

UDK: 551.481/628.394  
Originalni naučni rad

## PRVA LIMNOLOŠKA ISTRAŽIVANJA KVALITETA VODE SREBRNOG JEZERA U SRBIJI

Vesna MARTINOVIĆ-VITANOVIĆ\*, Nataša RISTIĆ, Snežana OSTOJIĆ,  
Maja RAKOVIĆ, Vladimir KALAFATIĆ  
Institut za biološka istraživanja „Siniša Stanković“, Univerzitet u Beogradu  
\*E-mail: vmartino@ibiss.bg.ac.rs

### REZIME

Tokom marta 2007. godine obavljena su prva istraživanja kvaliteta vode Srebrnog jezera u Srbiji. Ispitivanja su obuhvatila kvalitativnu, kvantitativnu i saprobiološku analizu zajednica makrozoobentosa, fizičko-hemijsku analizu sedimenata i određivanje koncentracije hlorofila *a*, kao i analizu trofičnog statusa. Uzorci su sakupljeni sa osamnaest lokaliteta, raspoređenih duž obale u litoralu i iz dubljih zona jezera. U okviru faune dna, zabeleženo je devet faunističkih grupa sa ukupno dvadeset taksona. Procenjen je kvalitet vode Srebrnog jezera sa stanovišta trofije i saprobnosti. Stupanj trofije Srebrnog jezera je u oblasti gornje granice mezo- na prelazu u eutrofiju i u granicama eutrofnog statusa. Izračunate vrednosti saprobnog indeksa *S* po metodi Pantle-Bucka, primenom saprobnog sistema bioindikatorskih vrsta makrozoobentosa, bile su u opsegu od  $S=2,81$  do  $S=3,60$ . Procenjeni kvalitet vode bio je u granicama III i na prelazu IV-III klasu.

**Ključne reči:** Srebrno jezero, Srbija, fauna dna, hemizam sedimenata, trofija, saprobnost, kvalitet vode

### UVOD

Srebrno jezero, kao veštačka akumulacija, do sada je slabo istraživano sa hidrobiološkog stanovišta. Tokom marta 2007. godine obavljena su limnološka ispitivanja koja su, između ostalog, imala za cilj i određivanje sastava bentocenoza i kvaliteta vode.

Bentofauna je značajna komponenta akvatičnih ekosistema. Organizmi faune dna su osetljivi na promene uslova sredine, pa se sastav i struktura

zajednica makrozoobentosa koriste kao pokazatelji stanja akvatičnog ekosistema, tj. u proceni kvaliteta vode [1].

Prisustvo određenih vrsta bentofaune, njihov životni ciklus i odnosi koje ostvaruju sa ostalim članovima ekosistema bili su, do sada, predmet istraživanja u nekim stajaćim vodama koje bi se, po svojim karakteristikama i poreklu, mogle uporediti sa Srebrnim jezerom: Obedska bara i Savsko jezero [2, 3, 4, 5, 6]. Ovi akvatični ekosistemi pripadaju tipu ravničarskih jezera nastalih u dolinama velikih reka [6]. Oni se razlikuju po poreklu, pri čemu je Obedska bara prirodan sistem nastao plavljenjem, dok su Savsko i Srebrno jezero veštačke akumulacije nastale pregrađivanjem rukavaca i odvajanjem od rečnog toka.

Posebno mesto u bentofauni Srebrnog jezera imaju larve hironomida koje su veoma raznovrsne i brojne u makrofitskoj vegetaciji i podlozi. One predstavljaju dominantnu grupu u fauni dna, što je karakteristika i ekosistema Obedske bare [2].

Predstavnici grupa Chironomidae, Chaoboridae i Oligochaeta, kao važni indikatori stepena zagađenja i trofije kontinentalnih voda [7], odlikuju bentofaunu Srebrnog jezera.

Ovaj rad predstavlja rezultate ispitivanja kvalitativnog i kvantitativnog sastava zajednica faune dna i nalaze saprobiološke analize zasnovane na konceptu bioindikacije. Cilj rada je da se primenom saprobnog sistema i izračunavanjem indeksa saprobnosti proceni kvalitet vode Srebrnog jezera u martu 2007. godine, što predstavlja prve limnološke podatke za ispitivani ekosistem kao značajan turističko-rekreativan centar.

