

Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo Beograd
the Association for Water Technology and Sanitary Engineering

Udruženje: "Vodovodi Republike Srpske"
The Association of Republika Srpska Waterworks

Udruženje vodovoda i kanalizacije Srbije i
the Water Supply and Sewerage Association of Serbia and
International Association of Water Supply Companies
in the Danube river catchment Area and World Bank

ORGANIZUJU
WILL HOST THE

Četrnaestu međunarodnu konferenciju
Fourteenth international conference

VODOVODNI I KANALIZACIONI SISTEMI

WATER SUPPLY AND SEWAGE SYSTEMS



Jahorina, Pale
28-30. maj 2014. godine / May 28th - 30th 2014

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

628.1/.3(082)

МЕЂУНАРОДНА конференција Водоводни и канализациони системи (14 ; 2014 ; Пале)

Zbornik radova = Proceedings / Četrnaesta međunarodna konferencija Vodovodni i kanalizacioni sistemi, Jahorina, Pale, 28-30. maj 2014. = Fourteenth International Conference Water Supply and Sewage Systems, May 28th - 30th 2014 ; [organizatori]

Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo, Beograd ... [et al.] = [organized by] The Association for Water Technology and Sanitary Engineering ... [et al.] ; [urednik Branislav Kujundžić]. -

Beograd : Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo, 2014 (Beograd : Planeta print). - XIV, 364 str. : ilustr. ; 25 cm

Tiraž 250. - Napomene uz tekst. - Bibliografija uz većinu radova.

ISBN 978-86-82931-62-1

1. Удружење за технологију воде и санитарно инжењерство (Београд)

а) Воде - Контрола квалитета - Зборници б) Водовод - Зборници с) Канализација - Зборници

COBISS.SR-ID 207245580

Izdavač

Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo
Sindelićeva 21, 11000 Beograd

Za izdavača

Predsednik U.O. Udruženja za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo,
Predrag Bogdanović, dipl. ing.

Urednik

Branislav Kujundžić, dipl. ing.,

IZVRŠNI I REDAKCIONI ODBOR / EXECUTIVE AND EDITORIAL COMMITTEE

1. Prof. dr Slobodan Petković - Udruženje za tehnologiju vode / Association for Water Technology
2. Prof. dr Dragan Povrenović - TMF, Beograd / Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade
3. Prof. dr Marko Ivetić - Građevinski fakultet, Beograd / Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade
4. Rajka Čović - Udruženje: "Vodovodi Republike Srpske" / Association of Republika Srpska Waterworks
5. Branislav Kujundžić - Udruženje za tehnologiju vode / Association for Water Technology
6. Tomislav Slavković - Udruženje za tehnologiju vode / Association for Water Technology
7. Prof. dr Božo Dalmacija - PMF, Novi Sad / Faculty of Sciences, University of Novi Sad
8. Vlado Reljić - Vodovod Prijedor / Prijedor Waterworks
9. Zoran Radivojević - JKP BVK / Belgrade Water Supply and Sewerage PUC
10. Marina Živanović - JKP BVK / Belgrade Water Supply and Sewerage PUC
11. Aleksandar Šotić - JKP BVK / Belgrade Water Supply and Sewerage PUC
12. Ruy Frank - IAWD

ORGANIZACIONI ODBOR / ORGANIZING COMMITTEE

1. Svetozar Veselinović - Direktor JKP BVK / Director General of Belgrade Waterworks and Sewerage PUC
2. Branka Trinić - Predsednik Udruženje: "Vodovodi RS" / President of the Association of Republika Srpska Waterworks
3. Dragan Ivanović - Sekretar Udruženja vodovoda i kanalizacije Srbije / Secretary of the Water Supply and Sewerage Association of Serbia
4. Prof. dr Dragan Povrenović - TMF, Beograd / Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade
5. Prof. dr Božo Dalmacija, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad / FACULTY OF SCIENCES University of Novi Sad
6. Predrag Bogdanović - Predsednik UTVŠI / President of the Association for Water Technology and Sanitary Engineering
7. Damir Cesar - MIV, Varaždin
8. Enver Sinanović - HTC Sarajevo
9. Predstavnik grada Istočno Sarajevo / Representative of the City of East Sarajevo
10. Rajka Čović - Sekretar Udruženja: "Vodovodi Republike Srpske" / Secretary of the Association of Republika Srpska Waterworks
11. Dr Milka Vidović - IHTM,
12. Vlado Reljić - Direktor Vodovoda Prijedor / Director General of Prijedor Waterworks
13. Tanja Petrić - Privredna komora Srbije / Serbian Chamber of Commerce and Industry
14. Predrag Perković - Direktor A.D. "Vodovod i kanalizacija" Bijeljina / Director General of Bijeljina Water Supply and Sewerage PLC
15. Prof. dr. Marko Ivetić - Predstavnik Građevinskog fakulteta, Beograd / Representative from the Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade
16. Predstavnik Instituta "Jaroslav Černi", Beograd / Representative from the Jaroslav Černi Institute for the Development of Water Resources, Belgrade
17. Vladimir Taušanović - IAWD
18. Philip Weller - IAWD

