

**SRPSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU VODA**

50. konferencija o aktuelnim temama korišćenja i zaštite voda

# VODA 2021

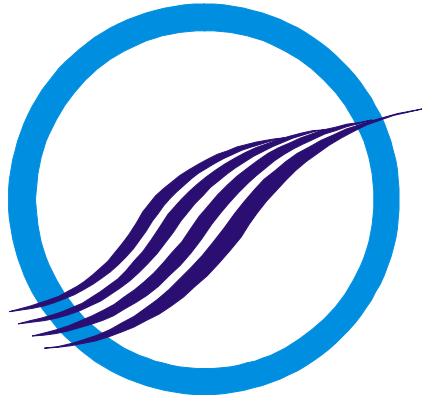
*The 50th Annual Conference of the Serbian Water Pollution Control Society*

**WATER 2021**

*Conference Proceedings*



Zlatibor, 22. – 24. septembar 2021.



[www.sdzv.org.rs](http://www.sdzv.org.rs)

**SRPSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU VODA**

*SERBIAN WATER POLLUTION CONTROL SOCIETY*

## II

### IZDAVAČ (PUBLISHER):

Srpsko društvo za zaštitu voda, Kneza Miloša 9/1, Beograd, Srbija,  
Tel/Faks: (011) 32 31 630

### PROGRAMSKI ODBOR (PROGRAMME COMMITTEE):

Prof. dr Branislav ĐORĐEVIĆ, dipl.inž.građ., Beograd  
Prof. dr Božo DALMACIJA, dipl.hem., Novi Sad  
Dr Momir PAUNOVIĆ, naučni savetnik, dipl.biol., Beograd  
Dr. Bela CSÁNYI, dipl.biol., Budimšešta-Mađarska  
Prof. dr Peter KALINKOV, dipl.inž.građ., Sofija-Bugarska  
Prof. dr Valentina SLAVEVSKA STAMENKOVIĆ, dipl.biol., Skoplje-R.Makedonija  
Prof. Dr. Goran SEKULIĆ, dipl.inž.građ, Podgorica-Crna Gora  
Prof. dr Violeta CIBULIĆ, dipl.hem., Beograd  
Prof. dr Slavka STANKOVIĆ, dipl.inž.tehnol., Beograd  
Prof. dr Zorana NAUNOVIĆ, dipl.inž.tehnol., Beograd  
Dr Aleksandar JOKSIMOVIĆ, dipl.biol., Kotor-Crna Gora  
Dr Božica VASILJEVIĆ, dipl.biol., Beograd

### UREDNIK (EDITOR):

Dr Aleksandar ĐUKIĆ, dipl.inž.građ.

*Svi radovi u ovom zborniku radova su recenzirani. Stavovi izneti u ovoj publikaciji ne odražavaju nužno i stavove izdavača, urednika ili programskog odbora.*

### TIRAŽ (CIRCULATION):

200 primeraka

### ŠTAMPA:

"Akademska izdanja", Zemun, 2021

CIP - Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд

502.51(082)  
556.11(082)  
628.3(082)  
628.1(082)

ГОДИШЊА конференција о актуелним проблемима коришћења и заштите вода (50 ; 2021 ; Златибор)  
Voda 2021 : zbornik radova 50. godišnje konferencije o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda = Water 2021 : conference proceedings 50th Annual Conference of the Serbian Water Pollution Control Society, Zlatibor, 22. - 24. septembar 2021. / [organizatori] Srpsko društvo za zaštitu voda [u saradnji sa JKP "Vodovod Zlatibor", Čajetina]; [urednik, editor Aleksandar Đukić]. - Beograd : Srpsko društvo za zaštitu voda, 2021 (Zemun : Akademska izdanja). - X, [378] str. : ilustr. ; 24 cm

Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tekst ćir. i lat. - Tiraž 200. - Str. X: Predgovor / Aleksandar Đukić. - Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts.

