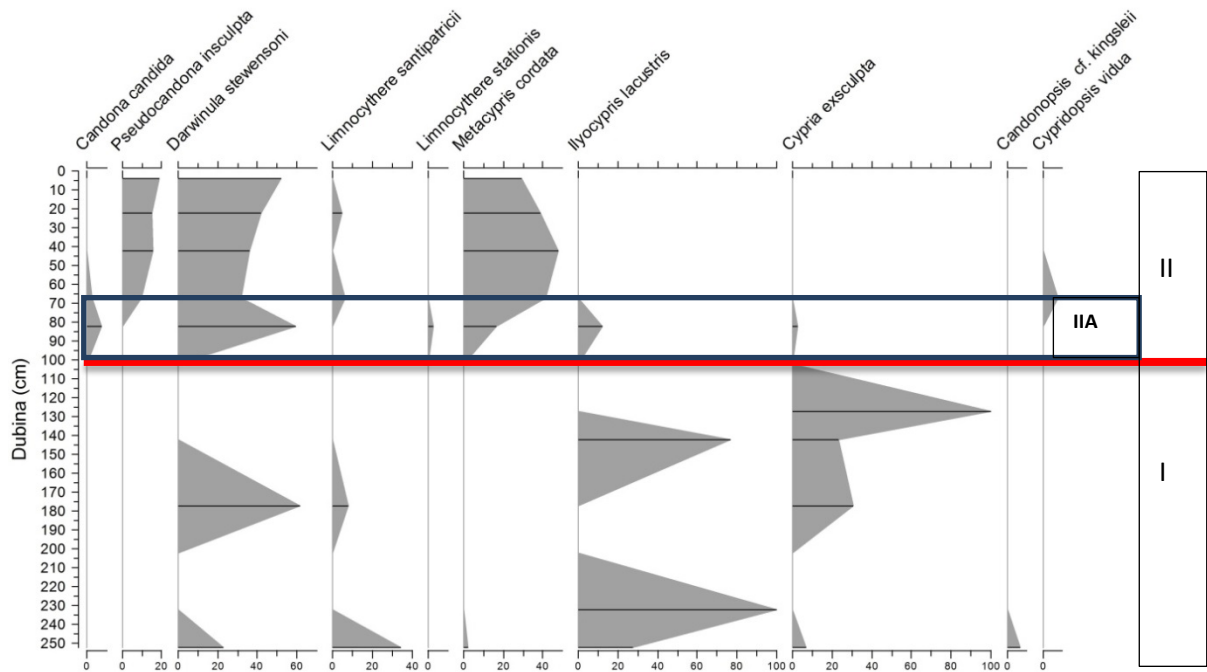
Prema sastavu ostrakodne zajednice u jezgri CS 52 mogu se postaviti dvije glavne zone. Prvu zonu I, kao i u prethodno opisanoj jezgri CS 51 moguće je izdvojiti zbog nalaza vrste *Candona candida* na dubini od 270 cm do 190 cm. Osim vrste *C. candida* u ovoj zoni česte i brojne su i vrste *Darwinula stevensoni* i *Pseudocandona insculpta*. Stenotermna vrsta *Metacypris cordata* nalazi se u ovoj zoni u manjem broju. U dva uzorka ove zone ne nalaze se ljušturice vrste *C. candida*: u uzorku 270-275 cm u kojem su brojnije jedinice vrste *Pseudocandona insculpta* i *Cyprina exsculpta* i uzorku 220-225 cm u kojem ima svega nekoliko pojedinačnih ljušturica drugih vrsta što ukazuje na mogućnost pretaložavanja istih, odnosno nepovoljne uvjete za ostrakodnu zajednicu. Temeljem promjena ostrakodne zajednice u ta dva uzorka prve zone izdvojene su i dvije podzone IA i IB. Druga ostrakodna zona počinje od zadnje pojave vrste *C. candida* na 190 cm pa sve do 2 cm. dubine. To je zona pliće vodene sredine bogate vodenim biljkama i algama. Ovu zonu moguće je podijeliti na tri podzone. Prva podzona (IIA) koja se na temelju ostrakodne zajednice može se interpretirati kao plića, hladnija vodena sredina bogata biljem (od 190 cm do 120 cm); dok se u drugoj podzoni (IIB) pretpostavlja postepno oplićavanje jezera i bogati biljni pokrov (od

120 do 13 cm); te treća podzona (**IIC**) od 13 cm do 2 cm u kojoj nivo jezerske vode postepeno raste.

Kao popratna mikrofauna u svim uzorcima jezgre CS 52 nalaze se oogonije i talusi *Chara* te dijelovi bilja i sjemenke. Na dubini jezgre od 195 do 120 cm nalaze se i školjkice, operkulumi, a od 75 cm do 2 cm ima dosta *Diffflugia* sp. i fitoplanktona. Kućice mikropužića nalaze se na dubini od 30 do 13 cm.

Jezgra CS 53

Iz jezgre CS 53 analizirano je dvanaest uzoraka. Uzorci su uzimani u intervalima po pet cm. Najdublji uzorak uzet je na dubini od 250-255 cm, iza kojeg slijede uzorci na dubinama: 230-235 cm, 200-205 cm, 190-195 cm, 175-180 cm, 140-145 cm, 125-130 cm, 100-105 cm, 80-85 cm, 65-70 cm, 40-45 cm, 20-25 cm te zadnji na dubini od 2-7 cm. U svim uzorcima je determinirano 10 vrsta: *Candona candida* (O.F. Müller) *Pseudocandona insculpta* (G.W. Müller) *Ilyocypris lacustris* Kaufmann, *Darwinula stevensoni* (Brady & Robertson) *Limnocythere santipatricii* (Brady & Robertson), *Limnocythere stationis* Vávra, *Cypridopsis vidua* (O.F. Müller), *Cypria exculpta* (Fischer) *Candonopsis kingsleii* (Brady & Robertson) i *Metacypris cordata* Brady & Robertson. Najbrojnije vrste u analiziranim uzorcima ove jezgre su: *Darwinula stevensoni* *Pseudocandona insculpta* i *Metacypris cordata*. Češće su vrste *Limnocythere santipatricii*, *Ilyocypris lacustris* i *Cypria exculpta*. Veoma rijetke su vrste *Candona candida*, *Limnocythere stationis*, *Candonopsis kingsleii* i *Cypridopsis vidua*. Dva uzorka na dubini od 100-105 cm i 200-205 cm su sterilna, bez ostrakodne faune.



Slika 91. Dijagram rasprostranjenosti ostrakodnih vrsta po dubinama jezgre CS 52 i prikazom ostrakodnih zona (I,II) i podzona.

Prema sastavu ostrakodne zajednice u jezgri CS 53 mogu se postaviti dvije glavne zone Prva zona **I** (od 255 cm do 100 cm) je zona osiromašenja, u kojoj su ostrakodne ljušturice malobrojne ili ih nema. U ovoj zoni najbrojnije su vrste *Cypria exculpta*, *Ilyocypris lacustris*, *Darwinula stewartsoni* i *Limnocythere santipatricii* koje ukazuju na hladniju jezersku sredinu. Nađeni su i pojedinačni primjerci vrsta *Metacypris cordata* i *Candonopsis kingsleii*. Druga zona **II** izdvojena je temeljem promjene sastava ostrakodne zajednice. Po prvi put se javlja vrsta *Pseudocandona insculpta* koja uz vrstu *Metacypris cordata* dominira u drugoj zoni. U manjem broju ili kao pojedinačni primjerci nalaze se *Candona candida*, *Limnocythere santipatricii*, *Limnocythere stationis*, *Cypridopsis vidua* i *Cypria exculpta*. U drugoj zoni zbog malobrojnog nalaza vrste *C. candida* u uzorcima 80-85 cm i 65-70 cm moguće je izdvojiti jednu podzonu **IIA** u intervalu od 100 cm do 65 cm koju karakterizira hladnija vodena sredina za razliku od gornjeg dijela druge zone u kojoj je voda bila plića, toplija i bogata vegetacijom.

Kao popratna mikrofauna u većini uzoraka jezgre CS 53 nalaze se ogonije i talusi *Chara* te dijelovi bilja i sjemenke. Na dubini jezgre od 145-140 cm i 80-85 cm nalaze se i školjke (cijele i dijelovi). Od 45 cm do 2 cm ima dosta *Diffugia* sp., fitoplanktona i operkuluma.

Utjecaj abiotskih čimbenika na ostrakodnu zajednicu

Od abiotskih čimbenika najveći utjecaj u formiranju paleookoliša i razvoju slatkovodnih ostrakodnih zajednica Vranskog jezera na otoku Cresu odigrali su: promjena razine jezerske vode, temperatura vode i sastav podloge. U jezerima i slatkovodnim bazenčićima ostrakodi naseljavaju sve dostupne zone od litorala do velikih jezerskih dubina. Bogata populacija nalazi se i u izvorištima, rijekama, potocima, barama, ali i u podzemnim vodama. Postoje vrste sa širokim ekološkim rasponom, dok druge posjeduju ograničenu tolerancu te se vežu za strogo definirane okolišne uvijete i određene dijelove jezera. Kod istraživanja jezgri i rada s fosilnim ostrakodnim zajednicama potrebo je dodatno obratiti pažnju na tanatocenoze koje mogu biti in situ, ali i pretaložene. Dodatnu pomoć kod utvrđivanja in situ faune daju podatci o odnosu juvenilne/adultne ljušturice kao i odnosu cijele i odvojene ljušturice u analiziranom uzorku. Prijašnja istraživanja su pokazala da je zajednica autohtona i karakteristična za okoliš u kojem je nađena kada je većina ontogenetskih stadija prisutna u materijalu (Boomer & Eisenhauer 2002). Dodatno je važno uzeti u obzir i kritičnu dubinu tanatocenoze, koja zna biti do dva puta dublje taložena nego dubina odgovarajućeg sedimenta. Rasprostranjenost recentnih ostrakoda određena je i temperaturnim rasponom na kojem je moguće razmnožavanje, razvoj i rast jedinki ostrakoda. Ostrakodi žive u vodama svih temperatura s tim da optimum razvoja i temperaturna valenca varira od vrste do vrste. Strogo stenotermne vrste znatno su malobrojnije od euritermnihi. Utjecaj temperature ima važnu ulogu i na periodički reproduktivni ritam ostrakoda. Tako se za neke stenotermne vrste zna točan period u godini kad one imaju maksimalni broj juvenilnih odnosno, kad je temperatura najoptimalnija za razvoj jedinki. U odnosu na podlogu ostrakodi se dijele na fitalne i bentičke ostrakode koje žive u ili na podlozi i ovise o podlozi, te na planktonske vrste, planktonske plivajuće forme koje nisu ovisne o podlozi. Vrste koje žive na biljkama, manje/više su lateralno spljoštene, tankih, glatkih i oblihi ljušturica sa slabom bravom (najčešći tip). Isti tip ljuštura kao prethodne mogu živjeti i na krupno-zrnatoh podlozi (šljunak, fragmenti ljuštura). Vrste koje se ubušuju u podlogu imaju glatku površinu ljušturice u odnosu na one koje žive na površini sedimenta. Ubušujući oblici imaju jaču stijenk u ljušture, a vrste koje gmižu po površini sedimenta prepoznatljive su po ravnoj ventralnoj strani ljušturice. Vrste koje žive na ili u pjeskovitim sedimentima manje su od onih koje obitavaju na biljkama, a najveći oblici su nađene kod ostrakoda koje žive na mulju. Poznato je da odnos ostrakodne faune i sedimenta ne ovisi jedino o granulometrijskom sastavu već i o mineralnom sastavu.

Paleorekonstrukcija okoliša

Slatkovodne ostrakodne vrste koje su određene u holocenskim naslagama tri jezgre Vranskog jezera na Cresu poznate su i iz recentnih slatkovodnih okoliša. Za većinu vrsta dostupni su podatci o njihovim životnim navikama što olakšava i paleorekonstrukciju jezerskog okoliša. U uzorcima su očuvani svi ontogenetski stadiji, a u većini uzoraka dominiraju odvojene ljušturice. Brojnije cijele ljušturice nađene su samo kod vrsta *Metacypris cordata* i *Candonopsis kingsleii*. Grupiranjem determiniranih vrsta prema životnim navikama i okolišu u kojima žive slatkovodnu ostrakodnu faunu Vranskog jezera na Cresu moguće je podijeliti u tri skupine.

Prvu skupinu predvodi vrsta *Candona candida*. To je vrsta pomoću koje su izdvajane zone i podzone u istraživanim jezgrama. Za vrstu *Candona candida* poznato je da preferira niže temperature vode (Viehberg 2006). U jezeru je česta u litoralu, ali može se naći i u dubljim dijelovima jezera. *C. candida* je stalna vrsta što znači da su adultne jedinke prisutne tijekom godine u okolišima u kojima ljetna temperatura ne prelazi 18°C (Meisch, 2000). U analiziranim uzorcima jezgara Vranskog Jezera nađen je veliki broj adultnih jedinki, što predstavlja dodatni dokaz za stabilniji okoliš na dubinama jezgre u kojima je *C. candida* nađena. Morkhoven & Wagner (1958) su na temelju vrijednosti nekih stenotermnih ostrakoda iznijeli zaključke o paleoklimatskim uvjetima za vrijeme pleistocenskih glacijalnih razdoblja, te su za vrstu *Candona candida* zaključili da svoj maksimum doseže za vrijeme hladnih razdoblja kasnog pleistocena. Još dvije vrste *Limnocythere santipatricii* i *Ilyocypris lacustris* ukazuju na hladniju životnu sredinu, odnosno dublje i stabilnije vodene okoliše. Vrsta *Limnocythere santipatricii* koja živi u hladnijoj vodi i ograničena je za oligotrofne okoliše, živi od litorala do profundala i jedna je od vrsta koja se koristi kod praćenja evolucije-trofičnosti jezera. Vrsta *Ilyocypris lacustris* je jezerska forma koja naseljava dublje dijelove jezera. Postoje podatci da su ljušturice ove vrste nađene na dubini od 5 do 145 m (Meisch, 2000).

U drugu skupinu pripada vrsta *Metacypris cordata*, koja je među najbrojnijim vrstama u analiziranim uzorcima. Ona je topla, stenotermalna ljetna forma, poznata iz plitkih, biljem obraslih slatkovodnih okoliša. Ujedno je indikator „starenja jezera“- okopnjavanja. Ova vrsta izbjegava staništa koja su u blizini podvodnih izvora. U jezeru njen životni prostor veže se za litoralnu vegetaciju, do 10 m dubine, a iznimno i do 20 m (Meisch, 2000). Poznato je da se zajedno s vrstom *M. cordata* često nalazi i vrsta *Candonopsis kingsleii*. To je vrsta koja živi u litoralnoj zoni jezera, a preferira barski sediment. Vrste koje se nadopunjavaju drugu skupinu ostrakoda su: *Herpetocypris chevreuxi*, *Limnocythere stationis* (litoralna vrsta do 1,5 m dubine), *Cycloocypris cf. ovum*, *Cypridopsis vidua* (aktivni plivač koji živi u jezerskoj

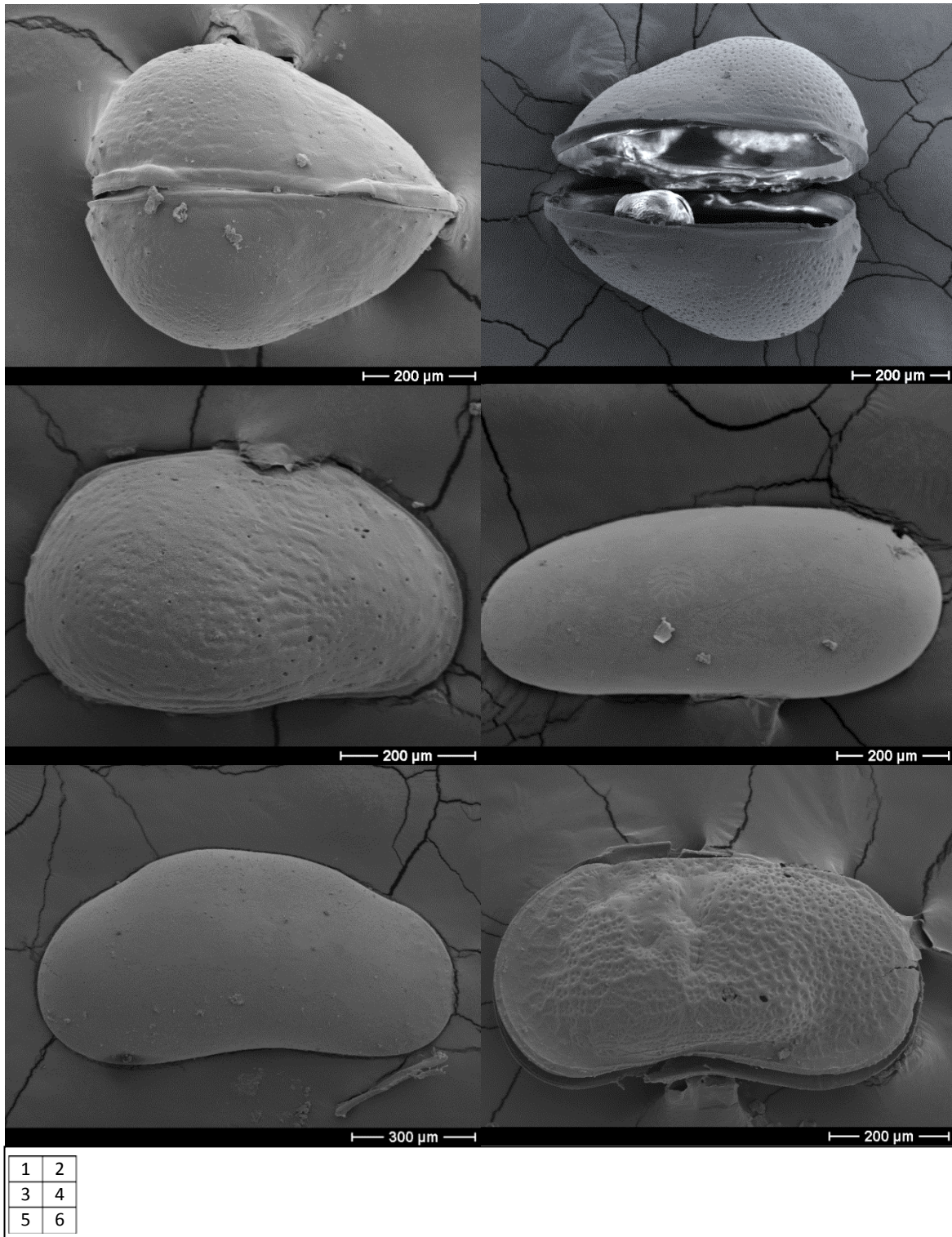
vegetaciji) i *Potamocypris* sp.. To su taksoni širokog ekološkog raspona čija pojava upućuje na spuštanje nivoa vode u jezeru.

U treću skupinu izdvajaju se vrste *Pseudocandona insculpta*, *Darwinula stevensoni* i *Cypria exculpta*. To su vrste koje svoj životni prostor nalaze između prethodne dvije izdvojene grupe. Za vrstu *Pseudocandona insculpta* poznato je da živi u jezeru, plićim rijekama i bazenčićima na pjeskovitim i muljevitoj podlozi kod Cl^- koncentracija od 19,4-74.0 mg/l (Meisch, 2000). Vrsta *Darwinula stevensoni* živi u potocima, ribnjacima, podzemnim vodama i jezeru. U jezeru je najbrojnija do 6 m dubine (maksimum na 2 m), ali može se naći sve do 12 m. *Cypria exculpta* je isključivo slatkovodna vrsta koja živi do dubine od 12 m, često u jezerima bez vegetacije.

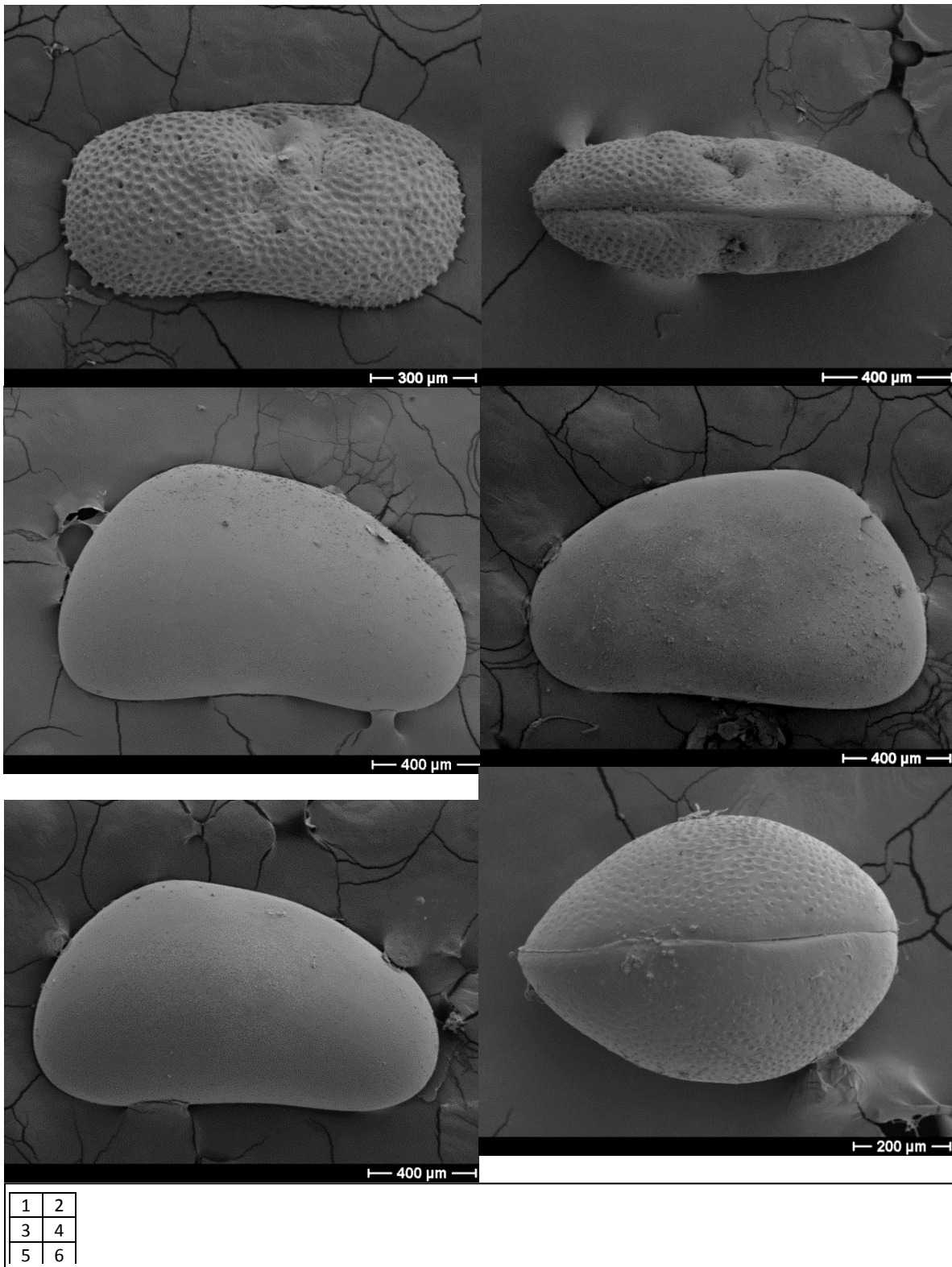
Osim ostrakodne faune bogati nalaz oogonija i talusa *Chara* dopunjuje sliku paleookoliša Vranskog jezera u holocenu. *Chare* pripadaju zelenim algama, koje vole muljevita i pješčana dna slatkih voda. Druga važna skupina koja se nalazi u uzorcima izdvojenih zona, a koja ukazuju na oplićavanje jezera je *Diffugia* sp. Brojnije pojavljivanje ovih termofilnih organizama direktno je povezano s oplićavanjem, okolišima bogatim vegetacijom i niskim pH vrijednostima. U novije vrijeme rod *Diffugia* sve više se koristi kod praćenja eutropifikacije jezera.

Analizom ostrakodnih zajednica te nalazom pjedinih vrsta u uzorcima u jezgrama CS 51, CS 52 i CS53 odvojene su glavne zone s pripadajućim podzonama. Glavne zone su u jezgri CS 51 i CS 52 odvojene zbog nalaza (zona I) / odnosno zadnje pojave (zona II) vrste *Candona candida*, dok se u jezgri CS 53 koja se razlikuje od prve dvije odvajaju prema kriteriju jasne promjene u sastavu ostrakodnih zajednica.

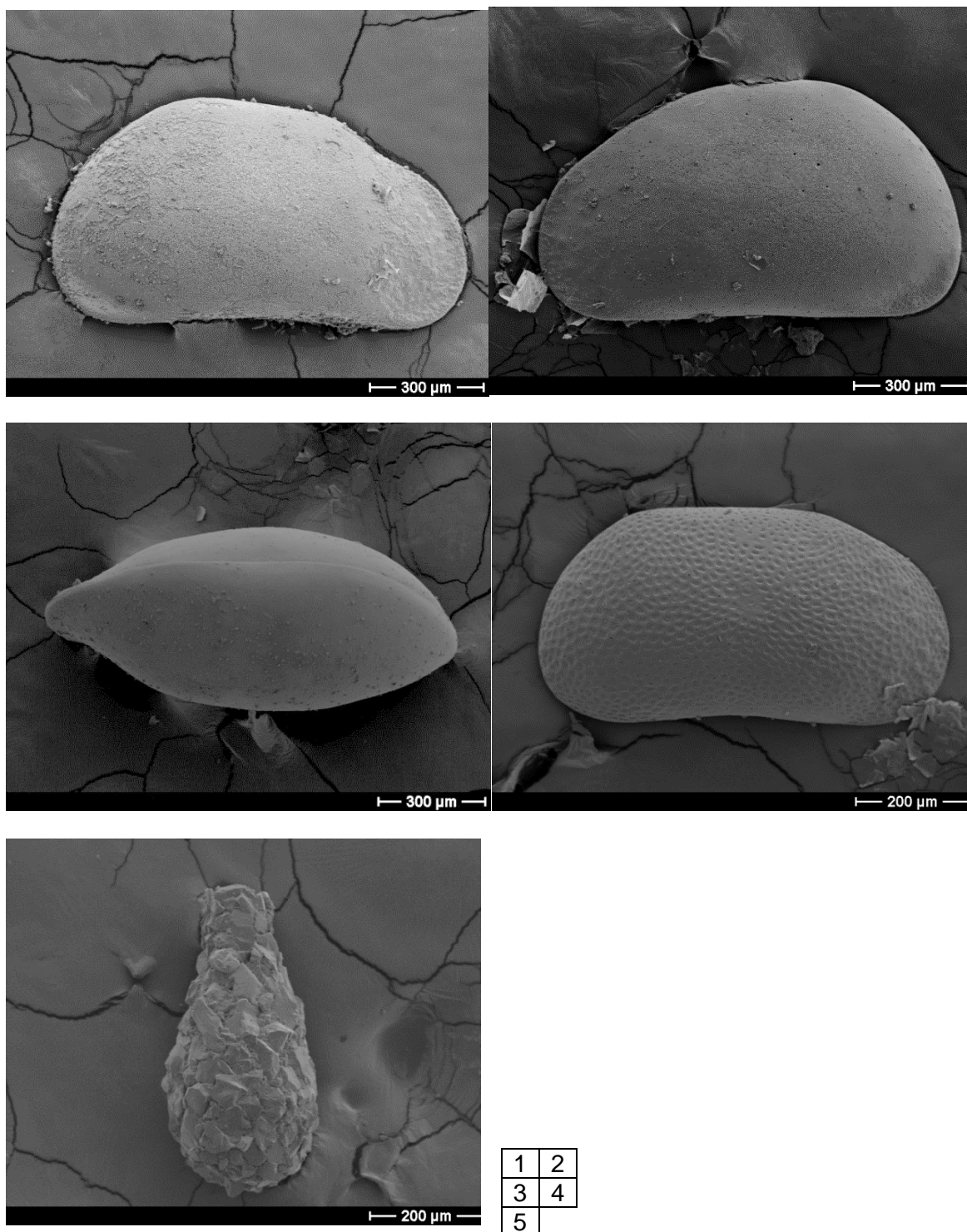
Općenito prva zona predstavlja relativno dublje i hladnije okoliše, unutar kojih dolazi do varijacija u ostrakodnim zajednicama i popratnoj flori i fauni. Druga zona u kojoj dominira vrsta *Metacypris cordata* definirana je oplićavanjem, padom nivoa jezerske vode i toplijom vodom u odnosu na prvu zonu. U ovoj zoni postoje varijacije koje rezultiraju izdvajanjem podzona u kojima se prati podizanje / špuštanje nivoa jezerske vode te promjene temperature vode.



