

Geokemična sestava lamin v mlajšekvartarnem jezerskem sedimentu pri Srpenici v dolini Soče

Geochemical feature of laminae in Late Quaternary lacustrine sequence in Srpenica, Soča valley

Mateja GOSAR¹, Katarina KOVAČIČ² & Miloš BAVEC¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ul. 14, SI-1000 Ljubljana;
e-mail: mateja.gosar@geo-zs.si; milos.bavec@geo-zs.si

²Zagrebska 13, SI-1000 Ljubljana; e-mail: katarina.kovacic@gmail.com

Ključne besede: jezerski sediment, lamine, geokemija, kvartar, Srpenica, dolina Soče

Key words: lacustrine sediments, laminae, geochemistry, Quaternary, Srpenica, Soča valley, Slovenia

Izvleček

V drobnozrnatih kvartarnih jezerskih sedimentih iz profila v opuščnem kopu v Srpenici močno prevladujejo delci karbonatnih kamnin, prisotni so tudi silikatni minerali. Na podlagi vzorcev, ki so bili odvzeti ločeno iz temnih in svetlih lamin jezerskega sedimenta, je bilo z obdelavo geokemičnih podatkov s statističnimi metodami ugotovljeno, da se temne in svetle lamine med seboj razlikujejo po geokemični in mineralni sestavi. Temnejše lamine vsebujejo značilno več silikatne komponente in nekaterih težkih kovin (Ni, Cu, Co, Zr) ter so tudi bolj debelozrnate kot svetle lamine. Laminacija torej ni posledica sezonskih sedimentacijskih ciklov pač pa spremenljivega dotoka drobirja iz različnih erozijskih območij v zaledju.

Abstract

Carbonate component prevails substantially over the silicate within the Quaternary detritial lacustrine sedimentary sequence sampled in the abandoned clay-pit in Srpenica, NW Slovenia. Sampling was done discriminately among dark and light laminae. Cluster analysis and other statistical methods of geochemical data interpretation from these samples show that dark gray laminae contain significantly more of the silicate component and some heavy metals (Ni, Cu, Co, Zr) compared to light gray laminae. The differences in geochemical and mineral composition are the cause of lamination of this lacustrine sediment sequence. Moreover, the dark gray laminae are coarser - grained. Lamination is thus conditioned by changes in the inflow pattern of the detritial material from different source areas and not by seasonal sedimentary cycles.

Uvod

Srpenica leži v dolini reke Soče, natančneje v Zgornjem Posočju, na skrajnem jugozahodnem delu Julijskih Alp. V pleistocenu in ob prehodu pleistocena v holocen je na tem območju obstajalo jezero, v katerem je bilo odloženih skoraj 200 m jezerskih sedimentov (KUŠČER et al., 1974). Zgornjih 35 metrov sedimentnega zaporedja je danes dostopnih na območju nekdanjega kopa v Brezovem pri Srpenici. Laminirani jezerski sedimenti so zanimivi za študijo okoljskih razmer, v katerih so nastajali.

Prikazana raziskava sodi v okvir projekta »Mlajšekvartarni jezerski sedimenti v Srpenici ter njihova uporaba za paleoklimatske in paleoekološke rekonstrukcije ter ocena geohazarda«. V pričujočem članku podajamo le rezultate raziskave, ki so vezani na geokemične značilnosti temnih in svetlih lamin v srpeniškem jezerskem sedimentu.

Dosedanje raziskave jezerskih sedimentov pri Srpenici

Jezerske sedimente v Srpenici so opazovali in jih opisali že KUŠČER IN SODELAVCI (1974). Določili so vsebnost karbonatov (71,2 % CaCO_3 ; 14,3 % MgCO_3) in nekaj glavnih oksidov (8,5 % SiO_2 ; 2,6 % Al_2O_3 ; 1,2% Fe_2O_3). Ugotovili so, da je netopni ostanek sestavljen iz kremenca, sljude-muskovita in limonita ter ocenili debelino sedimentnega zaporedja. Na podlagi podatkov iz vrtnin so povzeli, da najdebelejši del v sredini Soške doline v profilu Suhi potok doseže skoraj 200 m, proti robom pa se tanjša.

Kasneje sta ISKRA IN GRIMŠIČAR (1977) opisala nahajališča glacialnih jezerskih kred v Sloveniji, med drugim tudi jezerskega sedimenta v Srpenici. Leta 1981 je ŠERCELJ objavil članek z naslovom »Pelod v kvartarnih sedimentih Soške doline«, v katerem je povzel rezultate svojih palinoloških



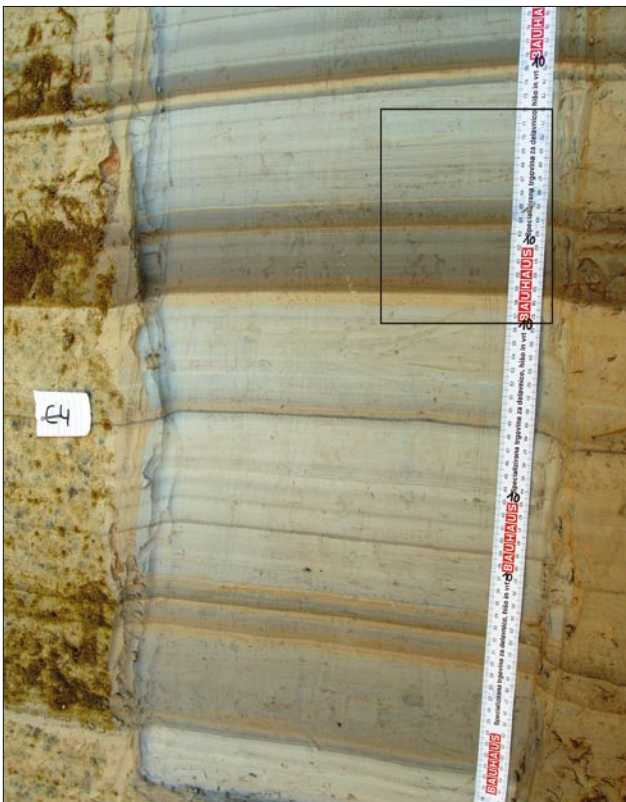
Slika 1. Odstranjevanje mahu in priprava profila za vzorčenje (foto: M. Gosar)