ISBN 978-86-916753-8-7

a) Воде -- Зборници б) Отпадне воде -- Зборници в) Снабдевање водом -- Зборници  
COBISS.SR-ID 45673481

**SRPSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU VODA**

**ZBORNİK RADOVA**

**50. GODIŠNJE KONFERENCIJE O AKTUELNIM TEMAMA  
KORIŠĆENJA I ZAŠTITE VODA**

# **VODA 2021**

*50<sup>TH</sup> ANNUAL CONFERENCE OF THE  
SERBIAN WATER POLLUTION CONTROL SOCIETY  
"WATER 2021"  
CONFERENCE PROCEEDINGS*

**Zlatibor, 22. - 24. septembar 2021.**

## IV

---

### ORGANIZATORI KONFERENCIJE (*CONFERENCE ORGANISERS*):

Srpsko društvo za zaštitu voda (Beograd),  
u saradnji sa  
JKP "Vodovod Zlatibor", Čajetina

### ORGANIZACIONI ODBOR KONFERENCIJE (*ORGANIZING COMMITTEE*):

PRESEDNIK: Marija VILOTIJEVIĆ, dipl.inž.tehnol, Čajetina

SEKRETAR: Milena MILORADOV, SDZV, Beograd

### ČLANOVI:

Miodrag PIJEŠČIĆ, dipl.inž.gradj., Beograd  
Goran PUZOVIĆ, dipl.inž., Beograd  
Ivan IRKIĆ, dipl.inž.grad., Čajetina  
Dr Aleksandar ĐUKIĆ, dipl.inž.grad. Beograd  
Milutin IGNJATOVIĆ, dipl.inž., Beograd  
Strahinja DANILOVIĆ, dipl.prav, Beograd  
Srđan KRUŽEVIĆ, dipl.ecc, Novi Sad  
Dragan MAKSIMOVIĆ, dipl.inž.grad., Kladovo  
Mr Bratislav STIŠOVIĆ, dipl.ind.grad., Beograd  
Mr Olivera DOKLESTIĆ, dipl.inž.grad., H. Novi, Crna Gora  
Duško VUJOVIĆ, dipl.inž.grad., Trebinje, R.Srpska-BiH  
Dr Aleksandar JOKSIMOVIĆ, dipl.biol, Kotor, Crna Gora  
Dr Milenko SAVIĆ, dipl.inž.tehn. Bijeljina, R.Srpska-BiH  
Dr Milenko SAVIĆ, dipl.inž.tehn. Bijeljina, R.Srpska-BiH

### ODRŽAVANJE KONFERENCIJE SU POMOGLI (*SPONSORED BY*):

- Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije
- Inženjerska komora Srbije

Slika na koricama: motiv sa Zlatibora

## KONCENTRACIJA HLOROFILA-A I TROFIČKI INDEKS UVAČKE AKUMULACIJE

Branislav Mićković\*, Miroslav Nikčević\*, Stefan Skorić\*,  
Dušan Nikolić\*, Marija Smederevac-Lalić\*,  
Vesna Đikanović\*\*

\* *Institut za multidisciplinarna istraživanja Univerziteta u Beogradu, Kneza Višeslava 1, 11030 Beograd, Srbija, email: [baneklej@imsi.rs](mailto:baneklej@imsi.rs)*

\*\* *Institut za biološka istraživanja „Siniša Stanković”- Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu, Bulevar despota Stefana 142, 11060 Beograd, Srbija*

### REZIME

Tokom četiri sezone (sredina leta, kraj leta, rana jesen i sredina jeseni) obavljeno je merenje koncentracije hlorofila-a duž vodenog stuba od 30 m (interval 2 m). Analizirano je variranje vrednosti kao i dubinska distribucija merenog parametra. Tokom perioda direktne stratifikacije akumulaciju odlikuje metalimnionski maksimum koncentracije hlorofila-a. Vrednosti TSI varirale su u opsegu 36,9 – 49,5 dajući indicaciju o oligotrofnom, odnosno mezotrofnom statusu akumulacije u zavisnosti od sezone.

