



Eseji o održivom razvoju predstavljaju tematsku sintezu radova više autora o istoriji razvoja Srbije sagledavanjem složenog progresivnog socijalnog i ekonomskog procesa u periodu dužem od jednog veka. Radovi podeljeni u tri tematske celine se mogu čitati i posebno, ali integralno predstavljaju istorijski prikaz procesa dugog trajanja privrednog, tehnološkog i kulturnog preobražaja srpskog društva.

U skladu sa sadržajem *Eseja o održivom razvoju* u pogovoru je detaljnije razmotren jedan deo privrede kao važan činilac industrijalizacije - vodoprivreda, koja dobro reprezentuje sve navedene činioce i njihove međusobne podsticaje.

Naša vodoprivreda ima potreban kadrovski potencijal, sa velikim iskustvom i značajnim domaćim i međunarodnim referencama. Naši osnovni problemi se odnose na finansiranje sektora voda i poboljšanje institucionalne organizacije vodoprivrede. U tom domenu su potrebna adekvatna sistemska rešenja, koja se mogu očekivati sa donošenjem novog zakona o vodama i stabilnim izvorima finansiranja vodoprivrede.

Prof. dr Slobodan Petković

Sve za Vašu laboratoriju na jednom mestu

WALDNER
Firmengruppe

Laboratorijski
nameštaj i digestori

Thermo
SCIENTIFIC

Analitička oprema: FT-IR i FT-NIR, FT-IR
Raman, UV/VIS HPLC, IC, GC, GC-MS,
LC, LC-MS, HRES, AAS, ICP, ICP-MS,
TOC, TS/TN/TOX OES; XRF; NMR.
Generalna oprema: Inkubatori,
Viskozimetri, Pipete,....

FEI

Elektronski
mikroskopi

FEDEGARI
GROUP

Laboratorijski
autoklavi-parni
sterilizatori

ATAGO

Refraktometri i
polarimetri

SOTAX

Oprema za Dissolution
test i testiranje fizičkih
karakteristika tableta

HACH

Laboratorijska i
procesna oprema u
analitici vode

suez

TOC

[ZOONLAB]
READY FOR EXCELLENCE

Kavezi i ventilaciona
oprema za
laboratorijske
životinje

professional
Riebesam

Mašine za pranje i
dezinfekciju
laboratorijskog
posuđa i delova

BERGHOF
seit 1966

Peći za digestiju

KERN
WAAGEN · GEWICHTE · BALANCES · WEIGHTS

Vage i tegovi

Retsch

Mlinovi i sejalice

ANALYSIS d.o.o.

Gandijeva 76a, 11070 Novi Beograd; Tel/fax: +381-(0)-11-318-64-46; +381-(0)-11-318-64-48
e-mail: info@analysis.rs; www.analysis.rs

**Za izdavača****Representative of the Publisher**

Predrag Bogdanović, dipl. ing.

Predsednik Upravnog odbora Udruženja

Chairman, Association's Board of Directors

**Glavni i odgovorni urednik:****Editor-in-chief**

Prof. dr Slobodan Petković, dipl. ing.

**Redakcioni odbor:****Editorial Board**

Prof. dr Marko Ivetić, dipl. ing.

Prof. dr Jasmina Agbaba, dipl. hem.

Prof. dr Božo Dalmacija, dipl. ing.

Dragana Milovanović, dipl. ing.

Doc. dr Vladimir Pavićević, dipl. ing.

Gordana Perović, dipl. ing.

Dr Aleksandar Šotić, dipl. ing.

Prim. dr Tanja Knežević

Dr Nebojša Veljković, dipl. ing.

Prof. dr Zoran Stevanović, dipl. inž.

**Urednici:****Editors**

Miodrag Milovanović, dipl. ing.

Prof. dr Stevan Prohaska, dipl. ing.

**Saradnici iz inostranstva:****International Associates**

Prof. dr. Čedomir Maksimović - Velika Britanija

Dr Branislav Petruševski - Holandija

Nikola Milojević, dipl. ing. - Nemačka

Dr Uroš Kranjc, dipl. ing. - Slovenija

**Redaktor poslovnih informacija****Business Information Editor**

Tomislav Slavković, dipl. ing.

**Redakcija / Office****UDRUŽENJE ZA TEHNOLOGIJU VODE I
SANITARNO INŽENJERSTVO**

11000 BEOGRAD, Terazije 23/II/203

Tel: 011/244-22-28 • Fax: 011/244-11-93

011/344 89 04

office@utvsi.com • www.utvsi.com

YU ISSN 0350-5049
UDK 628 + 624 + 626**voda****I SANITARNA TEHNIKA**ČASOPIS UDRUŽENJA ZA TEHNOLOGIJU VODE I SANITARNO INŽENJERSTVO • BEOGRAD
MAGAZINE OF THE ASSOCIATION FOR WATER TECHNOLOGY AND SANITARY ENGINEERING • BELGRADE

broj 3-4/2020

**SADRŽAJ
CONTENTS****VODOVODI U SRBIJI 2015-2019 GODINE****OSNOVNI POKAZATELJI RADA JKP KOJA SE BAVE SNABDEVANJEM VODOM I
KANALISANJEM NASELJA****WATER SUPPLY IN SERBIA 2015-2019****BASIC PERFORMANCE INDICATORS OF PUCS WHICH DEAL WITH WATER SUPPLY AND
SEWERAGE OF SETTLEMENTS**

- **PREDRAG BOGDANOVIĆ, MILAN PETROVIĆ, NINOSLAV PETROVIĆ...5**

EKOLOŠKI POTENCIJAL AKUMULACIJA ZA VODOSNABDEVANJE U SRBIJI**ECOLOGICAL POTENTIAL OF THE RESERVOIRS FOR WATER SUPPLY IN SERBIA**

- **SNEŽANA ČAĐO, BORIS NOVAKOVIĆ, ALEKSANDRA ĐURKOVIĆ,
LJUBIŠA DENIĆ, TATJANA DOPUĐA GLIŠIĆ, ZORAN STOJANOVIĆ,
NEBOJŠA VELJKOVIĆ, MILICA DOMANOVIĆ, DUNJA ŽARIĆ19**

**UTICAJ SEZONSKIH VARIJACIJA NA FIZIČKO-HEMIJSKE PARAMETRE KVALITETA
VODE REKE DUNAV KOD NOVOG SADA**

- **JELENA MOLNAR JAZIĆ, ALEKSANDRA TUBIĆ, MARIJANA KRAGULJ
ISAKOVSKI, SNEŽANA MALETIĆ, DEJAN KRČMAR, TAMARA
APOSTOLOVIĆ, JASMINA AGBABA41**

**INDIKATOR URBANE ODRŽIVOSTI NA NACIONALNOM NIVOU – STUDIJA SLUČAJA
ZA SRBIJU****URBAN SUSTAINABLE INDICATOR AT THE NATIONAL LEVEL – CASE STUDY FOR SERBIA**

- **NEBOJŠA VELJKOVIĆ, TAMARA PERUNOVIĆ, MILORAD JOVIČIĆ,
LJUBIŠA DENIĆ, TATJANA DOPUĐA GLIŠIĆ, NEBOJŠA REDŽIĆ,
SANDRA RADIĆ47**

**ISTRAŽIVAČKO ISKUSTVO U UPOTREBI SATELITSKE TEHNOLOGIJE ZA OTKRIVANJE
CURENJA NA VODOVODNOJ MREŽI PANČEBO, KOVIN, KOVAČICA**

- **STEVO SAVIĆ 53**

**EPIDEMIOLOGIJA ZASNOVANA NA PRAĆENJU SASTAVA OTPADNE VODE URBANE
SREDINE**

- **M. SREMAČKI, N. ŽIVANČEV, J. RADONIĆ, M. VOJINOVIĆ MILORADOV,
M. PETROVIĆ 63**

IN MEMORIAN67**CENOVNIK TEHNIČKIH PRAVILA69**



YU ISSN 0350-5049
UDK 628 + 624 + 626

IZDAVAČ

UDRUŽENJE ZA TEHNOLOGIJU VODE I SANITARNO INŽINJERSTVO

11000 BEOGRAD, Terazije 23/II/203
TEL: (+381 11)244 222 8; 344 89 04
FAX: (+381 11)244 11 93
E-mail: office@utvsi.com
Web: www.utvsi.com

PUBLISHER

ASSOCIATION FOR WATER TECHNOLOGY AND SANITARY ENGINEERING

11000 BEOGRAD, Terazije 23/II/203
TEL: (+381 11)244 222 8; 344 89 04
FAX: (+381 11)244 11 93
E-mail: office@utvsi.com
Web: www.utvsi.com

Radove slati na e-mail Udruzenja:
office@utvsi.com

*Please send your paper via e-mail to
office@utvsi.com*

Grafička priprema

Page layout

Katarina Čović, Beograd

Štampa

Printed by

Planeta Print, Beograd

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

628

VODA i sanitarna tehnika : časopis
Udruženja za tehnologiju vode = Water and
sanitary technology : magazine of the
Association for water technology and sanitary
engineering / glavni urednik Slobodan
Petković. - God. 1, br. 1 (1971)- . -
Beograd : Udruženje za tehnologiju vode i
sanitarno inženjerstvo, 1971- (Beograd :
Planeta print). - 30 cm

Dvomesечно
ISSN 0350-5049 = Voda i sanitarna tehnika



REČ GLAVNOG UREDNIKA

Poštovani čitaoci,

Drugo štampano izdanje Udruženja za sanitarno inženjerstvo i sanitarnu tehnologiju u 2020. godini je drugi dvobroj 3-4 časopisa „Voda i sanitarna tehnika“. Kao što je poznato, časopis izlazi u vreme trajanja pandemije virusa korona – covid 19. Prema opštoj oceni, ovaj globalni fenomen je po svojoj razmeri i značaju prevazišao sve događaje posle Drugog svet-skog rata. Pandemija je duboko poremetila život na celoj planeti i uticala na sve ljudske aktivnosti. U takvoj atmosferi, izlazak „Vode i sanitarne tehnike“ je pravi podvig. Uredništvo časopisa je zauzelo stav da se, upkos svemu, mora zadržati kontinuitet objavljivanja našeg štampanog izdanja. Nadamo se da će naši čitaoci ceniti naš trud i volju da im obezbedimo sve relevantne informacije i sadržaje u oblasti sanitarne hidrotehnike, vodoprivrede i ekologije.