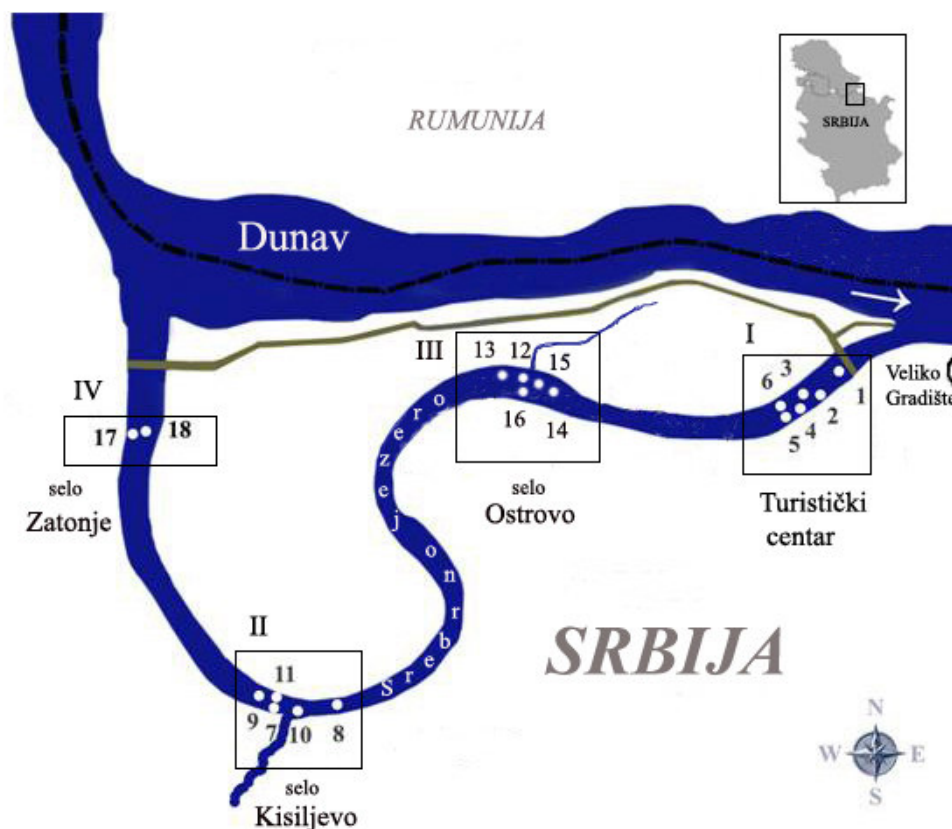
## PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Srebrno jezero (Slika 1) nalazi se u istočnoj Srbiji, 3 km udaljeno od Velikog Gradišta, na samoj srpsko-rumunskoj granici, koju čini Dunav u njegovoj neposrednoj blizini, a u podnožju brda Lipovača (362 m nv). Teritoriju opštine Veliko Gradište odlikuje umerenokontinentalna klima sa jasno izraženim godišnjim dobima. Zime su oštre, čemu doprinosi košava koja je česta i jaka, a leta su žarka sa visokim temperaturama vazduha i vode.

Jezero je zapravo rukavac na desnoj obali Dunava, koji je izgradnjom nasipa 1971. godine, pregrađen dvema branama (na uzvodnom i nizvodnom delu) i izdvojen iz toka Dunava. Između Jezera i glavnog rečnog korita

Dunava nalazilo se rečno ostrvo - Ostrovo. Na obalama jezera nalaze se sela: Ostrovo (na istočnom delu jezera), Zatonje (na zapadnom delu) i Kisiljevo (na najjužnijem delu meandra).

Srebrno jezero ima karakterističan oblik "vratnog luka jarma" (engl. "oxbow lake"). Dugačko je 14 km sa prosečnom širinom od oko 300 m i ukupnom površinom od 4 km<sup>2</sup>. Nalazi se na nadmorskoj visini od 70 m. Maksimalna dubina je 8 m. Srebrno jezero se snabdeva vodom iz Dunava podzemnim putem, prirodnom filtracijom kroz peščane nanose, a direktnim putem prima vodu Kisiljevačkog potoka i kanala kod sela Ostrovo. Na obalama jezera nalaze se: hotel, nekoliko restorana, vikend-naselje i auto-kamp.



Slika1. Mapa Srebrnog jezera sa ispitivanim lokalitetima:

Figure 1. Map of the Lake Srebrno with sampling sites:

- Sektor I - N 44° 45' 47.98" E 21° 28' 35.97"
- Sektor II - N 44° 44' 16.78" E 21° 24' 56.66"
- Sektor III - N 44° 46' 02.38" E 21° 26' 22.35"
- Sektor IV - N 44° 45' 52.95" E 21° 23' 55.58"

## MATERIJAL I METODE

Prikupljanje uzoraka obavljeno je 15. i 16. marta 2007. godine. Probe su uzete sa 18 lokaliteta, grupisanih u četiri sektora (Slika 1):

I - Turistički centar (lokaliteti 1-6),

II - selo Kisiljevo (lokaliteti 7-11),

III - selo Ostrovo (lokaliteti 12-16) i

IV - selo Zatonje (lokaliteti 17 i 18).

Podela jezera na četiri sektora na kojima je obavljeno uzorkovanje počiva na pretpostavci zagađivanja kao posledici turističko-rekreativnih aktivnosti i boravka velikog broja turista u - turističkom centru (I), kao i dospevanju zagađujućih materija iz seoskih naselja - s. Zatonje (sa auto kampom - IV), s. Ostrovo (kanal - III), i iz sela Kisiljevo (Kisiljevački potok - II) iz kojih zagađivanje potiče i kao posledica poljoprivredne, ratarske i stočarske proizvodnje.

Na svim mestima uzorkovanja za kvantitativnu analizu zajednice faune dna korišćen je bager tipa Van-Veen (zahvatne površine 270 cm<sup>2</sup>), osim na lokalitetu 12, gde je uzet kvalitativan uzorak. Klasifikacija supstrata, obavljena je po subjektivnoj proceni, *in situ* i u laboratoriji, opservacijom na osnovu veličine čestica [8].

Akvatični invertebrati izdvojeni su iz sedimenta ispiranjem kroz sito promera okaca 200 µm. Svi uzorci su fiksirani *in situ* 4% formaldehidom i zatim transportovani u laboratoriju. Sortiranje i determinacija organizama obavljeno je upotrebom stereo zoom mikroskopa i binokularne lupe (uvećanje 5-50x) KRÜSS, Nemačka i mikroskopa (10x10 i 10x40) OPTON, Nemačka. Identifikacija je urađena do nivoa vrste, ili do najnižeg mogućeg taksonomskog nivoa, upotrebom ključeva: Brinkhurst & Jamieson [9], Elliot and Mann [10], Timm [11], Wiederholm [12], Lellak [13] i Croft [14]. Gustina populacija bentonih vrsta i zajednica u celini na ispitivanim lokalitetima određivana je brojanjem primeraka u kvantitativnom uzorku i izračunavana je na jedinicu površine dna [15]. Apsolutna brojnost izražena je kao broj individua po kvadratnom metru - br. ind. m<sup>2</sup>. Udeo svake od konstatovanih bentosnih grupa u ukupnoj brojnosti bentocenoza ispitivanih lokaliteta prikazan je procentualno u Tabeli 3.