Figure 1. Moss removal and preparation of the profile for sampling (photo: M. Gosar)

raziskovanj na območju odkopa jezerske krede pri Brezovem blizu Srpenice. Raziskave so pokazale, da so vsi vzorci iz profila vsebovali pelod hladnodobne vegetacije in ga je zato označil kot pozno glacialnega. Kasnejša datacija kosa borovega lesa je pokazala starost 12.490 ± 70 ^{14}C let pred sedanostjo. Pri vrhu so opazili mlajše plasti, ki naj bi pridrsele po pobočju navzdol. V njih so našli kose bukovega lesa. Šercelj je nada-

lje ugotovil, da bi v primeru primarne lege lesa lahko sklepali na holocensko starost omenjenih plasti in s tem tudi na obstoj jezera v holocenu (ŠERCELJ, 1981).

Izotopsko sestavo kisika in ogljika pleistocenske jezerske krede so proučili DOLENEC s sodelavci (1984) ter pri tem ugotovili, da gre v primeru srpeniškega sedimenta za detritični karbonatni sediment glacialnega izvora. Izotopska sestava



Slika 2. Profil pripravljen za vzorčenje (foto: M. Gosar)
Figure 2. Profile prepared for sampling (photo: M. Gosar)



Slika 3. Prikaz vzorčenja po posameznih laminah (foto: M. Gosar)
Figure 3. Presentation of sampling per single laminae (photo: M. Gosar)

obeh prvin v sedimentu je podobna kot v apnenicah in dolomitih, ki so njegove matične kamnine.

S sedimenti iz srpeniškega izkopa se je ukvarjal tudi Bavec in sodelavci (BAVEC, 2001, 2002; BAVEC et al., 2004). Starost sedimenta so določili z radiokarbonsko datacijo dveh kosov lesa. Starost prvega vzorca, odvzetega 60 cm pod najvišjo točko profila, ki hkrati označuje tudi konec sedimentacije Srpeniškega jezera, je 5885 ± 60 ^{14}C let pred sedanjostjo (6590 – 6910 koledarskih let pred sedanjostjo), drugi vzorec lesa, odvzetega na globini 34 m pa je pokazal starost 12790 ± 85 ^{14}C let pred sedanjostjo (14.400 – 15.900 koledarskih let pred sedanjostjo). Iz teh podatkov so ocenili hitrost sedimentacije za zgornjih 34 m kompaktiranega sedimenta med 3,7 in 4,5 mm/leto. Jezerski sediment v Srpenici je drobnozrnate sestave in laminiran, kjer se izmenjujejo temno sive in svetlo sive lamine. Ker se le-te izmenjujejo v pravilnem zaporedju je BAVEC (2001) sediment poimenoval tudi ritmit. Laminacija je dobro razvita v osrednjem delu sedimentnega telesa, proti robnemu delu pa prehaja v nelaminirane peske in prode. Debelina lamin znaša od manj kot 1 mm do več kot 10 cm, kar je po sedimentološki definiciji že plastnatost. Opazovanja na terenu kažejo na drobnejšo zrnatost temnejših lamin glede na svetlejše. V sedimentu ni opaznih tokovnih tekstur, kar pomeni, da se je sedimentacija odvijala v sorazmerno mirnem jezerskem okolju pod bazo valovanja. Nadalje ni opaziti nikakršnih obremenitvenih tekstur, kar posredno spet kaže na razmeroma počasno sedimentacijo. Večinoma horizontalne in nedeformirane plasti nakazujejo na to, da je bilo sedimentacijsko okolje območja profila v Srpenici ravno dno jezera, ki je bilo oddaljeno od obale. Debelozrnati sedimenti, najdeni na obrobni delih sedimentacijskega telesa, so bili odloženi v višje-energijskem obalnem okolju. V vodoravno laminiranih jezerskih sedimentih so MARJANAC IN SODELAVCI (2001) opisali dve plasti z deformacijami v nekonsolidiranem sedimentu in ju inter-pretirali kot seizmite.

Vzorčenje in metode analiziranja

V okviru zgoraj omenjenega projekta smo vzorčili sedimente v opisanem izdanku v opuščnem glinokopu pri Srpenici. Očistili smo 11,3 metre profila (slika 1) in s pomočjo brazd pravokotno na potek lamin v sedimentu vzeli vzorce 48-ih lamin v 11-ih odsekih. Vzorčili smo odseke, v katerih so bile makroskopsko zanimive lamine; tako kar se tiče barvnih razlik, kot tudi zrnivosti. Primer vzorčenih lamin je prikazan na slikah 2 in 3.

Vzorci so bili sušeni na zraku pri sobni temperaturi in nato zmleti v ahatnem krogličnem mlinu na zrnatost pod 0,063 mm. Tako pripravljene so bili analizirani skupaj z naključno izbranimi dvojniki in geološkimi standardnimi materiali (SJS 1 in GXR 5). Dvojniki in geološki standardni materiali omogočajo kasnejše preverjanje točnosti in natančnosti uporabljenih analiznih metod.