KLJUČNE REČI: hlorofil-a, indeks trofičnosti, uvačka akumulacija

## CHLOROPHYLL-A CONCENTRATION AND TROPHIC STATE INDEX OF "UVAC RESERVOIR"

### ABSTRACT

During 4 seasons (middle of summer, late summer, early autumn, middle of autumn) measurements of chlorophyll-a have been conducted, along a 30 m water column (2 m interval). Variability of chlorophyll-a concentrations and their vertical distribution were analyzed. During the thermal stratification period, maximal concentrations of measured parameter were recorded in the metalimnion layer. TSI values varied within 36.9 – 49.4, thus indicating oligotrophic and mesotrophic status of reservoir depending on season.

KEY WORDS: chlorophyll-a, trophic state index, Uvac reservoir

### UVOD

Akumulacija „Uvac” nastala je podizanjem brane kod sela Akmačići. Po visinskom gradijentu (985 m.n.v.) prva je u tročlanom sistemu akumulacija na Uvcu. Pri normalnom vodostaju površina jezera iznosi 6,1 km<sup>2</sup>. U zavisnosti od vodostaja dužina akumulacionog

jezera varira u rasponu od 7,5 km do 25 km, dok količina akumulirane vode varira u rasponu od 42 000 000 m<sup>3</sup> do 212 000 000 m<sup>3</sup> (Stanković, 2005). Osnovne morfološke karakteristike akumulacije su izraženo prisustvo kanjonskog dela, velika razuđenost obalne linije i naglo povećanje dubine od obale ka središnjem delu akumulacije (maksimalna dubina iznosi oko 100 m). Spada u akumulacije formirane na vodnim telima tipa 2 (Službeni glasnik RS, 2011), i ima višenamensko korišćenje. Celom površinom nalazi se na području Specijalnog rezervata prirode Uvac. Problem u gazdovanju i upravljanju akumulacijama predstavlja to što se akumulacije ne posmatraju kao dinamični ekosistemi, već prevashodno kao resurs za različite vrste eksploatacije. Ovakvo stanje potencira potrebu za istraživanjima kojima bi se obuhvatila dinamika i prostorna distribucija abiotičkih i bitočkih faktora u akumulacijama. Koncentracija hlorofila možda predstavlja najvažniji pojedinačni parametar pri proceni kvaliteta vode u jezerima i akumulacijama, posebno u odnosu na procenu njihovih trofičkih statusa. Pored ovoga koncentracija hlorofila je i dobar indikator zagađenosti vodenih tela fosfornim i azotnim jedinjenjima. Takođe, pri proceni stanja trofičkog indeksa tokom perioda direktne stratifikacije, a posebno u letnjem periodu, preporuka je da se prednost da ovom biološkom parametru (Carlson, 1977).

Cilj rada je da se utvrdi variranje vrednosti koncentracije hlorofila-a, kao i njegova vertikalna distribucija duž vodenog stuba koji obuhvata epilimnion, metalimnion i delimično hipolimnion tokom perioda postojanja direktne stratifikacije. Pored ovoga, cilj rada je i da se odredi stanje trofičkog statusa za četiri praćene sezone.

## MATERIJAL I METODE

Istraživanja su obavljena u periodu od početka avgusta do sredine oktobra. U okviru istraživanog perioda determinisana su četiri sezonska aspekta: sredina leta (početak avgusta), kasno leto (kraj avgusta), rana jesen (sredina septembra) i sredina jeseni (sredina oktobra). Praćeni su termički režim akumulacije i koncentracija hlorofila-a duž dubinskog profila od površine do dubine od 30 m. Sva merenja obavljena su u nivou brane, sredinom prepodnevnih časova po sunčanom vremenu i bez vetra. Dubinski interval između uzastopnih mernih tačaka iznosio je 2 m. Korišćena je multiparametrijska sonda YSI 6600 V2. Stanje trofičkog indeksa (TSI) određivano je prema Carlson (1977) primenom formule:

$$TSI = 10 * \{6 - [(2,04 - 0,68 \ln \text{Chl-a}) / \ln 2]\},$$

gde je korišćena vrednost koncentracije hlorofila-a zabeležena u površinskom sloju vode.