Fizičko-hemijska analiza sedimenta obavljena je standardnom metodologijom APHA-AWWA-WEF [15] u specijalizovanim laboratorijama Gradskog zavoda za javno zdravlje, Beograd. Analizirani su sledeći parametri: pH, ukupni azot, ukupni fosfor, ukupni

organski ugljenik (engl. Total Organic Carbon - TOC), cijanidi, teški metali (As, Cu, Zn, Cr, Cd, Ni, Pb, Hg), kao i polutanti - pesticidi, policiklični aromatični ugljovodonici (engl. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons - PAHs), fenoli i polihlorovani bifenili (engl. Polychlorinated biphenyls - PCBs). Za tumačenje dobijenih rezultata analize mulja, korišćeni su kanadski i američki standardi (CCME i USEPA) - Smernice za procenu kvaliteta sedimenta u površinskim vodama [16, 17].

Trofički status jezera procenjen je na osnovu podataka o produkciji faune dna (apsolutna brojnost izražena kao br. ind. m<sup>-2</sup>), produkciji algi analizom koncentracije hlorofila *a* u vodi Srebrnog jezera i merenjima fizičkog faktora - providnosti vode. Providnost vode merena je Secchi diskom, dok je produkovana biomasa algi izražena kao koncentracija hlorofila *a* (kriterijum maksimalna koncentracija Chl *a*) u vodi akumulacije, određivana spektrofotometrijski, pri čemu je za ekstrakciju korišćen vruć 90% etanol [15].

Saprobijološka analiza urađena je po metodi Pantle-Buck-a [18], izračunavanjem indeksa S, na osnovu saprobnih valenci (SI) indikatorskih vrsta makrozoobentosa i njihove brojnosti u zajednici, na svakom od ispitivanih lokaliteta, primenom saprobnog sistema prema Moog-u [19].

Kvalitet vode procenjivan je i na osnovu važećih kriterijuma nacionalnog zakonodavstva: Uredba o klasifikaciji voda međurepubličkih vodotoka, međudržavnih voda i voda obalnog mora Jugoslavije [20] i Uredba o kategorizaciji vodotoka Srbije [21], prema kojoj akumulacija treba da ima kvalitet vode osnovnog vodotoka na kome je izgrađena.

## REZULTATI I DISKUSIJA

### *Fizičko-hemijske karakteristike ispitivanih lokaliteta*

Morfometrijske karakteristike staništa i fizički parametri sedimenta i vode, kao i koncentracija hlorofila *a* Srebrnog jezera prikazani su u Tabeli 1.

Uzeti uzorci za analizu zajednica bentofaune sa 18 lokaliteta duž obale, iz litorala i iz dubljih zona jezera, potiču uglavnom sa mekog substrata - mulj fine strukture i les. Mulj je crne boje i neprijatnog mirisa na vodoniksulfid (H<sub>2</sub>S). Primećena je heterogenost staništa u sektoru II: na lokalitetima 9 i 11 zabeleženo je prisustvo peska, dok je na lokalitetu 7 konstatovano i prisustvo krupnog detritusa (Tabela 1).

Tabela 1. Fizički parametri sedimenata i vode Srebrnog jezera i koncentracija hlorofila *a* (srednja vrednost po sektoru) u martu 2007. godineTable 1. Physical characteristics of the Lake Srebrno sediment and water and Chlorophyll *a* concentration (mean value per section) in March 2007

Lokalizacija po sektorima	Dubina (m)	Providnost (m)	Supstrat	Temperatura vode (°C)	Koncentracija hlorofila <i>a</i> (µg/l)
<b>SEKTOR I</b>					
1-6	5,28	1,12	m, l	10,17	24,05
<b>SEKTOR II</b>					
7-11	5,00	1,02	m, l, p, d	11,24	27,38
<b>SEKTOR III</b>					
12-16	5,00	1,16	m	9,72	19,98
<b>SEKTOR IV</b>					
17-18	5,50	1,10	m, l	10,90	42,92

**Legenda/ Legend:**

l - les (loess); m - mulj (silt); p - pesak (sand); d - detritus (detritus)

Prosečna dubina Jezera, ukupno i po sektorima je oko 5 m. Najmanja dubina Jezera na kojoj je prikupljen materijal zabeležena je na lokalitetu 7 (2,5 m), dok je najveća bila na lokalitetima 8 i 16 (7 m).

Prosečna temperatura vode je oko 10 °C. Providnost vode kretala se u rasponu od 0,80 m (lok. 1) do 1,40 m (lok. 13), odnosno prosečna providnost po sektorima bila je oko 1 m. Srednje vrednosti koncentracije hlorofila *a* po sektorima kretale su se u širokom intervalu od minimalno 19,98 µg/l (sektor III) do maksimalno 42,92 µg/l (sektor IV) (Tabela 1).

Uzorci sedimenata za hemijsku analizu uzeti su istovremeno sa uzorcima za analizu faune dna na svim ispitivanim lokalitetima. Rezultati hemijske analize sedimenata prikazani su u Tabeli 2.