Tabela 1. Osnovna statistika opazovanih parametrov v vzorcih (oksidi označeni z * v %, ostalo v mg/kg, n = 48)

Table 1. Basic statistics of elements content in samples (oxides marked with * in %, others in mg/kg, n = 48)

	Aritmetična sredina	Mediana	Min	Max
*Al ₂ O ₃	3,2	3,1	1,5	5,2
*CaO	37,5	38,2	31,3	43,1
*Cr ₂ O ₃	0	0	0	0
*Fe ₂ O ₃	1,3	1,2	0,7	2,1
*K ₂ O	0,6	0,7	0,3	1,1
*LOI	38,5	38,5	33,6	42,3
*MgO	7,4	7,4	5,6	9,7
*MnO	0	0	0	0
*Na ₂ O	0,2	0,2	0,1	0,3
*P ₂ O ₅	0,1	0,1	0,1	0,2
*SiO ₂	11,1	11,2	4,7	19,4
*TiO ₂	0,2	0,2	0,1	0,3
*TOT/C	10,2	10,2	8,3	11,5
Cd	0,5	0,5	0,3	0,6
Ce	16,8	17,6	8,3	26,3
Co	5,3	5,2	2,3	8,9
Cs	2	2	1	3,1
Cu	12,8	12,7	5,6	22,3
Dy	1,2	1,2	0,5	1,9
Er	0,8	0,8	0,4	1,2
Eu	0,3	0,3	0,1	0,6
Gd	1,3	1,4	0,7	2,3
Ho	0,3	0,2	0,1	0,4
La	8,9	9,2	4,2	14,1
Lu	0,1	0,1	0,1	0,2
Nd	7,4	7,7	3,2	12,1
Ni	25,2	24	5	50
Pr	2	2	1	3
Rb	28,4	27,8	13,1	46,8
Sc	3,6	3	2	6
Sm	1,4	1,4	0,7	2,3
Sr	140	140,8	120,7	155,4
Ta	0,2	0,3	0,1	0,4
Tb	0,2	0,2	0	0,4
Th	2,5	2,4	1,3	4,1
Tm	0,1	0,1	0	0,2
U	1,1	1	0,7	1,6
V	30,3	28	14	51
Y	8,5	8,5	4,3	12,9
Yb	0,7	0,6	0,4	1,2
Zn	23,2	23	12	37
Zr	35,5	37,4	14,6	59,9

Vzorci so bili pripravljene z izluževanjem v zlatotopki. Pri tem se 0,5 g vzorca eno uro izlužuje z 2-2-2 HCl-HNO₃-H₂O pri temperaturi 95°C, nato pa se vzorec razredči z vodo na 10 ml. V tako pripravljene raztopine je bila določena elementarna sestava z induktivno vezano plazmo - masno spektrometrijo (ICP-MS) za 14 slednih prvin: Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, As, Cd, Sb, Bi, Ag, Au, Hg Tl in Se.

Glavni oksidi in nekatere druge prvine so bile nadalje določene z analizo, kjer se v postopku 0,2 g vzorca tali z LiBO₂ in raztopi v HNO₃. Z ICP-ES (induktivno vezana plazma - emisijska spektrometrija) so bile nato v raztopini določene

vsebnosti oksidov (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 , MnO , Cr_2O_3) ter dodatno še Ni in Sc, medtem ko so bile z ICP-MS določene naslednje sledne prvine: Ba, Be, Co, Cs, Ga, Hf, Nb, Rb, Sn, Sr, Ta, Th, U, V, W, Zr, Y in redke zemlje: La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu. Žarizguba (LOI) je bila določena glede na spremembo mase vzorca po 1 uri žganja na 1000°C , celoten ogljik (TOT/C) in žveplo (TOT/S) pa po postopku Leco (ACME LAB, 2007).

Na podlagi ugotovitve, da so bile vsebnosti Be, Sn, Mo, Sb, Bi, Ag, Tl in Se večinoma pod mejo detekcije, jih v nadaljevanju ne obravnavamo.

Ob primerjavi analiziranih vrednosti s priporočenimi vrednostmi za standard SJS-1 (ABBEY, 1983) smo ugotovili, da se razmerje večinoma giblje v okviru odstopanja do 10 % kar pomeni, da je zanje pravilnost analitike zelo dobra. Pri standardu GXR-5 (ABBEY, 1983) so odstopanja od priporočenih vrednosti nekoliko večja, in sicer se večinoma gibljejo med 10 in 20 %. Odstopanja so bila večja od 30 % pri Nb, Ba, Ga, Hf, Pb, As in TOT/S, zato smo le-te izključili iz nadaljnjih obravnav. Za Ni, ki je bil določen po obeh metodah, smo uporabili vrednosti, ki so bile določene pri oksidni analizi, ki nam poda celotno vrednost niklja in je tako primernejša in tudi pravilnejša.

Ponovljivost analitike je bila zelo dobra pri večini analiziranih parametrov, preslaba pa pri Au, Hg in W, zato smo tudi te elemente izključili iz nadaljnje obravnave.