Slika 92. Ostrakodne vrste analiziranih jezgri Vranskog jezera na Cresu: 1,2,3 *Metacypris cordata*; 4, *Darwinula stevensoni*; 5, *Candonopsis kingsleii*; 6, *Limnocythere santipatricii*.



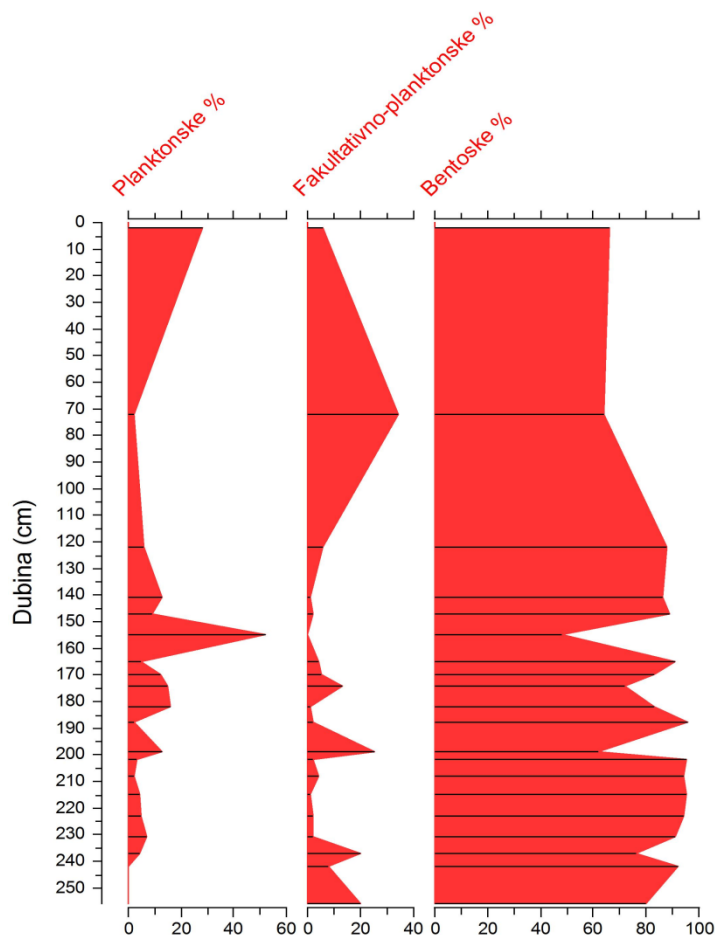
Slika 93. Ostrakodne vrste analiziranih jezgri Vranskog jezera na Cresu: 1,2, *Ilyocypris lacustris*; 3, 4, 5, *Candona candida*; 6, *Cypridopsis vidua*.



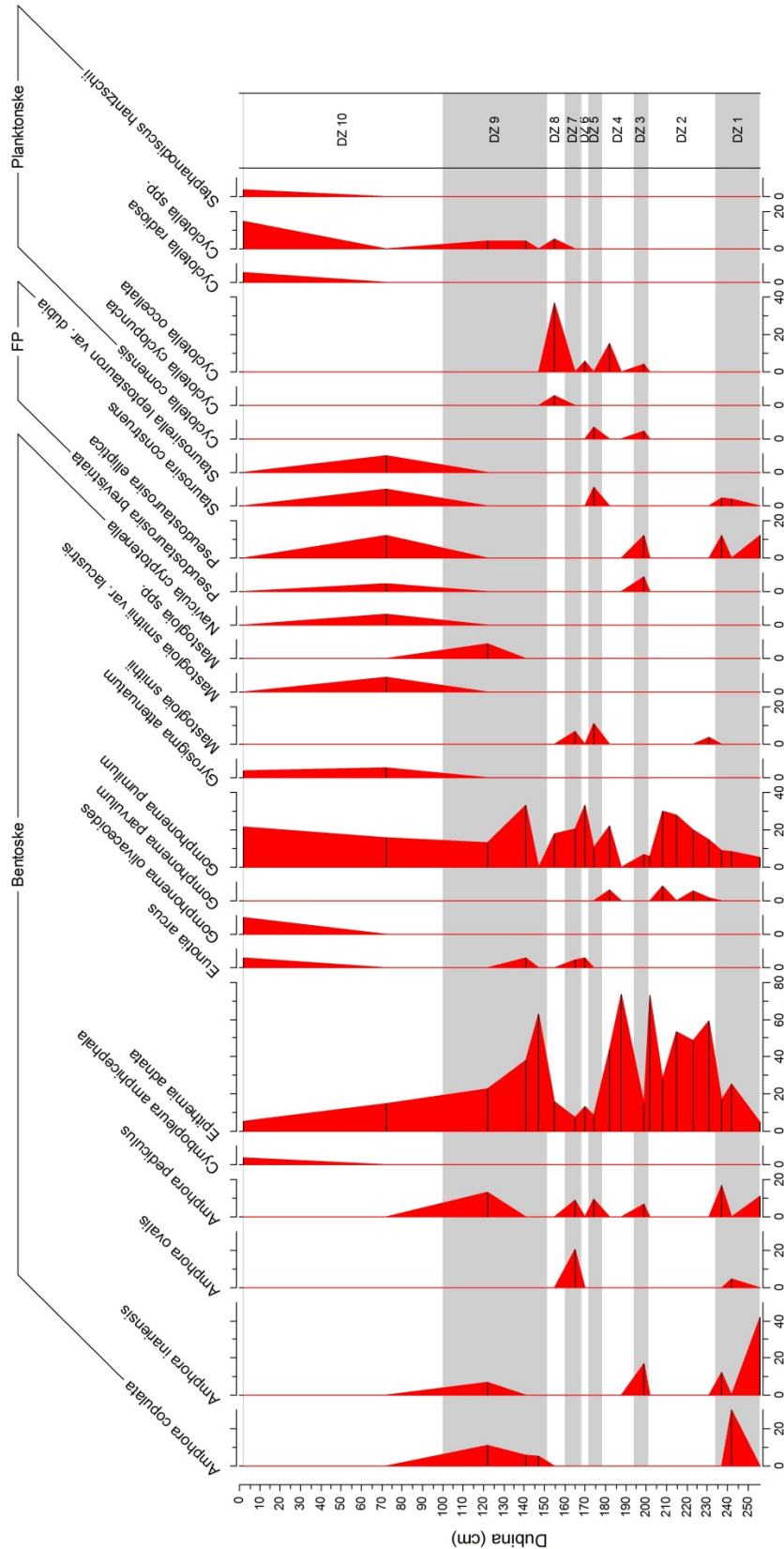
Slika 94. Ostrakodne vrste analiziranih jezgri Vranskog jezera na Cresu: 1,2,3,4 , *Pseudocandona insculpt* i tekameba: 5, *Diffflugia* sp.

4.0. Rezultati dijatomejskih zajednica

Određeno je sveukupno 100 taksona dijatomeja. Dijatomejsku zajednicu u uzorcima Vranskog jezera karakteriziraju dijatomeje *Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson (abundancija do 74 %), *Amphora inariensis* Krammer (do 42%), *Cyclotella ocellata* Pantocsek (do 37%), *Gomphonema pumilum* (Grunow) Reichardt & Lange-Bert.(1991) (do 33%) i *Amphora copulata* (Kütz.) Schoeman & Archibald (do 30%). Visokom frekvencijom pojavljivanja (90-100 %) u uzorcima ističu se *Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson, *Gomphonema pumilum* (Grunow) Reichardt & Lange-Bert., *Gyrosigma attenuatum* (Kütz.) Rabenh., *Mastogloia smithii* var. *lacustris* Grun., *Amphora pediculus* Kützing, *Eunotia arcus* Ehrenberg i *Pseudostaurosira elliptica* (Schumann) Edlund, Morales & Spaulding. Dijatomejska zajednica Vranskog jezera je sastavljena uglavnom od bentoskih vrsta (78%), dok je planktonski vrsta 14, a fakultativno planktonskih vrsta je 8 (slika 95). Obzirom na zastupljenost dijatomejskih taksona utvrđeno je 10 zona (DZ 1 do DZ 10, slika 96). Najučestaliji dijatomejski taksoni prikazani su na slici 97.



Slika 95. Odnos udjela abundancije bentoskih, planktonskih i fakultativno planktonskih taksona u bušotini CS-51 Vranskog jezera.



Slika 96. Zastupljenost dijatomejskih taksona s utvrđenim zonama (DZ 1 do DZ 10) u jezgri sedimenata CS-51.

DZ 1 (237-257 cm)

Ovu zonu karakteriziraju vrste roda *Amphora*. Najabundantnije vrste u zajednici su *Amphora inariensis* Krammer (42%), *A. copulata* Schoeman & Archibald (30%) i *A. pediculus* Kützing (17 %), a slijede ih *Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson (25%) i *Pseudostaurosira elliptica* (Schumann) Edlund, Morales & Spaulding (12%). Zajednica čine uglavnom bentoske vrste (76-92%), dok je plankton i fakultativni plankton nešto slabije zastupljen (4-20%). U zoni je utvrđeno 65 taksona, a od toga je 5 planktonskih i 5 fakultativno planktonskih. Takav tip zajednice uz prisutstvo roda *Nitzschia*, *Stephanodiscus*, *Encyonema* i *Pinnularia* upućuje na veće dubine jezera.

DZ 2 (202-232 cm)

U zoni dominiraju vrste *Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson (73%) i *Gomphonema pumilum* (Grunow) Reichardt & Lange-Bert., (30%). Udio bentoskih vrsta je izuzetno visok (91-95%), što ukazuje na rijetke planktonske i fakultativno planktonske vrste (<7%). U zajednici koju čini 70 taksona bentoskih vrsta s abundancijom do 95%, plankton (8 taksona) i fakultativni plankton (6 taksona) nešto su slabije zastupljeni (4-7%). Gotovo isključivi razvoj bentoskih formi može biti posljedica veće prisutnosti supstrata za naseljavanje, makrofitske zajednice koja je karakteristična za plića, eutrofna, umjereno-toplija klimatska područja.

DZ 3 (199-200 cm)

U cijelom uzorku dominiraju vrste *Amphora inariensis* Krammer (17%), *Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson (15%) i *Pseudostaurosira elliptica* (Schumann) Edlund, Morales & Spaulding (12%). Ostale vrste su prisutne s abundancijom manjom od 9%. U zoni je utvrđeno 33 bentoskih, 5 planktonskih i 5 fakultativno planktonskih taksona, s abundancijom bentos (do 62%), fakultativni plankton (do 25%) i plankton (do 13%). Povećan udio planktonskih i fakultativno planktonskih vrsta može biti pokazatelj produbljanja jezera ili većeg priljeva slatke vode.

DZ 4 (182-189 cm)

Prisutna je dominacija vrste *Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson (74%). U zoni su značajne i vrste *Gomphonema pumilum* (Grunow) Reichardt & Lange-Bert. (22%) i *Cyclotella ocellata* Pantocsek (15%). Utvrđeno je 25 bentoskih, 3 fakultativnih planktonskih te 3 planktonska taksona, od čega je abundancija bentosa 96%, a planktona i fakultativnog planktona manja (16%). Smanjena bioraznolikost, tj. nalaz taksona karakterističnih za plića područja (*Cocconeis placentula* Ehrenberg, *Pseudostaurosira brevistriata* (Grunow)

D.M. Williams & Round i *Staurosirella leptostauron* (Ehrenberg) Williams and Round, kao i veliki udio bentosa u donjem dijelu zone ukazuje na sniženje razine vode, a dominantna vrsta pokazatelj je nešto veće biološke produkcije mezotrofnog jezera. U gornjem dijelu zone prisutstvo planktonskih taksona (*Cyclotella*, *Stephanodiscus*) upućuju na produbljanje jezera ili povećani priliv slatke vode.

DZ 5 (174-175)

Ovu zonu karakterizira rod *Mastogloia*. Dominira vrsta *Mastogloia smithii* Thwaites (11%), a prisutne su i vrste *Gomphonema pumilum* (Grunow) Reichardt & Lange-Bert. (10%) i *Staurosira construens* Ehrenberg (10%). U uzorku je 36 bentoskih vrsta koje čine 72% zajednice, dok je 5 planktonskih vrsta prisutno s 15% , odnosno 4 fakultativno planktonskih vrsta s 13%. Dominacija *M. smithii* Thwaites i *G. pumilum* (Grunow) Reichardt & Lange-Bert., ukazuje na eutrofne uvjete toplijih perioda klime. Povećan broj planktonskih vrsta roda *Cyclotella* pokazatelj je mogućeg utjecaja dotoka slatke vode na produbljanje jezera.

DZ 6 (170-171 cm)

Zajednicom ovog uzorka dominira vrsta *Gomphonema pumilum* (Grunow) Reichardt & Lange-Bert. (33%) uz vrstu *Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson (13%). Bentoske vrste sa svojih 43 taksona sudjeluju u zajednici s 83%, a 4 vrste fakultativnog planktona s 5%, te 6 planktonskih vrsta s 12 %. Povećana prisutnost bentoskih taksona karakteristična je za plića, eutrofna, umjereno-toplija klimatska područja.

DZ 7 (165-166 cm)

Vrste *Amphora ovalis* (21%) i *Gomphonema pumilum* (Grunow) Reichardt & Lange-Bert., (21%) dominiraju zajednicom. Bentoska sa 35 vrsta prisutan je u 91% zajednice, dok 4 planktonske vrste čini 5 %, a 3 vrste fakultativnog planktona 4 % zajednice. Smanjeni broj planktonskih vrsta uz dominaciju navedenih bentoskih taksona karakteristika je plićih, eutrofnih, alkalnih jezera.

DZ 8 (155-156 cm)

Zajednicom dominiraju planktonske vrste (52%), među kojim se ističe *Cyclotella ocellata* Pantocsek (37%). Utvrđeno je samo 16 bentoskih vrsta koje čine 48 % zajednice, s vrstama *Gomphonema pumilum* (Grunow) Reichardt & Lange-Bert. (18%) i *Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson (16%). Prisutan je i jedan takson fakultativnog planktona. Smanjen udio bentoskih vrsta uz istodobnu povećanje i dominaciju planktona posljedica su povećanog prinosa slatke vode i produbljanja jezera.

DZ 9 (122-148 cm)

Zajednicom dominira vrsta *Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson (63%), a slijede je *Gomphonema pumilum* (Grunow) Reichardt & Lange-Bert. (33%) i *Amphora pediculus* Kützing (13%) i *A. copulata* Schoeman & Archibald (11%). Bentoske vrste (50) sudjeluju u zajednici do 89%. Planktonske vrste (12) u zajednici su prisutne do 13 % a 6 vrsta fakultativnog planktona do 6 %. Zamjetan broj planktonskih vrsta, kao i prisutnost vrste *A. copulata* Schoeman & Archibald ukazuju na nešto dublje jezero. Istodobno, razvoj zajednice s dominacijom *E. adnata* (Kützing) Brébisson i *G. pumilum* (Grunow) Reichardt & Lange-Bert. ukazuju na postojanje eutrofnih uvjeta u jezeru, kao moguću posljedicu dizanja sedimenata uslijed turbulencija i/ili stratifikacije jezera.

DZ 10 (2-73 cm/ površinski sediment s vodenim stupcem)

Vrste *Gomphonema pumilum* (Grunow) Reichardt & Lange-Bert. (22%) kao i vrste roda *Cyclotella* (22%) dominiraju zajednicom. Utvrđeno je 25 bentoskih taksona koji čine 66% zajednice, a prisutan je maksimalan broj taksona fakultativnog planktona (7) koji učestvuje u zajednici do 34%. Planktonske vrste (6) u zajednici su prisutne do 28%. Gledajući ukupan udio planktona i fakultativnog planktona, uz prisutstvo bentoskih vrsta *Achnanthes* spp. i *Amphora copulata* Schoeman & Archibald, možemo zaključiti da se radi o dubljem jezeru, dok prisutnost vrste *Cyclotella radiosa* (Grunow) Lemmermann upućuje na njegov oligotrofni karakter.

T A B L A I



Amphora copulata



Amphora inariensis



Amphora pediculus



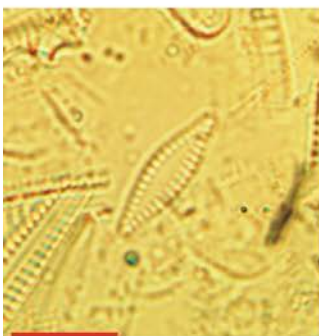
Cyclotella ocellata



Epithemia adnata



Gomphonema pumilum



Pseudostaurosira elliptica



Staurosira construens



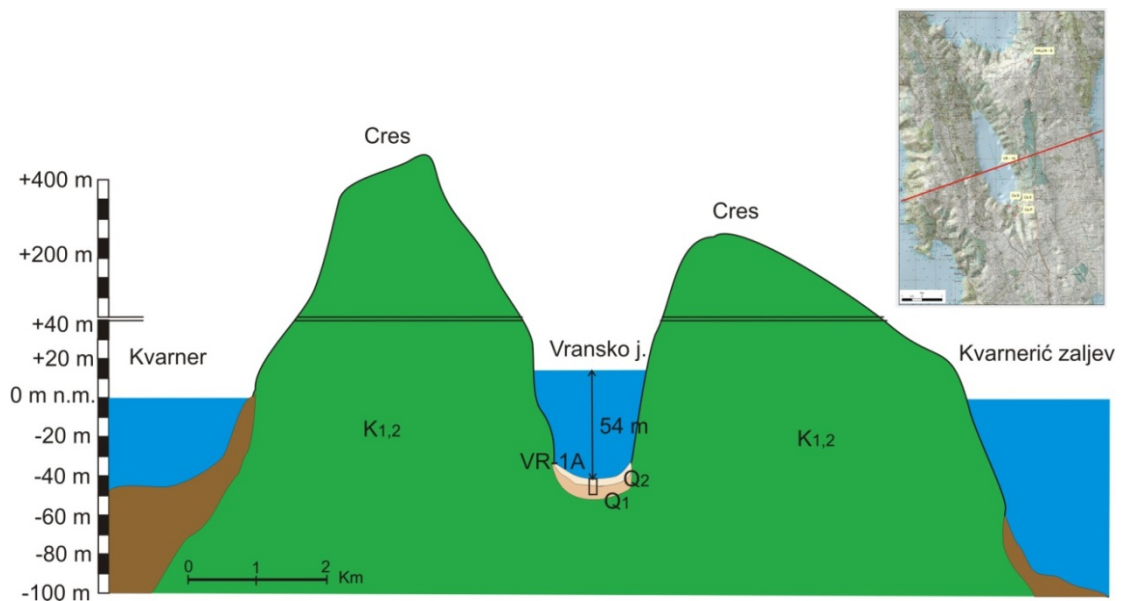
Staurosirella leptostauron var. *dubia*

Slika 97. Najučestaliji dijatomejski taksoni u u bušotini CS-51 Vranskog jezera.

4. Diskusija

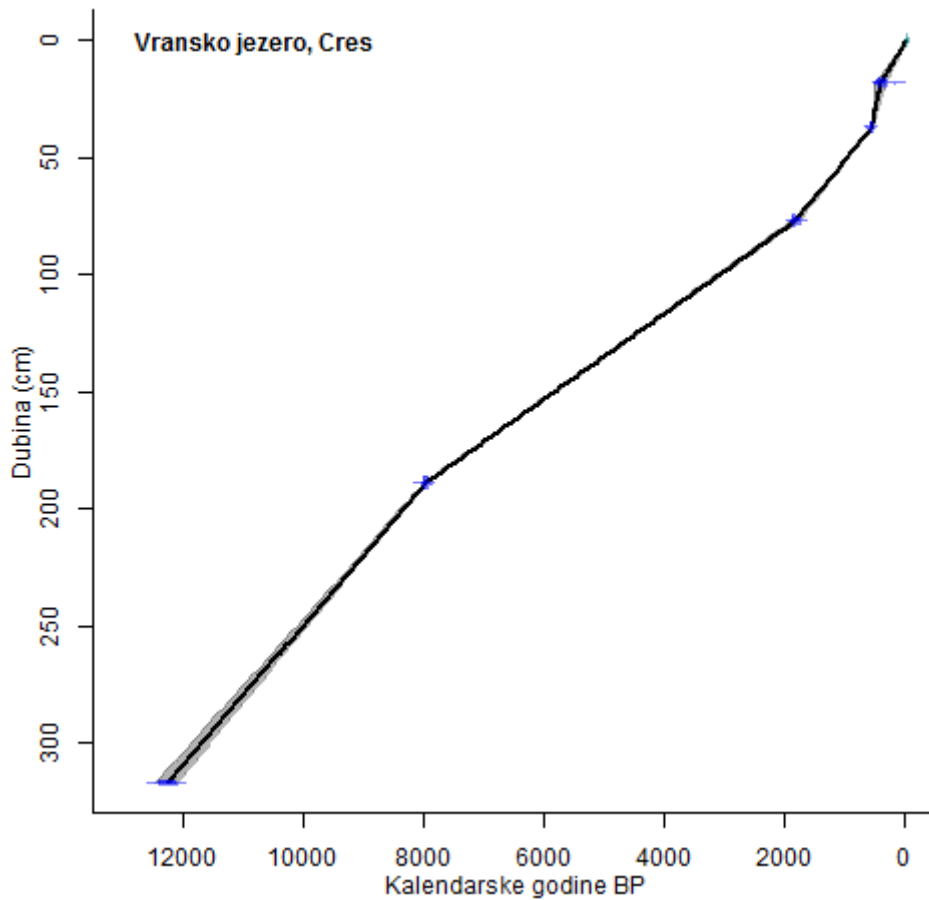
4.1. Razvoj jezera i porijeklo sedimenata kroz kasni pleistocen i holocen

Vransko jezero okruženo je karbonatnim stijenama, grebenima visine oko 400 m na zapadnoj strani, te do 300 m na istočnoj strani. Sadašnja razina jezera i mora u odnosu na kopno prikazana je na slici 99 (profil kroz područje gdje je uzorkovana jezgra VR-1A). Vransko jezero nema stalnih površinskih pritoka, već se potpuno opskrbljuje padalinama i podzemnom vodom. Pri većim količinama padalina, formiraju se povremeni vodotoci-potoci, posebno na južnoj strani.



Slika 98. Presjek kroz Vransko jezero (Cres) u profilu gdje je uzorkovana jezgra VR-1A (54 m). Oznake: K_{1,2}-kredni vapnenci i dolomiti, Q₁-pleistocen, Q₂-holocen, smeđa boja-morski sediment.

Na temelju datiranja sedimenata ovog jezera, napravljen je model dubina/starost i pretpostavljene su brzine sedimentacije (slika 100). Brzina sedimentacije je veća u gornjem dijelu jezgre, od 0-17 cm iznosi 0,043 cm/god, a od 18-36 još je veća i iznosi čak 0,122 cm/god. Nakon toga brzina sedimentacije je manja i od 37-76 cm iznosi 0,031 cm/god. Slijedi period najsporije sedimentacije od 77-188 cm, s brzinama od 0,018 cm/god. U donjem dijelu jezgre od 189-316 cm (na 317 cm je zadnje analizirani datum) brzina sedimentacije je ponovno malo veća i iznosi 0,03 cm/god.

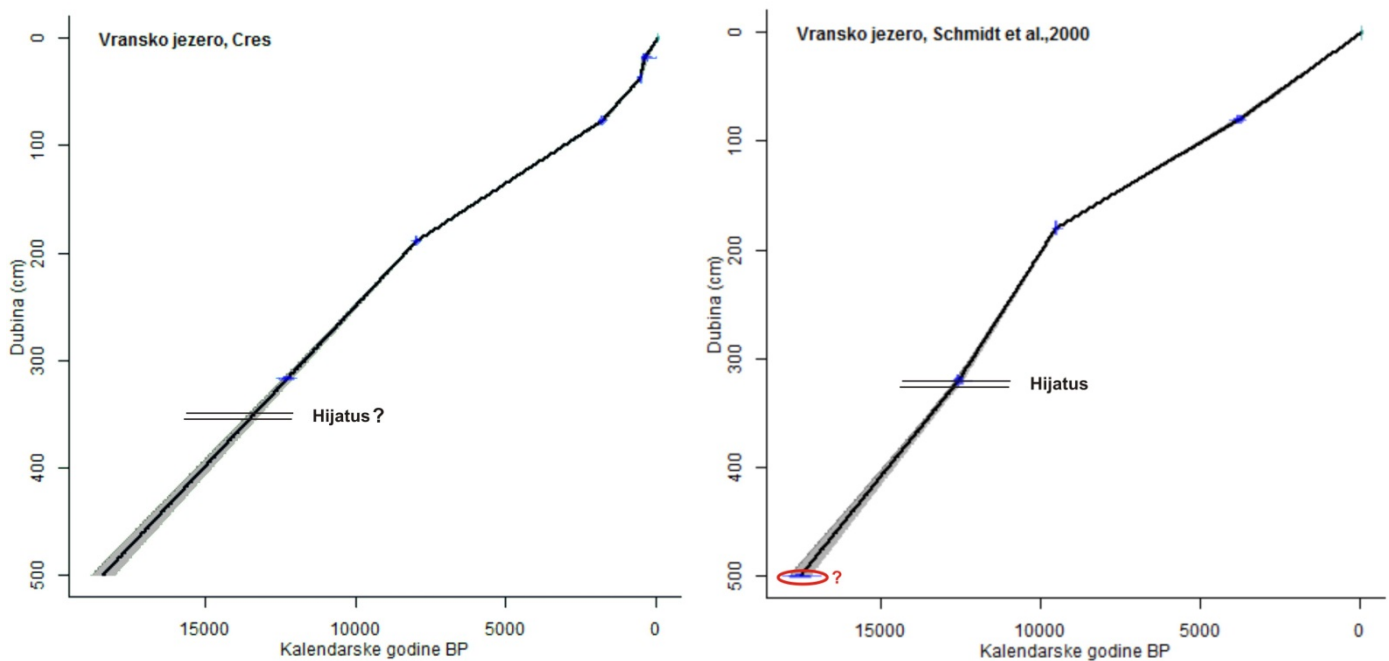


Slika 99. Model dubina/starost Vranskog jezera, starost je izražena u cal BP (kalendarskim godinama BP) ovisno o dubini jezgre. Korišten je program CLAM (Blaauw, 2010), koji koristi Intcal13 kalibracijske krivulje (Reimer et al, 2013), upotrijebljen je model linearne interpolacije.