Recenzija:

- | | | |
|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 1. Prof. dr S. Petković | 2. Prof. dr M. Ivetić | 3. Prof. dr D. Prodanović |
| 4. Prof. dr D. Povrenović | 5. Prof. dr B. Dalmacija | |

Kompjuterska obrada
Zoran Dimić

Tiraž 250

Štampa

PLANETA PRINT, Beograd

~~ISBN 987-86-82931-62-1~~

ISBN 978-86-82931-62-1

SADRŽAJ

1. PREDGOVOR	III
2. PROGRAM ČETRNAESTE MEĐUNARODNE KONFERENCIJE „VODOVODNI I KANALIZACIONI SISTEMI“ JAHORINA – PALE, 28-30. MAJ 2014. GOD.	XI

PRVA TEMATSKA OBLAST: KVALITET VODE ZA PIĆE, EVROPSKA REGULATIVA, HIDRAULIKA I TEHNOLOGIJA VODOVODNIH SISTEMA

I A. EVROPSKA REGULATIVA - JAČANJE KAPACITETA - DUNAVSKI PROGRAM

1. RAZMATRANJE NAJNOVIJIH DOKUMENATA O UNAPREĐENJE VODOSNABDEVANJA I KANALIZACIJE U SVETU	3
--	---

I B. KVALITET VODE U SISTEMIMA VODOVODA

2. JAVNOZDRAVSTVENA KONTROLA VODE ZA PIĆE U REPUBLICI SRPSKOJ <i>Dušanka Danojević, Vesna Lazić</i>	6
3. PROCENA I UPRAVLJANJE RIZICIMA U VODOVODNIM SISTEMIMA I INFORMACIONI SISTEM KVALITETA VODE ZA PIĆE U SRBIJI <i>Nebojša Veljković</i>	11
4. AUTOMATIZACIJA I UNAPREĐENJE SISTEMA ZA DEZINFEKCIJU VODE NA IZVORIŠTU “GRMIĆ” U BIJELJINI <i>Saša Bjelica, Nikola Miljković, Dragoslav Nikolić</i>	17
5. POPULACIJA CIJANOBAKTERIJE PLANKTHOTRIX RUBESCENS U AKUMULACIJI VRUTCI U PERIODU ZIMSKE CIRKULACIJE <i>Ana Blagojević, Dušan Kostić, Gordana Subakov Simić, Nenad Jaćimović, Zorana Naunović, Marko Ivetić</i>	26
6. METALIMNETIČKI DEFICIT RASTVORENOG KISEONIKA U EUTROFNIM AKUMULACIJAMA – PRIMER AKUMULACIJE ČELIJE, KRUŠEVAC <i>Dušan Kostić, Slobodan Grašić, Nenad Jaćimović, Zorana Naunović1, Marko Ivetić</i>	34

I C. TEHNOLOGIJA I HIDRAULIKA VODOVODNIH SISTEMA

7. MOGUĆA REŠENJA VODOSNABDEVANJA AP VOJVODINE NA BAZI MIKRO - I MAKROREGIONALNIH SISTEMA - ANALIZA SLUČAJA <i>Božo Dalmacija, Mile Klašnja, Jasmina Agbaba</i>	41
8. NOVA ULOGA POSTROJENJA „MAKIŠ“ U SISTEMU BEOGRADSKOG VODOVODA- PLASMAN VODE <i>Zoran Radivojević, Nataša Vuković</i>	49