Zabeležena pH vrednost mulja po lokalitetima kretala se 8,06 – 8,61, što karakteriše slabo alkalnu sredinu. Koncentracija azota, nije mnogo varirala po lokalitetima i kretala se od 0,23% (lok. 11) do 0,64% (lok. 16), dok je ukupna koncentracija fosfora bila u intervalu od 429,4 mg/kg (lok. 14), pa do 1.172,5 mg/kg (lok. 9). Najmanji procenat ukupnog organskog ugljenika bio je na lokalitetu 12 - 1,53%, a najveći je iznosio 4,37% na lokalitetu 8. Koncentracija cijanida bila je ispod granice detekcije (<1,0 mg/kg), a, takođe, i koncentracija žive (<0,6 mg/kg). Ostali teški metali prisutni su na svim lokalitetima sa koncentracijama koje su varirale u relativno uskom opsegu (Tabela 2). Koncentracije sledećih teških metala, na pojedinim lokalitetima prelaze granice minimalnih koncentracija pri kojima je moguće njihovo štetno dejstvo na akvatične organizme,

prema kriterijumima kanadskih i američkih Standarda [16, 17]:

sektor I - Cu, Cr, Zn, Cd; Pb, As i Ni;  
sektori II i III - Cr, Pb, As i Ni;  
sektor IV - Pb, As i Ni.

Koncentracije pri kojima, prema kriterijumima kanadskih i američkih Standarda [16, 17] ako se pređu granične vrednosti, treba u značajnoj meri očekivati štetno dejstvo na akvatične organizme, prelaze jedino: arsen (As) - na sektorima I i II i nikl (Ni) - na sektorima I, II i III. Verovatno je da povišena koncentracija ova dva teška metala u sektorima Srebrnog jezera može da ima štetno dejstvo na bentosnu zajednicu [29].

Pesticidi nisu detektovani u Srebrnom jezeru (<10,0 µg/kg). Takođe, nije uočeno ni prisustvo fenola (<10,0 µg/kg).

Činjenica da ni u jednom uzorku nije konstatovano prisustvo žive, cijanida, fenola i pesticida (HCH - α, β, δ; Lindan, Heptahlor, Heptahloepoksid, Alahlor, Aldrin, Dieldrin, Endrin, DDT – DDE, DDD; Heksahlorbenzol, Atrazin, Simazin i Propazin) ukazuje na stanje veoma povoljno sa aspekta očuvanja živog sveta u jezeru.

Polciklični aromatični ugljovodonici (engl. PAHs) prisutni su na svim lokalitetima i njihove ukupne koncentracije se kreću od 36,4 µg/kg (lok. 12) do 524,8 µg/kg (lok. 17). Polihlorovani bifenili (engl. PCBs) uočeni su samo na dva lokaliteta sektora I: 500,7 µg/kg (lok.2) i 95,1 µg/kg (lok. 3), što ukazuje da se radi o ograničenom lokalnom zagađenju koje je posledica uklanjanja trafostanice iz oblasti turističkog centra.

Tabela 2. Fizičko-hemijske karakteristike sedimenata Srebrnog jezera (Srbija) u martu 2007. godine

Table 2. Physical chemical sediment characteristics of the Lake Srebrno (Serbia) in March 2007

Lok.	pH	Ukupni azot (%)	Ukupni fosfor (mg/kg)	Ukupni organski ugljenik (%)	Cijanidi (mg/kg)	Teški metali								Pesticidi (µg/kg)	PAHs (µg/kg)	Fenoli (µg/kg)	PCBs (µg/kg)
						As (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Hg (mg/kg)				
1	8,34	0,26	584,8	3,30	< 1,0	12,9	47,8	106,9	49,0	0,6	73,2	65,8	< 0,6	< 10,0	237,5	< 10,0	< 10,0
2	8,38	0,27	519,2	1,85	< 1,0	10,8	37,0	90,0	41,4	0,5	61,9	55,1	< 0,6	< 10,0	182,2	< 10,0	500,7
3	8,35	0,46	743,5	2,25	< 1,0	19,4	42,3	104,6	48,6	0,7	72,2	64,5	< 0,6	< 10,0	86,0	< 10,0	95,1
4	8,45	0,35	735,2	1,96	< 1,0	12,9	41,3	120,4	57,4	0,9	85,8	68,5	< 0,6	< 10,0	214,1	< 10,0	< 10,0
5	8,36	0,49	1023,7	3,55	< 1,0	26,9	49,8	127,3	59,7	0,8	88,1	64,8	< 0,6	< 10,0	284,6	< 10,0	< 10,0
6	8,31	0,45	608,4	1,85	< 1,0	15,7	37,5	112,8	51,7	0,6	72,1	61,7	< 0,6	< 10,0	301,8	< 10,0	< 10,0
7	8,18	0,36	655,8	2,12	< 1,0	6,6	18,0	53,8	25,3	0,2	32,3	22,6	< 0,6	< 10,0	80,0	< 10,0	< 10,0
8	8,32	0,50	922,3	4,37	< 1,0	32,1	31,4	72,7	39,0	0,4	53,6	34,8	< 0,6	< 10,0	422,8	< 10,0	< 10,0
9	8,49	0,43	1172,5	3,11	< 1,0	14,7	33,6	83,7	47,6	0,3	62,9	40,6	< 0,6	< 10,0	190,4	< 10,0	< 10,0
10	8,29	0,31	745,4	2,79	< 1,0	12,1	26,9	72,3	37,5	0,3	49,6	33,4	< 0,6	< 10,0	126,1	< 10,0	< 10,0
11	8,40	0,23	715,7	2,00	< 1,0	8,1	21,6	60,4	28,3	0,2	38,5	21,0	< 0,6	< 10,0	398,8	< 10,0	< 10,0
12	8,28	0,35	730,8	1,53	< 1,0	11,2	34,4	60,3	32,4	0,3	50,4	34,6	< 0,6	< 10,0	36,4	< 10,0	< 10,0
13	8,23	0,38	775,5	1,81	< 1,0	8,5	27,1	42,5	25,6	0,2	43,0	24,9	< 0,6	< 10,0	43,6	< 10,0	< 10,0
14	8,61	0,28	429,4	2,47	< 1,0	10,0	31,3	82,6	40,4	0,5	62,3	47,6	< 0,6	< 10,0	172,2	< 10,0	< 10,0
15	8,37	0,39	536,9	2,04	< 1,0	8,0	30,9	57,3	29,4	0,2	45,7	33,5	< 0,6	< 10,0	131,7	< 10,0	< 10,0
16	8,06	0,64	658,9	2,96	< 1,0	15,9	30,5	47,9	25,3	0,3	36,6	27,1	< 0,6	< 10,0	182,2	< 10,0	< 10,0
17	8,17	0,41	650,1	1,84	< 1,0	12,6	22,3	67,0	36,5	0,6	49,7	40,5	< 0,6	< 10,0	524,8	< 10,0	< 10,0
18	8,40	0,32	739,2	3,28	< 1,0	10,3	23,8	63,1	33,6	0,2	49,6	33,1	< 0,6	< 10,0	372,9	< 10,0	< 10,0