Starost dobivena ovim istraživanjem uspoređena je sa starostima jezgre Vranskog jezera iz Schmidt et al. (2000) (slika 101). Tri uzoraka na kojima je određena starost iz ovog rada nadopunjena su s dva uzorka iz prijašnjeg istraživanja Vranskog jezera plitkim jezgrama. Prema modelu dubina/starost uočljiva je brža sedimentacija u gornjem dijelu jezgre, što nije vidljivo u istraživanju Schmidta et al. (2000). Datum na oko 2 m (180 i 189 cm) jest relativno približan, no razlika je u oko 1 500 godina, za 180 cm iznosi oko 9 500 cal BP (Schmidt et al.), a za 189 cm u ovom istraživanju iznosi 8 000 cal BP. Najstariji datum u ovom istraživanju dobiven je na 317 cm i iznosi oko 12 200 cal BP, a u Schmidtu et al. (2000) datum na 320 cm iznosi oko 12 600 cal BP. Najdublji analizirani uzorak u Schmidt et al. (2000) je na 5 m, na kojem je dobivena starost oko 17 500 cal BP (14,4 ka ^{14}C BP). No, taj datum treba uzeti s oprezom, jer je za datiranje korišten 7 cm interval zbog male količine

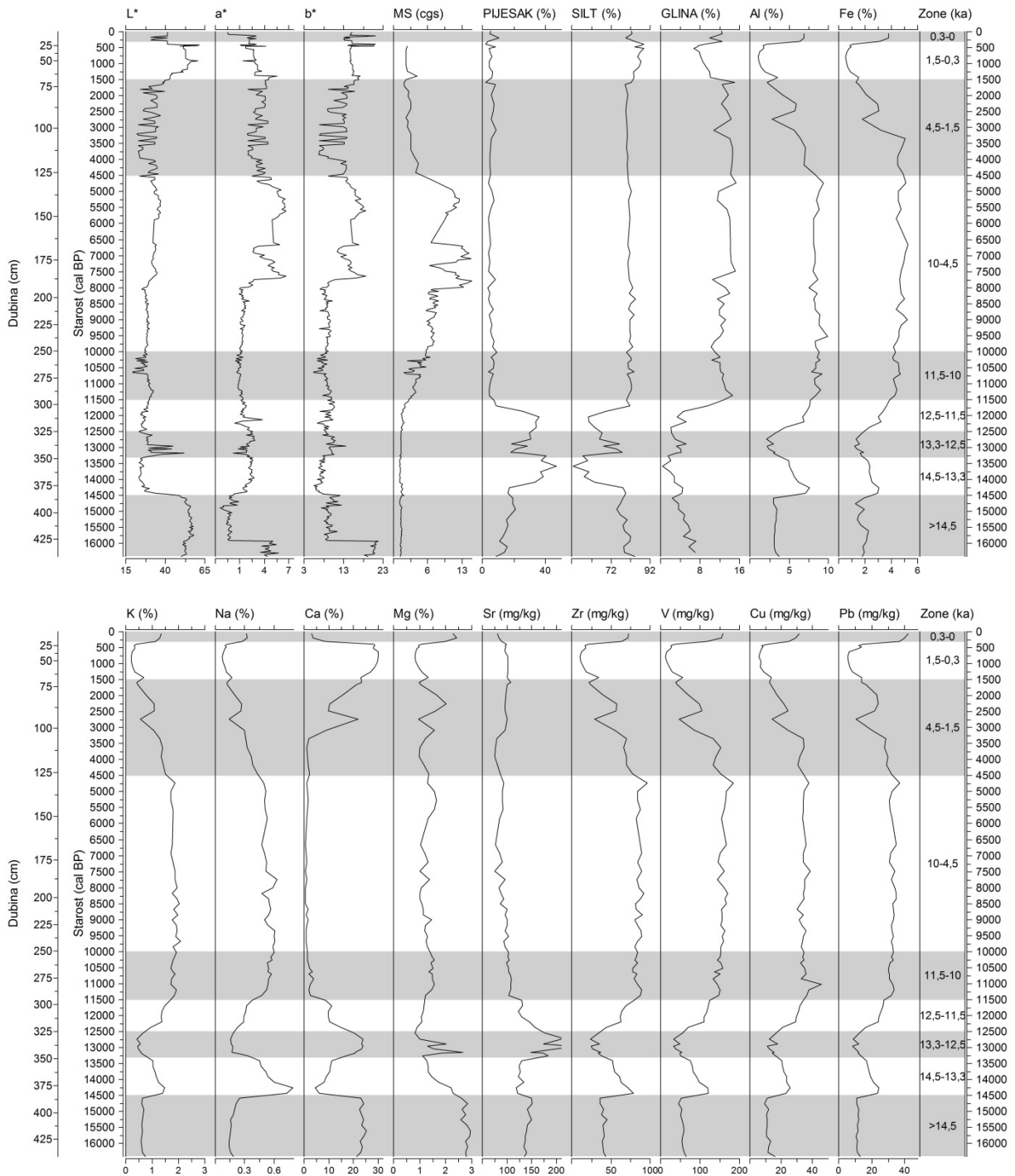
organske tvari u dominantno karbonatnom matriksu, što je vrlo nepouzdan materijal za određivanje starosti. Prema tome, moguće je da su utvrdili premladu starost tih sedimenata.

Linearnom interpolacijom od posljednjeg datuma na jezgri VR-1A na 317 cm, s pretpostavkom da se brzina sedimentacije nije mijenjala došli bi do oko 18 000 cal BP (ako se zanemare datumi na 520 i 733 cm, koji su pokazali starost >40 ka BP). No, vjerojatnija je pojava hijatusa unutar tog perioda. Na temelju geofizičkih mjerenja sedimenata na dnu Vranskog jezera, Schmidt et al. (2000) su uočili diskordancije prije početka mlađeg drijasa, na oko 12,6 ka BP. Također su na temelju palinoloških analiza utvrdili nedostatak sedimenata iz Allerød interstadijala i tu utvrdili hijatus. Istaknuli su da su prije Allerød perioda interglacijalni sedimenti pretaloženi. U jezgri VR-1A pretaloženim sedimentima mogao bi se karakterizirati interval od 331-345 cm, s ispremiješanim karbonatnim sedimentom u siliciklastičnom matriksu. Hijatus bi se mogao nalaziti u tom intervalu.

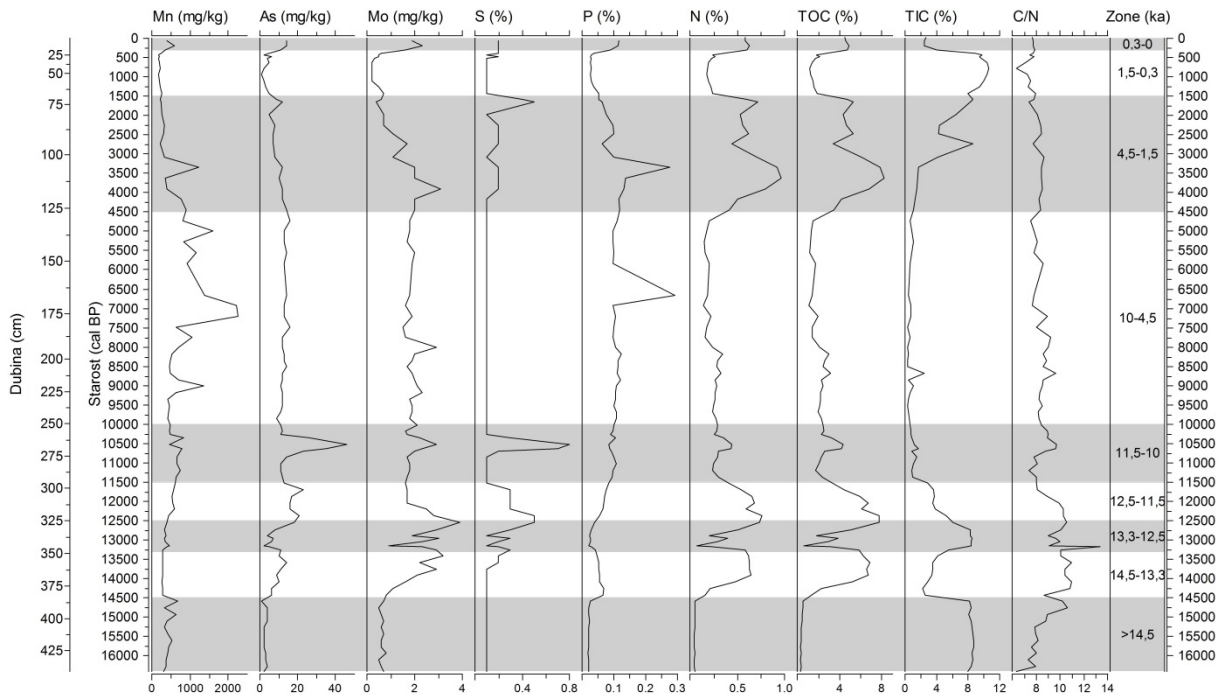


Slika 100. Usporedba modela dubina/starost Vranskog jezera dobivenog ovim istraživanjem i starost iz Schmidt et al. (2000). U jezgri VR-1A utvrđena je starost sedimenata na 5 uzorka, te je označen pretpostavljeni hijatus unutar sedimenata. Crvenim krugom označena je upitna starost sedimenta na 5 m iz istraživanja Schmidt et al. (2000), te utvrđeni hijatus u njihovoj jezgri.

Na temelju mineraloških i kemijskih karakteristika izdvojeno je ukupno 10 zona po dubini jezgre, koje su prikazane u poglavlju s rezultatima. Ovdje su te zone promatrane zajedno s ostalim analizama (analizom boje, magnetskog susceptibiliteta, granulometrijskom i analizom ugljika i dušika) i stavljene su u vremenski okvir (slike 102 i 103).



Slika 101. Promjene odabranih parametara kroz jezgru VR-1A s izdvojenim zonama u vremenskoj skali.

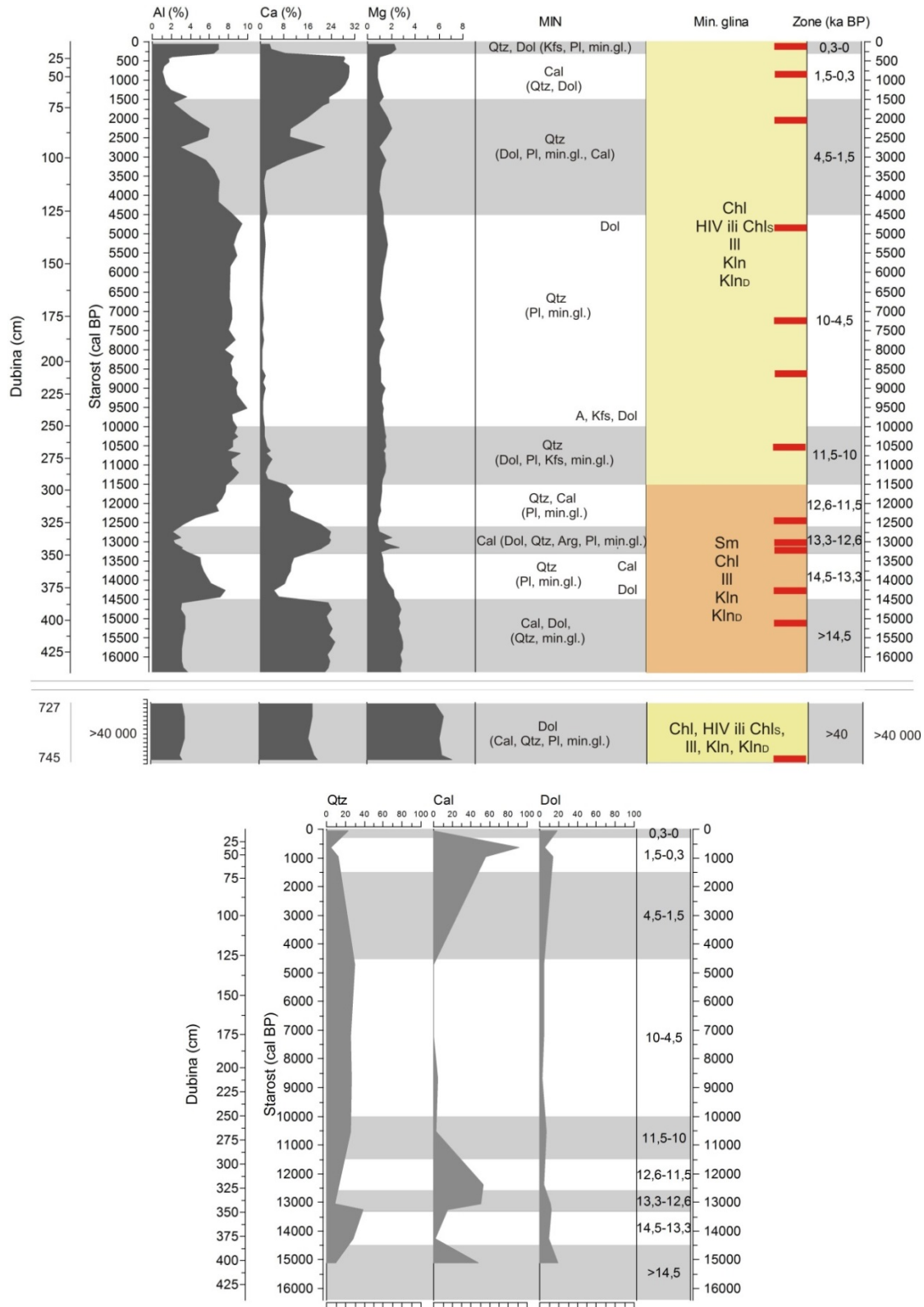


Slika 102. Promjene odabranih parametara kroz jezgru VR-1A s izdvojenim zonama u vremenskoj skali.

U najdubljoj zoni, od 740-726 cm (>40 ka BP), sedimenti se dominantno sastoje od minerala dolomita, prisutni su još kalcit, kvarc, plagioklas i minerali glina. Sedimenti iz zone od 440-385 cm (>14,5 ka BP) izgrađeni su od kalcita i dolomita, te manje kvarca i minerala glina. Potom slijedi dominantni siliciklastični materijal pri kraju pleistocenskog perioda, od 385-295 cm (14,5-11,5 ka BP), koji je podijeljen na 2 dijela pojavom ispremiješanog sedimenta u kojem dominira kalcit od 345-325 cm (13,3-12,5 ka BP), ima manje dolomita i kvarca, sadrži i minerale glina i aragonit, prisutno je mnoštvo razlomljenih ljuštura. Stariji interval, od 385-345 cm (14,5-13,3 ka BP) sadrži dominantno kvarc, zatim dolomit, kalcit, te plagioklas i minerale glina. Mlađi interval, od 325-295 cm, koji vremenski pripada mlađem drijasu (12,6-11,5 ka BP), sadrži kvarc i kalcit, uz plagioklas i minerale glina. U starijem holocenskom sedimentu, od 295-250 cm (11,5-10 ka BP) prisutan je dominantno kvarc, a pojavljuju se povremeno dolomit i plagioklas i K-feldspati te minerali glina. Zatim od 250-126 cm slijedi dug period sporog taloženja siliciklastičnog materijala – kvarca, uz minerale glina, manje plagioklasa i K-feldspata (10-4,5 ka BP). U tom je dijelu magnetski susceptibilitet puno viši nego u ostalim dijelovima jezgre, te prevladava frakcija silta, te je također visok udio pijeska, za razliku od starijeg siliciklastičnog materijala, koji je glinovit. Potom od 126-70 cm (4,5-1,5 ka BP) dolazi do smanjenja udjela kvarca i povećanja udjela dolomita i kalcita. Od 70-15 cm (1,5-0,3 ka BP) dominira kalcit, uz manje kvarca i dolomita. U sedimentu od 15-0 cm, što odgovara posljednjih 300 godina, dominiraju kvarc i dolomit, uz plagioklas i K-

feldspat te minerali glina. Ukupni mineralni sastav i identificirani minerali glina prikazani su na slici 104, zajedno s Al, Ca i Mg, elementima vezanim za karbonatnu ili siliciklastičnu sedimentaciju, a također je napravljena kvantitativna mineraloška analiza koja je u skladu s kemijskim sastavom.

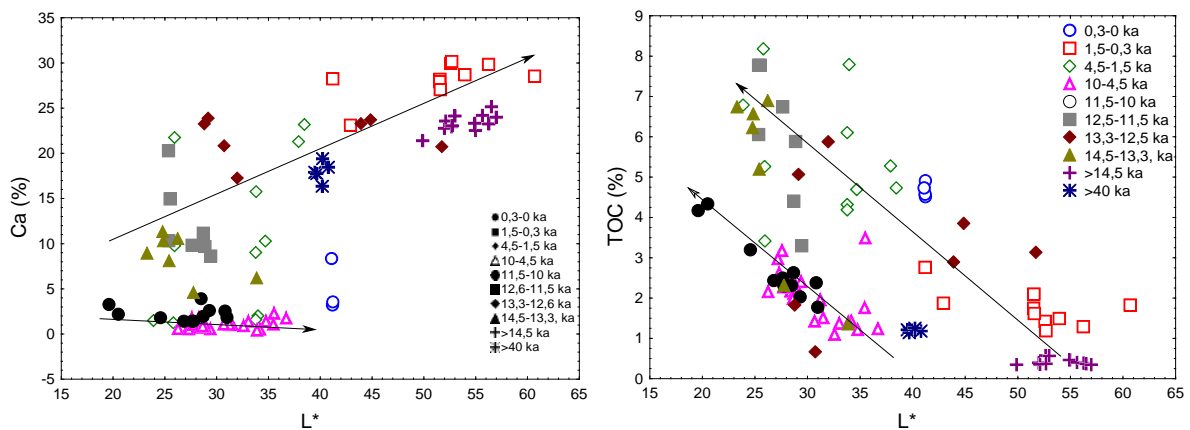
Minerali glina u jezerskom sedimentu VR-1A pokazali su da najdublji sedimenti (740-745 cm) sadrže klorit, hidroksil interstratificirani vermikulit (ili sekundarni klorit), illit, te uređen i neuređen kaolinit. Zatim, uzorci u intervalu od 440-295 cm sastoje se od smektita, klorita, illita i uređenog i neuređenog kaolinita. Nakon toga od 295 do 0 cm u uzorcima su prisutni ponovno klorit, hidroksil-interstratificirani vermikulit (ili sekundarni klorit), illit i uređen i neuređen kaolinit.



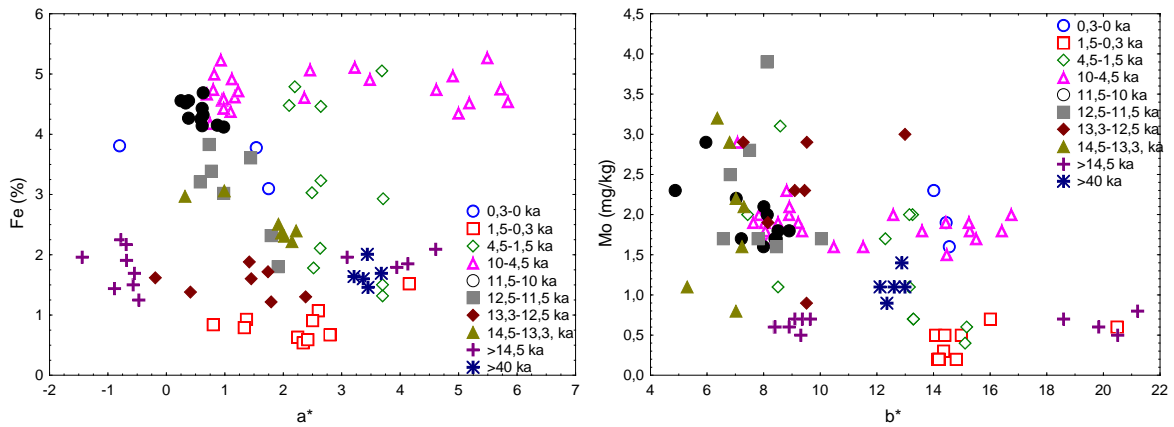
Slika 103. Promjena mineralnog sastava (ukupni i minerali glina) kroz jezgru VR-1A. Žutom bojom označeni su minerali glina u najdubljim sedimentima (727-745 cm) i sedimenti od 295-0 cm (11,5-0 ka BP), koji imaju isti sastav minerala glina, za razliku od sedimenta od 440-295 cm (>14,5-11,5 ka BP), koji imaju drugačiji sastav minerala glina. Analizirani intervali minerala glina prikazani su crvenim pravokutnicima (5 cm intervali).

Odabrani parametri su međusobno korelirani. Za točniju i pravilniju interpretaciju odnosa, sedimenti su stavljani u vremenski okvir prema prethodno utvrđenim zonama i promatrani pomoću dijagrama raspršenja (slike 105, 106, 107, 108 i 109). Pojedini statistički dobro korelirani parametri, nisu pokazali dobru korelaciju kada se sediment promatrao po dubini odnosno u vremenskom intervalu.

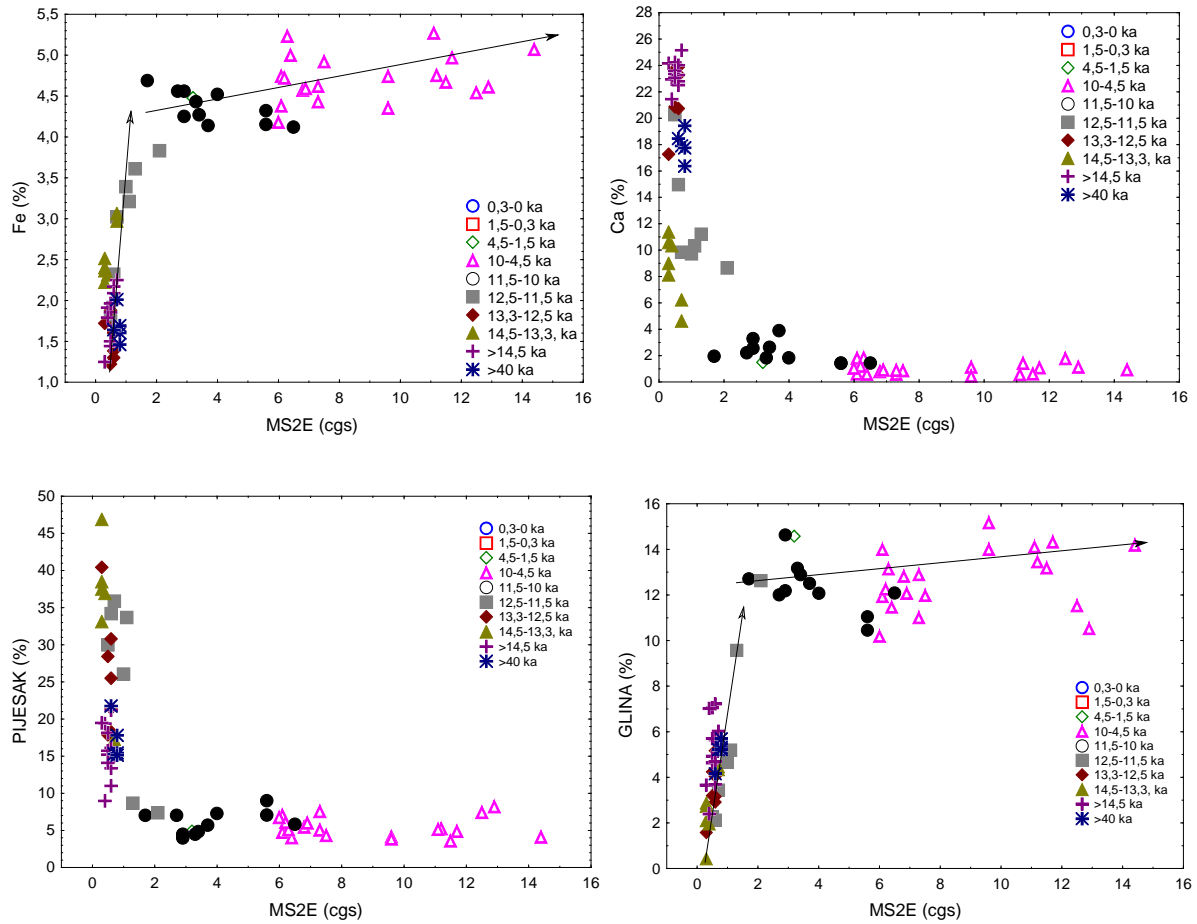
Svjetlina boje (L^*) pokazuje visoku pozitivnu korelaciju s Ca ($r=0,74$), što znači da su karbonatniji sedimenti svjetliji. Na dijagramu raspršenja Ca i vrijednosti boje L^* vidljivo je da su uzorci grupirani u vremenske intervale dosta raspršeni (slika 105), te da uzorci od 11,5-10 i 10-4,5 ka BP leže na jednom pravcu s vrlo malim udjelom Ca, a ostali uzorci su raspršeni pokazujući nekoliko pravaca korelacije, ovisno o udjelu kalcita i dolomita u sedimentu. U svakom slučaju, najsvjetliji su uzorci s dominantnim kalcitom od 1,5-0,3 ka BP. Ukupni anorganski ugljik (TIC) u jezgri sedimenata VR-1A vezan je za Ca ($r=0,98$), Mg ($r=0,63$) i Sr ($r=0,78$). Svjetlina boje L^* negativno se korelira s udjelom Al ($r=-0,67$) i TOC ($r=-0,64$). Na dijagramu raspršenja možemo uočiti dva korelacijska pravca TOC-a i svjetlosti boje L^* , uzorci koji su tamniji (niža vrijednost L^*) dobro negativno koreliraju s L^* , dok svjetliji uzorci pokazuju slabiju korelaciju s TOC-om (slika 120). Ostali parametri boje nisu pokazali značajniju vezu s nijednim elementom, vjerojatno zbog razrijeđenosti karbonatnim mineralima. Željezo i a^* parametar boje, koji označava razliku između crvene i zelene boje, gotovo ne koreliraju ($r=0,09$), uzorci su vrlo raspršeni (slika 105). Odnos između Mo i b^* parametra boje okazuje slabu negativnu korelaciju ($r=-0,38$).



Slika 104. Odnosi između vrijednosti L^* za svjetlost boje i Ca i TOC. Uočavaju se 2 pravca korelacije u svakom dijagramu.

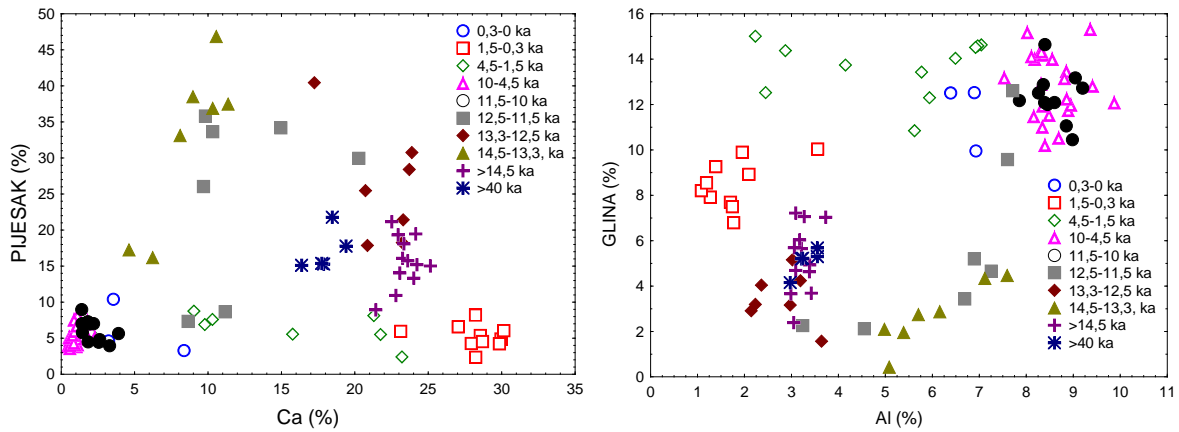
Slika 105. Odnosi između Fe i a^* , te Mo i b^* .

Magnetski susceptibilitet povezan je s litogenim elementima (Al, Fe, K, Na, Zr, La, V, Cu, Cr, Pb, Zn, Mn), s koeficijentom korelacije između $r=0,45-0,80$, ali na dijagramu raspršenja MS2E i Fe (korelacija 0,82) vidljiva su 2 pravca (slika 107). Sedimenti s niskim magnetskim susceptibilitetom nalaze se na gotovo horizontalnom pravcu, gdje se mijenja samo udio Fe, to su uzorci starijih sedimenata ($> 11,5$ ka BP), koji sadrže karbonate (zona >40 , $>14,5$, 13,3-12,6 ka BP), ali i siliciklastične minerale (zona 14,5-13,3, 12,6-11,5 ka BP). Viši magnetski susceptibilitet i viši udio Fe pokazuju uzorci od 11,5-1,5 ka BP, koji se nalaze na drugom korelacijskom pravcu. Magnetski susceptibilitet je u negativnoj korelaciji s udjelom Ca ($r=-0,73$), no na dijagramu raspršenja vidljivo je da korelacije nema, uzorci s višim udjelom Ca nalaze se na jednom horizontalnom pravcu, a oni s povišenim MS na drugom. Slično vrijedi i za odnos MS i glinovite frakcije, dok je odnos MS i udjela pijeska ($r=0,77$) sličan odnosu MS i Fe, u kojem sedimenti mlađi od 11,5 ka imaju viši MS i udio pijeska.



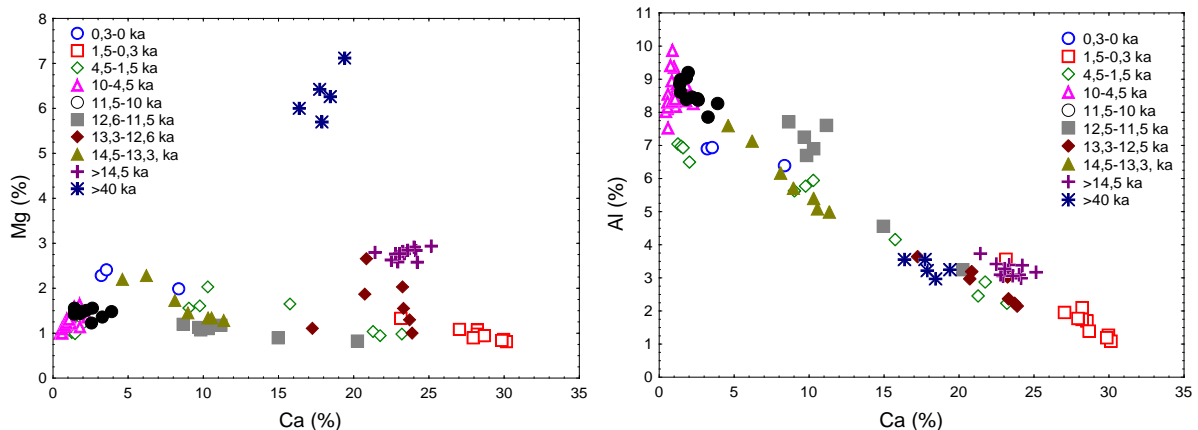
Slika 106. Odnosi Fe, Ca, pjeskovite i glinovite frakcije s magnetskim susceptibilitetom. Izdvojena su 2 korelacijska pravca.