9.	KALIBRACIJA HIDRAULIČKOG MODELA VODOVODNOG SISTEMA BRATUNAC SA PREDLOGOM MJERA ZA POBOLJŠANJE PERFORMANSI <i>Bojan Kovačević, Ivana Marković Kovačević</i>	55
10.	PRENOS MASE KISEONIKA U TROFAZONOM FONTANSKO-FLUIDIZOVANOM SLOJU SA CENTRALNOM CEVI <i>Milena Knežević, Dragan Povrenović</i>	62
11.	MEĐUSOBNI UTICAJ TOKOVA FLUIDA NA PONAŠANJE TROFAZNOG FONTANSKO-FLUIDIZOVANOG SLOJA <i>Milena Knežević, Natalija Zdravković, Slavica Tomić, Dragan Povrenović</i>	68
12.	PREDNOSTI U PRIMENI PAC-A KAO KOAGULANTA U PROCESIMA PRERADE VODE U PPV KOPAONIK I RAŠKA <i>Slavica Tomić, Milena Knežević, Natalija Zdravković, i Dragan Povrenović</i>	75
13.	ULOGA I ZNAČAJ HIDROČVORA „JULINO BRDO“ U SISTEMU BVS-A FAZE REALIZACIJE <i>Zoran Radivojević, Nataša Vuković</i>	79
14.	GLAVNI TUNELSKI DOVOD VODE P.P. „BANOVO BRDO“ – C.S. „TAŠMAJDAN“ VEZNA GRAĐEVINA T1*T1-T2 NA PPV „BANOVO BRDO“ <i>Zoran Radivojević, Branko Marković, Dušan Ristić</i>	83
15.	ISPITIVANJE UTICAJA UNAPREĐENE OKSIDACIJE I KOAGULACIJE NA UKLANJANJE PREKURSORA OKSIDACIONIH NUSPRODUKATA IZ PODZEMNE VODE <i>Jelena Molnar, Jasmina Agbaba, Aleksandra Tubić, Marijana Kragulj, Srđan Rončević, Božo Dalmacija</i>	90
16.	EFEKTI PRIMENE UV/H2O2 UNAPREĐENOG OKSIDACIONOG TRETMANA NA SADRŽAJ PREKURSORA DEZINFEKCIONIH NUSPRODUKATA <i>Jasmina Agbaba, Jelena Molnar, Aleksandra Tubić, Malcolm Watson, Snežana Maletić, Božo Dalmacija</i>	97
17.	PROMENA KVALITETA VODE U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI U ZAVISNOSTI OD USLOVA MEŠANJA U REZERVOARU <i>Željka Ostojić, Dušan Prodanović, Sanja Marčeta</i>	104
18.	UKLANJANJE PRIRODNIH ORGANSKIH MATERIJ I ARSENA IZ PODZEMNE VODE GRADA ZRENJANINA <i>Miroslav Kukučka, Nikoleta Kukučka, Andrej Kukučka</i>	113
19.	IDEJNI PROJEKAT POSTROJENJA ZA PREČIŠĆAVANJE POVRŠINSKE VODE (PPV) DO KVALITETA ZA NALIVANJE PODZEMLJA NA IZVORIŠTU "KLJUČ", KAPACITETA 400 L/S <i>Marko Ljuboja, Biljana Cakić, Zorana Radibratović, Ljiljana Dimkić</i>	119
20.	IDEJNI PROJEKAT OBJEKATA POSTROJENJA ZA PREČIŠĆAVANJE VODE (PPV) NA IZVORIŠTU "LOVAC" U KOSTOLCU, KAPACITETA 70 L/S <i>Marko Ljuboja, Zorana Radibratović, Biljana Cakić, Ljiljana Dimkić</i>	124

21. NAPREDNA TEHNIKA DEZINFEKCIJA VODE ZA PIĆE UŽ POMOĆ ELEKTROLIZE VODENOG RASTVORA NaCl <i>Darko Đorić</i>	129
--	-----