U ovom broju časopisa objavljujemo više veoma interesantnih radova:

• **Vodovodi u Srbiji 2015-2019**

Počevši od 2015. godine UTVSI prikuplja i obrađuje podatke o radu JKP koja se bave snabdevanjem vodom za piće, prikupljanjem, odvođenjem i prečišćavanjem otpadnih voda. Podaci se prikupljaju kroz namenski upitnik, po metodi IBNET-a, a popunjavanje upitnika je zakonska obaveza. Obradene upitnike UTVSI dostavlja Ministarstvu i Vladi Srbije, tako da postaje zvaničan dokument.

Na osnovu prethodnog prikaza se može zaključiti da ovaj broj časopisa tretira raznovrsnu problematiku u oblasti vodoprivrede i ekologije. U tom okviru se posebno ističe rad „Ekološki potencijal akumulacija za vodosnabdevanje u Srbiji“, imajući u vidu značaj akumulacija za rešavanje problema snabdevanja vodom za piće. U oblasti kaliteta rečnih voda je interesantan rad o kvalitetu reke Dunav, pod uticajem sezonskih varijacija fizičko-hemijskih parametara. Posebno treba istaći pregledni rad o aktivnostima javnih komunalnih preduzeća u domenu snabdevanja vodom za piće, prikupljanja, odvođenja i prečišćavanja otpadnih voda. Ovaj pregled daje vrlo jasnu sliku o stanju vodo-vodnih i kanalizacionih sistema u Srbiji.

• **Ekološki potencijal akumulacija za vodosnabdevanje u Srbiji**

Agencija za zaštitu životne sredine od 2012. godine vrši monitoring statusa površinskih voda Srbije, koji uključuje i akumulacije za vodosnabdevanje stanovništva. U ovoj studiji ukupno je obuhvaćeno 15 akumulacija. Za procenu ekološkog potencijala akumulacija praćeni su sledeći biološki elementi kvaliteta: fitoplankton, fitobentos i makroinvertebrate, opšti fizičko-hemijski elementi, specifične zagađujuće supstance i parametri trofičkog statusa. Rezultati ispitivanja pokazuju da su procesi eutrofikacije akumulacija uznapredovali i da se to ozbiljno odrazilo na kvalitet vode.

• **Uticaj sezonskih varijacija na fizičko-hemijske parametre kvaliteta vode reke Dunav kod Nevog Sada**

Tokom proteklih decenija pod uticajem klimatskih promena primećeno je zagrevanje jezera i reka. Sezonske varijacije i klimatske promene imaju uticaj na procese koji se odvijaju u akvatičnim ekosistemima, zdravlje ljudi i pouzdanost tehnologije pripreme vode za piće, kao i povećanje operativnih troškova upravljanja vodnim sistemima. Kako bi se na vreme preduzele adekvatne mere za prilagođavanje na klimatske promene, pred Međunarodnu komisiju za zaštitu reke Dunav je postavljen zadatak da razvije Strategiju za prilagođavanje klimatskim promenama u slivu reke Dunav do 2012. godine. U radu je prikazan pregled uticaja sezonskih varijacija na fizičko-hemijske parametre kvaliteta vode reke Dunav kod Novog Sada u periodu od 2005-2018. godine.

• **Indikator urbane održivosti na nacionalnom nivou – studija slučaja za Srbiju**

U radu je prezentovana analiza koja ima za cilj da ukaže na stanje kvaliteta vodotokova kao posledicu uticaja ispuštanja gradskih otpadnih voda i predloži smernice za definisanje prioriteta u izgradnji gradskih postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda (GPPPOV). Analiza je urađena korišćenjem indikatora *Serbian*

Water Quality Index (SWQI) na nacionalnom nivou. Rezultati istraživanja mogu pomoći donosiocima odluka na nacionalnom i lokalnom nivou u praćenju napretka ka postavljenim ciljevima zaštite voda.

- **Istraživačko iskustvo u upotrebi satelitske tehnologije za otkrivanje curenja u vodovodnoj mreži**

Satelitsko snimanje vodovodne mreže je nova tehnologija u otkrivanju curenja, odnosno gubitaka vode, na distributivnim mrežama vodovodnih sistema. Preciznost i moć ove tehnologije pomažu, da se terenskim akustičnim uređajima pronađu i saniraju pojedine neotkrivene grupe iz obe kategorije stvarnih i komercijalnih gubitaka. Prva ovdašnja istraživanja, sa novom tehnologijom, i sa prikazanim rezultatima, izvedena su na području Pančeva, Kovina i Kovačice.

- **Epidemiologija zasnovana na praćenju sastava otpadne vode urbanih sredina**

Praćenja kvalitativnog i kvantitativnog sastava otpadnih voda urbane sredine može da omogući uvid u različite navike i stanja ljudske populacije na teritoriji naseljenog mesta koje se posmatra. Epidemiologija zasnovana na kvalitativnom i kvantitativnom sastavu otpadne vode urbane sredine podrazumeva praćenje bio-hemijskih markera unutar jednog urbanog siste-

ma. Ovakav pristup daje uvid u zdravstveni status populacije u epidemiološkom smislu, navike i kretanja legalnih i ilegalnih medikamenata i psiohooaktivnih kontrolisanih susptanci, promene u ponašanju populacije ili nagle promene u broju popupulacije, nepredviđene prirodne ili antropogene uticaje i drugo.

- **Poseban deo ovog dvobroja je i poklon CD – elektronska publikacija „Eseji o održivom razvoju“**

Predstavljena je tematska sinteza radova više autora o istoriji razvoja Srbije sagledavanjem složenog progresivnog socijalnog i ekonomskog procesa u periodu dužem od jednog veka. Radovi podeljeni u tri tematske celine se mogu čitati i posebno, ali integralno predstavljaju istorijski prikaz procesa dugog trajanja privrednog, tehnološkog i kulturnog preobražaja srpskog društva.

Poštovani čitaoci, izlaskom dvobroja 3-4 časopisa u 2020. godini obezbedili smo kontinuitet izdavanja „Vode i sanitarne tehnike“ i u najtežim uslovima. Očekujemo da bi ovaj broj časopisa mogao da bude podstrek svim našim čitaocima i saradnicima da nastave svoje profesionalne aktivnosti, kako bi se svi, u bliskoj budućnosti, vratili u „normalan život“.

Prof. dr Slobodan PETKOVIĆ



Predrag BOGDANOVIĆ, Milan PETROVIĆ, Ninoslav PETROVIĆ

VODOVODI U SRBIJI 2015-2019 GODINE

Osnovni pokazatelji rada JKP koja se bave snabdevanjem vodom i kanalisanjem naselja

WATER SUPPLY IN SERBIA 2015-2019

Basic performance indicators of PUCs which deal with water supply and sewerage of settlements

IZVOD

Počevši od 2015. godine UTVSI prikuplja i obrađuje podatke o radu JKP koja se bave snabdevanjem vodom za piće, prikupljanjem, odvođenjem i prečišćavanjem otpadnih voda. Podaci o radu JKP ViK se prikupljaju kroz namenski upitnik, baziran na pitanjima po metodi IBNET-a, neznatno proširivan tokom godina. Kako je popunjavanje upitnika zakonska obaveza JLS, to MGSI svake godine prosleđuje upitnike na JLS, a one do JKP. UTVSI prikuplja i obrađuje popunjene upitnike i dostavlja godišnji izveštaj Ministarstvu, koje ga uz izveštaje o radu ostalih JKP predstavlja Vladi Srbije, koja ga analizira i prihvata, tako da izveštaj postaje zvaničan dokument Vlade. Na ovaj način stiče se detaljniji uvid u stanje u preduzećima ViK, omogućava sagledavanje povoljnih i nepovoljnih pokazatelja, tendencija, kao i mogućnosti za unapređenja njihovog rada. Kroz ovaj izveštaj predstavljeni su osnovni pokazatelji rada preduzeća, trendovi, najvažnija zapažanja i preporuke. Veliku pomoć u aktivnostima prikupljanja, definisanja i poređenja pokazatelja poslovanja preduzeća sektora voda (benčmarking) su godinama pružali Svetska banka (WB) i Međunarodno udruženje preduzeća koja se bave snabdevanjem vodom u slivu Dunava (IAWD), u okviru Dunavskog programa voda (DWP).

ABSTRACT

Starting from 2015, UTVSI collects and processes data on the work of PUCs dealing with drinking water supply, collection, drainage and wastewater treatment. Data on the work of PUC Water and sewage are collected through a dedicated questionnaire, based on questions according to the IBNET method, slightly expanded over the years. Filling in the questionnaire is a legal obligation of the local self-government, according to MGSI, which forwards the questionnaires to LGU every year, and those to PUC. UTVSI collects and processes the completed questionnaires and submits the annual report to the Ministry, which analyzes and accepts it, and then presents it to the Government of Serbia, so that the report becomes an official document of the Government of Serbia. In this way, a more detailed insight into the situation in PUC companies is gained, it enables an understanding of favorable and unfavorable indicators, tendencies, as well as opportunities for improving their work. This report presents the basic indicators of the company's work, trends, the most important observations and recommendations. The World Bank (WB) and the International Association of Water Supply Companies in the Danube Basin (IAWD) have provided great assistance in collecting, defining and comparing the performance indicators of water sector companies (IAWD) within the framework of the Danube Water Program (DWP).