Graničnu koncentraciju pri kojoj dolazi do ispoljavanja štetnog delovanja na akvatične organizme, prema kanadskim Standardima [16], premašuju sledeći policiklični aromatični ugljovodonici (u Tabeli 2 prikazani zbirno): benzo(a)piren u svim sektorima, osim u sektoru III, zatim piren, antracen i krizen na lok. 11 (sektor II) i naftalen koji ima povećanu vrednost u sektoru IV. Policiklični aromatični ugljovodonici potiču uglavnom iz otpadnih voda, a sreću se i kao međuproizvodi razlaganja nekih organskih materija (biljnog porekla), a, takođe, i nafta predstavlja jedan od njihovih izvora [6]. Mogući razlog postojanja i povećanja koncentracija navedenih jedinjenja je ubrzana izgradnja u okolini Srebrnog jezera.

#### Fauna dna

Faunu dna Srebrnog jezera čine predstavnici devet faunističkih grupa sa ukupno dvadeset taksona: Chironomidae (devet taksona), Oligochaeta (četiri taksona), Trichoptera (jedan takson), Hirudinea (jedan takson), Chaoboridae (jedan takson), dok predstavnici Nematoda, Diptera - Ceratopogonidae, Hydracarina i Bryozoa nisu determinisani do nižih taksonomskih nivoa (Tabela 3).

Gustina zajednica makrozoobentosa Srebrnog jezera, u kvantitativnim probama, varirala je od najmanje zabeležene vrednosti – 481 ind. m<sup>-2</sup> na lokalitetu 13 (sektor III) do najveće – 8.510 ind. m<sup>-2</sup> na lokalitetu 7 (sektor II).

Diverzitet zajednice faune dna najmanji je na lokalitetu 13 (samo jedna grupa), dok je najveći broj faunističkih grupa uočen u bentocenozi na lokalitetu 7 (šest grupa). Broj taksona po lokalitetu varirao je između dva taksona na lokalitetu 13 i 11 taksona na lokalitetu 7 (Tabela 3).

Bentocenoze Srebrnog jezera odlikuju se malom raznovrsnošću i imaju sličan sastav kao i zajednice u drugim akumulacijama ovog tipa [2, 3, 4, 5, 6]. U Srebrnom jezeru, u momentu istraživanja, neuobičajeno je potpuno odsustvo grupe Mollusca kao važne komponente faune dna. U Savskom jezeru [5] je na profilu sa muljevitom podlogom, bez detritusa, uočena najveća redukcija broja prisutnih grupa makrozoobentosa.

Sve ispitivane lokalitete Srebrnog jezera, odlikuje meki supstrat - mulj i les (Tabela 1). Jedino je u okviru sektora II uočena heterogenost supstrata (mulj, les i pesak), pri čemu je samo na jednom lokalitetu ovog sektora prisutan i krupan detritus (lok. 7). Ovaj lokalitet – ušće Kisiljevačkog potoka, razlikuje se od ostalih po

sastavu odnosno raznovrsnosti i brojnosti faune dna, jer je upravo ovde konstatovana najveća taksonomska raznovrsnost – šest grupa sa ukupno 11 taksona i maksimalna brojnost organizama – 8.510 ind. m<sup>-2</sup>. Na lokalitetu 7 izmerena je i najmanja dubina (2,5 m), a krupan detritus u Jezero unosi voda Kisiljevačkog potoka zajedno sa erodiranim materijalom, što rezultira zasipanjem. Sektor II je pod uticajem Kisiljevačkog potoka koji prolazeći kroz seosko naselje donosi povećano organsko zagađenje poreklom iz seoskih domaćinstava i kao rezultat poljoprivrednih aktivnosti stanovništva.