Rezultati

Osnovni statistični parametri obravnavanih prvin so prikazani v tabeli 1. V vzorcih močno prevladuje CaO, njegova povprečna vrednost znaša 37,48 %, kar pomeni, da v sedimentu prevladujejo karbonati. Glede na to, da vsebnost MgO znaša le 7,4 %, gre očitno večinoma za kalcit in manj za dolomit. Drugi najpogostejši oksid je SiO_2 , katerega vsebnost znaša dobrih 11 % in predstavlja pomembno komponento detritičnih sediment-

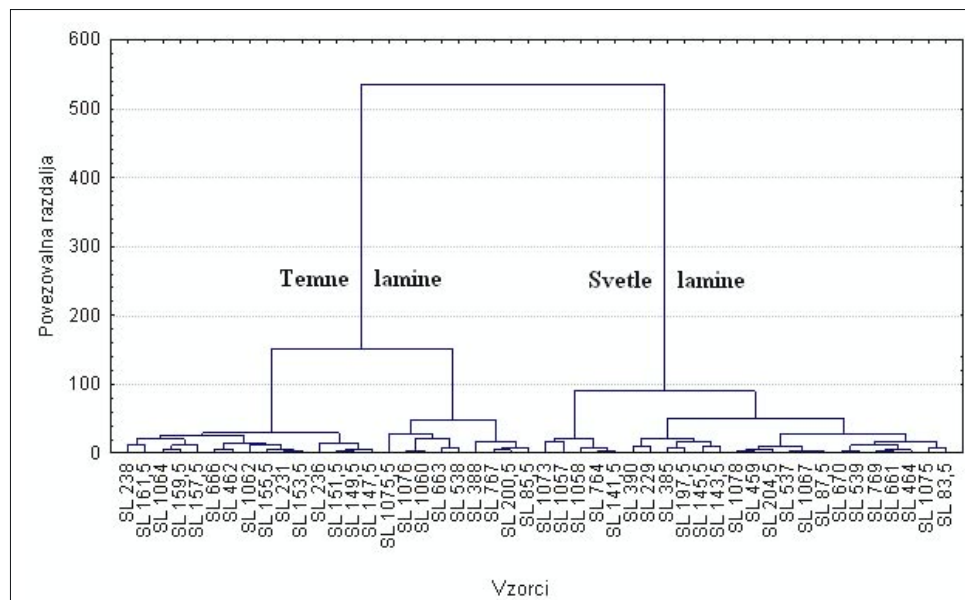
nih kamnin, ki nastajajo pri preperevanju (De Vos et al., 2006). Glede na povprečno vsebnost Al_2O_3 (okoli 3 %), ki je malo višja od povprečja značilnega za karbonate (največ do 2,5 %, De Vos et al., 2006) sklepamo, da se v sedimentu nahajajo tudi silikatni minerali (glineni minerali). Vsebnost ostalih prvin (Ni, Sc, Cu, Zn, Cd, Co, Cs, Rb, Sr, Ta, Th, U, V, Zr, Y in REE) je v sledovih. Sklepamo, da predstavljajo njihov glavni vir predvsem glineni minerali, razni detritični minerali in težki minerali (De Vos et al., 2006). Za REE (La-Lu) v sedimentnih kamninah velja, da se njihova vsebnost manjša s prisotnostjo glinenih mineralov in delcev kamnin ter se povečuje s prisotnostjo kremenca (De Vos et al., 2006).

Ugotavljanje razlik med temnimi in svetlimi laminami na podlagi geokemične sestave

Prvi korak pri ugotavljanju geokemične razlike med svetlimi in temnimi vzorci je bila klasična clusterska analiza, in sicer je bila uporabljena clusterska analiza po Wardu, kjer je kriterij izbire povezave med podatki (v našem primeru vsebnosti prvin v posameznem vzorcu) najmanjše povečanje vsote kvadriranih odstopanj od srednjih vrednosti skupin (SWAN & SANDILANDS, 1995).

Na sliki 4 je prikazan dendrogram, ki smo ga dobili na podlagi tako narejene clusterske analize v programu CSS Statistica. Kot je razvidno sta se oblikovali dve skupini vzorcev, ki se med seboj razlikujeta na osnovi vsebnosti opazovanih komponent. Ob primerjavi posamezne skupine s fotografijami profilov, smo ugotovili, da se ujema leva skupina vzorcev večinoma s temnimi laminami, desna pa večinoma s svetlimi. S tem smo dokazali razlike v geokemični sestavi med svetlimi in temnimi laminami.

Naslednji korak pri ugotavljanju razlik je bil ugotoviti, ali se temna in svetla skupina, določena po fotografijah in s prej omenjeno clustersko analizo, med seboj statistično značilno razlikujeta



Slika 4. Določitev dveh skupin na podlagi klasične clusterske analize (nestandardizirani podatki)

Figure 4. Determination of two groups by classic cluster analysis (nonstandardised data)

Tabela 2. Rezultati T-testa enakosti populacijskih povprečij; populaciji predhodno populaciji predhodno določeni vizualno na podlagi fotografij. Z rdečo so označene prvine, ki so statistično neznačilne na ravni zaupanja 95 %

Table 2. Results of T-test of equal population averages; populations preliminary determined visually. With red are marked elements, which are statistical insignificant on 95 % level

	t	F		t	F
SiO ₂	-10,01	1,80	Sr	-5,59	1,03
Al ₂ O ₃	-10,47	1,88	Ta	-7,72	1,85
Fe ₂ O ₃	-9,07	3,35	Th	-8,63	2,08
MgO	4,42	1,00	U	-6,23	1,25
CaO	7,07	1,63	V	-9,55	3,15
Na ₂ O	-8,80	2,91	Zr	-10,50	1,17
K ₂ O	-10,00	1,52	Y	-10,63	1,41
TiO ₂	-10,12	2,16	La	-11,52	1,08
P ₂ O ₅	-7,57	3,61	Ce	-11,45	1,03
MnO	-6,22	2,45	Pr	-10,99	1,20
Cr ₂ O ₃	-9,11	1,67	Nd	-9,10	1,21
Ni	-7,40	2,32	Sm	-9,71	2,01
Sc	-8,97	1,79	Eu	-6,44	1,06
LOI	10,55	2,00	Gd	-9,83	1,31
TOT/C	8,40	1,40	Tb	-5,50	1,23
Cu	-10,54	1,70	Dy	-10,24	1,03
Zn	-10,48	1,72	Ho	-9,80	2,46
Cd	-1,21	1,48	Er	-9,50	1,49
Co	-10,16	1,90	Tm	-6,54	1,23
CS	-8,76	1,14	Yb	-9,04	2,92
Rb	-10,46	1,68	Lu	-6,97	2,47