1. UVOD

Ovaj izveštaj i analitika urađeni su na osnovu obrađenih upitnika koji sadrže ukupno 162 pitanja. U tabeli broj 1 dat je pregled uspešnosti procesa prikupljanja podataka od 2015 do 2019 godine. Pored upitnika korišćeni su i drugi dostupni izvori:

- javno dostupni podaci iz Agencije za privredne registre (APR),
- podaci RZS (Eko bilteni, Statistički godišnjaci i Saopštenja „Snabdevanje pitkom vodom“ i „Otpadne vode iz naselja“, Procene stanovništva i drugo)

1. INTRODUCTION:

This report and analytics were done on the basis of processed questionnaires containing a total of 162 questions. Table 1 provides an overview of the success of the data collection process from 2015 to 2019. In addition to the questionnaire, other available sources were used:

- Publicly available data from Agency for Business Registers (ABR) - Balance sheets of Public Utility Companies
- Publicly available data from Statistical Office of the Republic of Serbia (SORS) - Eco-bulletins, Statistical yearbooks, publications: Drinking

Predrag BOGDANOVIĆ dipl. građ. inž, Milan PETROVIĆ dipl. građ. inž, Ninoslav PETROVIĆ dipl. građ. inž. – Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo



- Godišnji izveštaji o obavljanju komunalnih delatnosti na teritoriji republike Srbije (Ministarstvo građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture)
- Godišnji izveštaji Instituta za javno zdravlje Srbije „Dr Milan Jovanović Batut“)

O snabdevanju vodom 171 JLS (jedinice lokalne samouprave) u Srbiji se brine 146 komunalnih preduzeća opštinskih/gradskih centara, i nepoznat broj preduzeća koja se brinu o naseljima van tih centara. Preduzeća koja se bave snabdevanjem vodom i kanalizacijom naselja su različito organizovana:

- Po obuhvatu: regionalna, gradska (opslužuju više opština), opštinska (opslužuju pojedinačne opštine), zajednička za više opština, više preduzeća opslužuje jednu istu opštinu, preduzeća koja snabdevaju pojedinačna naselja...
- Po vrsti usluge: samo usluge vodovoda ili samo usluge kanalizacije, usluge vodovoda i kanalizacije, komunalna preduzeća opšteg tipa.

Pored komunalnih preduzeća opštinskog/gradskog nivoa postoji i jedan broj manjih javnih vodovoda koji se brinu o pojedinim naseljima van centara JLS. Prema podacima iz Instituta „Batut“ broj ovih vodovoda kreće se u granicama 800 – 1000.

2. SNABDEVANJE VODOM

Osnovni podaci dobijeni iz prikupljenih i obrađenih upitnika prikazani su u tabeli 2.

Snabdevanje vodom je uglavnom kontinualno, sem u slučajevima havarija i u gradovima sa hroničnim nedostatkom pitke vode.

water supply, Water use and protection against pollution, Urban wastewater...)

- Annual reports on performing communal activities on the territory of the Republic of Serbia (Ministry of Construction, Transport and Infrastructure)
- Report on the health safety of drinking water for public waterworks and water facilities in the Republic of Serbia (Institute of Public Health of Serbia “Dr Milan Jovanović Batut”).

There are 146 municipal water utility companies of city centers taking care of the water supply and sewerage of 171 ULSG. Companies that deal with water supply and sewerage of settlements are differently organized:

- Area covered: regional, city (served by several municipalities), municipal (served by individual municipalities), common to several municipalities, more companies serve the same municipality, companies that supply individual settlements ...
- Type of service: only water supply services, or only sewerage services, water and sewerage services, utility companies of general type.

In addition to municipal / city level utilities, there are a number of smaller public water utilities that take care of individual settlements outside the local self-government centers. According to the data from the “Batut” Institute, the number of these local water suppliers ranges from 800 to 1000. Exact number of them is not known.

2. WATER SUPPLY

Basic data obtained from the collected and processed questionnaires are shown in table 2.

The water supply is in general continuous, except in the accidents, or in cities with permanent lack of drinking water.

Tabela 1: Prikupljanje podataka za period 2015-2019. godina

Table 1: 2015-2019 data collection

R. br.	Stavka	Podaci za godinu				
		2015	2016	2017	2018	2019
1	Broj prikupljenih upitnika	135	152	126	140	141
2	Broj prihvaćenih upitnika	129	140	109	119	133
3	Broj pokrivenih opština	149	156	124	128	150
4	Pokrivenih stanovnika	91,4%	98,6%	88,5%	93%	92%

Tabela 2: Osnovni podaci o snabdevanju vodom

Table 2: Water supply – basic data

R. br.	Stavka	Godina				
		2015	2016	2017	2018	2019
1	Priključenost na centralne sisteme snabdevanja vodom (%)	84,5	83,3	83,9	86,4	84,2
2	Dužina distributivne vodovodne mreže (km) po preduzeću	220	205	233	235	237
3	Broj postrojenja za prečišćavanje vode	-/-	56	56	59	69

2.1. Bilans voda

Bilans vode iz javnih vodovoda od 2015 do 2019 godine se daje u tabeli 3.

Procenat potrošnje vode očitane pomoću vodomera je visokih 92-98%.

Procenat merenja vode na izvoristima je 87%. Ohrabruje činjenica da je oko 80% vodovoda u manjoj ili većoj meri uvelo merenja na distributivnoj mreži.

Slika 1 prikazuje promene bilansa vode u periodu od 2004 do 2019 godine (podaci RZS).

Primetni su blagi tendenci smanjenja količina zahvaćene i isporučene vode, i povećanja količina izgubljene vode.

2.1. Water balance

Balance of water from public water supply systems is shown in table 3.

The percentage of water consumption read by water meter is high: 92-98%.

The percentage of measuring of abstracted water at the source-fields is 87%. Encourages the fact that about 80% of waterworks started measurements in their distribution networks.

Figure 1 shows the trend of the water balance from 2004-2019 (data - SORS).

There are slight tendencies to reduce the amount of water abstracted and of consumption itself, and to increase of the amount of water losses.

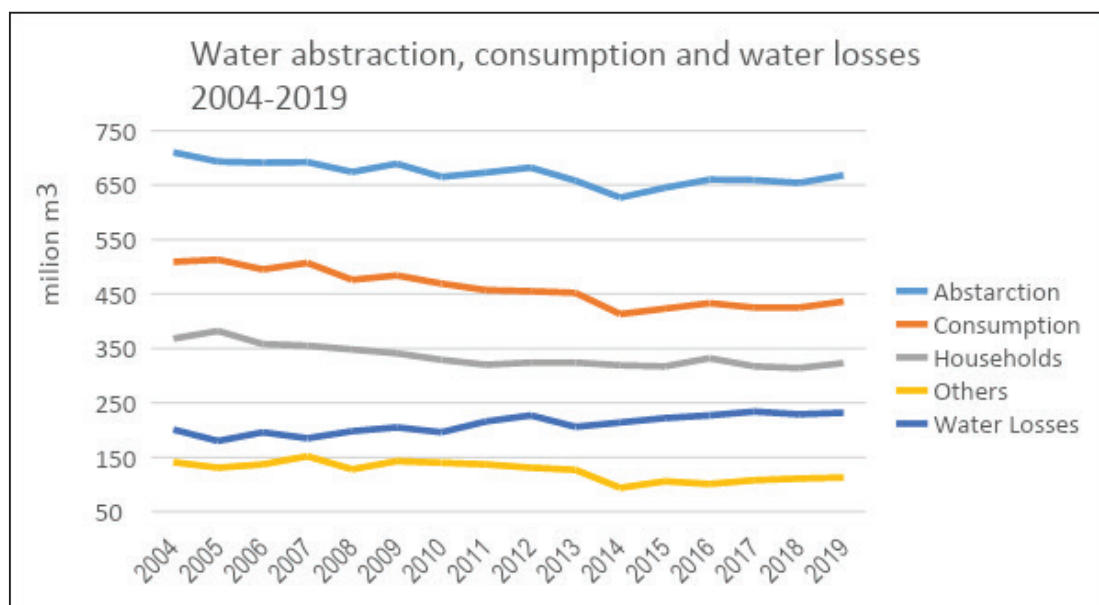
Tabela 3: Bilans vode u iz javnih vodovoda

Table 3: Balance of water from public water supply systems

R. br.	Stavka	2015		2016		2017		2018		2019	
		10 ⁶ m ³	%	10 ⁶ m ³	%	10 ⁶ m ³	%	10 ⁶ m ³	%	10 ⁶ m ³	%
1	Proizvedena voda	597	100	609	100	565	100	582	100	612	100
2	Prodana voda¹⁾	365	61	360	59	335	59	344	59	359	59
2.1	Na osnovu vodomera ²⁾	345	95	350	97	325	97	337	98	331	92
2.2	Domaćinstva ²⁾	288	79	289	80	268	80	276	80	289	81
2.3	Privreda ²⁾	54	15	48	13	49	15	47	14	60	17
2.4	Ostali ²⁾	23	6	19	5	18	5	21	6	11	3
3	Gubici vode¹⁾	232	39	249	41	230	41	238	41	253	41

1) U odnosu na proizvedenu vodu

2) U odnosu na prodatu vodu



Slika 1: Bilans vode u Republici u periodu 2004-2019

Figure 1: balance of water from public water supply system 2004-2019



Gubici vode

Uobičajen parametar za izražavanje veličine gubitaka vode je tzv. „voda koja ne donosi prihod“ (NRW – Non-Revenue Water), koja predstavlja sve količine vode koje nisu fakturisane iz bilo kog razloga (fizički i komercijalni gubici, i voda isporučena bez naplate).

Tabela 4 prikazuje promene dva uobičajena IWA pokazatelja vode koja ne donosi prihod: gubici vode po kilometru mreže na dan, i gubici vode po priključku na dan:

Količina vode koja ne donosi prihod predstavlja već godinama oko 41% ukupno proizvedene vode. Ta količina od preko 250 miliona m^3 je skoro 50% veća od ukupno prodane vode u četiri najveća grada - Beogradu, Novom Sadu, Nišu i Kragujevcu sa oko 2,5 mil potrošača ~170 miliona m^3 .

Pažnja koja se poklanja problemu vode koja ne donosi prihod je različita od preduzeća do preduzeća, i generalno nedovoljna. Opremu za pronalaženje gubitaka vode i timove za rad sa tom opremom ima svega oko 43% preduzeća. Više je uzroka za nedovoljnu posvećenost preduzeća vodovoda ovim aktivnostima, a čini se i niska cena vode, pa se navodno „ne isplati“ da intenziviraju rad na smanjenju gubitaka vode. Specijalizovane timove koji sistematski i planski rade na smanjenju gubitaka nema niko ili skoro niko. Podaci koji govore o odnosu prema gubicima vode prikazani su na sledećim dijagramima.