DRUGA TEMATSKA OBLAST: RACIONALNO POSLOVANJE VODOVODNIH SISTEMA

II A. GUBICI VODE U SISTEMIMA VODOVODA

1. STATISTIKA KVAROVA I VODOVODNE MREŽE NOVI RADNI LIST UTVSI DVGW W 402 <i>Zorana Petrović, Predrag Bogdanović, Miroljub Krstić</i>	135
2. VIŠEGODIŠNJE ISKUSTVO JP „VODOVOD I KANALIZACIJA“ GRAČANICA NA SMANJENJU GUBITAKA U VODOVODNOM SISTEMU <i>Fuad Alić, Jasmin Mulabdić</i>	141
3. O NEODREĐENOSTI INFRASTRUKTURNOG INDEKSA GUBITAKA - ILI <i>Branislav Babić, Miloš Stanić, Dušan Prodanović, Ljiljana Janković</i>	148
4. PODELA VODOVODNE MREŽE NA OSNOVNE ZONE BILANSIRANJA KORIŠĆENJEM TOPOLOŠKIH MATRICA POVEZANOSTI <i>D. Ivetić, M. Stanić, Ž. Vasilić, D. Prodanović</i>	159
5. SOFTVERSKA PODRŠKA ODREĐIVANJU OSNOVNIH ZONA BILANSIRANJA VODOVODNIH MREŽA <i>N. Branisaavljević, I. Čipranić, D. Prodanović, D. Ivetić</i>	170
6. SAVREMENA ORGANIZACIJA MERNIH MESTA NA VODOVODNOJ MREŽI U GRADU UŽICU U FUNKCIJI EFIKASNOG OČITAVANJA I BILANSIRANJA VODE <i>Miodrag Mijović, Vidoje Stevanović</i>	180
7. EKONOMSKI NIVO CURENJA U DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA VODOVODNIH SISTEMA <i>Stevo Savić</i>	188

II B. ENERGETSKA EFIKASNOST

8. STATISTIKA KVAROVA I VODOVODNE MREŽE NOVI RADNI LIST UTVSI DVGW W 402 <i>Zorana Petrović, Predrag Bogdanović, Miroljub Krstić</i>	135
9. VIŠEGODIŠNJE ISKUSTVO JP „VODOVOD I KANALIZACIJA“ GRAČANICA NA SMANJENJU GUBITAKA U VODOVODNOM SISTEMU <i>Fuad Alić, Jasmin Mulabdić</i>	141
10. O NEODREĐENOSTI INFRASTRUKTURNOG INDEKSA GUBITAKA - ILI <i>Branislav Babić, Miloš Stanić, Dušan Prodanović, Ljiljana Janković</i>	148
11. PODELA VODOVODNE MREŽE NA OSNOVNE ZONE BILANSIRANJA KORIŠĆENJEM TOPOLOŠKIH MATRICA POVEZANOSTI <i>D. Ivetić, M. Stanić, Ž. Vasilić, D. Prodanović</i>	159

METALIMNETIČKI DEFICIT RASTVORENOG KISEONIKA U EUTROFNIM AKUMULACIJAMA – PRIMER AKUMULACIJE ĆELIJE, KRUŠEVAC

Dušan Kostić^{1*}, Slobodan Grašić², Nenad Jaćimović¹, Zorana Naunović¹, Marko Ivetić¹

¹Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd

²JKP „Vodovod-Kruševac“, Dušanova 46, 37000 Kruševac

*dkostic@hikom.grf.bg.ac.rs

Apstrakt: Merenjem temperature vode i koncentracije rastvorenog kiseonika u mnogonamenskoj akumulaciji Ćelije, na reci Rasini, osmotrena je pojava negativnog heterogradnog vertikalnog profila rastvorenog kiseonika, odnosno pojava hipolimnetičkog deficita. Akumulacija Ćelije, glavno je izvoriste kruševačkog vodovodnog sistema, ali zbog nedovoljne ekološke i sanitarne zaštite zahvaćena je ubrzanom eutrofikacijom, a u bliskoj prošlosti su zabeležena i dramatična cijanobakterijska cvetanja. U toku termalne stratifikacije, fotosinteza fitoplanktona dovodi do pojave supersaturisanih koncentracija rastvorenog kiseonika u epilimnionu. U hipolimnionu se, u procesima respiracije i razgradnje organskih jedinjenja, zaliha rastvorenog kiseonika troši, a zbog postojanja termokline ne dolazi do njegovog obnavljanja, pa do početka jeseni ti vodeni slojevi postaju potpuno anoksični. Interesantno je da se u junu javlja izražen metalimnetički deficit rastvorenog kiseonika, koji je najverovatnije posledica intenzivne i lokalizovane razgradnje organske materije. U metalimnionu je, u periodu stabilne termalne stratifikacije, zabeležena povećana brojnost mikroorganizama (cfu/ml) i povećana koncentracija amonijum jona (NH_4^+) koje su posledice anaerobne razgradnje organskih jedinjenja koja u metalimnionu dospevaju tonući iz epilimniona.