Tabela 3. Vrednosti F posameznih parametrov med dvema skupinama izračunane po metodi clusterske analize k-mean

Table 3. F-values for two groups according to the k-mean cluster analysis

	F		F
SiO ₂	100.4	Sr	31.75
Al ₂ O ₃	106.45	Ta	52.56
Fe ₂ O ₃	77.13	Th	66.11
MgO	23.71	U	36.75
CaO	46.13	V	82.43
Na ₂ O	81.47	Zr	132.66
K ₂ O	98.38	Y	110.46
TiO ₂	104.61	La	133.49
P ₂ O ₅	49.36	Ce	139.59
MnO	29.86	Pr	122.4
Cr ₂ O ₃	81	Nd	86.52
Ni	49.2	Sm	92.81
Sc	69.29	Eu	41.76
LOI	112.66	Gd	101.53
TOT/C	69.18	Tb	29.74
Cu	117.19	Dy	117.58
Zn	115.35	Ho	86.82
Cd	3.51	Er	104.78
Co	101.61	Tm	47.4
Cs	76.94	Yb	74.98
Rb	107.06	Lu	50.3

po količini vseh parametrov, oz. kateri parametri so tisti, ki vplivajo na razlikovanje med obema skupinama lamin. Pri tem smo uporabili t-test populacijskih povprečij (tabela 2). S t-testom ugotavljamo, ali se povprečja glede na odklon dveh populacij statistično razlikujejo med seboj. Vrednosti t so izračunane na podlagi izidov testa F, ki ugotavlja podobnost populacijskih varianc (SWAN & SANDILANDS, 1995). Vrednosti t so pozitivne, če je prvo povprečje večje od drugega in negativne, če je manjše. T-test smo izvedli v programu CSS Statistica. Rezultati so pokazali, da se skupini med seboj statistično značilno razlikujeta po količini vseh parametrov (razen Cd) na ravni zaupanja 95 %.

V tretjem koraku pa smo ugotavljali, kateri parametri imajo največji vpliv na razlikovanje med svetlimi in temnimi laminami, kar smo storili s clustersko analizo k-mean. Cilj clusterske analize je združevanje posameznih podatkov v skupine glede na podobnost med njimi. Clusterska analiza k-mean se od običajne loči po tem, da nam omogoča vnaprej določiti število skupin (k). Računalniški program nato razvrsti vse vzorce v določeno število skupin (k) tako, da je varianca znotraj skupine čim manjša, varianca med skupinama pa čim večja. Statistično značilnost rezultatov določi s testom F, kjer višja vrednost F pomeni večji vpliv določene spremenljivke na ločevanje vzorcev v skupine (CSS Statistica). Na tak način smo določili dve skupini, kateri smo nato preverili še s skupinama, določenima po klasični metodi clusterske analize in dodatno vizualno preverili s fotografijami pripadajočih lamin. Ugotovili smo, da prvi cluster predstavlja svetle lamine, drugi cluster pa temne. Le vzorec SL 145,5 je clusterska analiza k-mean umestila v skupino temnih lamin, medtem ko ga je clusterska analiza po Wardu uvrstila med svetle lamine. V tabeli 3 so podane vrednosti F posameznih parametrov med dvema skupinama.

Parametri, katerih vrednost F presega 100, imajo tako glede na ostale parametre največji vpliv na razporeditev vzorcev v dve skupini. Največji vpliv imajo (po padajočih vrednostih F) Ce, La, Zr in Pr, saj njihove F vrednosti presegajo 120. Sledijo jim Dy, Cu, Zn, žarozguba (LOI), Y, Rb, Al₂O₃, Er, TiO₂, Co, Gd in SiO₂, katerih F vrednosti so med 100 in 120. Cd ima najnižjo F vrednost in po programu CSS Statistica nima vpliva na razporeditev vzorcev v določeno skupino.

Na vzorcih je bila narejena tudi analiza granulacije z instrumentom Fritsch Partical Sizer Analysette 22 (FR), kjer so bile izmerjene povprečne vrednosti granulacij za posamezen vzorec oz. za posamezno lamino. Ugotovili smo, da znaša minimalna vrednost vseh povprečnih vrednosti 5,79 µm, maksima vrednost pa 22,26 µm. To uvršča naše vzorce po Din - 4022 skali med melj (2 µm < melj < 63 µm). Svetle lamine so drobnejzrnate (povprečna zrnastost je 8,1 µm), temne pa nekoliko debelejezrnate (povprečna zrnastost 10,8 µm). Korelacija posameznih prvin z modusom granulacije je pokazala, da so CaO, MgO in žarozguba negativno korelirani z modusom granulacije, kar