Slika broj 2 prikazuje odnos zahvaćene vode, potrošnje i gubitaka u periodu 2004-2019 godine, prikazuje trend pada zahvaćene i potrošene vode, ali istovremeno i rast gubitaka vode.

Water losses

The standard parameter expressing the water loss value is so called “Non-Revenue Water – NRW”, which is the indicator of all kinds of water losses, and which contains all the non-billed water quantities, no matter the reason (physical and commercial losses and water supplied without billing).

The usual IWA financial (non-invoiced to invoiced water ratio) and technical indicators (losses per unit length of network) of non-revenue water are shown in the table 4.

The amount of non-revenue water has been around 41% of total water production for years. That amount of over 250 million m^3 is almost 50% higher than the total water sold in the four largest cities - Belgrade, Novi Sad, Niš and Kragujevac with about 2.5 million consumers (~ 170 million m^3).

The attention paid to the problem of non-revenue water varies from company to company, and is generally insufficient. Only about 43% of companies have equipment for finding water losses and teams for working with that equipment. There are no or almost no specialized teams that work systematically, and systematically reduced losses.

There are several reasons for the insufficient commitment of water supply companies to these activities, and it seems that the price of water is low, so it is allegedly “not worth it” to intensify work on reducing water losses.

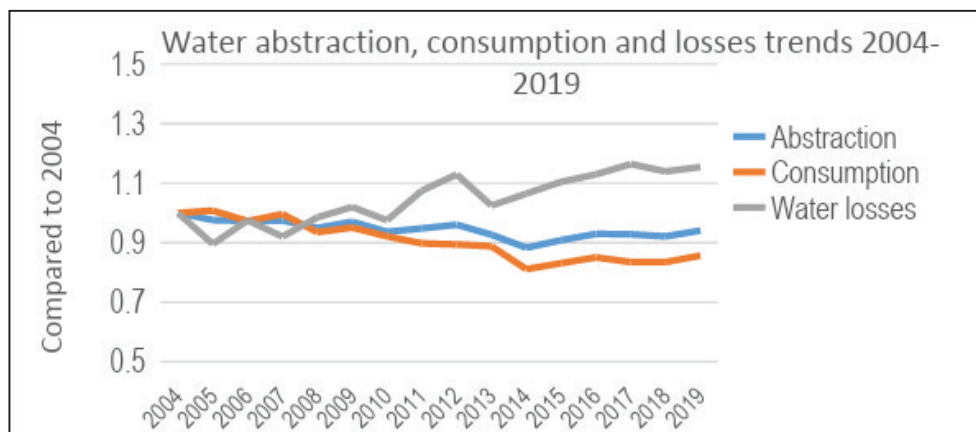
Data on the relationship to water loss are shown in the following diagrams.

Figure 2. The ratio of abstracted water, consumption and losses in the period 2004-2019, shows the declining trend of abstracted and consumed water, but also the growth of water losses.

Tabela 4: IWA pokazatelji gubitaka vode

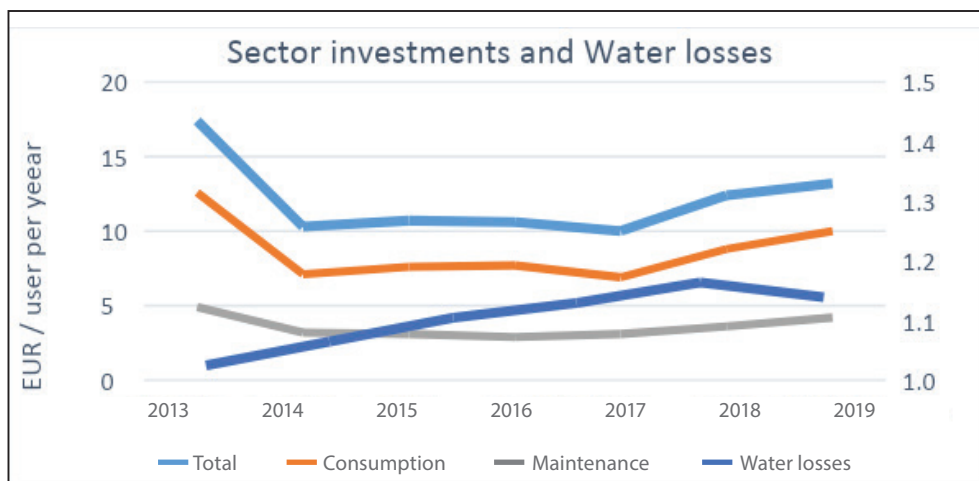
Table 4: IWA indicators of water losses

R. br.	Gubici vode	2015	2016	2017	2018	2019
1	h $10^6 m^3$ godišnje	232	248	230	238	253
2	m^3/km distributivne mreže	22	24	25	23	22
3	litara/priključak na dan	468	481	498	489	489



Slika 2: Zahvatanje vode, potrošnja i gubici 2004-2019

Figure 2: water abstraction, consumption and losses



Slika 3: Ulaganja u sektor voda i gubici vode

Figure 3: Sektor investments and water losses

Slika broj 3 prikazuje skoro direktnu vezu između ulaganja u vodovode i gubitaka vode

Specifična potrošnja

Specifična potrošnja pojedinih kategorija potrošača prikazana je na dijagramu slika broj 4, tokom posmatranog perioda primetna je blaga tendenciju smanjenja. Nasuprot tome, gubici vode pokazuju blagu tendenciju rasta

Kvalitet vode

Podaci o kvalitetu vode za piće preuzeti su iz godišnjih izveštaja Instituta za javno zdravlje Srbije „Dr Milan Jovanović Batut“.

Ovi izveštaji daju, pored ostalog, i podelu vodovoda prema ispravnosti tj. neispravnosti vode za piće u vodovodnim sistemima:

Figure 3. The data shows almost direct connection between investments (construction, maintenance and repairs) and amount of water losses

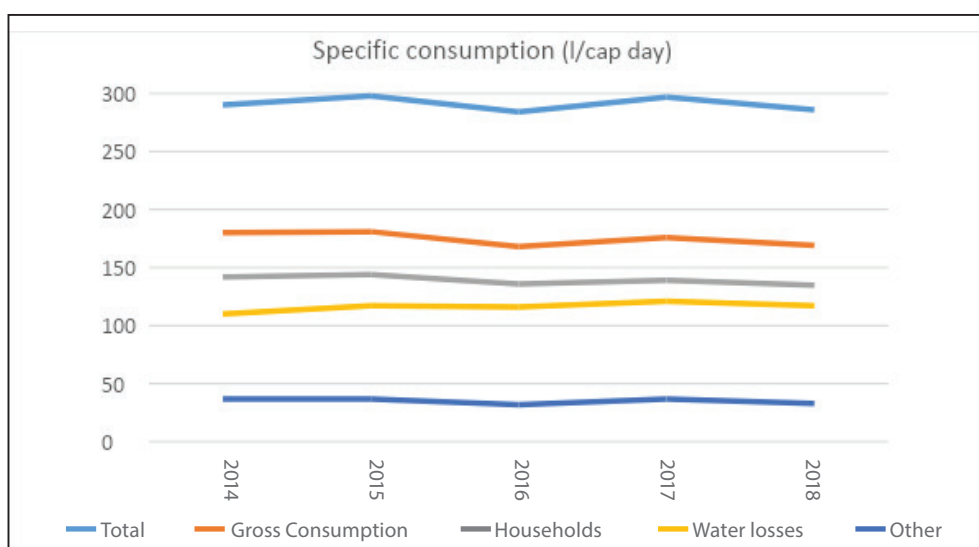
Specific consumption

The specific consumption of certain categories of consumers is shown in the diagram of Figures No. 4, during the observed period a slight downward trend is noticeable.

In contrast, water losses show a slight upward trend.

Water quality

Report on the health safety of drinking water for Serbian public water supply systems, number of other municipal and rural waterworks, and some water premises, regularly produced by Institute of Public Health of Serbia “Dr Milan Jovanović Batut” shows following division of water supply systems by water quality, Table 5.



Slika 4: Specifična potrošnja i specifični gubici

Figure 4: Specific consumption and specific losses

**Tabela 5: Vodovodi prema ispravnosti vode za piće****Table 5: Waterworks divided by water quality**

R. br.	Godina	Zadovoljavajući kvalitet vode za piće		Nezadovoljavajući kvalitet vode za piće					
				Fizičko- hemijski		Mikro-biološki		Fizičko-hemijski i mikro-biološki	
		Broj vodovoda	%	Broj vodovoda	%	Broj vodovoda	%	Broj vodovoda	%
1	2019	106	68	14	9	11	7	25	16
2	2018	94	61	17	11	19	12,3	24	15,6
3	2017	76	49	12	8	35	23	1	14
4	2016	89	57	11	7	26	17	29	19
5	2015	91	59	15	10	22	14	27	17

Rezultati ispitivanja su iz godine u godinu sve bolji, kako po fizičko-hemijskim, tako i po mikro-biološkim parametrima, ali bi morali da budu još bolji.

The test results are getting better every year, both in terms of physical-chemical and micro-biological parameters, but they should be even better.

3. ODVOĐENJE OTPADNIH VODA

Bilans otpadnih voda

Podaci o količinama prikupljene i fakturisane otpadne vode se daju u tabeli 6:

3. WASTE WATER COLLECTION, DISPOSAL AND TREATMENT

Waste water balance

The acquired data about the quantities of collected and billed waste water are given in the table 6.

Tabela 6: Bilans otpadne vode – podaci naših istraživanja**Table 6: Waste water balance (own data)**

R. br.	Stavka	2015	2016	2017	2018	2019
		h 10 ⁶ m ³				
1	Ispuštena u javnu kanalizaciju	260	261	263	247	273
2	Domaćinstva	198	201	194	191	208
3	Industrija i ostali	62	59	68	57	65
4	- Samo primarno prečišćavanje	10	23	33	34	35
5	- Sekundarno ili bolje	43	48	39	34	41

Razlika između zvaničnih podataka RZS i naših podataka o vodi koja se upušta u sisteme javne kanalizacije od oko 10% je mala i razumljiva, jer najviše zavisi od broja i vrste uzoraka, ali je nešto veća u podacima o primarno prečišćenim otpadnim vodama.