Pjeskovita frakcija negativno korelira s udjelom Ca ($r=-0,78$), no na dijagramu raspršenja vidljivo je da su sedimenti dosta raspršeni i ne može se izdvojiti korelacijski pravac (slika 108), ali može se uočiti povišen udio pijeska u sedimentima iz zona 11,5-10 i 10-4,5 ka BP u kojima je nizak udio Ca. Aluminijski i ostali litogeni elementi pozitivno koreliraju s pjeskovitom frakcijom ($r=0,53-0,87$) a negativno s glinovitom ($r=-0,33$ do $-0,66$). Udjeli pijeska i Al pokazuju dobru korelaciju ($r=0,81$), no sedimenti su raspršeni te oni s najvišim udjelom pijeska imaju i najveći udio Al.



Slika 107. Odnosi između udjela pijeska i Ca, te udjela gline i Al.

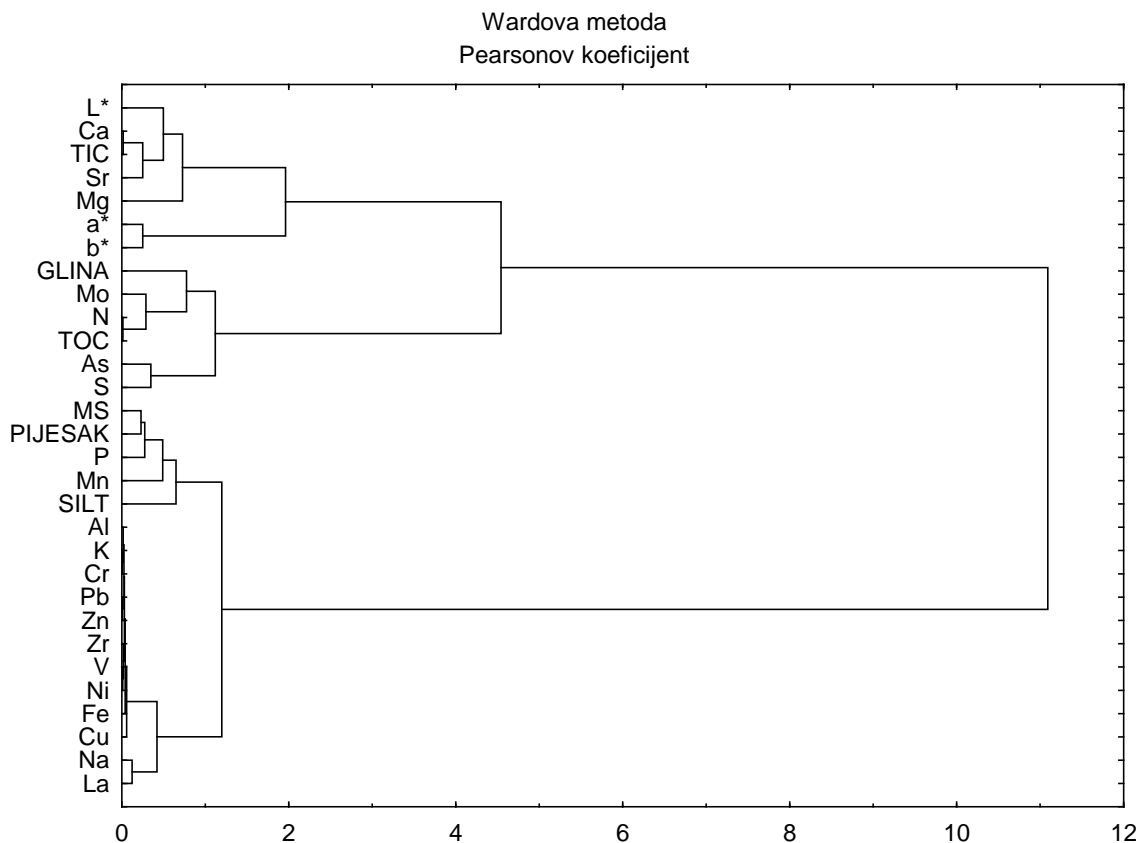
Udjeli Ca i Mg također ne pokazuju dobru korelaciju ($r=0,50$), zbog toga jer je Mg djelomično vezan za kalcit, dolomit, te minerale glina. Vidljivo je iz dijagrama da Mg dominira u najdubljim uzrocima (>40 ka), s većim udjelom dolomita (slika 109). Udjeli kalcija i aluminija se duž cijele jezgre dobro negativno koreliraju.



Slika 108. Odnos Ca i Mg, te Ca i Al, u uzorcima jezerskih sedimenata, grupiranih u vremenski raspon. Kalcij i Al se međusobno negativno povežani, dok je Mg djelomično vezan za Ca, posebno se izdvaja u povećanju dolomita u najdubljim sedimentima (> 40 ka).

Litogeni elementi (Fe, K, Na, La, Zr, V, Cr, Ni, Cu, Pb, Zn) vrlo dobro koreliraju s aluminijem ($r=0,88-0,99$). Aluminij negativno korelira s Ca ($r=-0,97$), Mg ($r=-0,54$) i Sr ($r=-0,81$), koji su sadržani u karbonatnim mineralima kalcitu i dolomitu. Željezo i mangan se međusobno dobro koreliraju ($r=0,59$). Ukupni N vezan je za organsku tvar (TOC, $r=0,99$). Također vrlo dobro korelira sa S ($r=0,42$), Mo ($r=0,78$) i As ($r=0,52$), koji su vezani za reduktivne uvjete u jezeru. Fosfor je vezan za litogene elemente ($r=0,59-0,86$), a djelomično korelira i s Mn ($r=0,49$), Mo ($r=0,31$) i As ($r=0,45$).

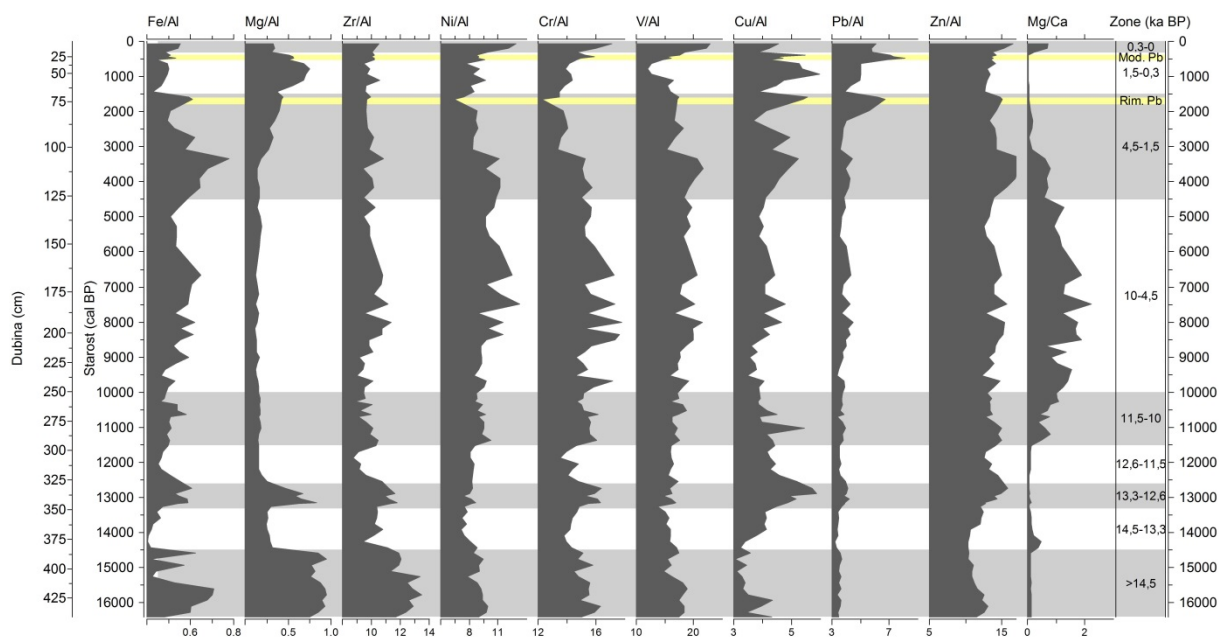
Grupiranje pojedinih parametara učinjeno je pomoću klaster analize (Ward-ovom metodom hijerarhijskog grupiranja, s Pearsonovim koeficijentima korelacije) (slika 110). Rezultati grupiranja u skladu su s prethodnim opisima međusobne korelacije analiziranih parametara. Svjetlost boje (L^*), TIC, Ca, Sr i Mg čine jedan klaster kojeg bih nazvala karbonatni klaster. Kalcij je dominantni element prisutnih karbonatnih minerala u sedimentima, kalcita i dolomita. U strukturu tih minerala često ulaze Mg i Sr, te ih se povezuje s karbonatnim mineralima. Glinena frakcija, N, TOC, Mo, S i As čine sljedeći klaster, klaster reduktivnih uvjeta. Dušik i TOC su nutritivni elementi, koji pospješuju primarnu produkciju u jezeru i koji se akumuliraju u jezeru u reduktivnim uvjetima, te se vežu s mobilnim elementima (Mo, S i As). Odvojenu grupu čine magnetski susceptibilitet, pjeskovita i siltna frakcija, P i Mn, koji se vežu sa sljedećim klasterom kojeg čine litogeni elementi (Al, K, Cr, Ni, Zr, V, Pb, Zn, Fe, te La i Na). Te dvije skupine čine siliciklastični klaster. Fosfor i mangan su u jezgri VR-1A vezani za litogene elemente, te generalno nisu vezani za reduktivne uvjete.



Slika 109. Klaster analiza dobivenih rezultata jezgre VR-1A (Ward-ova metoda hijerarhijskog grupiranja pomoću Pearsonovih koeficijenata korelacije), pomoću koje su izdvojena 3 veća klastera – karbonatni, reduktivni i siliciklastični.

Za pomoć pri interpretaciji procesa koji su se događali u jezeru, pojedini elementi su normalizirani. Karbonatni minerali sadrže malu količinu elemenata u tragovima. Kako bi se eliminirao utjecaj veličine čestica i karbonata, uzorci su normalizirani prema Al. Aluminij je detritični element, koji se ponaša konzervativno u jezerskim okolišima, nije pod utjecajem antropogenog donosa i dijagenetskih promjena (Förstner & Wittmann, 1981; Covelli & Fontolan, 1997).

Omjeri prikazani na slikama 111 i 112 mijenjaju se ovisno o mineralnom sastavu odnosno udjelu karbonatnih minerala i kvarca. Udjeli Fe, Ni, Cr, V i Cu su dosta visoki u dijelu od 10-4,5 ka BP, gdje nisu prisutni karbonati, nego ima više kvarca i plagioklasa, te minerala glina. U tom intervalu prevladava siltna i pjeskovita frakcija, za razliku od donjeg dijela, gdje je siliciklastični materijal vezan za glinovitu frakciju. Također je u sedimentu koji je taložen u razdoblju od 10-4,5 ka BP povišen magnetski susceptibilitet, s maksimalnim vrijednostima u segmentu starom od 8-6,5 ka BP. Očito je porijeklo tog materijala drugačije od dubljeg i starijeg siliciklastičnog materijala.



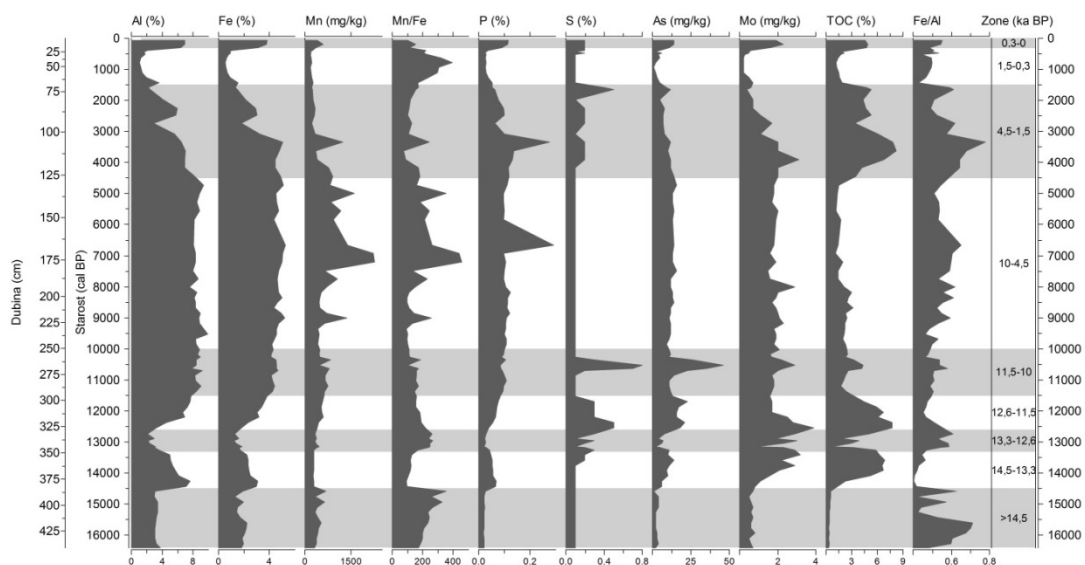
Slika 110. Promjena pojedinih elemenata normaliziranih prema Al kroz jezgru VR-1A. Žutom bojom su istaknuti intervali s povećanim koncentracijama Pb, kao rezultat atmosferskog obogaćenja u rimskom i modernom dobu.

Koncentracije elemenata u tragovima (Cr, Ni, V, Cu, Pb i Zn) povišene su u sedimentima taloženim u posljednjih 300 godina, što je posljedica povišenog udjela tih elemenata u atmosferi, pod antropogenim utjecajem. Za olovo su karakteristična 2 perioda povišenih vrijednosti, rimski i moderni period (Shotyk et al., 1998; Brannvall et al., 2001), te

su njihovi maksimumi uočeni i u jezgri VR-1A. Rimski period odgovara bi intervalu od 70-80 cm (1 900-1 600 cal BP=50-350 cal AD). Nakon rimskog perioda uslijedio je sniženje udjela olova i pripisuje se prestanku rudarenja nakon pada Rimskog carstva u periodu od 400 AD pa do 900 AD. Ponovni porast udjela olova u modernom dobu uočava se u intervalu od 20-30 cm jezerskog sedimenta (posljednjih 500 do 400 godina). Na temelju distribucije i promjena odnosa izotopa olova ($^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$) u sedimentima Vranskog jezera, Miko et al. (2008) su utvrdili da oni sadrže neporemećenu kronologiju atmosferskog taloženja olova tijekom mlađeg holocena, istovjetnu s onom utvrđenom u ostalim sedimentima u Europi.

Na temelju omjera Mg/Ca možemo vidjeti intervale u kojima je niži udio karbonatnih minerala, kalcita i dolomita (viši omjer Mg/Ca), za razliku od sedimenata u kojima je niži omjer Mg/Ca i gdje prevladavaju kvarc i minerali glina. Magnezij je vezan za siliciklastične minerale (minerale glina) i dolomit, a Ca za kalcit i dolomit, te Ca i Mg koreliraju samo djelomično. Kalcita i prema tome Ca ima najmanje u vremenski najdužem periodu, od 10-4,5 ka BP, te najmlađem periodu, u posljednjih 300 godina, u kojima je niži omjer Mg/Ca.

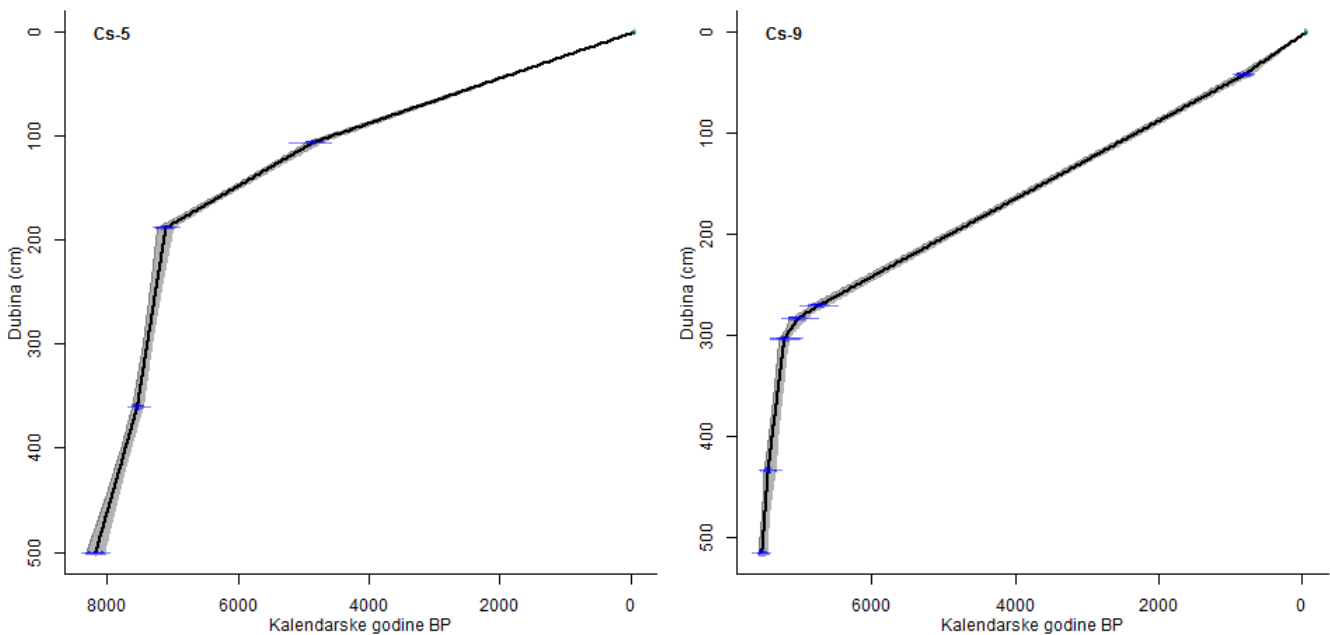
Ponašanje elemenata Fe i Mn u jezerima je osjetljivo na redoks uvjete te se stoga koriste kao indikatori paleo-reduktivnih uvjeta u jezeru. Omjer Mn/Fe često se koristi za rekonstrukciju redoks uvjeta (Koinig et al., 2003; Och et al., 2012; Naeher et al., 2013). U reduktivnim uvjetima Mn se brže reducira od Fe (niži udio Mn), čime se smanjuje omjer Mn/Fe, dok se pod oksidnim uvjetima Fe brže oksidira i akumulira se Mn te je omjer Mn/Fe viši. Niži omjer Mn/Fe i reduktivniji uvjeti podudaraju se s povišenim udjelom Mo. Povišen udio sumpora u sedimentu vezan je i za povišenje udjela As i Mo, koje može fiksirati u reduktivnim uvjetima.



Slika 111. Promjene odabranih elemenata kroz jezgru i omjera Mn/Fe kao indikatora paleo redoks uvjeta u jezeru.

4.2. Porijeklo sedimenata Vranskog jezera na Cresu

Rezultati analiza jezerskog sedimenta u dubokom dijelu jezera uspoređeni su s onima iz jezgri sedimenata u južnom obalnom dijelu, bliže (Cs-9) i dalje (Cs-5) od jezera. Te su jezgre datirane prijašnjim istraživanjima (Mesić et al., 2007), te su njihove krivulje dubine/starosti prikazane na slici 113. U oba profila uočavaju se početne manje brzine sedimentacije, do 190 cm (7 100 cal BP) u jezgri Cs-5 (0,02 cm/g), a u jezgri Cs-9 do 303 cm (7 200 cal BP) iznosi 0,05 cm/g. U gornjem dijelu jezgri sedimentacija je puno brža i iznosi 0,31 cm/g (Cs-5) i 0,71 cm/g (Cs-9).

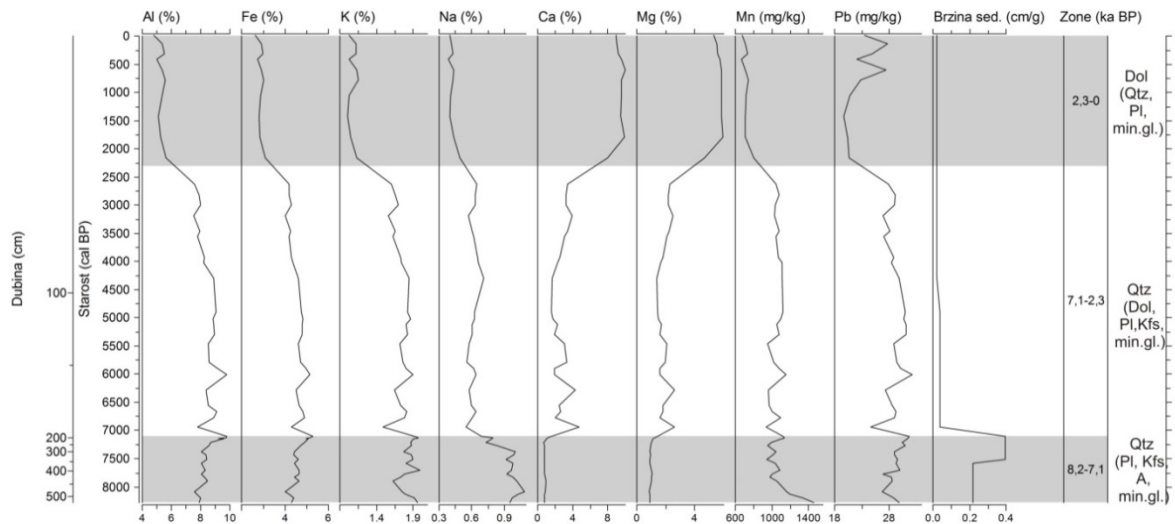


Slika 112. Modeli dubina/starost jezgri Cs-5 i Cs-9 koje se nalaze u aluvijalnoj lepezi na južnoj obali Vranskog jezera odnosno uz sam njegov rub. Starosti su preuzete iz Mesić et al. (2007). Korišten je program CLAM (Blaauw, 2010), s Intcal13 kalibracijskim krivuljama (Reimer et al, 2013), upotrijebljena je linearna interpolacija.

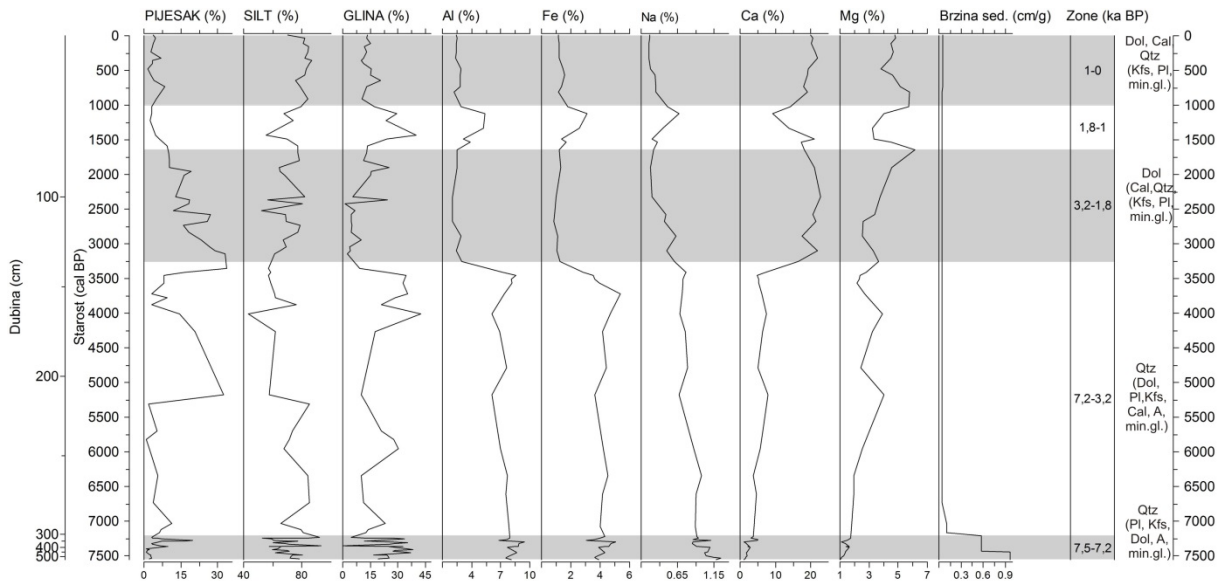
Pregled rezultata kemijskih analiza u tim jezgrama prikazan je na slikama 114 i 115, kao i granulometrijskih analiza koje su učinjene na jezgri Cs-9. U jezgri Cs-5, koja cijelom svojom dužinom od 514 cm litološki pripada crvenici, izdvojene su 3 zone prema kemijskom sastavu, prvenstveno na temelju promjena udjela Al i Ca, kao predstavnika siliciklastične i karbonatne sedimentacije. U najdubljem dijelu jezgre, od 514-190 cm, koji odgovara periodu 8,2-7,1 ka, relativno je visok sadržaj Al, kao i ostalih litogenih elemenata (Fe, Mn, Pb, Cu), a nizak Ca i Mg. U tom je vremenskom intervalu, od samo oko 1 000 godina, istaloženo preko 3 m siliciklastičnog sedimenta, sastavljenog od kvarca, feldspata, amfibola i minerala glina. Od 190 do 48 cm postepeno pada udio kvarca, a raste udio Ca i Mg, što se očituje u sadržaju dolomita. Taj je sloj debljine manje od pola metra istaložen u razdoblju od 7,1-2,3

ka. Interval od 40-0 cm taložen u zadnjih 2,3 ka, karakterizira nizak udio Al, a povišen udio Ca i Mg, s dominantnim mineralom dolomitom.

Jezgra Cs-9 pokazala je također varijabilan kemijski i granulometrijski sastav, izdvojeno je 5 zona. Najdublji dio jezgre, od 545-303 cm ima viši udio Al, dok su Ca i Mg niski. Pijesak, silt i glina pokazuju veću varijabilnost. Ta zona odgovara periodu od 7,5-7,2 ka. Potom se od 303-136 cm udio kvarca postepeno smanjuje, a Ca i Mg raste, u periodu od 7,2-3,2 ka. Prevladavaju silt i glina, dok se pijesak povećava u intervalu od 210-180 cm. Od 136-74 cm (3,2-1,6 ka) udio Al naglo pada, kao i gline, te je konstantno nizak (Al), a Ca i Mg visoki, a od 74-54 cm (1,6-1 ka) Al i glina su ponovno visoki, dok su Ca i Mg niski. Od 54-0 cm odnosno zadnjih 1 000 godina, udio Al je konstantno visok, a Ca i Mg su relativno niski i prevladava frakcija silta.



Slika 113. Izdvojene zone u jezgri Cs-5 prema kemijskim karakteristikama, u vremenskoj skali, s prikazanim dubinama, brzinom sedimentacije i mineralnim sastavom.



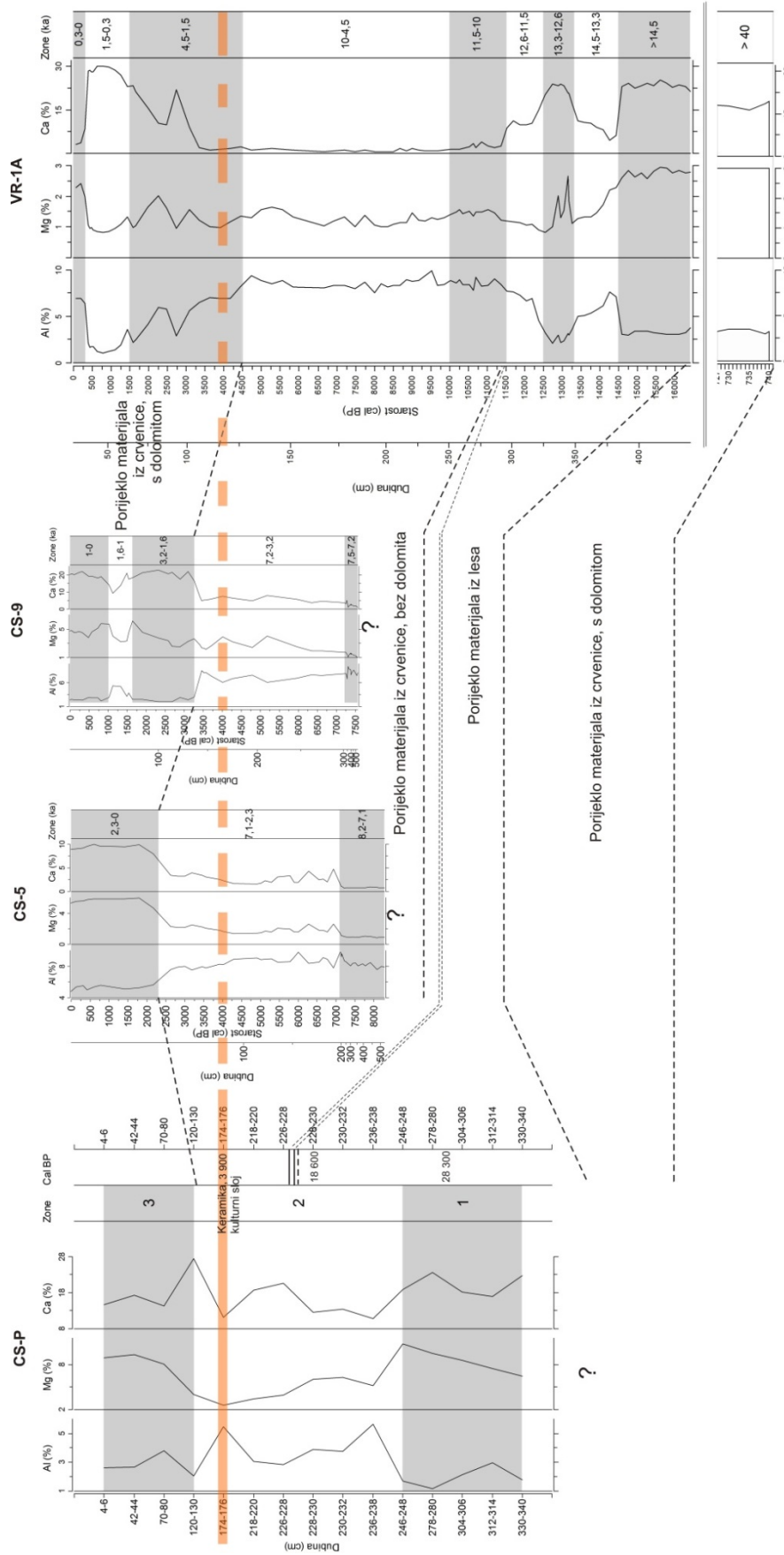
Slika 114. Izdvojene zone u jezgri Cs-9 prema kemijskim karakteristikama, u vremenskoj skali, s prikazanim dubinama, brzinom sedimentacije i mineralnim sastavom.