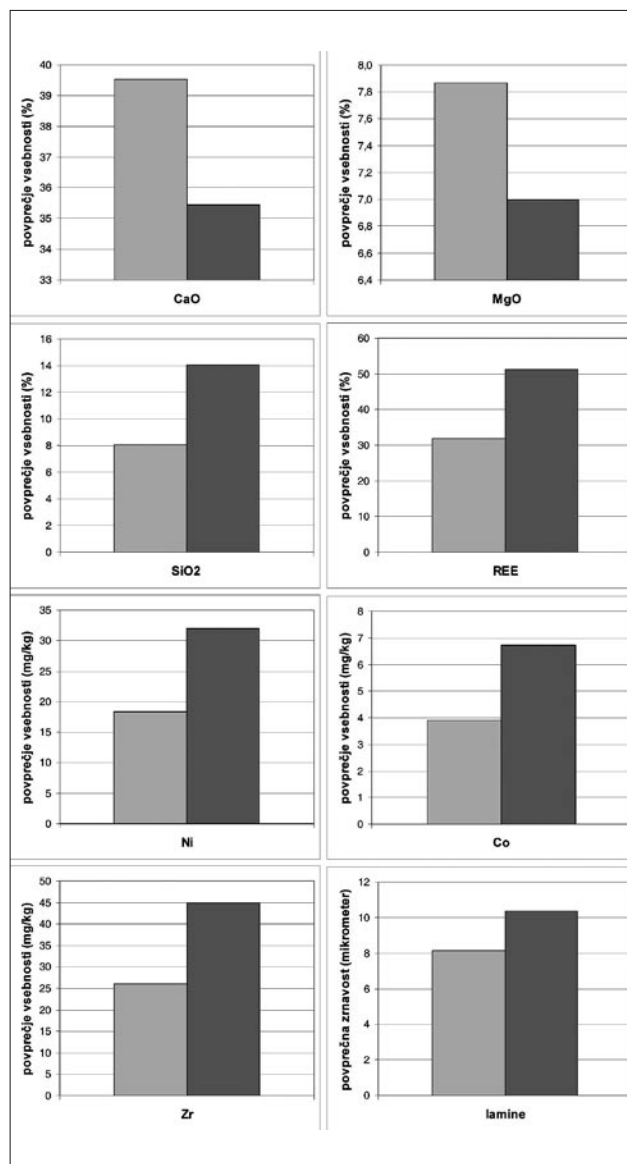
pomeni, da jih je več v bolj drobnozrnati frakciji, medtem ko so ostale prvine v pozitivni korelaciji z modusom granulacije in so tako bolj povezane z debelejezrnato frakcijo.

Primerjava povprečnih vrednosti in razponov posameznih prvin med svetlimi in temnimi laminami, ki je prikazana v tabeli 4 in na sliki 5. Tudi tako predstavljeno se jasno vidi, da je poglobljena razlika med svetlimi in temnimi laminami v

Tabela 4. Povprečja, najmanjše in največje vsebnosti opazovanih parametrov v obeh skupinah lamin (* v %, ostalo v mg/kg)

Table 4. Averages, minimum and maximum values of determined parameters in the two groups of laminae (* in %, others in mg/kg)

	x	svetle lamine		x	temne lamine	
		min	max		min	max
*SiO ₂	8,07	4,69	11,29	14,05	11,03	19,37
*Al ₂ O ₃	2,34	1,48	3,06	3,96	2,92	5,23
*Fe ₂ O ₃	0,99	0,69	1,23	1,54	1,16	2,06
*MgO	7,86	6,73	9,72	6,99	5,59	8,98
*CaO	39,51	35,56	43,14	35,45	31,34	38,46
*Na ₂ O	0,12	0,06	0,18	0,22	0,16	0,32
*K ₂ O	0,49	0,30	0,67	0,80	0,60	1,07
*TiO ₂	0,12	0,07	0,17	0,21	0,17	0,30
*P ₂ O ₅	0,08	0,06	0,10	0,11	0,08	0,16
*MnO	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03
*Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
Ni	18,40	5,00	26,00	32,00	23,00	50,00
Sc	2,75	2,00	4,00	4,38	3,00	6,00
*LOI	40,41	38,50	42,30	36,66	33,60	38,50
*TOT/C	10,80	10,11	11,52	9,60	8,34	10,34
Cu	9,39	5,60	13,40	16,26	12,30	22,30
Zn	17,69	12,00	24,00	28,67	21,00	37,00
Cd	0,45	0,30	0,60	0,47	0,40	0,60
Co	3,90	2,30	5,20	6,71	4,90	8,90
Cs	1,57	1,00	2,30	2,44	1,80	3,10
Rb	21,26	13,10	27,80	35,59	26,10	46,80
Sr	135,55	120,70	143,90	144,36	128,20	155,40
Th	1,96	1,30	2,60	3,10	2,20	4,10
U	0,91	0,70	1,30	1,20	0,95	1,60
V	22,77	14,00	30,00	37,90	27,00	51,00
Zr	26,09	14,60	41,10	44,90	35,90	59,90
Y	6,68	4,30	8,50	10,27	8,40	12,90
La	6,83	4,20	8,90	11,00	9,50	14,10
Ce	12,78	8,30	17,50	20,83	17,60	26,30
Pr	1,52	0,95	2,03	2,37	2,05	3,02
Nd	5,74	3,20	7,80	9,11	7,30	12,10
Sm	1,11	0,70	1,40	1,74	1,30	2,30
Eu	0,26	0,11	0,47	0,40	0,30	0,56
Gd	1,02	0,69	1,45	1,64	1,24	2,28
Tb	0,14	0,01	0,24	0,26	0,07	0,38
Dy	0,91	0,54	1,31	1,49	1,20	1,88
Ho	0,18	0,10	0,23	0,31	0,23	0,43
Er	0,58	0,40	0,85	0,92	0,72	1,19
Tm	0,09	0,04	0,14	0,14	0,09	0,19
Yb	0,51	0,36	0,68	0,83	0,60	1,17
Lu	0,09	0,05	0,13	0,14	0,09	0,23



Slika 5. Povprečja nekaj glavnih oksidov in elementov v svetlih (levi – svetli stolpci) in temnih (desni – temni stolpci) laminah

Figure 5. Averages of some main oxides and elements in light (left – light columns) and dark (right, dark columns) laminae

tem, da imajo svetle več karbonatne komponente, manj SiO₂, manj slednih prvin in so bolj drobnozrnate kot temne lamine. Svetle lamine imajo tudi nekoliko višjo vrednost žaroizgube in celotnega ogljika.