## REZULTATI I DISKUSIJA

U sezoni sredina leta apsolutna temperaturna razlika heterotermne zone (epilimnion i metalimnion) iznosila je 16,2 °C, pri čemu je 24,9 °C bila maksimalna temperatura izmerena na površini. U tabeli 1. dati su rezultati morfoloških karakteristika determinisanih slojeva, kao i deskriptivna statistika vrednosti koncentracije hlorofila-a registrovanih u epilimnionu, metalimnionu i hipolimnionu. U zavisnosti od dubine, vrednosti koncentracije hlorofila-a u epilimnionu su značajno varirale (CV = 69,39%). Najviša vrednost (10,9 µg/l) zabeležena je na najnižoj mernoj tački sloja i bila je za oko 2,5 – 3,5 puta viša od vrednosti iz prethodnih dubinskih nivoa. U metalimnionu najviša koncentracija hlorofila-a (8,2 µg/l) izmerena je u prvih 2 metra, dok su ostale vrednosti koncentracije hlorofila-a bile relativno ujednačene i

kretale su se u rasponu 2,2 – 3,2  $\mu\text{g/l}$  (CV = 68,89%). Koncentracija hlorofila-a u dubinskim slojevima hipolimniona varirala je u uskom opsegu, na šta ukazuju i statistički parametri. Vrednost TSI za sezonski aspekt sredina leta iznosila je 40,1.

Tabela 1. Deskriptivna statistika koncentracije hlorofila-a za sezonu sredina leta.  
Table 1. Descriptive statistics of chlorophyll-a concentration for middle summer season.

Dubinski sloj	Dubina (m)	Broj merjenja	Raspon ( $\mu\text{g/l}$ )	M $\pm$ SD ( $\mu\text{g/l}$ )	CV (%)
Epilimnion	6	3	3,2 – 10,9	6,1 $\pm$ 4,21	69,39
Metalimnion	6-18	6	2,2 – 8,2	3,4 $\pm$ 2,37	68,89
Hipolimnion	> 18	7	1,8 – 2,4	2,2 $\pm$ 0,22	9,94
TSI = 40,1					

Sezonu kasno leto odlikuje dubina epilimniona od 6m, metalimnion se prostirao duž 6-18 m dubine, dok se hipolimnion prostirao od 18 m naniže (Tabela 2.).

Tabela 2. Deskriptivna statistika koncentracije hlorofila-a za sezonu kasno leto.  
Table 2. Descriptive statistics of chlorophyll concentration for late summer season.

Dubinski sloj	Dubina (m)	Broj merjenja	Raspon ( $\mu\text{g/l}$ )	M $\pm$ SD ( $\mu\text{g/l}$ )	CV (%)
Epilimnion	6	4	2,4 – 3,4	3,0 $\pm$ 0,41	13,98
Metalimnion	6-16	5	3,3 – 20,3	7,3 $\pm$ 7,3	99,74
Hipolimnion	> 16	7	2,1 – 3,0	2,3 $\pm$ 0,33	14,13
TSI = 39,2					

Apsolutna temperaturna razlika heterotermnog sloja iznosila je 10,3 °C. U epilimnionu su zabeležene bliske vrednosti koncentracija hlorofila-a, na šta ukazuju parametri deskriptivne statistike. Metalimnion karakteriše visoka vrednost koncentracije hlorofila-a (20,3  $\mu\text{g/l}$ ) zabeležena na 8 m dubine. Vrednosti koncentracije hlorofila-a bile su višestruko niže u nižim dubinama metalimniona, postepeno su sa dubinom opadale i kretale su se u rasponu od 5,3  $\mu\text{g/l}$  do 3,3  $\mu\text{g/l}$ . U hipolimnionu, sa porastom dubine merenog dubinskog stuba, registrovan je postepeni pad koncentracije hlorofila-a, a vrednosti su se kretale u uskom opsegu.. Vrednost TSI od 39,2 bila je bliska onoj iz prethodne sezone.