Minerali glina u jezgrama Cs-5 i Cs-9 se ne razlikuju, prisutni su klorit, hidroksil interstratificirani vermikuliti (ili sekundarni klorit), illit, uređen i neuređen kaolinit.

Mineralni sastav crvenice/paleotla Valun-5 i 6 pokazali su da dominira kvarc, te su prisutni K-feldspat i plagioklas, amfibol i minerali glina. Utvrđeni minerali glina su klorit, vermikulit, illit i kaolinit.

U lesnom dijelu profila tla Cs-P prisutni su smektit, illit-smektit, uz klorit, illit i kaolinit. U jezerskom sedimentu smektit se pojavljuje u uzorcima iz zona >14,5, 14,5-13,3, 13,3-12,6, 12,6-11,5 ka BP. Pojava smektita u jezerskom sedimentu upućuje na eroziju lesnih naslaga u tom periodu. U sedimentima iz najdubljeg dijela jezera (> 40 ka BP; 726-745 cm) prisutni su klorit, hidroksil interstratificirani vermikulit (ili sekundarni klorit), illit, te uređen i neuređen kaolinit. Takav tip minerala glina utvrđen je i holocenskim jezerskim sedimentima od 11,5 ka BP (295-0 cm), te jezgrama u slivnom području Cs-5 i Cs-9 i crvenicama u Valunu. To znači da je dominantni materijal taložen u najdubljem dijelu Vranskog jezera, prije vjerojatno više od 40 000 godina jednak onom koji se taložio i tijekom holocena. Na temelju navedenog, može se zaključiti da se materijal taložen u jezero razlikuje s obzirom na eroziju siliciklastičnog materijala ili dolomita iz sliva. Dominantno taloženje dolomita u jezeru uočeno je u sedimentima starijim od 13,3 ka te mlađim od 4,5 ka, što ukazuje na donos erodiranog dolomita iz slivnog područja u tim periodima. Sedimenti u jezeru stariji od 40 ka sadrže minerale glina slične onima prisutnima u sedimentima mlađim od 11,5 ka, no razlikuju se u udjelu dolomita, tek sedimenti mlađi od 4,5 ka u jezeru sadrže povećan udio dolomita.

Sedimenti u jezeru iz zona >14,5 pa do 11,5 ka BP sadrže iste tipove minerala glina kao i lesne naslage u donjem dijelu profila Cs-P 1, što upućuje na to da su ti sedimenti porijeklom iz lesa. Korelacije između sedimenata iz pojedinih zona iz jezgri VR-1A, Cs-5, Cs-9 i Cs-P prikazane su na slici 116. Izdvojen je kulturni sloj s keramikom identificiran u profilu tla Cs-P, koji nije utvrđen u ostalim jezgrama.



Slika 115. Usporedba jezgri u Vranskom jezeru na Cresu i slivu: Cs-P, Cs-5, Cs-9 i VR-1A.

4.3. Paleookolišna rekonstrukcija jezera na temelju jezgre VR-1A

Na temelju dobivenih rezultata izdvojeno je 5 zona u jezgri sedimenata VR-1A (slika 117), podijeljenih u vremenskom intervalu i po dubini:

- Zona 1:
 - 1/1 (740-726 cm; >40 ka BP);
 - 1/2 (440-385 cm; >14,5 ka BP);
- Zona 2:
 - 2/1 (385-345 cm; 14,5-13,3 ka BP);
 - 2/2 (345-330 cm; 13,3-12,6 ka BP);
 - 2/3 (330-295 cm; 12,6-11,5 ka BP);
- Zona 3 (295-245 cm; 11,5-10 ka BP);
- Zona 4 (245-125 cm; 10-4,5 ka BP);
- Zona 5:
 - 5/1 (125-70 cm; 4,5-1,5 ka BP);
 - 5/2 (70-15 cm; 1,5-0,3 ka BP);
 - 5/3 (15-0 cm; 0,3-0 ka BP).

Zoni 1 pripadaju sedimenti iz najdublje dijela jezgre VR-1A (740-726 cm). Datiranjem je utvrđeno da je već na 520 cm sediment stariji više od 40 000 godina. Drugi datirani uzorak sa 733 cm također je pokazao starost > 40 000 godina BP. Pitanje je da li je analiza bila točna, odnosno da li greška u metodi ^{14}C ili su zbilja ti sedimenti toliko stari. Ako je točno, to bi značilo da ti uzorci pripadaju čak MIS-3 (60-27 ka BP) te da je brzina sedimentacije bila jako niska ispod 317. cm, na zadnje utvrđenom datumu od 12 300 cal BP. Oko 2 m sedimenata odgovaralo bi periodu od oko 30 000 godina, što se čini gotovo nemoguće. No, s obzirom na diskordancije koje su utvrdili Schmidt et al. (2000) geofizičkim istraživanjima jezerskog dna, moguće je da postoji hijatus prije mlađeg drijasa, za vrijeme Bølling Alerød perioda velike klimatske nestabilnosti. U zoni 1/1 (740-726 cm; >40 ka BP) u mineralnom sastavu dominira dolomit, a od minerala glina su prisutni klorit, hidroksil interstratificirani vermikulit (ili sekundarni klorit), illit, uređen i neuređen kaolinit. U zoni 1/2 (440-385 cm; >14,5 ka BP) prevladavaju kalcit i dolomit, te su prisutni drugi tipovi minerala glina: smektit, klorit, illit, uređen i neuređen kaolinit. Različiti tipovi minerala glina ukazuju na različito porijeklo materijala iz ove 2 zone. Sedimenti iz zone > 40 ka BP imaju sličan sastav kao i crvenice (Cs-5 i Valun) u slivnom području, dok oni iz zone > 14,5 ka BP imaju isti sastav kao i lesne naslage u profilu Cs-P. Omjer C/N iznosi više od 10 u najdubljim sedimentima od 740-726 cm, što ukazuje na terigeno porijeklo organske tvari. U

intervalu od 440-385 cm ti su omjeri niži (6-8). Ove dvije zone se ne razlikuju po granulometrijskom sastavu, dominira siltna frakcija. Prema palinološkim analizama iz Schmidt et al. (2000) u zoni 1/2 (peludna zona PZ-1/1, Schmidt et al., 2000) dominira pelud bora *Pinus*, a također je prisutan pelud mješovite hrastove šume (hrast *Quercus*, javor *Acer*, lipa *Tilia*, brijest *Ulmus*), graba *Carpinus betulus*, jele *Abies*, bukve *Fagus*. Prati ih pelud mediteranskih elemenata (hrast crnika *Quercus ilex*), submediteranskih (crni grab *Ostrya*) i mogući interglacijalni elementi (grm šimšir *Buxus*).

Zonu 2 dijelimo na 3 perioda različitih promjena u sastavu jezerskih sedimenata. U zoni 2/1 (385-345 cm; 14,5-13,3 ka BP) dominiraju kvarc, glinena frakcija i siliciklastični elementi (Al, Fe, K, Zr). Od minerala su prisutni još plagioklasi i minerali glina (smektit, klorit, illit, uređen i neuređen kaolinit). U ovim su uzorcima više koncentracije Na nego u ostalim dijelovima jezgre. Usporedbom sa sedimentima iz slivnog područja, iz jezgri Cs-5 i 9 te s profilom tla Cs-P nisu utvrđeni slični materijali, te se pretpostavlja drugačije porijeklo tih sedimenata. Plagioklasi, a prema tome i natrij, su mogli dospjeti u jezero trošenjem magmatskih stijena (pretežno andezita) koji se nalaze na Velebitu u predjelu Senjskih vrata (Lugović & Majer, 1983). Prije toga nisu mogli biti preneseni u jezero zbog mogućeg postojanja leda na Velebitu, koji je prekrivao te stijene, no nakon otapanja ledenjaka, bile su izložene djelovanju vjetrova, koji je mogao prenijeti taj materijal do Vranskog jezera. Tu interpretaciju povišenja udjela Na u periodu 14,5-13,3 ka BP treba dokazati u budućnosti. U zoni su prisutni niži udjeli Ca i Mg, a udio TOC-a je visok, kao i omjer C/N (oko 11), što upućuje na terigeno porijeklo organske tvari u jezeru. Zona 2/1 pripada prijelaznoj peludnoj zoni PZ-1/2 (Schmidt et al., 2000), u kojoj se smanjuje udio peluda bora *Pinus*, a povećava udio peluda breze *Betula*.

Zonu 2/2 (345-325 cm; 13,3-12,6 ka BP) karakteriziraju niske koncentracije Al, dok je udio Ca izrazito visok. Ovo je interval gdje se pojavljuju ispremiješani tamniji i izrazito svjetliji sedimenti koji se nalaze od 385-440 cm. Ti su sedimenti vjerojatno pretaloženi iz dubljeg karbonatnog dijela jezgre (iz zone >14,5 ka BP), u kojem je također visok udio kalcita. U sedimentima su prisutni dolomit i aragonit (porijeklom iz ljuštura). Na dubini od 345-331 cm, uočeni su ostaci biljaka i korijena, niske su vrijednosti TOC-a, a C/N iznosi 13,37, što znači je organska tvar alohtona u tom intervalu. U ostalim dijelovima prevladava organska tvar iz jezera (<10). Također je smanjen udio gline i povećana siltna frakcija. Ovoj zoni pripada peludna zona PZ-2/1 (Schmidt et al., 2000), u kojoj raste udio peluda breze *Betula*, a smanjuje se udio peluda bora *Pinus*. Prisutni su još pelud borovice *Juniperus* i peline *Artemisia*.

U zoni 2/3 (325-295 cm; 12,6-11,5 ka BP) raste udio glinovite frakcije, te Al i Fe, a niži su udjeli Ca i kalcita. Organskog ugljika ima više, a omjer C/N je viši od 10. Nizak magnetski

susceptibilitet povezan je s povećanim udjelom TOC u ovoj zoni, kao i u zoni 2/1, dok je u prethodnoj zoni 2/2 nizak MS zbog prisutnosti karbonata. Ovoj zoni pripada peludna zona PZ-2/2 (Schmidt et al., 2000), viši je udio peluda bora *Pinus*, a manje je prisutan pelud mješovite hrastove šume. Maksimalne vrijednosti imaju trave Poaceae i šaševi Cyperaceae. Pelud bora je indikator prijelaza iz mlađeg drijasa u holocen, pelud *Pinus mugo* karakterističan je za mlađi drijas, a pelud *Pinus nigra* i *Quercus* za početak holocena (Schmidt et al., 2000).

Na temelju usporedbe sedimenata iz jezera s onima u slivnom području, utvrđeno je da je materijal taložen u periodu od unutar 2. zone porijekom iz lesa, koji je utvrđen u donjem dijelu profila Cs-P. Kalcitični interval od 13,3-12,6 ka BP je vjerojatno pretaloženi karbonanti sediment iz zone > 14,5 ka BP. Period od 14,5-12,6 ka BP je period izmjene hladnijih i toplijih klimatskih uvjeta, u kojima su se mogli izmjenjivati donos organske tvari iz sliva i iz jezera, te je moglo doći do pretaložavanja sedimenata, pogotovo uzmemo li u obzir razinu mora u to doba, koja je bila znatno niža nego danas. Razina mora je rasla skokovito, nakon otapanja ledenjaka, u 2 veća intervala, prvi put se dogodio prije 14,2 ka cal BP, a drugi put prije 11,3 ka cal BP (Fairbanks, 1989). Prvi puls uzrokovao je podizanje razine mora za oko 20 m, te su se razine podzemne vode Vranskog jezera povisile, a Vransko jezero je vjerojatno egzistiralo kao močvarno jezero, s većom količinom organske tvari donesene iz sliva.

U zoni 3 (295-245 cm; 11,5-10 ka BP) smanjuje se količina organske tvari, C/N je oko 8, osim u intervalu od 268-265 cm (oko 10,5 ka BP), gdje iznosi oko 10. Povišeni su udjeli litogenih elemenata (Al, Fe), glinovite i siltne frakcije, a smanjen je udio pijeska, a također je nizak Ca i kalcit, a dolomita nema. Magnetski susceptibilitet postepeno se povećava, ali je nizak u intervalima sa spomenutim višim udjelom organskog ugljika. Za sediment u ovoj zoni je i dalje karakteristično taloženje materijala i organske tvari iz sliva, što ukazuje na pliće jezero. Razina mora se dosta izdigla, na oko 11 ka BP bila je oko 40 m niža nego danas, što znači da je u ovoj fazi jezero egzistiralo kao plitko jezero. U zoni 3 (PZ-3 peludna zona prema Schmidt et al., 2000) prevladava pelud bora *Pinus* i hrasta *Quercus*, s tim da se povećava udio elemenata mješovite hrastove šume.

Zona 4 (245-125 cm; 10-4,5 ka BP) je zona u kojoj su se stabilizirali uvjeti, nakon vlažnih prethodnih perioda s izdizanjem morske razine. Karakteriziraju je niži udio kalcita i dolomita, dominira kvarc, s plagioklasima i mineralima glina, te siliciklastični elementi Al, Fe. U sedimentu prevladava siltna frakcija, a udio gline je viši nego u prethodnoj zoni. U tom je periodu vrlo visok magnetski susceptibilitet, viši nego u ostatku jezgre, s višim vrijednostima u 2 intervala: 190-180 cm (8-7,5 ka BP) i 175-164 cm (7,2-6,6 ka BP). Ovi intervali podudaraju se s periodima koje su Combourieu-Nebout et al. (2013) definirali kao maksimumi ljetnih padalina u Jadranskom moru,

u skladu s trendom u južnoj Europi (8 000-7 000 cal BP). Oni definiraju 2 preokreta u vegetaciji na 7 700 cal BP i između 7 500-7 000 cal BP, koji se podudaraju s povišenim donosom materijala u Jadransko more. Ovoj zoni može se pripisati peludna zona PZ-4 prema Schmidt et al (2000), koja se dijeli na 3 podzone: u nižoj podzoni 4/1 prevladava pelud lobode *Chenopodiaceae*; u zoni 4/2 prisutan je pelud pistacije *Pistacia*, zelenika *Phyllirea*, maslina *Olea* te se taj interval označava kao početak širenja mediteranskog elementa); a u zoni 4/3 prisutna je borovica *Juniperus*. Schmidt et al. (2000) su pretpostavili u ovom periodu uspostavljanje dubokog jezera, a otapanje karbonata i manjak produktivnosti objašnjavaju donosom hladnih voda bogatih CO₂.

U zoni 5/1 (125-70 cm; 4,5-1,5 ka BP) dolazi do postepenog smanjenja udjela Al, Fe i magnetskog susceptibiliteta te povećanja udjela Ca. Dominira mineral kvarc, prisutni su i dolomit, plagioklas, minerali glina i kalcit. Povišeni udio kalcita ukazuje na postepeno produbljivanje jezera tek u ovom periodu. Usporedbom s jezgrom uz rub jezera, Cs-9, u kojoj je taloženje karbonata započelo prije oko 3,2 cal BP, upravo unutar ove zone pretpostavljeno je uspostavljanje dubokog jezera kakvo je i danas u kojem razina jezera varira između +9 do +12 m n.m.

U zoni 5/2 (70-15 cm; 1,5-0,3 ka BP) snižava se udio TOC-a, kada je započela reoligotrofikacija jezera, jer su ljudi promijenili upotrebu zemljišta i okrenuli se od jezera (Schmidt et al., 2000). Udjeli Al i Fe su niski, u uzorcima dominira kalcit. Unutar ove zone je u intervalu od 37-18 cm, što odgovara periodu od 550-350 BP, uočena najveća brzina sedimentacije (0,13 cm/god.), što upućuje na povišenu eroziju i donos materijala iz slivnog područja (Mesić, 2004) .

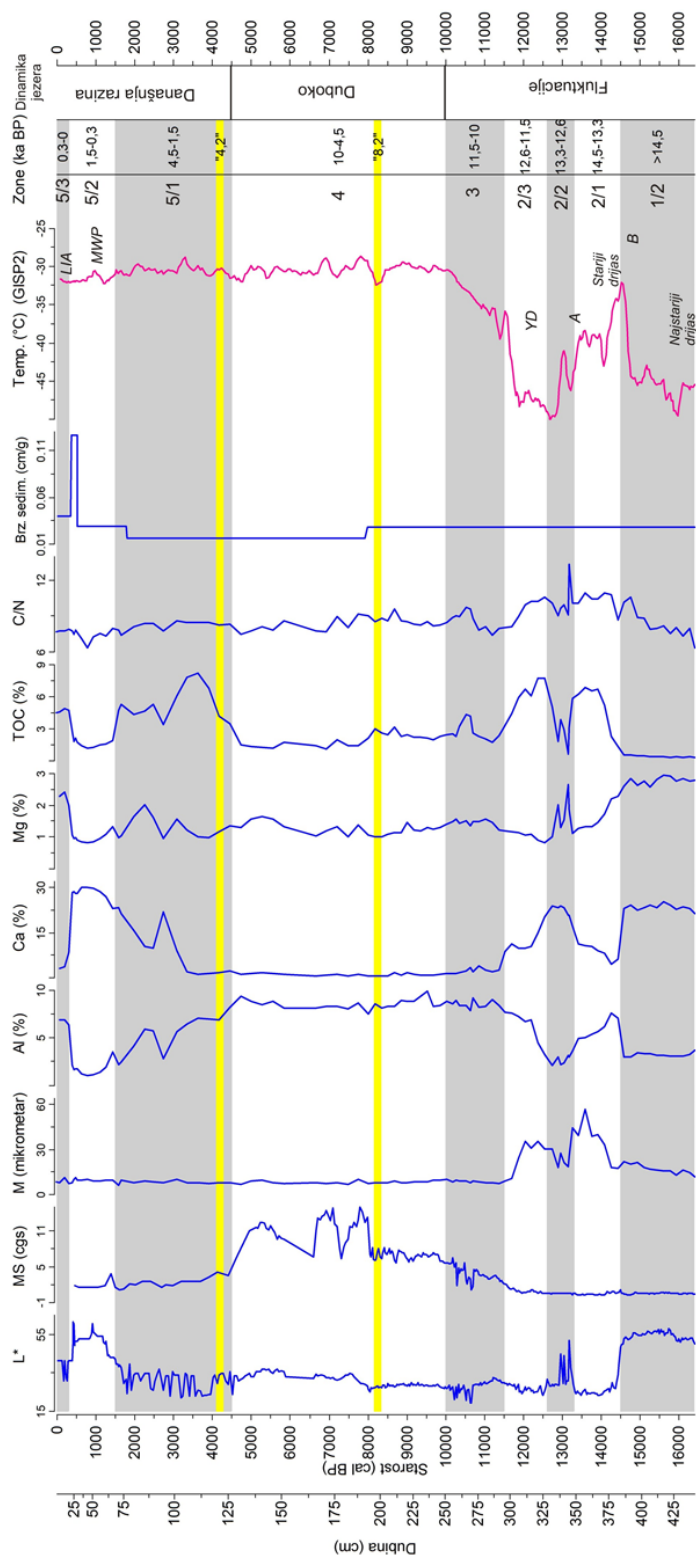
U zoni 5/3 (15-0 cm; 0,3-0 ka BP) raste udio Al, Fe, smanjuje se kalcit, a u mineralnom sastavu dominiraju kvarc i dolomit, prisutni su kalijski feldspat i plagioklas i minerali glina. U jezgri VR-1A vršni sediment ima smanjeni udio kalcita, dok u jezgri iz Schmidt et al. (2000) kalcit dominira u samom vrhu jezgre. Moguć je gubitak vršnih centimetara u jezgri VR-1A, te bi se za preciznu analizu prvih 50 cm jezgre trebala koristiti jezgra iz gravitacijskog korera. Prema Schmidt et al. (2000) zonu 5 karakteriziraju dominantno pelud hrasta crnike *Quercus ilex* i borovica *Juniperus*, s mediteranskim šumskim elementima: jasen *Fraxinus*, obični grab *Carpinus betulus*, joha *Alnus*, kesten *Castanea*, orah *Juglans*, bor *Pinus*, loza *Vitis*, maslina *Olea*.

U sedimentima se od 11,5 do 0 ka BP nije mijenjao tip minerala glina, utvrđeni su sljedeći minerali glina: klorit, hidroksil interstratificirani vermikulit (ili sekundarni klorit), illit,

uređen i neuređen kaolinit. Takav sastav utvrđen je i u crvenicama u slivnom području, te su upravo one izvor za minerale glina u jezeru.

Ustanovljeni trendovi promjena u istraživanom jezeru na istočno jadranskoj obali podudaraju se s trendom za središnju Europu, za područja koja se nalaze iznad 40° sjeverne geografske širine: vlažniji uvjeti u ranom holocenu do oko 9 000 cal BP, suši uvjeti od 9 000 do 4 500 cal BP, te vlažni uvjeti i povećanje količine padalina od 4 500 cal BP (Magny et al., 2013). U dubokoj jezgri Vranskog jezera na Cresu vlažniji period od 11,7 ka BP očituje se u povećanoj eroziji i donosu materijala iz sliva, s taloženjem siliciklastičnog materijala u jezeru. U Vranskom jezeru na Cresu početak holocena karakteriziran je taloženjem siliciklastičnog materijala, ali koje se nastavlja i u srednji holocen, do 4,5 ka BP, te se tek tada smanjuje udio siliciklastične komponente i započinje taloženje karbonata. Uočen je povišen magnetski susceptibilitet u periodu oko 8 do 7,5 ka BP i 7,2 do 6,6 ka BP, koji ukazuje na donos erodiranog materijala iz sliva, što je u širem jadranskom području definirano kao maksimum ljetnih padalina i očituje se povišenim donosom materijala (Combourieu Nebout et al., 2013). Taj period intenzivne erozije siliciklastičnog materijala uočen je u jezgri Bokanjačkog blata, pojavom pretaloženih željezovitih sedimenata u periodu od 7,2-7 ka BP..

Ovi podaci u skladu su s posljednjim istraživanjima u talijanskim jezerima, prema kojima bi se holocen mediteranske regije mogao dijeliti upravo prema promjenama na 9 000 i 4 500 BP, a ne prema događajima na 8 200 i 4 200 BP (Magny et al., 2013; Magny & Combourieu Nebout, 2013).

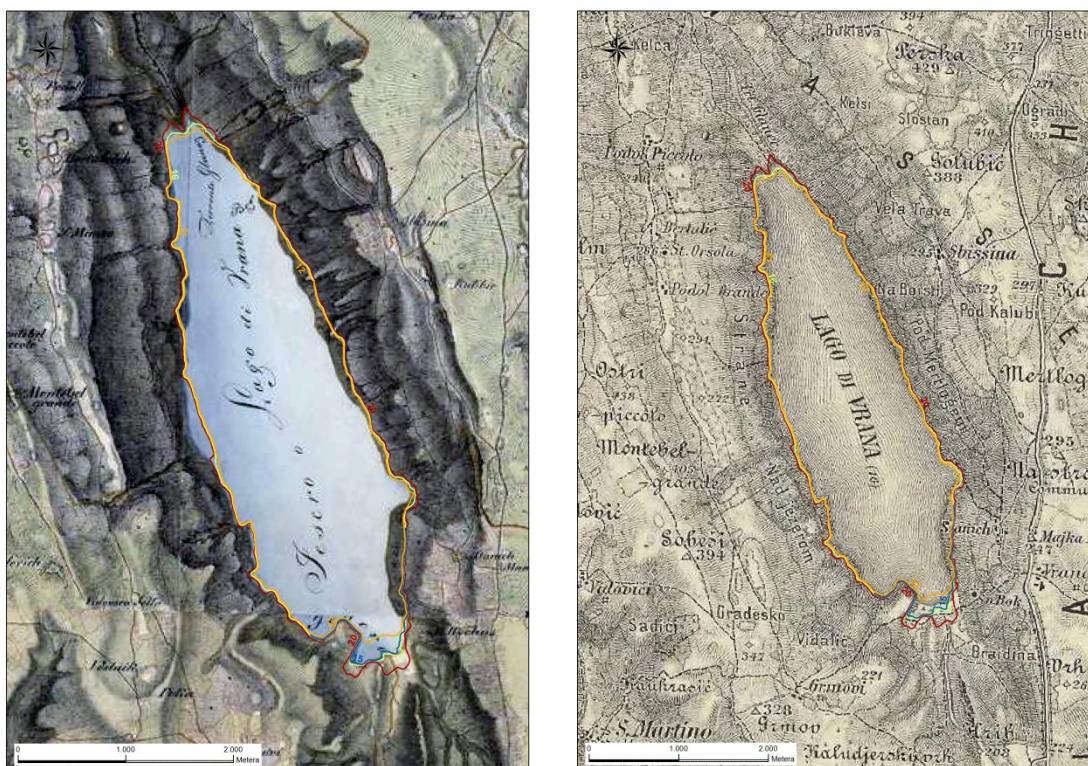


Slika 116. Odabrane analize pomoću kojih su se rekonstruirali paleookolišni uvjeti u Vranskom jezeru na Cresu (VR-1A). Prikazana je varijacija temperature prema

grenlandskoj ledenoj jezgri GISP2 (Alley, 2000). Sivo su osjenčane izdvojene zone u jezgri VR-1A, žutom bojom označeni su karakteristični klimatski događaji kroz holocen.

4.4. Rekonstrukcija kolebanja razina jezera tijekom posljednjih 6 000 godina

Rekonstrukcija paleorazina vranskog jezera temeljena na analizi mineraloških, geokeijskih fizikalnih i paleontoloških indikatora kao polazište uzima mjerene podatke i trendove u razdoblju 1929 do 2013. U razdoblju mjerenih nizova srednjih, maksimalnih i minimalnih godišnjih vodostaja najveći se vodostaj pojavio 1936. godine (Bonacci, 2014). Minimalni srednji godišnji vodostaj izmjeren je 1990. godine, a iznosio je 9,50 mm, dok je minimalni trenutačni vodostaj izmjeren 2012. godine, a iznosio je 8,56 mm (Bonacci 2014). Te je godine srednji godišnji vodostaj iznosio 9,375 mm. Maksimalni srednji godišnji vodostaj u iznosu od 15,84 mm pojavio se 1936. godine, dok je maksimalni trenutačni vodostaj od 16,86 mm izmjeren 1938. godine (Bonacci 2014). Dakle mogući raspon današnjih kolebanja je između 8,5 i 16,5 mm.