Na sliki 6 sta prikazana dva odseka profilov z nekaterimi parametri. Opazimo, da se vsebnost SiO₂ zelo spreminja v odvisnosti od barve lamine, in sicer njegova vsebnost narašča v bolj temnih laminah. Pri CaO opazimo ravno nasproten pojav, ko njegova vsebnost narašča v svetlih laminah. Skoraj skladno s krivuljo CaO se giblje krivulja za žaroizgubo (LOI). Pri ostalih oksidih (Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, K₂O) in celotnemu ogljiku so spremembe vsebnosti manj opazne. Zanimiv je tudi potek krivulje, ki pripada modusu zrnivosti, kjer so povečanja zrnivosti v temnih laminah zelo očitna.

Zaključek

Ugotovili smo, da je v povprečju glavna komponenta srpeniškega jezerskega sedimenta CaO (37,48 %), sledijo mu še SiO₂ (11,06 %), MgO (7,43 %), Al₂O₃ (3,15 %) in Fe₂O₃ (1,26 %). Ostale komponente imajo zastopanost manjšo od 1 %.

Razlike v geokemični sestavi med svetlimi in temnimi laminami se kažejo predvsem v povečani vsebnosti CaO, MgO in celotnega ogljika v svetlih laminah, medtem ko je v temnih laminah povečana vsebnost ostalih oksidov in slednih prvin. Največja razlika je v vsebnosti SiO₂, ki je skoraj enkrat večja v temnih laminah (14 %) kot v svetlih laminah (8 %).

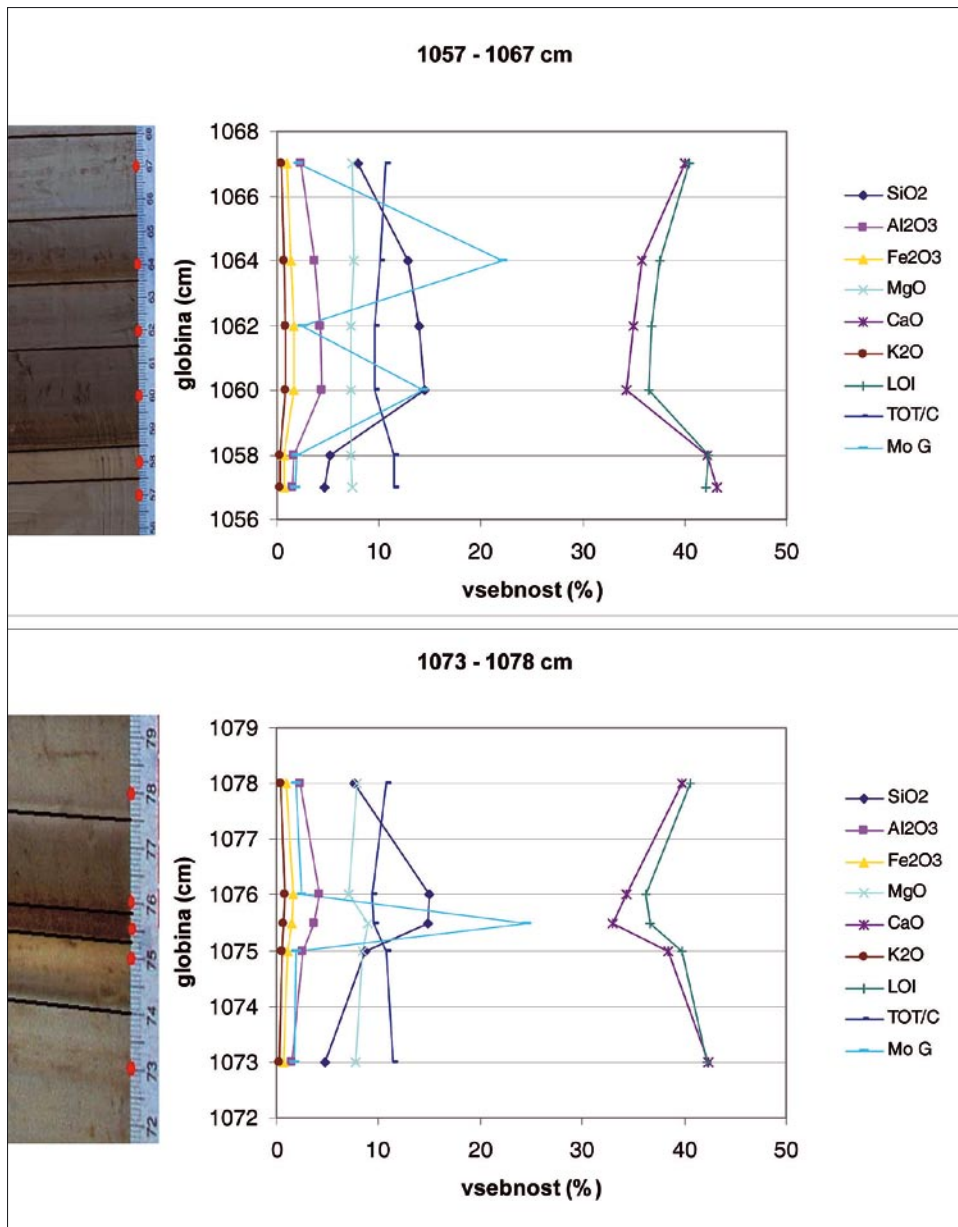
Primerjava povprečne zrnivosti med svetlimi in temnimi laminami je pokazala, da gre v primeru svetlih lamin za bolj drobnozrnat material kot v primeru temnih lamin.