Na ostalim lokalitetima, s obzirom na muljevitu podlogu, prisutni su pretežno pelofilni organizmi. Razumljivo je da zbog nedostatka vodene vegetacije u trenutku uzimanja uzoraka, naročito submerznih formi, nema ni raznovrsnosti bentofaune, što rezultira uniformnošću koja je karakteristična za stajaće vode jezerskog tipa [3, 4, 6] kakvom pripada i Srebrno jezero.

Broj grupa i taksona faune dna Srebrnog jezera, kao i procentualno učešće grupa u ukupnoj brojnosti faune dna prikazani su u Tabeli 3.

U bentocenozi Srebrnog jezera grupa Chironomidae je dominantna. Njen veliki specijski diverzitet, u odnosu na ostale faunističke grupe, ogleda se u prisustvu devet taksona koji pripadaju dvema subfamilijama Chironominae (8 vrsta) i Tanypodinae (jedna vrsta). *Chironomus plumosus* Linnaeus je dominantna, a *Chironomus riparius* Meigen subdominantna vrsta u pogledu frekvencije i brojnosti populacija.

Kvalitativna i kvantitativna analiza bentocenoza i posebno grupe hironomida koriste se u svrhu određivanja stupnja trofije akvatičnih ekosistema [22, 23, 24, 25].

Vrste roda *Chironomus*, kao taksona koji je karakterističan za organska zagađenja, su bioindikatori prisustva organskih polutanata i poslužili su za određivanje stupnja eutrofizacije Srebrnog jezera.

*Chironomus plumosus* javlja se u jako eutrofizovanim jezerima [26, 27]. *Chironomus riparius* ima široko rasprostranjenje u severnoj hemisferi, najčešće u umerenoj zoni i je čest stanovnik zagađenih voda [23]. Larve ovih vrsta su veoma tolerantne na variranja pH, koncentracije kiseonika i veličinu čestica sedimenta [28].

Zbog dominantnog prisustva vrsta roda *Chironomus* u bentofauni Srebrnog jezera, ono bi se moglo svrstati u eutrofna jezera *Chironomus* tipa [23].



U pogledu brojnosti, Nematoda su subdominantna grupa faune dna Srebrnog jezera.

Grupa Oligochaeta u Srebrnom jezeru predstavljena je pelofilnim vrstama iz familije Tubificidae kosmopolitskog rasprostranjenja: *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparede, *L. claparedeanus* Ratzel i *Potamothrix hammoniensis* Michaelsen. Zabeležene su u svim sektorima na ukupno pet lokaliteta (lok. 2 i 6 - sektor I; lok. 7 - sektor II; lok. 12 - sektor III i lok. 17 - sektor IV), pri čemu su na lokalitetima 12 i 17 konstatovani samo fragmenti i njihova determinacija do nivoa vrste nije bila moguća. Pored slabe zastupljenosti, s obzirom na činjenicu da konstatovani taksoni potiču iz samo jedne familije, oligohete Srebrnog jezera pokazuju i malu raznovrsnost i brojnost. Zabeležene vrste oligoheta su pokazatelji organskog zagađenja i tolerantne su na deficit kiseonika u podlozi i kontaktnom sloju. Mala brojnost Oligochaeta i njihov srazmerno mali udeo u brojnosti bentocenoza mogli bi se dovesti u vezu i sa sezonskom dinamikom. Istraživanja su obavljena marta 2007, a oligohete imaju tendenciju porasta brojnosti od proleća ka letu, dok u zimskom periodu smanjuju brojnost svojih populacija [3].

Oskudna i uniformna zajednica faune dna Srebrnog jezera verovatno je uslovljena homogenošću substrata. Na veliku faunističku sličnost lokaliteta utiče prisustvo i brojnost taksona koji su uobičajeni za meke sedimente, koji su u Srebrnom jezeru prisutni na svakom lokalitetu. Na faunističke razlike među lokalitetima u najvećoj meri utiče pojava predstavnika grupa Oligochaeta, Hydracarina i Bryozoa, koje se javljaju na manjem broju lokaliteta, kao i sporadično prisustvo Hirudinea, Trichoptera - *Philopotamus mountainus* Donovan i Chironomidae - *Polypedilum nubeculosum* Meigen, *Cryptochironomus defectus* Kieffer, *Dicrotendipes nervosus* Staeger i *Glyptotendipes pallens* Meigen.

Prisustvo vrste iz roda *Chaoborus* (Chaoboridae), koja je redovan član stajaćih voda sa nepovoljnim kiseoničnim režimom u najnižim slojevima vode [3], ukazuje na visok stepen trofije i saprobnosti. Chaoboridae, Chironomidae i Oligochaeta su faunistički elementi eutrofnih i zagađenih voda [3].

#### Saprobiološka analiza

Saprobiološka analiza bentosnih zajednica pokazuje da su brojne populacije vrsta iz grupe Chironomidae, sa visokom saprobnom valencom - *Chironomus plumosus* SI=3,50 i *Chironomus riparius* SI=3,60, kao i prisustvo

manje brojnih vrsta oligoheta - *L. hoffmeisteri*, SI=3,50, *L. claparedeanus*, SI=2,90 i *Potamothrix hammoniensis*, SI=2,70, odredile saprobiološki status vode Srebrnog jezera, indikujući visoke saprobne nivoe (Tabela 4).

Vrednosti indeksa saprobnosti (S), kretale su se u rasponu od S=2,81 (lok.12) do S=3,60 (lok.13) i bile su u uskom opsegu indikujući alfa-mezo- i poli-alfa-mezosaprobnost.