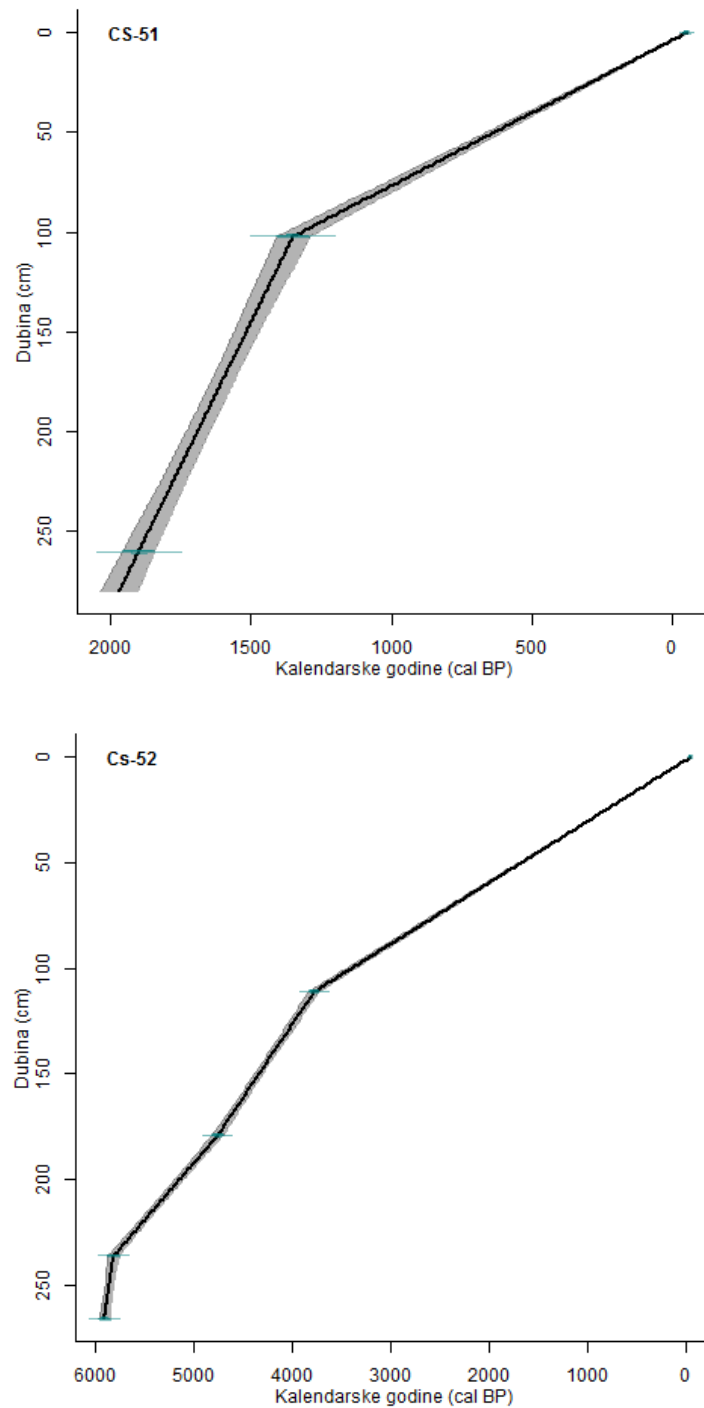


Slika 117. Austrougarske karte druge (1806-1869) i treće (1869-1887) vojne izmjere na kojima se zapaža da su razine Vranskog jezera u navedenim razdobljima bile 15 mm i 13 mm (<http://mapire.eu/en/>).

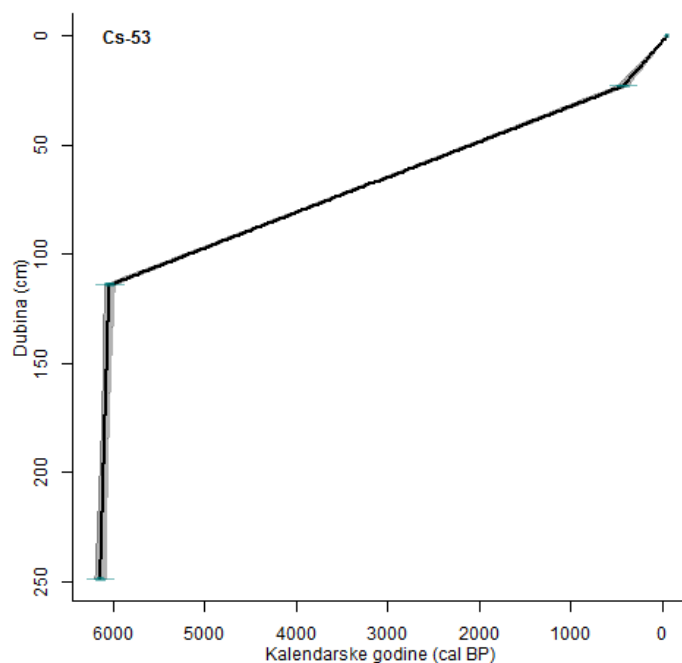
Pregledom Austrougarskih karata druge (1806-1869) i treće (1869-1887, <http://mapire.eu/en/>) vojne izmjere na osnovu analize morfoloških parametara (slika 118) utvrđeno je da karte druge izmjere pokazuju razinu jezera na 15 mnm a druge 13 mnm. Također u utvrđivanju maksimalnih vodostaja važna je činjenica da bušotina na južnom obali (CS-9) koja je analizirana tijekom 2007 (Mesić et al., 2007) ima 1,5 m jezerskog karbonatnog sedimenta koji se je počeo taložiti prije 4 500 godina, mada su uočeni hijatusi u sedimentaciji palinološke analize pokazale su da tijekom tog razdoblja di taloženjanja karbonatnog sedimenata dubine jezera su bile do 5 m. Budući da je ušće bušotine bilo na 12 m nm i uzimajući u obzir dužinu datirane jezgre moguća su bila duža razdoblja sa razinama između 12 i 15 m nm.

Lokacije koje su odabrane za modeliranje paleorazina razina u priobalju odabrane su na temelju činjeice da bez obzira što je obala nešto strmija i što je zaravnjeni šelf kraći od onog na južnom dijelu, široki pojas vegetacije na južnoj obali i dubko korijenje trstike predstavljali su rizik za dobivanje kvalitetnih neporemćenih jezgri za analizu. Na južnoj obali svejedno su izbušene četiri jezgre koje su arhivirane u hladnjaku u HGI-u. Južna obala je blaža i zaštićena širokim pojasom vegetacije dubokim korijenjem dok sjeverna obala ima kamenito dno sa izloženim stijenama i jezerski sediment se javlja u količinama tek na 9,5 m nm dok u na južnoj obali jezerski sediment prisutan na 12 m nm (jezgra CS-9). Sjeverna obala je izložena jugu tako da djelovanje valova sprječava akumulaciju sedimenta za razliku od sjeverne obale koja je zaštićena.

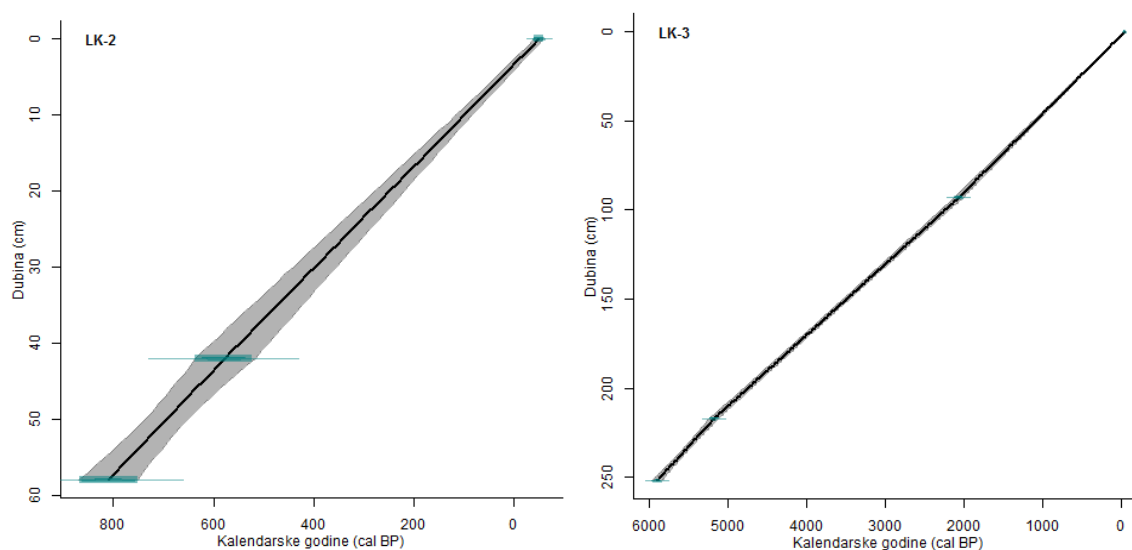
Na temelju datiranja sedimenata iz jezgara a kako bi bila moguća interpretacija zbivanja i kolebanja razina jezera, napravljen je model dubina/starost za jezgre CS-51, CS-52 i CS-53 (slike 119 i 120) te za morske sedimente iz jezgri LK-2 i LK-3 (slika 121). Prikazom pojedinih odabranih parametara u vremenskoj skali na temelju modela uočava se da karbonatna jezerska sedimentacija (svijetlina $L^* > 50$, visok udio Ca i TIC, te visoki udio pijeska) počinje prije 5 500-5 600 godina (slika 122 i 123).



Slika 118. Model dubina/starost Vranskog jezera za jezgru CS-51 i CS-52, starost je izražena u cal BP (kalendarskim godinama BP) ovisno o dubini jezgre. Korišten je program CLAM (Blaauw, 2010), koji koristi Intcal13 kalibracijske krivulje (Reimer et al, 2013), upotrijebljen je model linearne interpolacije.



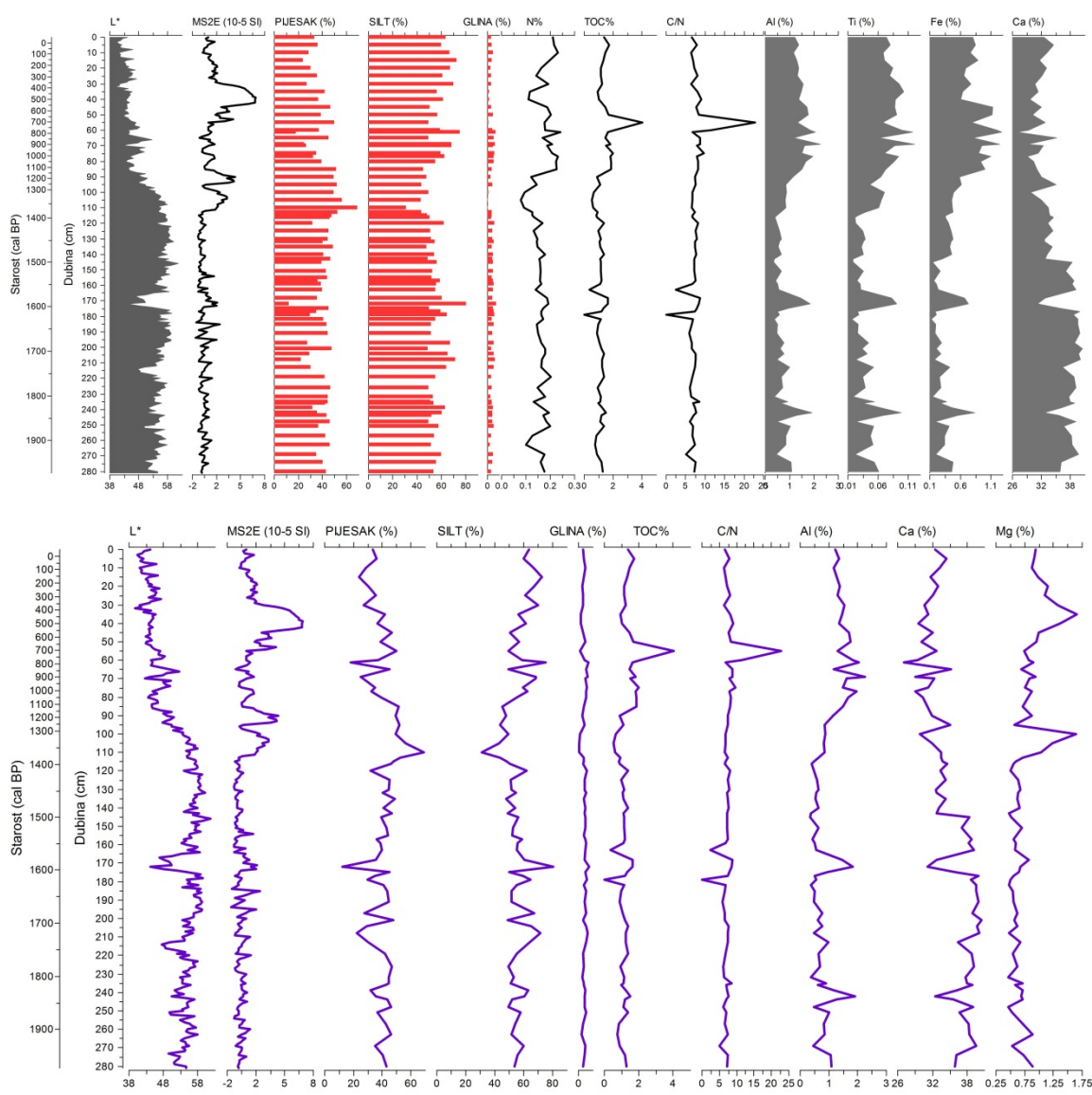
Slika 119. Model dubina/starost Vranskog jezera za jezgru CS-53, starost je izražena u cal BP (kalendarskim godinama BP) ovisno o dubini jezgre. Korišten je program CLAM (Blaauw, 2010), koji koristi Intcal13 kalibracijske krivulje (Reimer et al, 2013), upotrijebljen je model linearne interpolacije.



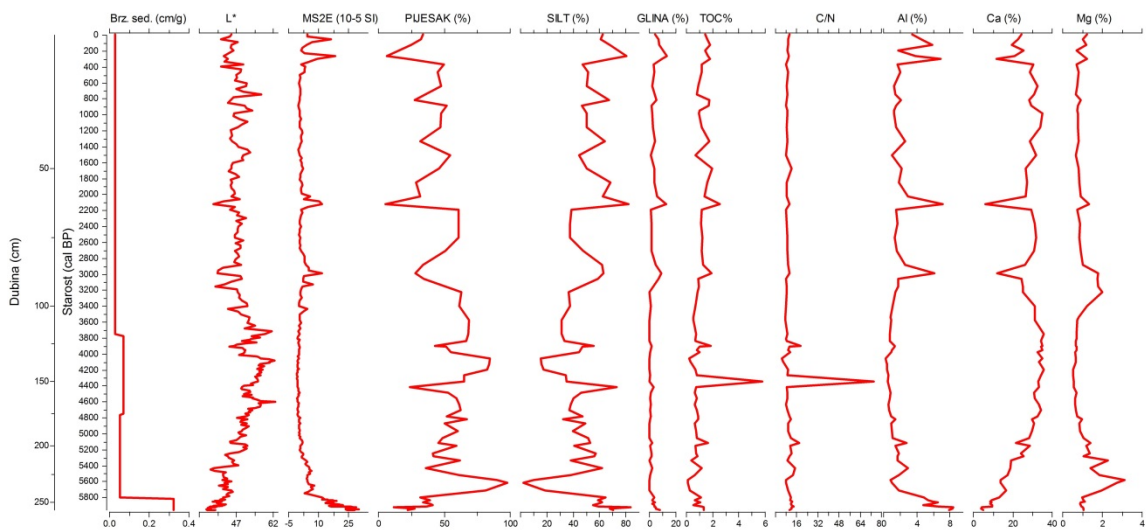
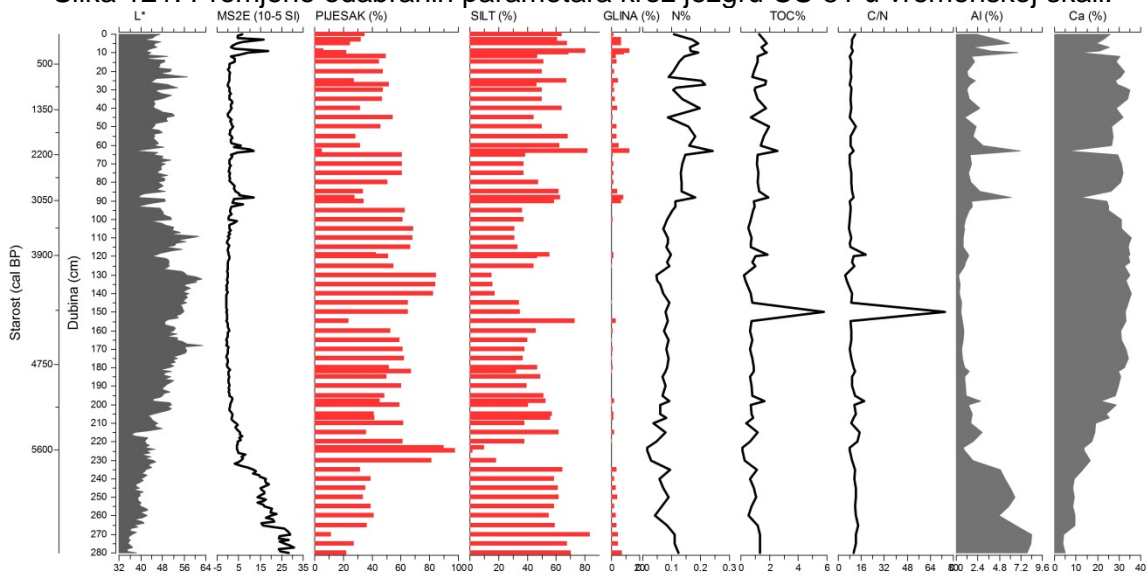
Slika 120. Model dubina/starost jezgru LK-2 i LK-3 iz Lošinjskog kanala, starost je izražena u cal BP (kalendarskim godinama BP) ovisno o dubini jezgre. Korišten je

program CLAM (Blaauw, 2010), koji koristi Intcal13 kalibracijske krivulje (Reimer et al, 2013), upotrijebljen je model linearne interpolacije.

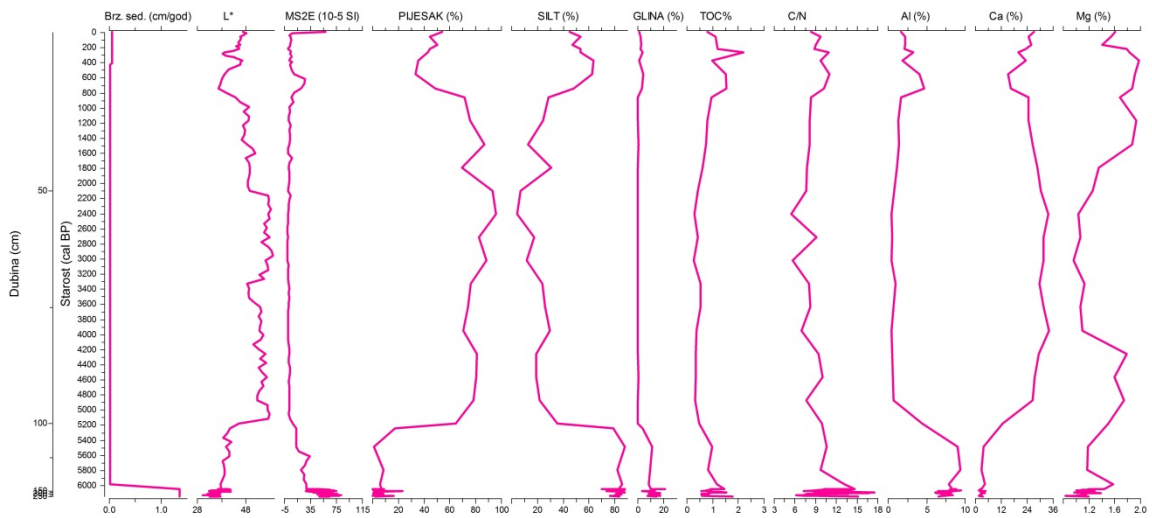
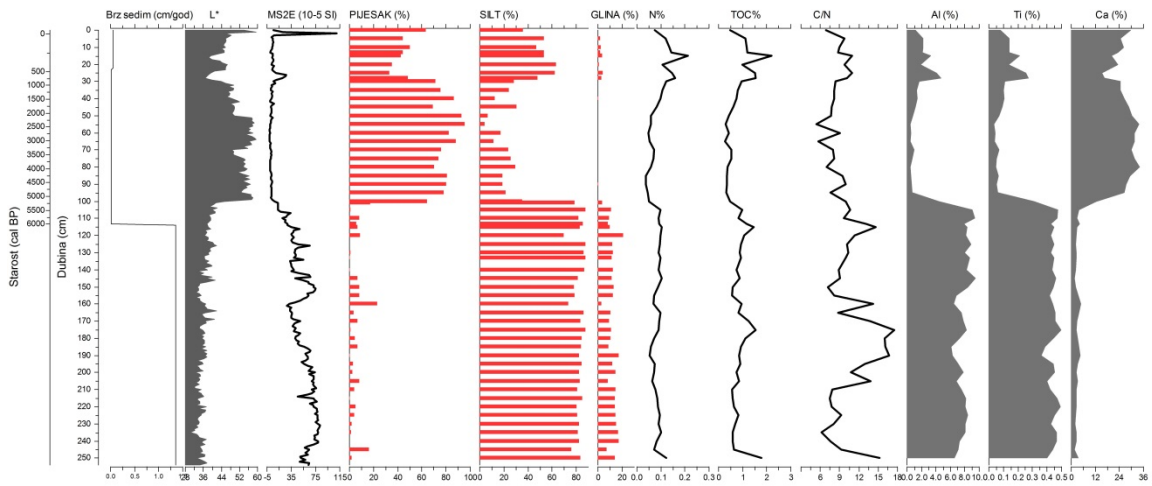
Jezgra CS-51 zahvaća posljednjih 2 000 godina i kroz cijelo to razdoblje nisu uočeni tragovi prekida sedimentacije (slika 122), te se može smatrati da razina jezera nikad nije bila niža od 2 m nm. Uočava sniženje vrijednosti L^* i povećanja udjela silta i gline te organskog ugljika nakon 1 300 godine prije sadašnjosti (BP). U ostalim jezgrama ova pojava se ne zapaža, ali na temelju analize ostrakodne faune iz jezgre CS-51 utvrđeno nestanak ljušturica vrste *Candona candida* ukazuje na sniženje razine jezera (II B zona) u razdoblju između 1 300 i 600 godina prije sadašnjosti.



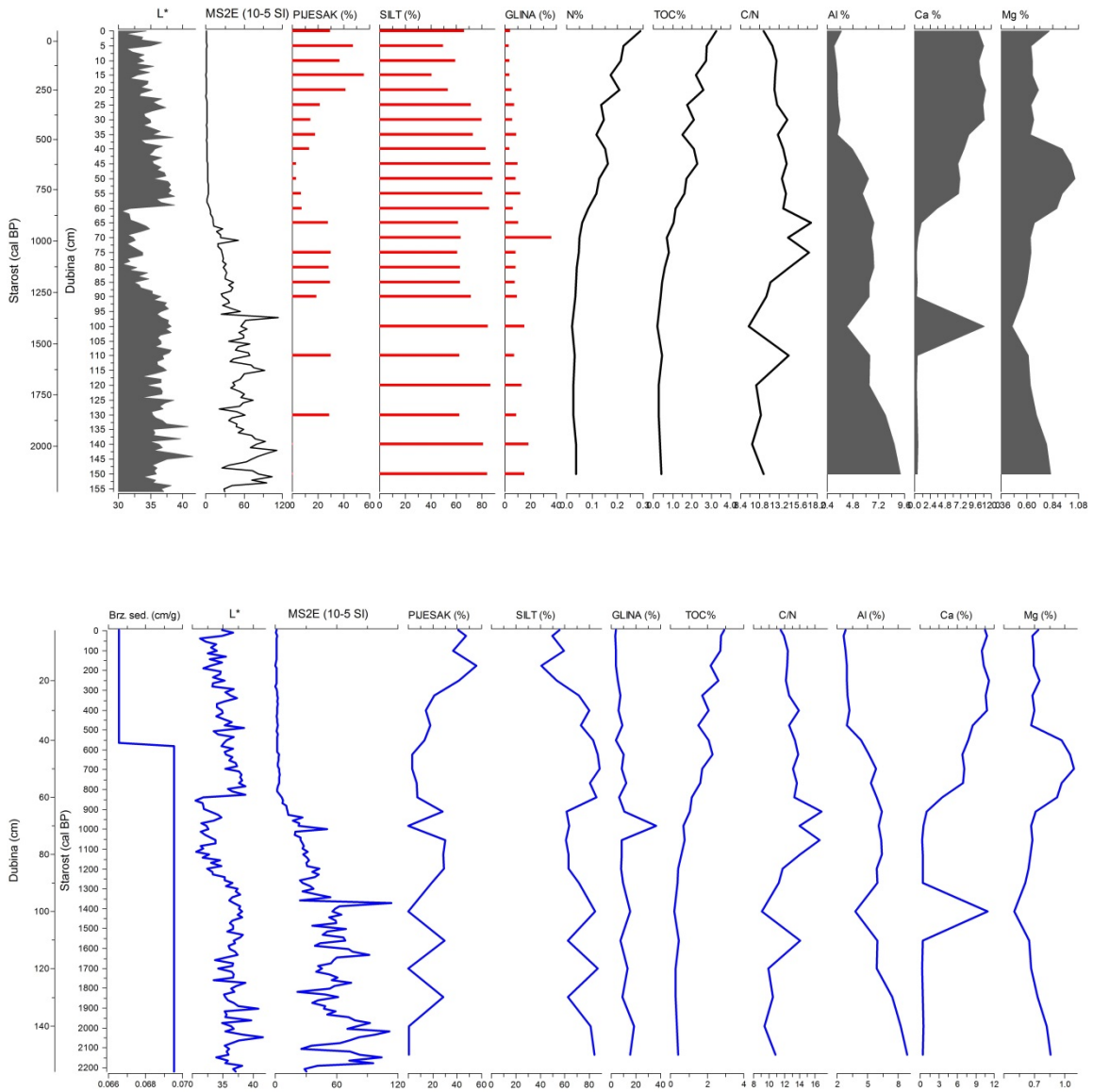
Slika 121. Promjene odabranih parametara kroz jezgru CS-51 u vremenskoj skali.



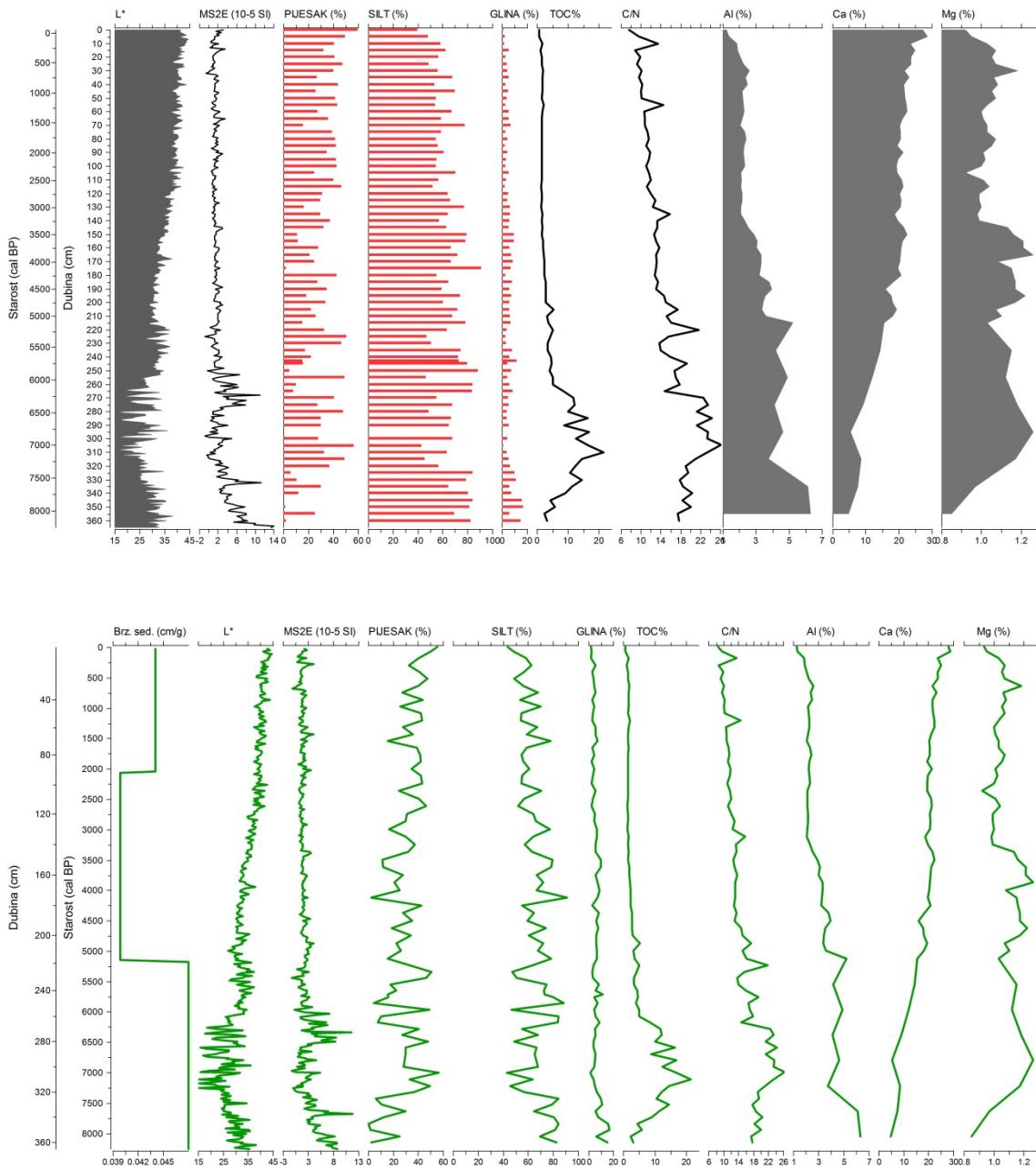
Slika 122. Promjene odabranih parametara kroz jezgru CS-52 u vremenskoj skali



Slika 123. Promjene odabranih parametara kroz jezgru CS-53 u vremenskoj skali.