Pri srpeniškem jezerskem sedimentu ne gre za varve v smislu letno/zimskega sedimentacijskega

cikla, vsekakor pa so opazne spremembe v sedimentaciji, ki se kažejo kot laminacija. Vzroki laminacije so verjetno različni viri sedimentnega materiala, ki je dotekal v jezero. Pri tem je zaradi večinoma karbonatnega zaledja prevladoval karbonat, drugi vir materiala pa bi lahko bil okoliški fliš. Zaradi vsebovanja silikatnih mineralov in različnih primesi se take lamine obarvajo bolj temno.

Zahvala

Prikazane geokemične raziskave je financirala Javna agencija za raziskovalno dejavnost (ARRS) v okviru raziskovalnega programa Podzemne vode in geokemija, ki ga izvaja Geološki zavod Slovenije. Delno je opisana raziskava prikazana tudi v diplomskem delu K. KOVAČIČ (2008), ki ga je opravila na Naravoslovnotehniški fakulteti pod mentorstvom prof. dr. J. Pezdiča in somentorstvom doc. dr. M. Gosar.



Slika 6. Grafični prikaz vsebnosti nekaterih glavnih oksidov, žarizgube (LOI), celotnega ogljika (TOT/C) in modusa zrnivosti (Mo G) na dveh odsekih profila glede na posamezne lamine. Opomba: pri modusu zrnivosti je merska enota mikrometer

Figure 6. Graphical presentation of contents of some main oxides, loss-of-ignition (LOI), total carbon (TOT/C) and granulation modus (Mo G)

Literatura

ABBEY, S. 1983: Studies and standards samples of silicate rocks and minerals 1969-1982. Geological Survey of Canada, Paper 83-15, 114 pp., Ottawa.

ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTD. 2007: AcmeLabs. Services & Fees 2007. – Acme analytical laboratories ltd., 33p., Vancouver B.C.

BAVEC, M. 2001: Kvartarni sedimenti Zgornjega Posočja. Doktorska disertacija, 131 str., Oddelek za geologijo, NTF, Univerza v Ljubljani, Ljubljana.

BAVEC, M. 2002: Nove časovne in genetske opredelitve nekaterih mlajšekvartarnih sedimentov in kamnin v Bovški kotlini in njeni bližnji okolici. *Geologija* (Ljubljana) 45/2: 291-298.

BAVEC, M., TULACZYK, S. M., MAHAN, S. A., STOCK, G. M. 2004: Late Quaternary glaciation of the Upper Soča River Region (Southern Julian Alps, NW Slovenia). *Sedimentary Geology* [Print ed.], 165, 3/4: 265-283.

DE VOS, W. & TARVAINEN, T. (CHIEF –EDITORS), SALMINEN, R., REEDER, S., DE VIVO, B., DEMETRIADES A., PIRC, S., BATISTA, M.J., MARSINA, K., OTTESEN, R.T., O'CONNOR, P.J., BIDOVEC, M., LIMA, A., SIEWERS, U., SMITH, B., TAYLOR, H., SHAW, R., SALPETEUR, I., GREGORAUŠKIENE, V., HALAMIC, J., SLANINKA, I., LAX, K., GRAVESEN, P., BIRKE, M., BREWARD, N., ANDER, E.L., JORDAN, G., DURIS, M., KLEIN, P., LOCUTURA, J., BEL-LAN, A., PASIECZNA, A., LIS, J., MAZREKU, A., GILUCIS, A., HEITZMANN, P., KLAVER, G., & PETERSELL, V. 2006: *Geochemical Atlas of Europe. Part 2, Interpretation of Geochemical Maps, Additional Tables, Figures, Maps, and Related Publications.* Geological Survey of Finland (Espoo): 692 pp.

DOLENEC, T., PEZDIČ, J., OGORELEC, B. & MIŠIČ, M. 1984: Izotopska sestava kisika in ogljika v recentnem sedimentu iz Blejskega jezera in v pleistocenski jezerski kredi Julijskih Alp = The isotopic composition of oxygen and carbon of the recent sediment from the Bled Lake and of the Pleistocene lacustrine chalk from the Julian Alps. *Geologija* (Ljubljana) 27:161-170.

ISKRA, M. & GRIMŠIČAR, A. 1977: Nahajališča glacialne jezerske krede v Sloveniji = Nalazišta glacialne jezerske krede u Sloveniji. V: *Prirodna karbonatna punila u građevinarstvu i industriji. Zbornik radova prvog jugoslovenskog simpozijuma o prirodnim karbonatnim punilima u građevinarstvu i industriji* (Beograd) 103 – 107.

KOVAČIČ, K. 2008: Značilnosti geokemične sestave jezerske krede v Srpenici. Diplomsko delo, 83 str., Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo.

KUŠČER, D., GRAD, K., NOSAN, A., OGORELEC, B. 1974: Geološke raziskave soške doline med Bovcem in Kobaridom. *Geologija* (Ljubljana) 17: 425-476.

MARJANAC, T., MARJANAC, L., POLJAK, M., ŽIVČIČ, M., BAVEC, M. 2001: Srpenica seismites – indicators of paleoseismicity in the Upper Soča valley, NW Slovenia = Seizmiti v Srpenici – pokazatelji paleoseizmičnosti v Zgornjem Posočju. *Geologija* (Ljubljana) 44: 341-350.

SWAN, A.R.H. & SANDILANDS, M. 1995: *Introduction to geological data analysis.* Blackwell Science (Oxford): 446 pp.

ŠERCELJ, A. 1981: Pelod v kvartarnih sedimentih Soške doline. *Geologija* (Ljubljana) 24: 129-147.