The difference between official SORS data and data collected through water questionnaires concerning waste water in public sewerage systems is understandable, having in mind differences in samples.

The difference is a little bit bigger in data on treated wastewater, mostly in the so-called primary purification.

Specifični oticaji

Podaci o specifičnim oticajima - Tabela 7, približno odgovaraju podacima o specifičnoj potrošnji vode. Podaci o fakturiranoj specifičnoj potrošnji i fakturisanom specifičnom oticaju domaćinstava su godinama ustaljeni na oko 140 litara po stanovniku na dan (domaćinstva).

Specific runoffs

Table 7. showing specific runoffs, roughly corresponds to specific water consumption data. Data on invoiced specific consumption and invoiced specific runoff of households have stabilized at around 140 liters per capita per day (households) over the years.

Isti podaci za industriju su: specifična potrošnja vode se kreće od 35 do 40 litara po stanovniku na dan, dok je specifični oticaj oko 45 litara po stanovniku na dan.

The same data for the industry are: specific water consumption ranges from 35 to 40 liters per capita

Tabela 7: Specifični oticaji po kategorijama potrošača)**Table 7: Specifics runoffs, by categories**

R. br.	Kategorija	2015	2016	2017	2018	2019
		litara po stanovniku na dan				
1	Ispušteno u sisteme javne kanalizacije	188	177	193	185	181
2	Fakturisano domaćinstvima	143	137	142	142	138
3	Fakturisano privredi i institucijama	45	40	50	43	43

Za sličnosti specifične potrošnje i specifičnog oticaja može postojati više mogućih razloga: netačne evidencije, različiti izvori podataka, način fakturisanja kanalizacije uz utrošenu vodu, korišćenje vode iz sopstvenih izvora...

4. FINANSIRANJE SEKTORA VODA

4.1. Cene usluga i ukupni prihod

Podaci o cenama usluga dati su u tabeli 8:

Sa ovakvim cenama preduzeća vodovoda i kanalizacije ne mogu održati postojeći nivo usluga, ni izdržati promene koje ih čekaju, ali dobijeni podaci ukazuju i na druge činioce od značaja za finansijski rezultat preduzeća, na koje sama preduzeća imaju odlučujući uticaj:

- dugogodišnji nizak nivo fakturisanja usluga od oko 59%
- blagi porast nivoa naplate.

Podvlačimo da se stepen naplate izražava u odnosu na fakturisanu, a ne ukupnu količinu vode upućenu u potrošnju, tako da je stepen naplate u odnosu na vodu poslata potrošnju svega 55- 60%.

Takođe prikupljeni podaci pokazuju visinu prihoda iz delatnosti plus učešće budžetskih transfera i drugih bespovratnih sredstava u ukupnom prihodu.

Prosečni prihodi preduzeća su u periodu 2019/2015 porasli za oko 6,7%, uz varijacije unutar $\pm 10\%$.

Ukupni i prosečni prihodi posmatranih preduzeća sektora je dat u tabeli 9.

Rast ukupnog prihoda svih preduzeća sektora (oko 9% od 2015 godine do 2019 godine - izvor: podaci iz upitnika) veći od rasta prosečnog prihoda preduzeća

per day, while specific runoff is around 45 liters per capita per day.

Data about the billed specific consumption and the billed gross runoff of collected waste water are almost the same, through the years, which may have many reasons: inaccurate records, uneven data sources, common billing of water consumption and waste water... These data are around 140 l/cap/day for households and around 40 to 50 l/cap/day for industry and others for years.

4. WATER SECTOR FINANCING

4.1. Tariffs, total revenues and balance

Collected data about the tariffs are presented in the table 8.

With the current tariffs the waterworks and sewerage companies cannot maintain neither the actual services level, neither to face future changes in front of them, but acquired data also points to factors of importance for the financial result of the company, which they would have to correct on their own:

- Low rate of invoicing around 59%
- Slight rise of collection rate.

We underline that the level of collection is shown in relation to the amount of billed/invoiced water, and not in relation to the total amount of water sent to consumption, meaning that the collection rate in relation to water sent to consumption is merely 55-60%.

The collected data show the amount of income from activities, and the share of budget transfers and other grants in total revenue. The average income of companies in the period 2019/2015 increased by about 6.7%, with variations within $\pm 10\%$.

The total and average revenues of the observed enterprises of the sector are given in Table 9.

Tabela 8: Cene i naplata usluga snabdevanja vodom i kanalisanja**Table 8: Tariffs and collection**

R. br.	Usluga za domaćinstva		2015	2016	2017	2018	2019
1	Snabdevanje vodom - cena	din/m ³	41,49	42,32	45,58	45,98	47,80
2	Odvođenje otpadnih voda - cena		-/-	17,70	18,70	18,40	21,40
4	Stepen fakturisanja	%	61	59	59	59	59
5	Stepen naplate		91	97	97	102	96
6	Naplaćeno od proizvedene vode		55,5	57,2	57,2	60,2	56,6

**Tabela 9:** Učešće budžetskih i drugih nepovratnih sredstava**Table 9:** Participation of external funds in total income

R. br.	Godina	Broj analiziranih preduzeća	Ukupan prihod (h 10 ⁶ dinara)	Sredstva sa strane	Udeo u ukupnom prihodu %	Prosečan prihod (h 10 ⁶ dinara)
				(h 10 ⁶ dinara)		
1	2019	133	29,5	1,6	5,4	224
2	2018	118	27,6	1,5	5,4	234
3	2017	109	26,4	1,1	4,2	242
4	2016	140	27,4	1,5	5,5	196
5	2015	129	27,1	1,9	7,0	210
6	Ukupno	633	138,0	7,6	5,51	221

ukazuje na neravnomernosti u uslovima i rezultatima rada unutar sektora.

U prilog ovakvom zaključku ide i analiza ukupnih ulaganja u preduzeća sektora voda (poglavlje 4.3).

4.2. Bilans poslovanja

Promene osnovnih parametara poslovanja sektora u periodu 2009-2019 su date na slici broj 5.

Višegodišnji ukupan negativan bilans se 2015. godine menja u pozitivan i ostaje takav u 2016. U 2017. godini bilans je lošiji, ali još uvek pozitivan.

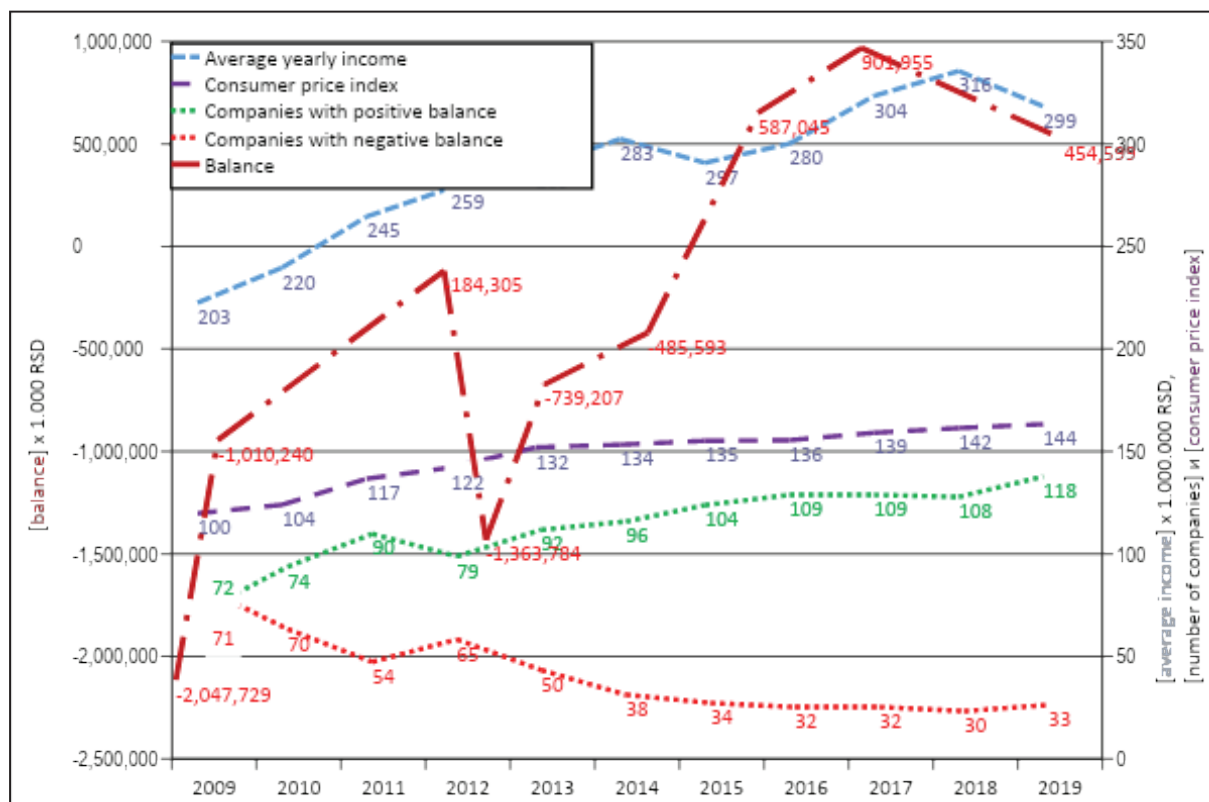
The rise of the total income of all companies in the sector (about 9% from 2015 to 2019 - source: data from the questionnaire) higher than the growth of the average income of companies indicates inequalities in working conditions and results within the sector.

This conclusion is supported by the analysis of total investments in water sector companies (item 4.3).

4.2. Balance sheet

Changes of some business parameters in the period 2009 – 2017 are shown on Figure 5.

Multi-year total negative business balance changes to positive in 2015 and remains so in 2016. In 2017, the balance is worse, but still positive.



Slika 5: Pokazatelji poslovanja preduzeća (2009-2019)
Figure 5: Some business indicators of water sector (2009-2019)

Ukupni bilans poslovanja preduzeća sektora ponovo postaje negativan u 2018. i 2019. godini, kada se beleži i manji pad prosečnog prihoda preduzeća.