Ključne reči: metalimnetički deficit kiseonika, rastvoreni kiseonik, akumulacije, eutrofikacija

1 UVOD

U vodenoj sredini kiseonik je prisutan kao slobodno rastvoren gas, ili kao hemijski vezan element. Rastvoreni kiseonik je direktan preduslov života svih aerobnih akvatičnih organizama, a od njegovog prisustva zavise mnogi hemijski i biohemijski procesi. U oksičnim uslovima, fosfor je uglavnom vezan u sedimentu i kao takav je nedostupan primarnim proizvođačima. U oksičnim uslovima, mangan i gvožđe se nalaze u formi nerastvorljivih, taložljivih oksida. U anoksičnim uslovima, nastupaju redoks reakcije, pa ortofosfati, gvožđe i mangan, kao joni rastvorljivi u vodi, iz sedimenta dospevaju u vodenu kolonu (Wetzel, 1975; Zaw i Chiswell, 1999; Reed, 2011). Ortofosfati tada postaju dostupni primarnim proizvođačima, dok mangan i gvožđe komplikuju tretman vode za piće.

Kiseonik se proizvodi u procesima fotosinteze i reaeracije, a troši se u procesima aerobne razgradnje organske materije, u procesima nitrifikacije i respiracije. Rastvorljivost gasova u vodi, zavisna je od temperature, pritiska, saliniteta (Bohrer i Schultze, 2008). Zbog toga i koncentracija i stepen zasićenosti rastvorenim kiseonikom zavise od temperature i dubine vode. Zbog svega navedenog, količina rastvorenog kiseonika, varira u vremenu i prostoru i snažno zavisi od termodinamičkih i hidrodinamičkih procesa u jezerima i akumulacijama (Fisher, 1979; Orlob, 1983; Hutter, 2011).

U zavisnosti od sezone i trofičnosti, jezera i akumulacija umerenog klimata, mogu se sresti: ortogradni, klinogradni i heterogradni vertikalni profili rastvorenog kiseonika (Wetzel, 1975). Heterogradni profil, može biti pozitivan ili negativan, u zavisnosti da li je u metalimnionu ostvaren lokalni maksimum odn. lokalni minimum koncentracije rastvorenog kiseonika. Negativan heterogradni profil rastvorenog kiseonika, karakterističan je za eutrofna jezera, pri čemu se poreklo metalimnetičkog deficita objašnjava različitim mehanizmima. U metalimnionu se gomila organska materija iz epilimniona i tu biva zarobljena usled nagle promene gustine i viskoznosti. Bakterije je razlažu trošeći kiseonik (Birge i Juday, 1911; Thornton, 1968; Effler, 1998; Johnk i Umlauf, 2001). Shapiro (1960) je, izučavajući jezero Vašington, došao do zaključka da je metalimnetički minimum kiseonika posledica respiracije nemigrirajućih copepoda (zooplankton). Ovaj zaključak je neretko kritikovan od strane drugih istraživača