Heterotermnu zonu za sezonu rana jesen odlikuje temperaturna razlika od 8,9 °C sa maksimalnom temperaturom od 18,9 °C na površini, kao i produbljivanje epilimnionskog sloja, što ukazuje na postepeno gubljenje termalne stratifikacije. U Tabeli 3. dati su rezultati morfoloških karakteristika determinisanih slojeva, kao i deskriptivna statistika vrednosti koncentracije hlorofila-a registrovanih u epilimnionu, metalimnionu i hipolimnionu. U epilimnionu zabeležen je postepeni stalni porast koncentracije hlorofila-a sa porastom dubine, od 1,9  $\mu\text{l}$  na površini do 4,3  $\mu\text{l}$  u najdubljem sloju epilimniona. U vršnom sloju metalimniona (10 m) zabeležen je nagli skok koncentracije hlorofila-a od 23,0  $\mu\text{l}$ , što je ujedno i najviša koncentracija registrovana tokom istraživanja. Već u sledećem nivou zabeležena je oko 2 puta niža koncentracija hlorofila-a (11,8  $\mu\text{l}$ ), da bi se ovaj nagli pad nastavio i u preostalim slojevima metalimniona. U merenom vodenom stubu hipolimniona, sa porastom dubine, registrovan je postepen pad koncentracije hlorofila-a u rasponu od 3,4  $\mu\text{l}$  do 2,2  $\mu\text{l}$ . Vrednost TSI = 36,9 bila je nešto niža u odnosu na prethodne dve sezone.



Tabela 3. Deskriptivna statistika koncentracije hlorofila-a za sezonu rana jesen.  
Table 3. Descriptive statistics of chlorophyll concentration for early autumn season.

Dubinski sloj	Dubina (m)	Broj merjenja	Raspon ( $\mu\text{g/l}$ )	M $\pm$ SD ( $\mu\text{g/l}$ )	CV (%)
Epilimnion	8	5	1,9 – 4,3	2,8 $\pm$ 1,0	36,1
Metalimnion	8-16	4	3,7 – 23,0	10,7 $\pm$ 9,01	84,44
Hipolimnion	> 16	7	2,2 – 3,4	2,7 $\pm$ 0,42	15,71
TSI = 36,9					

U sezoni sredina jeseni zabeleženo je dalje ublažavanje termičke stratifikacije. Apsolutna temperaturna razlika heterotermne zone iznosila je 5,5 °C sa maksimalnom temperaturom od 14,2 °C, dok se epilimnion proširio na dubinu od 12 m. U Tabeli 4. dati su rezultati morfoloških karakteristika determinisanih slojeva, kao i deskriptivna statistika vrednosti koncentracije hlorofila-a registrovanih u epilimnionu, metalimnionu i hipolimnionu. U epilimnionu najniža koncentracija hlorofila-a izmerena je na površini (6,9  $\mu\text{g/l}$ ), dok su vrednosti koncentracije hlorofila-a u ostalim dubinskim nivoima epilimniona bile relativno ujednačene i kretale su se u rasponu od 11,6  $\mu\text{g/l}$  do 16,4  $\mu\text{g/l}$  sa odsustvom opadajućeg, ili rastućeg trenda. U metalimnionu koncentracija hlorofila-a varirala je u rasponu od 6,0  $\mu\text{g/l}$  do 3,8  $\mu\text{g/l}$  sa opadajućim trendom. U hipolimnionu koncentracije hlorofila-a varirale su u rasponu 2,5  $\mu\text{g/l}$  do 3,8  $\mu\text{g/l}$ , bez uzlaznog ili silaznog trenda. U ovoj sezoni došlo je do znatnog prasta vrednosti TSI = 49,5 u odnosu na sve prethodne sezone

Tabela 4. Deskriptivna statistika koncentracije hlorofila-a za sezonu sredina jeseni.  
Table 4. Descriptive statistics of chlorophyll concentration for middle autumn season.

Dubinski sloj	Dubina (m)	broj merjenja	Raspon ( $\mu\text{g/l}$ )	M $\pm$ SD ( $\mu\text{g/l}$ )	CV (%)
Epilimnion	12	7	6,9 – 16,4	13,8 $\pm$ 3,44	25,0
Metalimnion	12 - 18	3	3,8 – 6,0	4,9 $\pm$ 1,1	22,44
Hipolimnion	> 18	6	2,5 – 3,8	3,1 $\pm$ 0,47	15,27
TSI = 49,5					