Zapaža se trend popravljivanja bilansa, mada uz značajne oscilacije, pa je u 2019. godini bilans lošiji nego 2011. godine.

Zbirni bilans poslednjih deset godina je negativan za oko 45 miliona EUR.

4.3. Ulaganja u izgradnju, popravke i održavanje sistema

Tabela 10 daje prikaz i poređenje iznosa investicija i troškova popravki i održavanja tokom posmatranog perioda:

Ukupne investicije u 2019. su oko 11% veće nego pre 5 godina, ali su ulaganja iz sopstvenih sredstava drastično smanjena, a ulaganja iz sredstava sa strane povećana.

Tabela 11 pokazuje da su specifičnih ulaganja (ulaganja po korisniku) u razvoj i održavanje vodovodnih i kanalizacionih sistema danas na oko 76% proseka iz 2009-2013.

The overall balance of the companies in the sector becomes negative again in 2018 and 2019, when there is a smaller decline in the average income of the company.

There is a general trend of improving the balance, although with significant oscillations, so in 2019 the balance is worse than in 2011.

The cumulative balance of the last ten years is negative by about EUR 45 million.

4.3. Investments in the construction and the repairs & maintenance

Table 10. provides an overview and comparison of the amount of investments and repair and maintenance costs during the observed period.

Total investments in 2019 are about 11% higher than 5 years ago, but investments from own funds have drastically decreased, and investments from foreign funds have increased.

Table 11 shows that the specific investments (investments per user) in the development and maintenance of water supply and sewerage systems today are at about 76% of the 2009-2013 average:

Tabela 10: Investicije i troškovi popravki i održavanja

Table 10: Investments and repairs & maintenance costs

R. br.	Stavka	2019	2018	2017	2016	2015	2019/2015
		h 10 ⁶ EUR					
1	Broj analiziranih preduzeća	133	118	109	140	129	
2	Ukupna vrednost investicija	47,5	41	36	40,19	42,77	1,11
3	- iz sopstvenih sredstava	9,7	13	11,67	18,76	27,34	0,35
4	- iz sredstava sa strane	37,8	28	24,32	21,43	15,43	2,45
5	Sredstva za popravke i održavanje	20,9	16	16,28	14,47	17,22	1,21
6	Ukupno investicije iz sopstvenih sredstava, i popravke i održavanje	30,6	30,0	27,96	33,23	44,56	0,69

Tabela 11: Ulaganja u izgradnju i održavanje sistema (2009-2019)

Table 11: Investments new facilities and the maintenance (2009-2019)

R. br.	Godina	Oblast	Izgradnja	Održavanje	Ukupno	Odnos
			EUR/korisnik godišnje			
1	2009-2013	Snabdevanje vodom i kanalisanje naselja	12,6	4,9	17,4	1,00
2	2014		7,1	3,2	10,3	0,59
3	2015		7,6	3,1	10,7	0,61
4	2016		7,7	2,9	10,6	0,61
5	2017		6,9	3,1	10,0	0,57
6	2018		8,8	3,6	12,4	0,71
	2019		10	4,2	13,2	0,76



Tabela 12 prikazuje kretanje odnosa između visine ulaganja u izgradnju i održavanje sistema, iznosa amortizacije i ukupne vrednosti osnovnih sredstava.

Primetan je pad vrednosti osnovnih sredstava, do kog je, pored ostalog, došlo i zbog prenosa dela osnovnih sredstava u vlasništvo JLS.

Iznosi i raspodela investicija po preduzećima su dati u tabeli 13.

Napominje se da nisu uvek isti gradovi u prvih pet sa najvećim ulaganjima na listi.

U narednom periodu treba očekivati povećanje troškova rada ovih komunalnih preduzeća, jer će, tokom procesa pridruživanja EU, morati da se grade postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, koja su skupi objekti sa visokim eksploatacionim troškovima.

Prema podacima Republičke direkcije iz ranijih godina, sredstva potrebna za radove na atmosferskoj kanalizaciji i kanisanju i zaštiti voda u periodu do 2034. godine iznose oko 9 milijardi EUR.

Table 12. shows the movement of the relationship between the amount of investment in the construction and maintenance of the system and the total value of fixed assets.

There is a noticeable decline in the value of fixed assets, which, among other things, occurred due to the transfer of part of fixed assets of utility companies to the ownership of local self-government.

The amounts and distribution of investments by enterprises are given in Table 13. (Note: Not always the same five towns are in the first five, by the investments.)

In the coming period, we should expect an increase in the operating costs of these utility companies, because, during the EU accession process, many wastewater treatment plants will have to be built, which are expensive facilities with high operating costs.

According to earlier data from the Republic Directorate from previous years, the funds needed for works on atmospheric sewerage and sewerage and water protection in the period until 2034 amount to about 9 billion EUR.

Tabela 12: Izgradnja i održavanje sistema/vrednost osnovnih sredstava (2015-2019)

Table 12: New facilities & maintenance compared to value of fixed assets

R. br.	Godina	Oblast	Izgradnja	Održavanje	Ukupno	Osnovna sredstva	Izgradnja i održavanje /osnovna sredstva
1	2015	Snabdevanje vodom i kanalisanje naselja	7,6	3,1	10,7	311	3,4%
2	2016		7,7	2,9	10,6	239	4,4%
3	2017		6,9	3,1	10,0	205	4,9%
4	2018		8,8	3,6	12,4	182	6,8%
5	2019		10	4,2	13,2	235	5,6%

Tabela 13: Ujednačenost investicija

Table 13: Investment distribution (2015-2019)

R. br.	Stavka	Udeo u investicijama				
		2015	2016	2017	2018	2019
1	Ukupne investicije	100%				
2	Grad sa najvećim iznosom investicija	17%	20%	36%	19%	20%
3	Investicije u samo dva JKP	33%	24%	37%	50%	31%
4	Investicije u samo tri JKP	40%	35%	45%	62%	41%
5	Investicije u samo četiri JKP	47%	46%	51%	65%	50%
6	Investicije u samo pet JKP	53%	54%	57%	68%	57%
7	Broj opština/gradova bez investicija	70	67	29	38	44%

5. ZAPOSLENOST I KADROVI

Broj zaposlenih

Prema podacima iz APR-a, broj zaposlenih u komunalnim preduzećima koja se bave vodovodom i kanalizacijom i drugim komunalnim i ostalim delatnostima, se u periodu 2009. – 2012. održavao na nivou od oko 20.000 – slika 6.

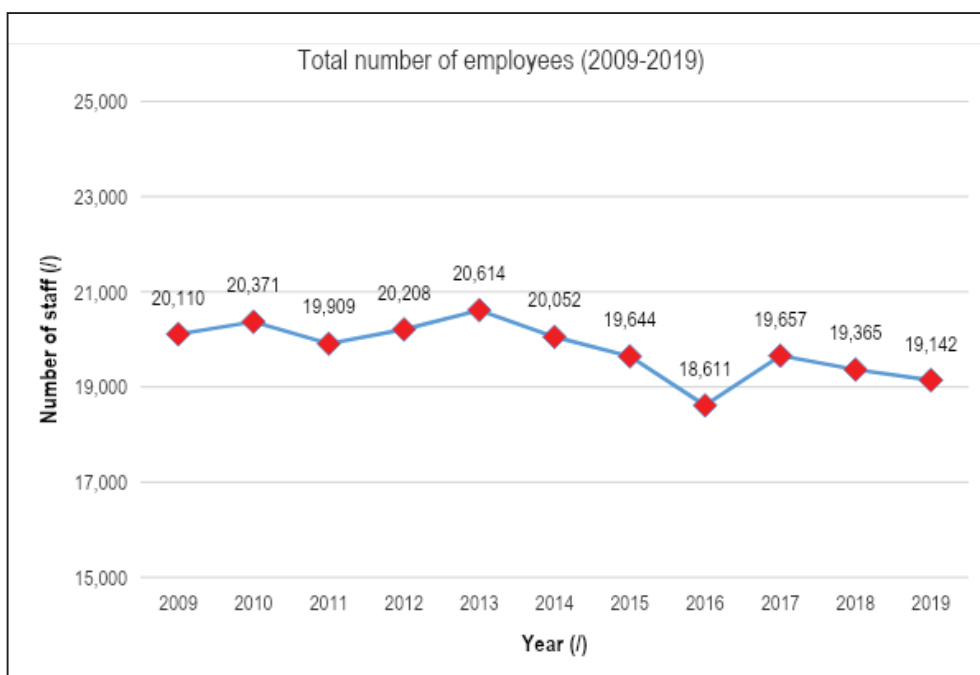
Broj ukupno zaposlenih u posmatranih 133 preduzeća je 17.901, a zaposlenih samo u delatnosti snabdevanja vodom i kanalizacijom ima 10.836.

5. EMPLOYMENT AND PERSONNEL

Number of employees

According to the ABR, the number of the employees in companies dealing with water sector (and with other communal activities), in the period 2009-2012, stood at the level of 20.000 - Graph No 6.

The total number of employees in the observed 133 companies is 17.901, but there are 10.836 employees only in the activity of water supply and sewerage of settlements.



Slika 6: kretanje broja zaposlenih

Figure 6: number of employees in companies of the water sector (2009-2019)

Kadrovska struktura zaposlenih

Kadrovska struktura zaposlenih u posmatranim preduzećima data je u tabeli broj 14. Tabela se odnosi na stručnu spremu svih zaposlenih: stalno zaposlenih i zaposlenih po PPPP ugovorima (ukupno 544).

Professional structure of the staff

The professional staff structure in water utility companies (dealing with other communal activities too) is given in Table 14. The table refers to the professional/educational level of all employees: permanent employees and employees under PPPP contracts (544 of such).

Tabela 14: Kadrovska struktura zaposlenih

Table 14: Educational structure of the staff

R. br.	Stepen stručne spreme	Učešće u %				
		2019	2018	2017	2016	2015
1	VII i viši	14	14	14	13	11
2	VI	6	6	6	6	5
3	V	5	5	6	5	5
4	IV	30	30	31	30	27
5	III	24	25	23	26	23
6	I i II	19	20	20	21	19



Preko polovine zaposlenih ima treći i četvrti stepen stručne spreme, a najmanje je VKV radnika i zaposlenih sa višom školom.