#### Kvalitet vode

Da je Srebrno jezero na visokom stupnju trofije pokazuju izmerena providnost vode i koncentracije hlorofila *a* (Tabela 1 – prikaz srednjih vrednosti po sektorima). Prema klasifikacionoj šemi trofičnosti jezerske vode [30], Srebrno jezero marta 2007. godine ima eutrofan status, na šta ukazuju pojedinačne izmerene vrednosti Chl *a* - u 11 od 18 uzoraka veće od 25 µg/l (standard - maksimalna vrednost koncentracije hlorofila *a* za eutrofne vode - 25-75 µg/l) i providnost vode koja nije bila veća u pojedinačnim merenjima od 1,40 m (standard – minimalna izmerena providnost za eutrofne vode - 1,5-0,7 m). Prema srednjim vrednostima koncentracije Chl *a*, sektori II i IV imaju eutrofan status po ovom parametru, a u sektorima I i III voda Srebrnog jezera je u oblasti gornje granice mezo- na prelazu u eutrofiju (8-25 µg/l), sudeći prema pojedinačnim vrednostima koncentracije Chl *a* (sektor I - lok. 1, 2, 3, 4 i sektor III – lok. 13, 15) koje srednju vrednost „obaraju“ do prelaza mezo- u eutrofiju. Izuzetno, na lokalitetu 12 (sektor III) zabeležena je koncentracija Chl *a* od svega 4,44 µg/l (oligotrofija).

Glavni izvori nutrijenata koji dospevaju u Srebrno jezero (Tabela 2), usled delovanja antropogenog faktora, su primena veštačkih đubriva u poljoprivredi i stočarstvu, kao i komunalne otpadne vode iz turističko-rekreativnog kompleksa, naselja i brojnih vikendica na obalama Jezera. Kanadske i američke (CCME i USEPA) Smernice za procenu kvaliteta sedimenata u površinskim vodama nisu ustanovile standarde za ukupni azot, ukupni fosfor i ukupni ugljenik kao faktore eutrofizacije voda [16, 17].

U tabeli 4 prikazani rezultati saprobiološke analize faune dna ukazuju da voda Srebrnog jezera na tri istraživana lokaliteta pripada III klasi kvaliteta (lok. 4, 7, 12), na četiri istraživana lokaliteta je na prelazu iz III u IV klasu (lok. 2, 6, 8, 9), dok je na svim ostalim lokalitetima u granicama IV-III kategorije površinskih voda. Procenjen kvalitet vode, primenom saprobnog sistema prema Moog- u [19] i na osnovu izračunatih



vrednosti saprobnog indeksa S po metodi Pantle-Buck-a [18], je u oblasti visokog nivoa saprobnosti, što vodu Srebrnog jezera svrstava u okviru III i na prelaz IV u III klasu kvaliteta vode [20, 21].

## ZAKLJUČAK

Rezultati prezentovani u ovom radu, dobijeni analizom sastava zajednica faune dna i saprobiološkom analizom, pokazuju da je Srebrno jezero eutrofizovan ekosistem, što potvrđuju i fizičko-hemijske analize sedimenata i koncentracija hlorofila *a*. Proces eutrofizacije kao prirodan za ovaj tip vodenog basena, značajno je ubrzan delovanjem antropogenog faktora. Prema dobijenim vrednostima indeksa saprobnosti S i u odnosu na sastav i strukturu bentocenoza, Srebrno jezero se, marta 2007. godine, može okarakterisati kao alfamezosaprobnostna i voda na prelazu poli- u alfamezosaprobnost. Procenjeni kvalitet vode bio je u granicama III i na prelazu IV-III klasu.

\* Ovaj rad je urađen u okviru Projekta 146021 Ministarstva nauke Republike Srbije i uz podršku Gradskog zavoda za javno zdravlje, Beograd.