Premda akumulacije predstavljaju ekosisteme koji su antropogenog porekla, ipak se uz izvesne ograde i modifikacije na njih mogu primeniti istraživački i analitički modeli razvijeni za prirodna jezera, kao i uporedna saznanja o prirodnim ekosistemima. Akumulacija „Uvac” spada u tip umereno toplih, dimiktičkih jezera koja su karakteristična za umereni pojas Evrope. Tokom toplijeg perioda godine uspostavlja se direktna stratifikacija, kada se u vodenom stubu obrazuju diferencirani epilimnion, metalimnion i hipolimnion. Direktna stratifikacija uspostavljena je u punoj meri sredinom leta, da bi već krajem leta došlo do njenog postepenog ublažavanja koje se nastavlja i tokom sledećih sezona. Homotermija vodenog stuba uspostavlja se pri kraju sezone sredina jeseni (Mićković i sar., 2015). Uticaj termičke stratifikacije, usled nemešanja termički diferenciranih slojeva, ispoljava se na vertikalnu distribuciju abiotičkih i biotičkih faktora sredine. Koncentracija hlorofila-a je dobar indikator biomase algi i njihove vertikalne distribucije u jezerima ili akumulacijama. Najviše koncentracije hlorofila-a registrovane su u metalimnionu. Ove vrednosti zabeležene su u dodirnom nivou epilimniona i metalimniona, kao i u vršnim slojevima metalimniona. U

sezoni sredina jeseni kada je stratifikacija bila znatno ublažena, mada još uvek jasno izražena, najviše vrednosti koncentracije hlorofila-a registrovane su u srednjim i donjim slojevima epilimniona. Visoke vrednosti koncentracije hlorofila-a pokazatelj su taloženja algi u nivoe gde je koncentracija nutrijenata veća, tako da tu nalaze povoljne uslove za intenzivan rast. Zabeležene koncentracije hlorofila-a i njegova vertikalna distribucija tokom perioda direktne termičke stratifikacije, u saglasnosti su sa hipotezom metalimnionskog maksimuma hlorofila za oligotrofno – mezotrofna jezera (Moll i Stoermer, 1982). Prednost Carlson – ove klasifikacije trofičkog statusa jezera i akumulacija je njena numerička osnova. Indeksi trofičnosti nalaze se u rasponu od 0 do 100, što daje mogućnost obrazovanja većeg broja klasa i veću osetljivost prilikom određivanja trofičkog statusa pojedinih vodenih tela. Generalno, vrednosti trofičkog indeksa manje od 40 odgovaraju oligotrofnim, od 40 do 50 mezotrofnim, od 50 do 80 eutrofnim, a preko 80 hipereutrofnim jezerima i akumulacijama (Vučurević i Cvetković, 2020).

Naši rezultati ukazuju, na osnovu iznete skale, da se uvačka akumulacija može klasifikovati kao mezotrofna u sezoni sredina leta, oligotrofna u sezonama kasno leto i rana jesen i kao mezotrofna u sezoni sredina jeseni.

#### Zahvalnica

Istraživanje je podržano od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (broj ugovora: 451- 03-9/2021-14/200053, 451-03-9/2021-14/ 200007).

## LITERATURA:

- Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, 22 (2): 361-369.
- Mićković, B., Nikčević, M., Smederevac-Lalić, M., Đikanović, V. (2015). Sezonski aspekti fizičko-hemijskih karakteristika voda uvačkih akumulacija. 44. konferencija o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda „Voda 2015”, Zbornik radova, 123 – 130.
- Moll, R. A., Stoermer, E. F. (1982). A hypothesis relating trophic status and subsurface chlrophyll maxima in lakes. *Arch. Hydrobiol.*, 94 (4), 425 – 440.
- Službeni glasnik RS (2011), Pravilnik o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda, br 74/2011.
- Stanković, M. S. (2005). Jezera Srbije: Limnološka monografija. Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, pp. 224.
- Vučurević, A., Đajić-Cvetković, T. (2020). Određivanje indeksa trofičkog stanja (TSI) i procena trofičkog statusa Bilečkog jezera na osnovu mjerenja koncentracije hlorofila-a. 49. konferencija o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda „Voda 2020”, Zbornik radova, 247 – 252.