Poredeći ove rezultate sa rezultatima iz prethodnih godina, može se konstatovati da se kadrovska struktura kroz vreme vrlo malo menja.

Interesantan je podatak o broju građevinskih inženjera hidrotehničkog smera koji su zaposleni u preduzećima sektora voda, koji bi, po obrazovanju, trebalo da budu nosioci poslova u ovoj oblasti. Njih u posmatranim preduzećima ima svega 226 (7% manje nego 2018 godine, manje od 1,3% od ukupnog broja zaposlenih, oko 2% od ukupno zaposlenih u delatnosti vodovoda i kanalizacije).

Pomenutih 226 inženjera radi u 69 od 133 preduzeća, a u tri najveća vodovoda: Beograd, Niš, Novi Sad, zaposleno je njih 85 (2018 godine 103). Smanjen je ukupan broj zaposlenih građevinskih inženjera hidrotehničkog smera, kao i njihov broj u tri najveća vodovoda.

U polovini preduzeća koja se bave snabdevanjem vodom i kanalizacijom naselja nema zaposlenih inženjera hidrograđevinske struke.

Pored građevinskih inženjera hidrotehničkog smera, primetan je i nedostatak inženjera tehnologije i mašinstva, kao i ekonomista.

6. ZAKLJUČCI

U sektoru snabdevanja vodom i kanalizacijom naselja nije bilo suštinskih promena u periodu od 2014 do 2019 godine, pa osnovni zaključci Sektorske studije Svetske banke iz 2013. godine, važe i za ovaj izveštaj:

Povećanje kapaciteta vodovodskog osoblja i obuka: u cilju obezbeđenja održivog razvoja sektora voda biće potrebno, pored rešavanja problema finansiranja rada i nedovoljnog investiranja, povećati nivo znanja osoblja komunalnih preduzeća, prvenstveno zapošljavanjem odgovarajućih inženjerskih i drugih stručnih profila, posebno ekonomista.

Teškoće u prikupljanju podataka u benčmarking procesu su još jednom ukazale na nedostatak stručnog kadra svih profila i nedovoljno osnovno IT obrazovanje.

Jačanje i razjašnjenje upravljanja sektorom: ministarstva koja su nadležna za politiku u sektoru voda se često menjaju i postoji međusobno preklapanje nadležnosti. Česte kadrovske promene unutar ministarstava čine dodatni problem.

Poboljšanje ukupne efikasnosti preduzeća: problem nerešenog vlasništva još uvek postoji. Proces administrativnog prenosa imovine sa države

Comparing these results with the results from previous years, it can be stated that the personnel structure changes very little over time: more than half of the employees have the third and fourth degree, and the least have highly skilled workers and employees with higher education.

It is interesting to note the small number of civil engineers in the field of hydro-technics, who are employed in companies in the water sector, and they should be the bearers of jobs in this area. There are only 226 of them in the observed companies (7% less than in 2018, less than 1,3% of the total number of employees, about 2% of the total number of employees in the water supply and sewerage industry).

The mentioned 226 engineers work in 69 out of 133 companies, but 85 of them are employed in the three largest waterworks: Belgrade, Nis, Novi Sad (103 in 2018). The total number of employed hydraulic engineers has been reduced, as well as their number in the three largest water supply

systems. In half of the companies dealing with water supply and sewerage of settlements, there are no employed hydraulic engineers.

In addition to civil engineers in the field of hydraulic engineering, there is a noticeable lack of technology and mechanical engineers, as well as economists.

6. CONCLUSIONS

There were no significant changes in the water sector from 2014 to 2019, and therefore the basic conclusions of the World Bank Sector Studies from 2013, as well as the findings from previous years reports (2019, 2018, 2017, 2016, 2015) are valid and for this report:

Enhancement of water utility staff capacity and training: To ensure the sustainable development and improvement of the overall efficiency of the water sector, it will be necessary, in addition of other mentioned challenges of finances and insufficient investments, to employ new high qualified staff, mainly engineers and economists.

Difficulties of data collection in benchmarking process have this shown once more lack of quality staff in all fields and insufficient IT education.

Strengthening of the sector and clarification of sector governance: Ministries in charge of water sector policies and regulation are often changed and mandate overlapping exists between them. Frequent staff changes within ministries pose an additional issue.

Improvement of overall efficiency of utilities: The issue of unresolved ownership still exists. The process of administrative transfer of assets from the state to

na preduzeća još nije dovršen, mada su ustavna rešenja o tome odavno doneta.

Finansiranje sektora voda: politika cena, u kojoj cene ne pokrivaju troškove održanja i razvoja delatnosti, mora biti promenjena, jer uzrokuje višegodišnje negativan poslovni rezultat preduzeća iz sektora voda (izvor podataka - APR).

Dramatičan trend pada pad sopstvenih ulaganja, koja su u 2019 godini na nivou od jedne trećine ulaganja u 2015 godini, direktno povećava potrebu za sredstvima iz nekih drugih izvora, koja su u 2019 godini oko dva i po puta veća nego pre pet godina (videti tabele 10 i 11).

Sa nešto više podataka od onih koji su nam bili na raspolaganju možda bi se mogli uporediti pozitivni rezultati poslovanja sektora sa iznosom smanjenih ulaganja popravke i održavanje.

Slika 3 vrlo jasno ilustruje vezu između gubitaka vode i iznosa ulaganja u preduzeća sektora i potrebu za tim ulaganjima.

S druge strane, pružaoci usluga bi morali da poprave svoj učinak po dva važna parametra: stepen fakturisanja i stepen naplate usluga.

- Stepenn fakturisanja usluga, kako domaćinstvima tako i privredi, nije zadovoljavajući i postao je kritičan.
- Stepenn naplate je tokom godina značajno poboljšana, i na prvi pogled bi se reklo da je odličan, ali treba imati u vidu da se on izražava kao procenat od fakturisanog iznosa, a ne od vrednosti isporučene količine. Ako se uzme u obzir dugogodišnje nizak stepenn fakturisanja (~59%) onda problem izgleda sasvim drugačije.

Ovim zaključcima treba dodati zaključke date u izveštajima Državne revizorske institucije:

- „Izveštaj o reviziji svrsishodnosti poslovanja – Svrsishodnost upravljanja vodovodnom infrastrukturom“

i

- „Izveštaju o reviziji svrsishodnosti poslovanja - Dostupnost i ispravnost vode za piće“ Državne revizorske institucije iz novembar i decembar 2019).

the company has not been completed yet, although constitutional solutions have long been adopted.

Financing of the water sector: the price policy, in which prices do not cover the costs of maintenance and development of activities, must be changed, because it causes many years of negative business results of companies in the water sector (data source - APR).

A dramatic downward trend in the decline in own investments, which in 2019 amounted to one third of investments in 2015, directly increases the need for funds from other sources, which in 2019 are about two and a half times higher than five years ago (see tables 10 and 11).

With slightly more data than were available to us, perhaps the positive performance of the sector could be compared with the amount of reduced investment in repairs and maintenance.

Figure 3 very clearly illustrates the link between water losses and the amount of investment in sector and the need for these investments.

On the other hand, service providers would have to improve their performance on two important parameters: the level of invoicing and the level of billing for services.

- The level of billing of services, both to households and the industry, is unsatisfactory and has become critical.
- The collection level has significantly improved over the years, and at first glance it would be said to be good, but it should be borne in mind that it is expressed as a percentage of the invoiced amount, not as the value of the delivered quantity.

If we take into account the long-term low level of billing (~ 59%), then the problem looks completely different.

To all these conclusions should be added the conclusions given in the reports of the State Audit Institution:

- “Business Performance Audit Report - Appropriateness of Water Infrastructure Management”

and

- “Report on the audit of business expediency - Availability and correctness of drinking water” of the State Audit Institution from November and December 2019).

**LITERATURA:**

1. Godišnji izveštaji o obavljanju komunalnih delatnosti na teritoriji republike Srbije 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, UTVSI za Ministarstvo građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture
2. javno dostupni podaci iz Agencije za privredne registre (APR),
3. podaci RZS (Eko bilteni, Statistički godišnjaci i Saopštenja „Snabdevanje pitkom vodom“ i „Otpadne vode iz naselja“, Procene stanovništva i drugo)
4. Godišnji izveštaji Instituta za javno zdravlje Srbije „Dr Milan Jovanović Batut“)

Snežana ČAĐO, Boris NOVAKOVIĆ, Aleksandra ĐURKOVIĆ,
Ljubiša DENIĆ, Tatjana DOPUĐA GLIŠIĆ, Zoran STOJANOVIĆ,
Nebojša VELJKOVIĆ, Milica DOMANOVIĆ, Dunja ŽARIĆ



EKOLOŠKI POTENCIJAL AKUMULACIJA ZA VODOSNABDEVANJE U SRBIJI

ECOLOGICAL POTENTIAL OF THE RESERVOIRS FOR WATER SUPPLY IN SERBIA

IZVOD

Agencija za zaštitu životne sredine od 2012. godine vrši monitoring statusa površinskih voda Srbije prema zahtevima Okvirne direktive o vodi EU (2000/60/EC). Monitoring uključuje i akumulacije za vodosnabdevanje stanovništva. U ovoj studiji ukupno je obuhvaćeno 15 akumulacija. Za procenu ekološkog potencijala akumulacija praćeni su sledeći biološki elementi kvaliteta: fitoplankton, fitobentos i makroinvertebrate, opšti fizičko-hemijski elementi, specifične zagađujuće supstance i parametri trofičkog statusa. Eutrofikacija i njena posledica "cvetanje vode" su najozbiljniji problemi sa kojima se suočavamo poslednjih decenija. Situacija se dodatno komplikuje klimatskim promenama i globalnim zagrevanjem. Rezultati ispitivanja pokazuju da su procesi eutrofikacije akumulacija uznapredovali i da se to ozbiljno odrazilo na kvalitet vode: nemamo akumulacije koje imaju dobar i bolji ekološki potencijal. Dve akumulacije koje su blizu postizanja ovog potencijala su Radoinja i Prvonek. Zabrinjavajuće je što se veliki broj akumulacija za vodosnabdevanje nalazi u slabom ili lošem ekološkom potencijalu. U njima je jako narušena struktura i funkcionisanje životnih zajednica fitoplanktona i makroinvertebrata; veliki broj taksona ovih zajednica odsustvuje u odnosu na referentne uslove za jezera.