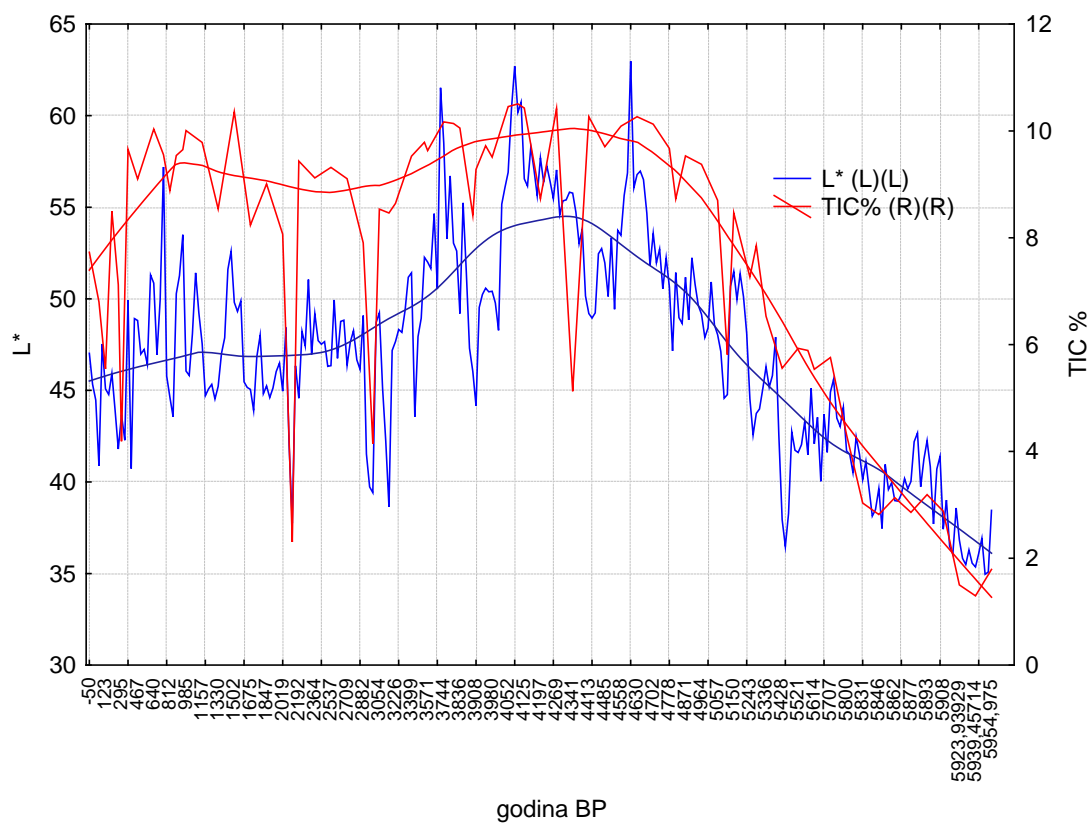


Slika 124. Promjene odabranih parametara kroz jezru Lk-2 u vremenskoj skali.



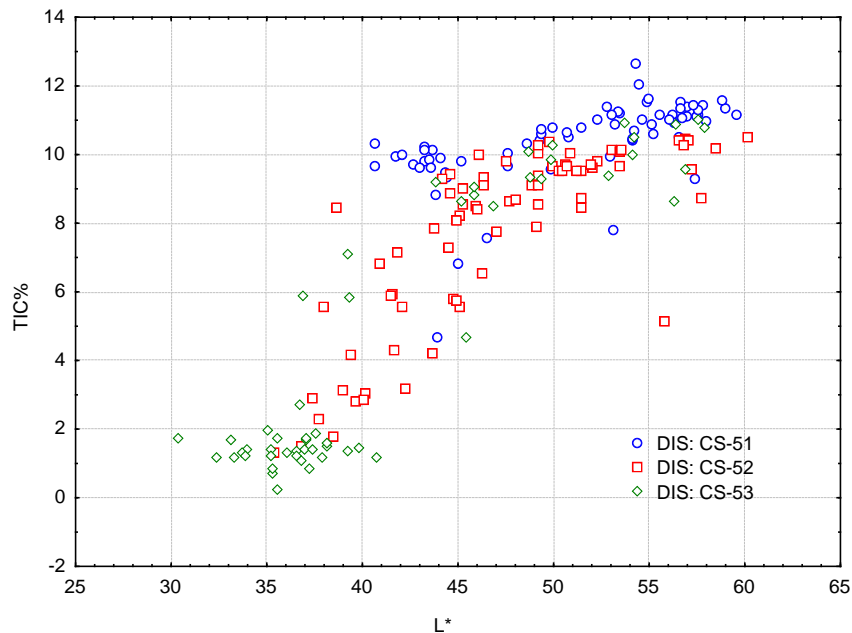
Slika 125. Promjene odabranih parametara kroz jezgru Lk-3 u vremenskoj skali.

U dijagramu na slici 126 prikazan je odnos ukupnog anorganskog ugljika (TIC) i svjetline boje L^* u jezgri CS-51 u vremenskoj skali, koje su međusobno podudarne. Ujedno postoji i značajna korelacija ($r=0,65$) između udjela pijeska i svjetline boje L^* . Na temelju navedenog i mikropaleontoloških i mineraloških analiza utvrđeno je da na temelju parametra L^* moguće aproksimirati udjele karbonata u visokoj rezoluciji (cm). Za jezgru CS-52 sa prosječnom brzinom sedimentacije 0,029 cm/godišnje jedan izmjereni cm bi odgovarao 35 godišnjem razdoblju. U slučaju jezgre CS-51 razlučivanje je 15 godina po izmjerenom cm.



Slika 126. Odnos ukupnog anorganskog ugljika (TIC) i svjetline boje L^* u jezgri CS-52 u vremenskoj skali.

Na temelju visokog omjera C/N vidljivo je da je u jezeru sedimentirana velika količina organske tvari kopnenog porijekla oko 600 godina prije sadašnjosti i da nakon toga slijedi povećani fluks silta sa povećanim ma magnetizmom. Ovaj događaj vjerojatno je vezan za krčenje šume i eroziju koja je slijedila a kojaje za to vremensko razdoblje utvrđena i u kratkom jezgrama iz dubljeg dijela jezera (Mesić et al., 2007). Statističkim analizama odnosa parametara kao što su L^* i magnetski susceptibilitet koji su analizirani u intervalima po jedan cm sa anorganskim parametrima koji su analizirani sa manjom rezolucijom uočila se visoka korelacija od $r=0.8$ između svjetline boje L^* i TIC-a tj. udjela karbonata u sedimentu (tablica 33, slika 127).

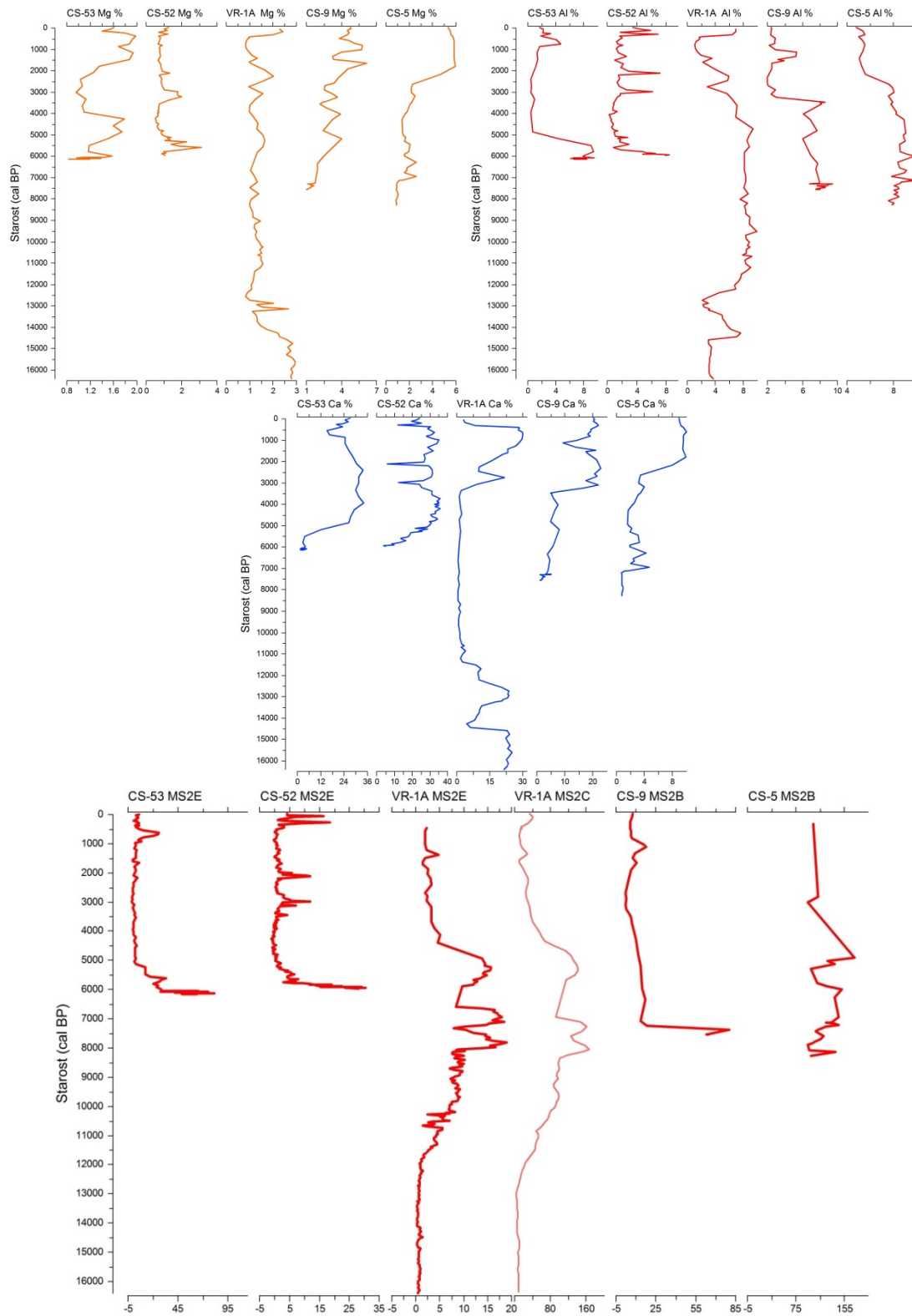


Slika 127. Odnos ukupnog anorganskog ugljika (TIC) i svjetline boje L^* u svim analiziranim jezgrama.

Tablica 33. Korelacijska matrica najvažnijih anorganskih parametara/indikatora $p < ,05000$ $N=191$.

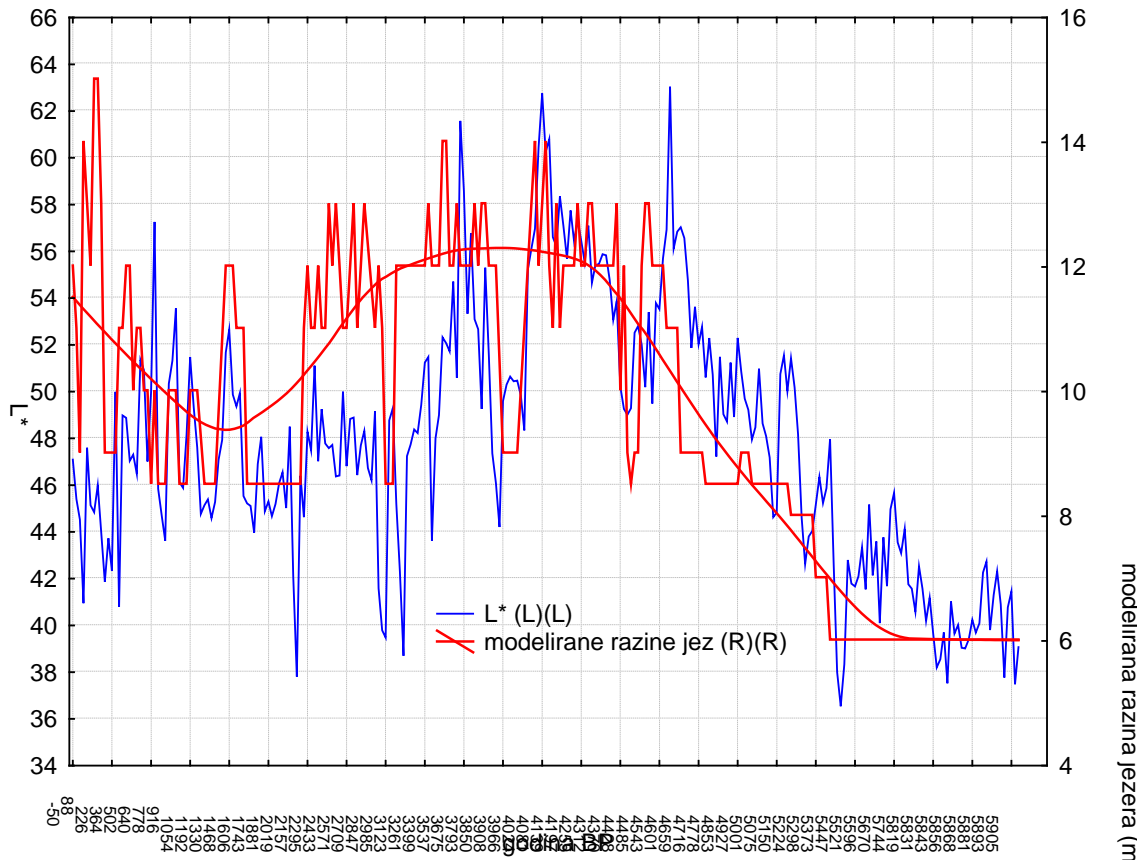
	L*	a*	b*	MSZE (10-5 SI)	TOC%	TIC%	PIJESAK (%)	GLINA (%)	SILT (%)	Mn	Fe	Ca	P	Ti
L*	1													
a*	-0,48	1												
b*	0,15	0,51	1											
MSZE (10-5 SI)	-0,73	0,44	-0,11	1										
TOC%	-0,1	-0,1	-0,02	-0,15	1									
TIC%	0,85	-0,54	0,13	-0,83	-0,03	1								
PIJESAK (%)	0,65	-0,14	0,16	-0,67	-0,23	0,62	1							
GLINA (%)	-0,62	0,22	-0,1	0,8	0,08	-0,66	-0,86	1						
SILT (%)	-0,63	0,12	-0,17	0,61	0,25	-0,59	-0,99	0,8	1					
Mn	-0,71	0,42	-0,11	0,96	-0,17	-0,81	-0,64	0,76	0,59	1				
Fe	-0,83	0,47	-0,12	0,91	-0,04	-0,93	-0,73	0,78	0,69	0,89	1			
Ca	0,86	-0,59	0,07	-0,84	0,09	0,97	0,59	-0,66	-0,56	-0,82	-0,93	1		
P	-0,77	0,41	-0,11	0,92	0,02	-0,81	-0,76	0,85	0,71	0,87	0,88	-0,81	1	
Ti	-0,85	0,54	-0,11	0,85	-0,04	-0,97	-0,68	0,72	0,65	0,83	0,96	-0,97	0,85	1

Usporedbom svih analiziranih jezgri i koncentracija Ca (slika 128) vidljivo je da su razine jezera iznad 8 m nm (jezgre CS-52 i 53) uspostavljene prije 5 300 godina, a razine iznad 11 m nm (jezgra CS-9) prije 4 600 godina. U jezgri LK-3 iz potopljene močvare u ponikvi uz Cres kod Osora (Lošinjski kanal) vidljivo je da je morska sedimentacija nastupila prije 6 100 godina i da je razina mora bila -3 m u odnosu na današnju razinu mora, a istovremeno razina jezera nije prelazila 9 m nm. Zanimljivo da uspostavljena razlika od 12 m se u većoj ili manjoj mjeri zadržala tijekom posljednjih 6 000 godina. Svakako ova konstacija će biti predmet daljnjih istraživanja podizanja morske razine u kvarnerskom zaljevu.



Slika 128. Usporedba odabranih parametara analiziranih jezgara u vremenskoj skali.

U tablici 34 prikazni su glavni događaji vezanih za razine Vranskog jezera na temelju indikatora i mjerenih podataka te istraživanja koja su provedena. Na temelju izmjernih indikatora (fizičkih, kemijskih i paleotoloških) iz analiziranih i datiranih jezgri načinjena je rekonstrukcija fluktuacije razine jezera od prije 6 000 godina do danas u intervalima od 30 godina aproksimiranih pomoću L^* indikatora koji je mjeren svaki centimetar (slika 129). Visoke vrijednosti $L^* > 50$ ukazuju na razdoblje sa karbonatnom sedimentacijom za vrijeme viših razina jezera dok niže vrijednosti ukazuju na manje karbonatne sedimente taložene u manje oksičnim uvjetima uz prisustvo vegetacije (analize peludi i palinofacijesa) i akumulaciju organske tvari. Dobiveni rezultati su slični onima koje su dobili Rudzka et al. (2012) za spilju Modrič, gdje su utvrdili datiranjem SiO_2 i analizom izotopnog sastava SiO_2 da u vrijeme kasnog Rimskog razdoblja i srednjevjekovnog optimuma je prevladavala suha klima, a za vrijeme malog ledenog doba vlažnija klima. U razdoblju od prije 4 500 do 3 000 godine čini se da su razine Vranskog jezera duže vrijeme zadržavale oko visokih 15 m nm. Na temelju analize jezgre CS-9 i male brzine sedimentacije u posljednjih 900 godina (nataloženo je samo 40 cm sedimenta) može se zaključiti da su duža razdoblja sa razinama iznad 14 m nm kratko trajala.



Slika 129. Usporedba odabranih parametara analiziranih jezgara u vremenskoj skali.

Tablica 34. Prikaz glavni događaja vezanih za razine Vranskog jezera na temelju indikatora i mjerenih podataka

Glavne promjene u razini jezera na temelju indikatora i mjerenih podataka	Tip podataka	nadmorska visina (mnm) razine	Opis/fizvor
najniža izmjerena razina	mjereni podaci	8,5	Bonacci (2014)
niža razina prije 35 do danas	mjereni podaci	10,98	Bonacci (2014)
visoka razina prije 80-40 godina	mjereni podaci	14,4	Bonacci (2014)
niža razina 1869-1887	analiza karata	13	Treća vojna izmjera Austrougarska (1869-1887)
visoka razina 1806-1869	analiza karata	16	Druga vojna izmjera Austrougarska (1806-1869)
viša razina prije 200 godina	CS-53	13	karbonatna sedimentacija/L*
niska razina 750 do 550 godina	CS-53	10	pojava tla/organske tvari/erozija/L*
Snižavanje razine prije cca 1300	CS-51	9	promjena ostrakodne fauna/geokemijski indikatori/MSE
viša razina od cca od prije 1800 do 1300 godina	CS-52, CS-51	13	sedimentacija karbonata bez organske tvari/svijetli karbonatni pijesak/L*
niska razina prije cca 2020 godina	CS-52	9	organski sloj/desikacije/MSE
niska razina prije cca 2950 godina	CS-52	8,5	organski sloj/desikacije/MSE
niska razina prije cca 5000 godina	CS-52	8,5	organski sloj/desikacije/MSE
niske razine prije cca 5200 godina	CS-53	8,5	prvi puta pojava karbonatne sedimentacije
niske razine prije cca 5300 godina	CS-52	8,5	siliciklastični mat/pedogenza
niske razine prije cca 4600 godina	CS 9	10	Početak karbonatne sedimentacije
razina mora prije 6000 godina	LK-3	-3	Poplavlivanje ponikve/močvare
razina mora prije 900 godina	LK-2	-1	poplavlivanje/ponikve

5. Literatura

Alley, R.B. (2000): The Younger Dryas cold interval as viewed from central Greenland, *Quaternary Science Reviews* 19, 213-226.

Alley, R.B. & Agustsdottir, A.M., 2005. The 8k event: cause and consequences of a major Holocene abrupt change, *Quaternary Science Reviews* 24, 1123–1149.

ArcGIS (1999-2009): Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI), ver. 9.3.1, California, USA.

Ariztegui, D., Asioli, A., Lowe, J.J., Trincardi, F., Vigliotti, L., Tamburini, F., et al. (2000): Palaeoclimatic reconstructions and formation of sapropel S1: inferences from Late Quaternary lacustrine and marine sequences in the Central Mediterranean region. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 158, 215–240.

Arnaud, F. (2005): Discriminating bio-induced and detrital sedimentary processes from particle size distribution of carbonates and non-carbonates in hard water lake sediment, *Journal of Paleolimnology* 34, 519-526.

Arribas, M.E., Bustillo, A., Tsige, M., 2004. Lacustrine chalky carbonates: origin, physical properties and diagenesis (Palaeogene of the Madrid Basin, Spain), *Sedimentary Geology* 166, 335-351.

Asioli, A., Trincardi, F., Lowe, J.J., Ariztegui, D., Langone, L., Oldfield, F. (2001): Submillennial scale climatic oscillations in the central Adriatic during the Lateglacial: palaeoceanographic implications, *Quaternary Science Reviews* 20 (11), 1201–1221.

Balsam W.L., Deaton, B.C., Damuth, J.E. (1999): Evaluating optical lightness as a proxy for carbonate content in marine sediment cores, *Marine Geology* 161, 141-153.

Batten, D.J. (1996): Palynofacies And Palaeoenvironmental Interpretation. U: Jansonius, J., Mcgregor, D.C. (Ur.): *Palynology: Principles And Applications.*- Am. Assoc. Stratigr. Palynol. Found., 3: 1011–1064.

Bergmann, J., Friedel, P. & Kleeberg, R. (1998): BGMN — a new fundamental parameters based Rietveld program for laboratory X-ray sources, its use in quantitative

analysis and structure investigations, Commission of Powder Diffraction, International Union of Crystallography CPD Newsletter 20, 5-8.

Beug, H.-J., (1962): Über Die Ersten Anthropogenen Vegetationsveränderungen In Süddalmatien An Hand Eines Neuen Pollendiagrammes Vom »Malo Jezero« Auf Mljet. Veröff. Geobot. Inst. Stiftung Rübel, Zürich, 37, 9–15.

Beug, H.-J., (1967): On The Forest History Of The Dalmatian Coast. Rev. Palaeobotan. Palynol. 2, 271–279.

Biondić, B., Kapelj, S. & Kuhta, M. (1998): Hidrogeološka istraživanja Vranskog jezera na otoku Cresu s prijedlogom zona sanitarne zaštite, Fond stručne dokumentacije, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, br. 11/98., str. 68.

Björck, S., Rundgren, M., Ingolfsson, O., Funder, S. (1997): The Preboreal oscillation around the Nordic Seas: terrestrial and lacustrine responses, Journal of Quaternary Science 12, 455-465.

Blaauw, M. (2010): Methods and code for „classical“ age-modelling of radiocarbon sequences, Quaternary Geochronology 5, 512-518.

Blott, S. J. (2010): GRADISTAT Version 8.0 A Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments by Sieving or Laser Granulometer.

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.

Bogunović, M., Vidaček, Ž., Racz, Z., Husnjak, S., Sraka, M. (1996): Namjenska pedološka karta tala za obradu Republike Hrvatske M 1:300.000.

Bonacci, O. (1993): The Vrana Lake Hidrology (Island of Cres-Croatia), Journal of the American Water Resources Association, 29/3, 407-417.

Bonacci, O. (2014): Analiza varijacija razine vode jezera Vrana na otoku Cresu, Hrvatske vode 22, 90, 337-346.

Boomer, I. & Eisenhauer, G. (2002): Ostracod Faunas as Palaeoenvironmental Indicators in Margin Marine Environments. In *The Ostracoda: Applications in Quaternary Research* (Holmes, J. A. & Chivas, A. R., Eds), Pp.135-149, Geophysical Monograph, 131, American Geophysical Union, Washington, Dc.

Bordon, A., Peyron, O., Lezine, A.M., Brewer, S., Fouache, E. (2009): Pollen-inferred Late-Glacial and Holocene climate in southern Balkans (Lake Maliq), *Quaternary International* 200, 19-30.

Bradley, R.S. (1999): *Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary*, International geophysics series 68, Elsevier, USA, str. 614.

Brännvall, M.L., Bindler, R., Emteryd, O., & Renberg, I. (2001): Four thousand years of atmospheric lead pollution in northern Europe: a summary from Swedish lake sediments, *Journal of Paleolimnology* 25, 421-435.

Brindley, G.W. & Brown, G. (1980): *Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification*. Mineralogical Society, London, str. 495.

Bronk Ramsey, C., Dee, M., Lee, S., Nakagawa, T., Staff, R. (2010): Developments in the calibration and modelling of radiocarbon dates, *Radiocarbon*, 52, 3, 953-961.

Brooks, J. & Shaw, G. (1972): *Geochemistry of Sporopollenin*.- *Chem. Geol.* 10, 69–87.

Carbonel, P. & Tölderer-Farmer, M. (1987): The Ostracod Carapace as a Hydrochemical Source of Information at Water / Sediment Interface. *Proc. 9th Int. Symp. Ostracoda*, 17, Pp. 341-352.

Clark, P.U. & Mix, A.C. (2002): Ice sheets and sea level of the Last Glacial Maximum, *Quaternary Science Reviews* 21, 1-7.

Clark, P.U., Mitrovica, J.X., Milne, G.A., Turon, J.L., Siani, G. (2002): Sea level fingerprint as a direct test for the source of global Meltwater Pulse 1A, *Science* 295, 2438–2441.

Clark, P.U., Marshall, A., McCabe, A.M., Mix, A.C., Weaver, A.J. (2004): Rapid rise of sea level 19,000 years ago and its global implications, *Science* 304, 1141–1144.

Cleve-Euler, A. (1953a): Die Diatomeen Von Schweden Und Finnland. Teil li. Arraphideae, Brachyraphideae. Kungl. Svenska. Vetskapakademiens Handlingar, Fjärde Serien, Band 4, N:O 1, str. 158.

Cleve-Euler, A. (1953b): Die Diatomeen Von Schweden Und Finnland. Teil lii. Monoraphideae, Biraphideae 1. Kungl. Svenska. Vetskapakademiens Handlingar, Fjärde Serien, Band 4, N:O 5, str. 255.

Cohen, A.S. (2003): *Paleolimnology*, Oxford University Press, Oxford, str. 500.

Combaz, A. (1964): Les Palynofacies.- *Rev. Micropaleontologie*, 7/3, 205-218, Paris.

Combourieu-Nebout, N., Peyron, O., Dormoy, I., Desprat, S., Beaudouin, C., Kotthoff, U., And Marret, F. (2009): Rapid Climatic Variability In The West Mediterranean During The Last 25 000 Years From High Resolution Pollen Data, *Clim. Past*, 5, 503–521, Doi:10.5194/Cp-5-503-2009.

Combourieu Nebout, N., Peyron, O., Bout-Roumzeilles, V., Goring, S., Dormoy, I., Joannin, S., Sadori, L., Siani, G., Magny, M. (2013): Holocene vegetation and climate changes in central Mediterranean inferred from a high-resolution marine pollen record (Adriatic Sea). *Climate of the Past* 9, 2023-2042.

Correggiari, A., Roveri, M., Trincardi, F. (2006): Late Pleistocene and Holocene evolution of the North Adriatic Sea, *Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences* 9, 697-704.

Covelli, S. & Fontolan, G. (1997): Application of a normalization procedure in determining regional geochemical baselines, *Environmental Geology* 30, 34-45.

Cullity, B. D. & Stock S., R. (2001): *Elements of X-ray diffraction*, Prentice Hall, str. 678.

De Wolf, H. (1982): Method Of Coding Of Ecological Data From Diatoms For Computer Utilization. *Mededelingen Rijks Geologische Dienst*, 36, 95-98.

Dean, W. E. & Fouch, T.D. (1983): Chapter 2: Lacustrine. In Scholle, P.A., Bebout, D.G., Moore, C.H. (eds.) Carbonate Depositional Environments. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Memoir 33, 98-130.