Očigledno je da u metalimnionu dolazi do nagomilavanja organskih jedinjenja, koja tonu u epilimnionu, ali se zbog postojanja termokline usporava njihovo vertikalno kretanje nadole, obzirom na to da dolaze u kontakt sa hladnijom vodom veće gustine i viskoznosti. Organska jedinjenja, detritus predstavljaju hranljivi supstrat mikroorganizmima koji ih razgrađuju trošeći kiseonik. Ispitivanja u laboratorijama Vodovoda Kruševac pokazuju relativno visoku koncentraciju amonijum jona i povećan sadržaj mikroorganizama u zoni termokline. Očigledno je da relativno visoka temperatura u zoni termokline i bogat detritus koji se zaustavlja u metalimnionu zahvaljujući različitoj gustini vodenih slojeva omogućuju opstanak gušćih populacija razlagača i njihovu intenzivniju životnu aktivnost koja se zasniva na ishrani organskim jedinjenjima sadržanim u detritusu; sledstveno tome, zbog intenzivnijih procesa disanja, troši se više kiseonika, a posledica je njegova heterogradna distribucija. U svemu tome, mnogo interesantniju i zasad još nedovoljno objašnjenu pojavu predstavlja povećanje koncentracije i saturacije rastvorenog kiseonika u hipolimnionu u odnosu na iste u metalimnionu. To se može zasnivati na dvema pojavama. Moguće je da je zbog manjeg sadržaja razlagača u hipolimnionu u odnosu na metalimnion i kontaktni sloj voda-sediment manja i potrošnja kiseonika. Međutim, osim u slučajevima kad se radi o končastim modrozelenim bakterijama koje preferiraju tamniju i hladniju vodu, kao što je na primer *Planktothrix*, postoji fenomen tonjenja fitoplanktona, odnosno nalaženje njegovih pripadnika, posebno silikatnih alga (Bacillariophyceae), duboko ispod kompenzacione tačke (Kiefer et al., 1972). Ta pojava je redovna u jezeru Čelije i *chlorophyll a* može se naći tokom cele godine u određenim koncentracijama u celoj zapremini praktično do samog dna; koliko su te alge fotosintetički aktivne i koliko kiseonika mogu proizvesti u krajnje oskudnim svetlosnim uslovima zasad je nepoznato; za bolje poimanje te pojave, potrebno je detaljno ispitivanje svetlosne klime u vodi.

Zahvalnost

Rad je deo naučnog projekta *Merenje i modeliranje fizičkih, hemijskih, bioloških i morfodinamičkih parametara reka i vodnih akumulacija – MORE*, finansijski podržanog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, a čiji je nosilac Građevinski fakultet iz Beograda. Autori su zahvalni ministarstvu i JKP Vodovod Kruševac na tehničkoj i logističkoj podršci prilikom terenskih merenja.

LITERATURA

1. Wetzel, R.G. (1975). *Limnology*. W. B. Saunders Co., Philadelphia, London and Toronto
2. Zaw, M. and B. Chiswell. (1999). *Iron and manganese dynamics in lake water*. Wat. Res. Vol. 33, No. 8, pp. 1900-1910, Pergamon
3. Reed, D. C., Slomp, C. P. and B. G. Gustafsson. (2011). *Sedimentary phosphorus dynamics and the evolution of bottom-water hypoxia: A coupled benthic-pelagic model of a coastal system*. Limnology and Oceanography, 56(3), 1075-1092
4. Boehrer, B., and M. Schultze. (2008). *Stratification of lakes*. Review of Geophysics, 46, RG2005
5. Fischer, H. B. (1979). *Mixing in inland and coastal waters*. Academic Press
6. Orlob, G. T. (1983). *Mathematical modeling of water quality: streams, lakes, and reservoirs*. International Series on Applied Systems Analysis, John Wiley and Sons
7. Hutter, K., Wang, Y. and I. P. Chubarenko. (2011). *Physics of Lakes: Volume 1: Foundation of the Mathematical and Physical Background*. Advances in Geophysical and Environmental Mechanics and Mathematics. Springer – Verlag, Berlin
8. Birge, E. A., and C. Juday. (1911). *The inland lakes of Wisconsin: The dissolved gases of the water and their biological significance*. Wisconsin Geological and Natural History Survey Bulletin. Reprinted in Birge and Juday 1977.
9. Thornton, K. W., Kimmel, B. L. and F. E. Payne. (1990). *Reservoir limnology: Ecological perspectives*. John Wiley & Sons, Inc., Somerset, New Jersey. 246 p.
10. Effler, S. W., Gelda, R.K., Perkins, M. G. and D. A. Matthews. (1998). *Characteristics and Origins of Metalimnetic Dissolved Oxygen Minima in a Eutrophic Reservoir*. Journal of Lake and Reservoir Management 14(2-3): 332-343
11. Johnk, K.D. and L. Umlauf. (2001). *Modelling the metalimnetic oxygen minimum in a medium sized alpine lake*. Ecological Modelling, 136: 67-80