## LITERATURA

- [1] Rosenberg, D.M. and Resh, V.H. (eds.): *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*, Chapman and Hall, New York, 1993.
- [2] Janković, M.: *Prilog poznavanju Chironomidae Srbije*, Glasnik prirodnačkog muzeja, serija B, knj. 22, 172-179, 1967.
- [3] Janković, M.: *Prilog poznavanju vodenih zajednica Obedske bare*, Zbornik radova Republičkog zavoda za zaštitu prirode SR Srbije, Vol.1, No.9, 1974.
- [4] Janković, M.: *Novi prilog poznavanju faune dna Obedske bare*, Zbornik za prirodne nauke 62, 137-150, Matica Srpska, Novi Sad, 1982.
- [5] Jakovčev, D.: *Sastav faune dna Savskog jezera kod Beograda*, Biosistematika, 15(1), 41-47, Beograd, 1989.
- [6] Martinović-Vitanović, V.: *Ekološka studija Obedske bare*. Stevanović, V., Tanasković, M. eds., Istraživačko razvojni centar „Srbijašume“, 448 str. [Rezime na engleskom], Beograd, 1996.
- [7] Kerovec, M., Tavčar, V., Meštrov, M.: *Macrozoobenthos as an Indicator of the Level of the Trophy and Saprobity of Lake Jarun*, Acta hydrochim. hydrobiol. 17 (1989) 1, 37-45. 1989.
- [8] Wentworth, C.K.: *A scale of grade and class terms for clastic sediments*, J. Geol. 30: 377-392, 1922.
- [9] Brinkhurst, R.O. & Jamieson, B.G.M.: *Aquatic Oligochaeta of the World*, Oliver & Boyd, 860 pp, Edinburgh, 1971.
- [10] Elliot, J.M. and Mann K.H.: *A key to the British freshwater leeches*, Freshwater biological association, Scientific Publication No. 40, 1979.
- [11] Timm, T.: *A Guide to the Estonian Annelida*. – Eston. Academy Publ., Tartu/Tallinn, 208 pp, 1999.
- [12] Wiedereholm, T.: *Chironomidae of the Holarctic region. Keys and diagnoses. Part 1. Larvae*. – Entomol. Scand., Suppl. 19: 457 pp, 1983.
- [13] Lellak, J.: *Pakomárovití - Chironomidae*. In: *Rozkošný R. (Ed.), Klíč vodních larev hmyzu. (Identification key to aquatic larvae of insects)*. Academia, Praha, pp. 310-392, 24 pls., 20 refs. (In Czech), Praha, 1980.
- [14] Croft, P. S.: *A Key to the Major Groups of British Freshwater Invertebrates*. Field Studies 6. pp. 531-579, 1986.
- [15] APHA-AWWA-WEF: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.-19<sup>th</sup> ed., Eaton, A.D., Clesceri, L.S & Greenberg, A.E. American Public Health Association, Washington, DC, 1995.
- [16] CCME: *Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*. Canadian Council of Ministers of the Environment, 2002.
- [17] US EPA: *A guidance manual to support the assessment of contaminated sediments in freshwater ecosystems*. Vol. III. United States of America Environmental Protection Agency, 2002.
- [18] Pantle, R. & Buck, H.: *Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse*. Gas-Wasserfach 96: 604-620, 1955.
- [19] Moog, O. (Ed.): *Fauna Aquatica Austriaca. Katalog zur autökologischen Einstufung aquatischer Organismen Österreichs*. Teil III, B, Metazoa. – Bundesministerium f. Land- u. Fortwirtschaft, Wien, 2002.
- [20] Uredba o klasifikaciji voda međurepubličkih vodotoka, međudržavnih voda i voda obalnog mora Jugoslavije: Službeni list SFRJ, 6/78, 1978.
- [21] Uredba o kategorizaciji voda: Službeni glasnik SRS, Br. 5/68, 1968.

- [22] Johnson, R.K., Wiederholm, T. and Rosenberg, D.M.: *Freshwater biomonitoring using individual organisms, population and species assemblages of benthic macroinvertebrates*. – In: Rosenberg, D.M. & Resh, V.H. (eds): *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*: 40-158. Chapman and Hall, New York, USA, 1993.
- [23] Lindegaard, C.: *Classification of waterbodies and pollution*. – In: Armitage, P.D., Cranston, P.S. and Pinder, L.C., (eds): *The Chironomidae: the biology and ecology of nonbiting midges*, Chapman and Hall, London, 385-404, 1995.
- [24] Armitage, P.D., Cranston, P.S. and Pinder, L.C., (eds): *The Chironomidae: the biology and ecology of nonbiting midges*. Chapman and Hall, London, UK, 1995.
- [25] Jonasson, P.M.: *Ecology and production of the profundal benthos in relation to phytoplankton in Lake Esrom*. Oikos, 14 (Supplement), 1-148, 1972.
- [26] Resh, V.H., and Rosenberg, D.M.. Eds.: *The Ecology of Aquatic Insects*. Praeger Publishers, CBS Inc., 625 pp, New York, 1984.
- [27] Dudley, W.D. and Feltmate, B.W.: *Aquatic Insects*. C.A.B. International, Wallingford, Oxon, xiii, 358pp, 1992.
- [28] Ristola, T.: *Assessment of sediment toxicity using the midge Chironomus riparius (Diptera: Chironomidae)*. University of Joensuu, PhD Dissertation in Biology, No:5, Finland, 2002.
- [29] Laliberte, D. & Tremblay, G.: *Metal, PCB, Dioxin and Furan Concentration in Fish and Sediment from Four Lakes in Northern Quebec in 2001*. Ministère de l'Environnement, Quebec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Envirodoq no ENV/2002/0203, Report no. QE/129, p. 38, 2002.
- [30] OCED: *Eutrophication of water, monitoring, assessment and control*. Organization for Economic Cooperation and Development, Paris, 1982.

## FIRST LIMNOLOGICAL INVESTIGATIONS OF THE WATER QUALITY OF THE LAKE SREBRNO IN SERBIA

by

Vesna MARTINOVIĆ-VITANOVIĆ, Nataša RISTIĆ, Snežana OSTOJIĆ,  
Maja RAKOVIĆ, Vladimir KALAFATIĆ  
Institute for Biological Research „Siniša Stanković“  
University of Belgrade, Belgrade, Serbia

### Summary

The first limnological investigations of the Lake Srebrno water quality were performed in March 2007. The investigations included qualitative, quantitative, and saprobiological analyses of bottom fauna communities, physical chemical analyses of sediments and the determination of chlorophyll *a* concentration, as well as analyses of the trophic status. Samples were collected at eighteen localities distributed along the shore line, as well as from the deep parts of the lake. Twenty taxa from nine macro-invertebrate groups were recorded. The classification of the water in Lake Srebrno was proposed, based on trophic and saprobic

levels. Trophic levels were in the range of upper limits of meso- to eutrophy, and within the limits of the eutrophic status. Calculated values of the Saprobic Index S, based on bio-indicator organisms of macrozoobenthos, ranged from S=2.81 to S=3.58. The water quality was estimated to be within the limits proposed to III and IV-III class of the Serbian (Yugoslav) watercourses.

Key words: the Lake Srebrno, Serbia, bottom fauna, physical chemical sediment analyses, trophy, saprobity, water quality

Redigovano 25.05.2009.