Dearing, J.A. (1999): Holocene environmental change from magnetic proxies in lake sediments. In Maher, B.A. & Thompson, R. (eds.) Quaternary Climates, Environments and Magnetism. Cambridge University Press, 231-278.

Debret, M., Desmet, M., Balsam, W., Copard, Y., Francus, P., & Laj, C. (2006): Spectrophotometer analysis of Holocene sediments from an anoxic fjord: Saanich Inlet, British Columbia, Canada, Marine Geology 229, 15–28.

Doriedson, F. Gomes, Albuquerque, A.L.S., Torgan, L.C., Turcq, B., Sifeddine, A. (2014). Assessment Of A Diatom-Based Transfer Function For The Reconstruction Of Lake-Level Changes In Boqueirão Lake, Brazilian Nordeste. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 415, 105-116.

Dormoy, I., Peyron, O., Combourieu-Nebout, N., Goring, S., Kotthoff, U., Magny, M., Pross, J. (2009): Terrestrial climate variability and seasonality changes in the Mediterranean region between 15 000 and 4000 years BP deduced from marine pollen records, Climate of the Past 5, 615-632.

Eastwood, W.J., Leng, M.J., Roberts, N. and Davis, B. (2007): Holocene climate change in the eastern Mediterranean region: a comparison of stable isotope and pollen data from Lake Gölhisar, southwest Turkey, Journal of Quaternary Science 22, 327–341.

Edwards, M. E., N. H. Bigelow, B. P. Finney, And W. R. Eisner. 2000. Records Of Aquatic Pollen And Sediment Properties As Indicators Of Late-Quaternary Alaskan Lake Levels. Journal Of Paleolimnology 24:55-68.

Evans, M.E. & Heller, F. (2003): Environmental Magnetism: Principles and Applications of Enviromagnetics. Academic Press, San Diego, CA, SAD, str. 299.

Fairbanks, R. G. (1989): A 17,000-year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation, Nature 342, 637-642.

Faivre, S., Bakran-Petricioli, T., Horvatinčić, N. (2010): Relatice Sea_level Change during the Late Holocene on the Island of Vis (Croatia)-Issa Harbour Archaeological Site, *Geodinamica Acta* 23 (5-6), 209-223.

Faivre, S., Bakran-Petricioli, T., Horvatinčić, N., Sironić, A. (2013): Distinct phases of relative sea level changes in central Adriatic during the last 1500 years – influence of climatic variations?, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 369, 163-174.

Favaretto, S., Asioli, A., Miola, A., Piva, A. (2008): Preboreal climatic oscillations recorded by pollen and foraminifera in the southern Adriatic Sea, *Quaternary International* 190, 89-102.

Filipčić, A. (2001): Razgraničenje Köppenovih klimatskih tipova Cf i Cs u Hrvatskoj, *Acta Geographica Croatica*, Volumen 35, 7-18.

Finne, M., Holmgren, K., Sundquist, H.S., Weuberg, E., Lindblom, M. (2011): Climate in the eastern Mediterranean, and adjacent regions, during the past 6000 years – A review, *Journal of Archaeological Science* 38, 3153-3173.

Folk, R.L. (1954): The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature, *Journal of Geology*, 62, 344-359.

Folk, R.L. and Ward, W.C. (1957): Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters, *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3-26.

Förstner, U. & Wittmann, G. T. W. (1981): Heavy metal pollution in the aquatic environment, Springer verlag, Berlin, Heidelberg, New York, str. 486.

Fouache, E., Vella, C., Dimo, L., Gruda, G., Mugnier, J.L., Deneffe, M., Monnier, O., Hotyat, M., Huth, E. (2010): Shoreline reconstruction since the Middle Holocene in the vicinity of the ancient city of Apollonia (Albania, Seman and Vjosa delta), *Quaternary International* 216, 118-128.

Fuček, L., Matičec, D., Vlahović, I., Oštrić, N. (1997): Geološka karta istočne strane Vranskog jezera M 1:5000 s izdvojenim litostratigrafskim jedinicama, Fond stručne dokumentacije, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, br. 20/97, str. 15.

Galović, I. (2009): Middle Miocene (Sarmatian) Calcareous Nannoplankton, Silicoflagellates, And Diatoms Of The Southwestern Part Of The Paratethys, Phd, University Of Ljubljana, Slovenia, str. 199.

Gibbard, P.L. (2007): Climastratigraphy, In: Elias, S.A. (ed.) *Encyclopedia of Quaternary Science*. Elsevier, Amsterdam, 2819-2825.

Giraudi, C., Magny, M., Zanchetta, G., Drysdale, R.N. (2011): The Holocene climatic evolution of Mediterranean Italy: A review of the continental geological data, *The Holocene* 21, 105-115.

Glew, J.R., Smol, J.P., Last, W.M. (2001): Sediment core collection and extrusion. In: Last, W.M. & Smol, J.P. (Eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments: Basin Analysis, Coring and Chronological Techniques*, *Developments in Paleoenvironmental Research* Vol. 1, Springer, 73-105.

Håkanson, L. & Jansson, M. (2002): *Principles of lake sedimentology*, The Blackburn Press, USA, str. 316.

Hajós, M. (1968): Die Diatomeen Der Miozänen Ablagerungen Des Mátravolandes. Budapestini: *Geologica Hungarica, Series Paleontologica*, 37, str. 401.

Hajós, M. (1986): Stratigraphy Of Hungary's Miocene Diatomaceous Earth Deposits, *Geologica Hungarica, Series Paleontologica*, 49, str. 339.

Havinga, A.J. (1964): Investigation Into The Differential Corrosion Susceptibility Of Pollen And Spores.- *Pollen Et Spores* 6 (2), 621–635.

Havinga, A.J. (1984): A 20-Year Experimental Investigation Into The Differential Corrosion Susceptibility Of Pollen And Spores In Various Soil Types.- *Pollen Et Spores* 26, 3–4, 541–558.

Heaton, T.J., Blackwell P.G., Buck C.E. (2009): A Bayesian approach to the estimation of radiocarbon calibration curves: the IntCal09 methodology, *Radiocarbon* 51(4), 1151-1164.

Hindák, F., Marvan, P., Komárek, J., Rosa, K., Popovský, J., Lhotský, O. (1978): Sladkovodné Riasy. Bratislava, Slovenské Pedagogické Nakladateľstvo, str. 724.

Hinderer, M. & Einsele, G. (2001): The world's large lake basins as denudation-accumulation systems and implications for their lifetimes. *Journal of Paleolimnology* 26, 355-372.

Huntley, B., Watts, W.A., Allen, J.R.M., Zolitschka, B. (1999): Palaeoclimate, chronology and vegetation history of the Weichselian Lateglacial: comparative analysis of data from three cores at Lago Grande di Monticchio, southern Italy, *Quaternary Science Reviews* 18, 945-960.

Hustedt, F. (1985): The Pennate Diatoms (Translation. Originally Published As Vol. Vii Of Dr. Rabenhorst's Kryptogamen-Flora Von Deutschland, Osterreich Und Der Schweiz. Leipzig 1959) Koeltz Scientific Books, str. 918.

Jackson, M.L. (1956): Soil Chemical Analysis-Advanced course: Published by the author, Department of soil analysis, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin, str. 991.

Jahns, S. & van den Bogaard, C. (1998): New palynological and tephrostratigraphical investigations of two salt lagoons on the island of Mljet, south Dalmatia, Croatia, *Vegetation History and Archaeobotany* 7, 219-234.

Jones, B.F. & Bowser, C.J. (1978): The mineralogy and related chemistry of lake sediments. U: Lerman, A. (ed.) *Lakes: Chemistry, Geology, Physics*. Springer-Verlag, New York: 179-235.

Jurilj, A. (1957): Dijatomeje Sarmatskog Mora Okoline Zagreba, *Acta Biologica* I, Editor A. Ugrenović, *Jazu*, 28, 5-134.

Kapelj, S. (1997): Hidrogeokemijske značajke Vranskog jezera na otoku Cresu, *Disertacija*, Rudarsko geološko-naftni fakultet, Zagreb, str. 96.

Kapp, R.O., Davis, O.K. & King, J.E. (2000): *Guide To Pollen And Spores*. (2nd Edition), 279 str.

Klug, H.P. & Alexander, L.E. (1974): X-ray diffraction procedures for polycrystalline and amorphous materials, John Wiley & Sons, New York, str. 966.

Koeck, R. (ed.) (2012): CC-WaterS Monograph. Climate Change and Impact on Water Supply, Vienna, str. 215.

Koinig, K.A., Shotyk, W., Lotter, A.F., Ohlendorf, C., Sturm, M. (2003): 9000 years of geochemical evolution of lithogenic major and trace elements in the sediment of an alpine lake — the role of climate, vegetation, and land-use history, *Journal of Paleolimnology* 30, 307–320.

Köppen, W. (1900): Versuch einer klassifikation der klimare, vorzugsweise nach ihren beziehungen zur pflanzenwelt. *Geogr. Z.* 6, 593–611.

Krammer, K., Lange-Bertalot, H. (1986): Süßwasserflora Van Mitteleuropa. Bacillariophyceae 1, Teil: Naviculaceae, 2/1. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart, str. 876.

Kretz, R. (1983): Symbols for rock-forming minerals, *American Mineralogist* 68, 277-279.

Krumm, S. (1994): Centrifuge: Calculates settling times for grain-size separation by centrifuge methods.

Lambeck, K., Antonioli, F., Purcell, A., Silenzi, S. (2004): Sea-level change along the Italian coast for the past 10,000 yr, *Quaternary Science Reviews* 23, 1567-1598.

Last, W.M. (2001): Mineralogical analysis of lake sediments. In: Last, W.M. & Smol, J.P. (Eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments: Physical and Geochemical Methods, Developments in Paleoenvironmental Research Vol. 2*, Springer, 143–187.

Last, W.M. & Smol, J.P. (2001): *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments: Physical and Geochemical Methods, Developments in Paleoenvironmental Research Vol. 2*, Springer, str. 504.

Levkov Z., Krstic S., Metzeltin D., Nakov T. (2007): Diatoms Of Lakes Prespa And Ohrid (Macedonia), *Iconographia Diatomologica: Annotated Diatom Micrographs Volume 16*, Gantner, A R., str. 611.

Lionello, P. (2012): The climate of the Mediterranean region: From past to the future. Elsevier insights, 1st edition, str. 502.

Lorenz, J. (1859): Der Vrana See (Krahen-See) auf Cherso, Petermanns geogr. Mitt. 1, Gotha , str 530.

Lugović, B. & Majer, V. (1983): Eruptivi Senjske drage (Vratnika) kod Senja (Hrvatska, Jugoslavija), Geološki vjesnik 36, 157-181.

Lundqvist, G. (1938): Sjösediment från Bergslagen (Kolbäcksåns vattenområde). Sver Geol Unders Ser C 420, 1-186.

Macdonald, G.M., (1996): Non-Aquatic Quaternary. U: Jansonius, J. & McGregor, D.C. (Ur.): Palynology: Principles And Applications.- American Association Of Stratigraphic Palynologist, Houston, Texas, 879-910.

Magaš, N. (1965): O depresiji Vranskog jezera na otoku Cresu i geološkim odnosima njegovog užeg područja, Geološki vjesnik 18/2, 255-261.

Magaš, N. (1968): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, List Cres L33-113, Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1965); Savezni geološki zavod, Beograd.

Magaš, N. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Cres L33-113, Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1965); Savezni geološki zavod, Beograd, str. 42.

Magny, M. & Combourieu Nebout, N. (2013): Holocene changes in environment and climate in the central Mediterranean as reflected by lake and marine records, Climate of the Past 9, 1447-1454.

Magny, M., de Beaulieu, J.L., Drescher-Schneider, R., Vanniere, B., WalterSimonnet, A.-V., Miras, Y., Millet, L., Bossuet, G., Peyron, O., Brugiapaglia, E., Leroux, A. (2007a): Holocene climate changes in the central Mediterranean as recorded by lake-level fluctuations at Lake Accesa (Tuscany, Italy), Quaternary Science Reviews 26, 1736-1758.

Magny, M., Vanniere, B., de Beaulieu, J.L., Begeot C., Heiri, O., Millet, L., Peyron, O., Walter-Simonnet, A.V. (2007b): Early-Holocene climatic oscillations recorded by lake-level fluctuations in west-central Europe and in central Italy, *Quaternary Science Reviews* 26, 1951-1964.

Magny, M., Galop, D., Bellintani, P., Desmet, M., Didier, J., Haas, J.N., Martinelli, N., Pedrotti, A., Scandolari, R., Stock, A., Vanniere, B. (2009a): Late-Holocene climatic variability south of the Alps as recorded by lake-level fluctuations at Lake Ledro, Trenrino, Italy, *The Holocene* 19, 4, 575-589.

Magny, M., Vanniere, B., Zanchetta, G., Fouache, E., Touchais, G., Petrika, L., Coussot, C., Walter-Simonnet, A. V., and Arnaud, F. (2009b): Possible complexity of the climatic event around 4300- 3800 cal BP in the central and western Mediterranean, *Holocene* 19, 823-833.

Magny, M., Vanniere, B., Calo, C., Millet, L., Leroux, A., Peyron, O., Zanchetta, G., La Mantia, T., Tinner, W. (2011): Holocene hydrological changes in south-western Mediterranean as recorded by lake-level fluctuations at Lago Preola, a coastal lake in southern Sicily, Italy, *Quaternary Science Reviews* 30, 2459-2475.

Magny, M., Combourieu Nebout, N., De Beaulieu, J. L., Bout-Roumazeilles, V., Colombaroli, D., Desprat, S., Francke, A., Joannin, S., Peyron, O., Revel, M., Sadori, L., Siani, G., Sicre, M.A., Samartin, S., Simonneau, A., Tinner, W., Vanni`Ere, B., Wagner, B., Zanchetta, G., Anselmetti, F., Brugiapaglia, E., Chapron, E., Debret, M., Desmet, M., Didier, J., Essallami, L., Galop, D., Gilli, A., Haas, J. N., Kallel, N., Millet, L., Stock, A., Turon, J. L., Wirth, S. (2013): North-South Palaeohydrological Contrasts In The Central Mediterranean During The Holocene: Tentative Synthesis And Working Hypotheses, *Clim. Past Discuss.*, 9, 1901–1967, Doi:10.5194/Cpd-9-1901-2013.

Maher, B.A. (2011): The magnetic properties of Quaternary Aeolian dusts and sediments, and their palaeoclimatic significance, *Aeolian Research* 3 (2), 87-144.

Martinson, D.G., Pisias, N.G, Hays, J.D., Imbrie, J.D., Moore, T.C., Shackleton, N.J. (1987): Age Dating and the orbital theory of the ice ages: development of a high-resolution 0 to 300,000-year chronostratigraphy, *Quaternary Research* 27, 1-29.

Mayer, E. (1873): Der Vrana See auf der Insel Cherso im Adriatischen Meere, Mitt. Geogr. Gesell., 16, Wien, 241-248.

Mayewski, P.A., Rohling, E.E., Stager, J.C., Karlen, W., Maasch, K.A., 2004. Holocene climate variability. Quaternary Research 62 (3), 243–255.

Meisch, C. (2000): Freshwater Ostracoda Of Western And Central Europe. Spektrum Akademischer Verlag. 1-515.

Mesić, S. (1999): Raspodjela odabranih elemenata u tragovima u recentnom sedimentu Vranskog jezera na Cresu, Magistarski rad, PMF, Sveučilište u Zagrebu, str. 84.

Mesić, S. (2004): Antropogeni utjecaj na geokemijski sastav holocenskih sedimenata Vranskog jezera na Cresu, Doktorska disertacija, PMF, Sveučilište u Zagrebu, str. 186.

Mesić, S., Miko, S., Prohić, E., Singer, D. (2005): Nastanak i budućnost Vranskog jezera na Cresu – morfogeneza, geokemija sedimenata, funkcioniranje, opterećenje i zaštita sustava, PMF Geološki odsjek, Znanstvena studija, Zagreb, str. 264.

Mesić, S., Miko, S., Hasan, O., Bakrač, K., Koch, G., Šparica Miko, M. (2007): Nastanak i budućnost Vranskog jezera na otoku Cresu – Utjecaj promjene klime i upotrebe zemljišta tijekom holocena na razine Vranskog jezera, Hrvatski geološki institut, Znanstvena studija br. 29/1, Zagreb, str. 135.

Meyers, P.A. & Teranes, J.L. (2001): Sediment organic matter. In: Last, W.M., Smol, J.P. (Eds.), Tracking Environmental Change Using Lake Sediments: Physical and Geochemical Methods, Developments in Paleoenvironmental Research Vol. 2, Springer, 239-269.

Miko, S., Mesić, S., Prohić, E. i Peh, Z. (2003): Trace element distribution in surface sediments of Lake Vrana and topsoil of Cres island, Croatia, Natura Croatica 12/2, 93-111.

Miko, S., Mesić, S., Šparica Miko, M., Hasan, O. (2008): A record of anthropogenic Pb deposition in a Mediterranean karst catchment (Lake Vrana, Cres Island, Croatia), *Mineralogical Magazine*, 72/1, 455-460.

Milanković, M. (1920): *Theorie Mathematique des Phenomenes Thermiques produits par la radiation Solaire*, Gauthier-Villars, Paris, str. 338.

Moore, D.M. & Reynolds, R.C. (1997): *X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals*, Second edition, Oxford Univ. Press, Oxford, str. 378.

Moore, P.D., Webb, J.A., Collinson, M. (1991): *Pollen Analysis* (2 edition), Blackwell Science Publication, London, str 216.

Morkhoven, F.P.C.Van & Wagner, C.W. (1958): Quelques Considerations Sur L'Etude Des Ostracodes Cenozoiques D'Europe Occidentale. *Rev. Micropaleontologie*, 1 (2): 64-66.

Munsell Color (1994), *Munsell Soil Color Charts Revised Edition*, Munsell Color, GretagMacbeth, New Windsor, NY.

Naeher, S., Gilli, A., North, R.P., Hamann, Y., Schubert, C.J. (2013): Tracing bottom waters oxygenation with sedimentary Mn/Fe ratios in Lake Zurich, Switzerland, *Chemical Geology* 352, 125-133.

Och, L.M., Müller, B., Voegelin, A., Ulrich, A., Göttlicher, J., Steiniger, R., Mangold, S., Vologina, E.G., Sturm, M. (2012): New insights into the formation and burial of Fe/Mn accumulations in Lake Baikal sediments, *Chemical Geology* 330-331, 244-259.

Ožanić, N. (1996): Hidrogeološki model funkcioniranja Vranskog jezera na otoku Cresu. *Disertacija*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, str. 139.

Petrik, M. (1957): Hidrološki režim jezera Vrana, *Krš Jugoslavije* 1, JAZU, Zagreb, 109-192.

Poljak, J. (1947): Izveštaj o geološkim istraživanjima jezera Vrana na otoku Cresu, *Fond stručne dokumentacije*, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, br. 701, str. 4.

Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Burr, G.S., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., McCormac, F.G., Manning, S.W., Reimer, R.W., Richards, D.A., Southon, J.R., Talamo, S., Turney, C.S.M., van der Plicht, J., Weyhenmeyer, C.E. (2009): IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0-500,000 years Cal BP, Radiocarbon 51 (4), 1111-1150.

Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hafflidason, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T.J., Hoffmann, D.L., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., Manning, S.W., Niu, M., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Turney, C.S.M., van der Plicht, J. (2013): IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP. Radiocarbon 55: 1869-1887.

Renssen, H., Isarin, R.F.B., Jacob, D., Podzun, R., Vandenberghe, J. (2001): Simulation of the Younger Dryas climate in Europe using a regional climate model nested in an AGCM: preliminary results, Global and Planetary Change 30, 41-57.

Robert, P. (1988): Organic Metamorphism And Geothermal History.- Elf-Aquitain And D. Reidl Publ. Company, Dordrecht, str. 311.

Roberts, N., Jones, M.D., Benkaddour, A., Eastwood, W.J., Filippi, M.L., Frogley, M.R., Lamb, H.F., Leng, M.J., Reed, J.M., Stein, M., Stevens, L., Valero-Garces, B., Zanchetta, G. (2008): Stable isotope records of Late Quaternary climate and hydrology from Mediterranean lakes: the ISOMED synthesis. Quaternary Science Reviews 27, 2426-2441.

Rohling, E.J., Jorissen, F.J., De Stigter, H.C. (1997): 200 year interruption of Holocene sapropel formation in the Adriatic Sea, Journal of Micropalaeontology 16, 97-108.

Round, F. E., Crawford, R. M., Mann, D. G. (1990): The Diatoms - Biology & Morphology Of The Genera. Cambridge University Press, Reprinted 1996.

Rubinić, J. (1990): Analiza hidroloških karakteristika Vranskog jezera na otoku Cresu. Fond stručne dokumentacije Vodoprivreda Rijeka.

Rubinić, J. & Ožanić, N. (1992): Hidrološke karakteristike Vranskog jezera na otoku Cresu. *Građevinar*, 44/92, 521-530.

Rudzka D., Mcdermott F., Surić M., (2012): A late Holocene climate record in stalagmites from Modrič Cave (Croatia). *Journal of Quaternary Science*, Volume 27, Issue 6, pages 585–596.

Schmidt, R., Müller, J., Drscher-Schneider, R., Krisal, R., Szeroczynska, K., Barić A. (2000): Changes in lake level and trophy at Lake Vrana, a large karstic lake on the Island of Cres (Croatia), *Journal of Limnology*, 59(2), 113-130.

Schmidt, R., Pugliese, N., Müller, J., Szeroczynska, K., Bogner, D., Melis, R., Kamenik, C., Barić, A., Danielopol, D.L. (2001): Paleoclimate, vegetation and coastal lake development, from Upper Pleniglacial until Early Holocene, in the northern Adriatic Valun Bay (Isle of Cres, Croatia), *Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences*, 14(1), 61-78.

Schrader, H. J., Gersonde, R. (1978): *Diatoms And Silicoflagellates*. Editors W.J. Zachariasse, W.R. Riedel, A. Sanfilippo, R.R. Schmidt, M.J. Brolsma, H.J. Schrader, R. Gersonde, M.M. Drooger, J.A. Broekman, *Micropaleontological Counting Methods And Tehniques-An Exercise On An Eight Metres Section Of The Lower Pliocene Of Capo Rossello, Sicily*. Utrecht Micropaleontological Bulletins, Utrecht: Schotanus & Jens, No. 17, P. 129-176.

Shotyk, W., Weiss, D., Appleby, P.G., Cheburkin, A.K., Frei, R., Gloor, M., Kramers, J.D., Reese, S., & Van der Knaap, W.O. (1998): History of atmospheric lead deposition since 12,370 ¹⁴C yr BP recorded in a peat bog profile, Jura Mountains, Switzerland, *Science* 281, 1635-1640.

Stach, E., Mackowsky, M-Th., Teichmüller, M. Taylor, G.H., Chandra, D. & Teichmüller, R. (1982): *Coal Petrology*.- Gebr. Bornträger, Berlin-Stuttgart, str. 535.

Stajić (1991): *Rezultati geodetsko-hidrografskih istraživačkih radova na Vranskom jezeru (otok Cres)*, Hidrografski institut, Split.

Stevenson, R. J., Stoermer, E. F. (1981): Quantitative Differences Between Benthic Algal Communities Along A Depth Gradient In Lake Michigan. *Journal Of Phycology*, 17/1, 29-36.

St-Onge, G., Mulder, T., Francus, P., Long, B. (2007): Chapter two: continuous properties of cored marine sediments. In: Hillaire, C., Anthony, E.J. (Eds.), *Proxies in Late Cenozoic. Paleoceanography*. University of Quebec, Montreal, 63–98.

Stražičić, N. (1981): Otok Cres. *Otočki ljetopis Cres-Lošinj* 4, str. 344.

Stuiver, M. & Braziunas, T.F. (1993): Modeling atmospheric ^{14}C influences and ^{14}C ages of marine samples to 10,000 BC, *Radiocarbon* 35(1), 137-189.

Surić, M. & Juračić, M. (2010): Late Pleistocene-Holocene environmental changes – records from submerged speleothems along the Eastern Adriatic coast (Croatia), *Geologia Croatica* 63/2, 155-169.

Surić, M., Juračić, M., Horvatinčić, N., Krajcar Bronić, I. (2005): Late Pleistocene – Holocene sea level rise and the pattern of coastal karst inundation – records from submerged speleothems along the Eastern Adriatic Coast (Croatia), *Marine Geology* 214 (1-3), 163-175.

Szeroczynska, K. (2002.): Human impact on lakes recorded in the remains of Cladocera (Crustacea). *Quaternary International*, 95(6), 165-174.

Šegota, T., (1975): *Klima. Sjeverno Hrvatsko primorje*. Geografija SR Hrvatske, 5, Zagreb.

Šegota, T., Filipčić, A. (2001): Hipotetska starost Vranskog Jezera na Cresu. *Acta Geographica Croatica*, 35, 45-56.

Šoštarić, R. (2005): The development of postglacial vegetation in coastal Croatia, *Acta Botanica Croatica*, 64 (2), 383-390.

Talma, A.S. & Vogel, J.C. (1993): A simplified approach to calibrating ^{14}C dates, *Radiocarbon*, 35, 2, 317-322.

Tanner, P.A. & Wai Ting Tung, J. (2003): Instrumental determination of organic carbon in marine sediments, *Marine Chemistry* 80, 161-170.

Tomec, M, Teskeredžić, E., Teskeredžić, Z. (2009): Dinamika fitoplanktona u jezeru Vrana, (otok Cres), *Ribarstvo*, 67, 101-112.

Tsimplis, M.N., Raicich, F., Fenoglio-Marc, L., Shaw, A.G.P, Marcos, M., Somot, S., Bergamasco, A. (2012): Recent developments in understanding sea level rise at the Adriatic coasts, *Physics and Chemistry of the Earth* 40-41, 59-71.

Tucker, M.E. & Wright, V.P. (1990): *Carbonate Sedimentology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 482 pp.

Tyson, R.V. (1995): *Sedimentary Organic Matter. Organic Facies And Palynofacies.*- Chapman And Hall, London, 615 Str.

Viehberg, F. A. (2006): Freshwater Ostracod Assemblages And Their Relationship To Environmental Variables In Waters From Northeast Germany. *Hydrobiologia*, 571, 213-234.

Walker, M. (2005): *Quaternary Dating Methods*, John Wiley & Sons, str. 286.

Walker, M., Johnsen, S., Olander Rasmussen, S., Popp, T., Steffense, J.P., Gibbard, P., Hoek, W., Lowe, J., Andrews, J., Björck, S., Cwynar, L.C., Hughen, K., Kershaw, P., Kromer, B., Litt, T., Lowe, D.J., Nakagawa, T., Newnham, R., Schwander, J. (2009): Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records, *Journal of Quaternary Science* 24 (1), 3-17.

Walker, M.J.C., Berkelhammer, M., Björck, S., Cwynar, L.C., Fisher, D.A., Long, A.J., Lowe, J.J., Newnham, R.M., Rasmussen, S.O., Weiss, H. (2012): Formal subdivision of the Holocene Series/Epoch: a Discussion Paper by a Working Group of INTIMATE (Integration of ice-core, marine and terrestrial record) and the Subcommittee on Quaternary Stratigraphy (International Commission on Stratigraphy), *Journal of Quaternary Science* 27/7, 649-659.

Wunsam, S., Schmidt, R., Muller, J. (1999): Holocene lake development of two Dalmatian lagoons (Malo and Veliko jezero, Isle of Mljet) in respect to changes in Adriatic sea level and climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 146, 251-281.

X-Rite Incorporated (2009): ColorChecker Passport, RAW Color Power, SAD.

Zabelina, M. M., Kiselev, I. A., Proškina–Lavrenko, A. I., Šešukova, V. S. (1951): *Predelitelj Presnovodnih Vodorosli Ssr, Diatomovie Vodorosli*. Sovetskaja Nauka, Moskva, 615.

Zanchetta G., Drysdale R.N., Hellstrom J.C., Fallick A.E., Isola I., Gagan M.K., Pareschi, M.T (2007): Enhanced rainfall in the Western Mediterranean during deposition of sapropel S1: Stalagmite evidence from Corchia cave (Central Italy), *Quaternary Science Reviews* 26, 279-286.

Zanchetta, G., Giraudi, C., Sulpizio, R., Magny, M., Drysdale, R.N., Sadori, L. (2012a): Constraining the onset of the Holocene “Neoglacial” over the central Italy using tephra layers, *Quaternary Research* 78, 230-247.

Zanchetta, G., van Welden, A., Baneschi, I., Drysdale, R., Sadori, L., Roberts, N., Giardini, M., Beck, C., Pascucci, V., Sulpizio, R. (2012b): Multiproxy record for the last 4500 years from Lake Shkodra (Albania/Montenegro), *Journal of Quaternary Science* 27/8, 780-789.