ABSTRACT

Since 2012 the Serbian Environmental Protection Agency (SEPA) has conducted monitoring of surface water status according to the Water Framework Directive requirements (2000/60/EC). The SEPA monitoring also included the reservoirs intended for water supply. In the present study 15 reservoirs were covered. For ecological potential assessment of reservoirs the following biological quality elements (BQEs) were monitored: phytoplankton, phytobenthos and macroinvertebrates, general physico-chemical quality elements (PHQEs), specific polluting substances and parameters of trophic state. Eutrophication and its consequence of water blooming are the most important problems we met in last decades. Such conditions was additionally complicated by climate changes and global warming. The results of present research indicated that eutrophication process of the reservoirs is progressed reflecting on water quality: there are no reservoirs with good and better ecological potential. The worrying fact is that the most of reservoirs intended for water supply are characterized by poor or bad ecological potential. In these reservoirs the structure and function of phytoplankton and macroinvertebrate community were degraded; the majority taxa in mentioned communities are absent with regard to reference conditions for lakes.

UVOD

Eutrofikacija je poslednjih decenija, na globalnom nivou, jedan od najozbiljnijih problema koji utiče na kvalitet vode jezera i akumulacija. Povećanje nutrijenata dovodi do sve veće produktivnosti vodenih ekosistema, što može dovesti do prekomernog povećanja biomase algi ili makrofitske vegetacije. Iako fitoplankton ima ključnu ulogu u vodenim ekosistemima, kao osnovni producent organskih materija u vodi, njegovo prekomerno nagomilavanje može ozbiljno uticati na kvalitet vode, naročito u akumulacijama koje se koriste za vodosnabdevanje stanovništva. Neposredne

INTRODUCTION

In recent decades an eutrophication has been recognized as one of the most serious problems globally, affecting water quality of lakes and reservoirs. The increase of nutrients leads to increasing productivity of aquatic ecosystems, which can lead to an excessive increase of algal biomass or macrophytic vegetation. Although phytoplankton plays a key role in aquatic ecosystems as a basic producer of organic matter in water, its excessive accumulation can seriously affect water quality, especially in reservoirs used to supply water to the population. The immediate consequences of this excess growth are numerous,

Snežana ČAĐO, Boris NOVAKOVIĆ, Aleksandra ĐURKOVIĆ, Ljubiša DENIĆ, Tatjana DOPUĐA GLIŠIĆ, Zoran STOJANOVIĆ, Nebojša VELJKOVIĆ, Milica DOMANOVIĆ, Dunja ŽARIĆ, Agencija za zaštitu životne sredine, Ministarstvo životne sredine Republike Srbije, snezana.cadjo@sepa.gov.rs



posledice ovog viška rasta su brojne, u rasponu od jednostavnog obilja suspendovanih čestica (sam fitoplankton, zooplankton, bakterije, gljivice i detritus), do povećanih koncentracija amonijaka, nitrita, vodonik-sulfida, metana, etana, huminskih kiselina, pa sve do lošeg ukusa i mirisa ribe i vode, zbog prisustva određenih algi i mogućeg razvoja toksičnih algi (Sulis et al., 2014). Ponekad je fenomen toliko očigledan da se golim okom može videti masa mikroskopskih algi koje izazivaju cvetanje, koje daje određeno obojenje vodnom telu. Izraz "cvetanje algi" označava situaciju u kojoj se 80-90 % mase mikroskopskih algi sastoji od jedne ili dve vrste (Sulis et al., 2014).

Još jedan važan aspekt eutrofikacije se ogleda u činjenici da su najčešći uzročnici "cvetanja" vrste koje pripadaju taksonomskoj grupi cijanobakterija. Cijanobakterije su potencijalno toksični organizmi, jer mogu da produkuju širok spektar toksina, koji pokazuju neurotoksično ili hepatoksično dejstvo, ili izazivaju iritaciju kože i očiju i gastrointestinalne smetnje.

Nacionalni program monitoringa kvaliteta voda akumulacija u Srbiji do 2011. godine nije pružao dovoljno podataka da se na adekvatan način sagleda stanje akumulacija. Tome je doprinela zastarela zakonska regulativa u ovoj oblasti. Akumulacije su ispitivane samo jedanput godišnje. Indeksi koji su korišćeni za biološku procenu kvaliteta voda bazirali su se na saprobiološkim karakteristikama planktonske zajednice i uglavnom su pokazivali dobro stanje akumulacija. Donošenjem nove zakonske regulative 2011. godine i usklađivanjem Programa monitoringa površinskih voda sa zahtevima Okvirne Direktive o vodi (ODV, 2000/60/EC), primenjena je potpuno drugačija metodologija ispitivanja akumulacija. Povećana je frekvencija ispitivanja na tri ispitivanja godišnje, povećan je broj ispitivanih lokaliteta i broj tačaka uzorkovanja po vertikalnom profilu akumulacije, primenjena je nova metodologija ispitivanja bioloških i fizičko-hemijskih elemenata kvaliteta i metoda procene statusa vodnih tela prema ODV. Od 2012. godine Programom nacionalnog monitoringa obuhvaćene su akumulacije koje se koriste za vodosnabdevanje stanovništva. Ispitivanje je sprovedla Agencija za zaštitu životne sredine prema Uredbama o utvrđivanju godišnjeg programa monitoringa statusa voda za 2012., 2013., 2014., 2015., 2016., 2017., i 2018. godinu (Sl. glasnik RS br. 100/12; Sl. glasnik RS br. 43/13; Sl. glasnik RS br. 85/14; Sl. glasnik RS br. 46/15; Sl. glasnik RS br. 36/16; Sl. glasnik RS br. 35/18).

MATERIJAL I METODE

Biološki elementi kvaliteta (BQEs) koji su korišćeni za procenu ekološkog potencijala akumulacija su: fitoplankton, fitobentos i makroinvertebrate.

ranging from the simple high abundance of suspended particles (phytoplankton itself, zooplankton, bacteria, fungi and detritus) to increased concentrations of Ammonia, Nitrites, Hydrogen Sulfide, Methane, Ethane and humic acids, to bad flavor and smell in fish and water, due to the presence of certain algal taxa, and the possible development of toxic algae (Sulis et al., 2014). Sometimes this phenomenon is so obvious, that the naked eye can see the mass of microscopic algae, which produce blooms giving a particular colouring to the water body. The term "algal blooms" indicates 80-90% of the mass of microscopic algae consists of one or two species (Sulis et al., 2014).

Another important aspect of eutrophication is reflected in the fact that the most common causes of "blooming" are species belonging to the taxonomic group of cyanobacteria. Cyanobacteria are potentially toxic organisms, because they can produce a wide range of toxins, which show neurotoxic or hepatotoxic effects or cause skin and eye irritation and gastrointestinal disorders as well.

The National monitoring programme of water quality of reservoir waters in Serbia by 2011 has not provided enough data to assess adequately state of the reservoirs. Obsolete legislation in this area has contributed to this. The reservoirs were examined only once a year. The indices used for the biological assessment of water quality were based on the saprobiological characteristics of the planktonic community and generally showed good condition of the reservoirs. With the adoption of new legislation in 2011 and by harmonizing the Surface Water Monitoring Programme with the EU Water Framework Directive (WFD, 2000/60/EC) requirements, a completely different methodology for investigation of reservoirs was applied. The frequency of investigation was increased to three times per year, the number of tested localities and the number of sampling points per vertical accumulation profile was increased, as well as new methodology for biological and physico-chemical quality elements and methods for assessing the status of water bodies according to WFD were applied.

Since 2012 the National monitoring programme included reservoirs used for water supply of the population. The survey was conducted by the Serbian Environmental Protection Agency according to the regulations on determining the annual water status monitoring program for 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, and 2018 (Official Gazette of the RS No. 100/12; Official Gazette of the RS No. 43/13; Official Gazette of the RS No. 85/14; Official Gazette of the RS No. 46/15; Official Gazette of the RS No. 36/16; Official Gazette of the RS No. 35/18).

MATERIAL AND METHODS

The biological quality elements (BQEs) used to assess ecological potential of the reservoirs are: phytoplankton, phytobenthos and macroinvertebrates. Investigation of the reservoirs was

Ispitivanje akumulacija rađeno je tri puta godišnje: u proleće i leto u periodu termičke stratifikacije, i u jesen u periodu cirkulacije vode. U zavisnosti od morfoloških karakteristika akumulacije izvršen je odabir lokaliteta na kojima će se vršiti ispitivanja. Prvo je sprovedeno preliminarno ispitivanje osnovnih fizičko-hemijskih parametara (PHQEs) na više lokaliteta, zatim su odabrana 3-4 lokaliteta na kojima su sprovedena kompletna ispitivanja po dubini vodenog stuba. Lokaliteti u blizini brane označeni su sa A, u centralnom delu akumulacija sa B, zatim sa C ili D idući ka ulazu u akumulaciju. Temperatura vode merena je na svakih pola metra dubine. U periodu termičke stratifikacije prvo su određivane zone epilimniona, metalimniona (termokline) i hipolimniona. Dubinsko uzorkovanje vode za ispitivanje osnovnih fizičko-hemijskih pokazatelja, nutrijenata i hlorofila *a* obavljeno je korišćenjem hidrobiološke boce, ili pumpom i crevom.

Fitoplankton za kvalitativnu analizu uzorkovan je planktonskom mrežom promera okaca 25 μm , a za kvantitativnu analizu hidrobiološkom bocom ili pumpom i crevom sa različitih dubina. Algološki materijal fiksiran je formaldehidom ili Lugolovim rastvorom. Analiza fitoplanktona rađena je na invertnim mikroskopima: Nikon TE-2000U sa digitalnom kamerom DS-5M i softverskim programom NIS-Elements D, Zeiss Axiovert sa digitalnom kamerom i softverskim programom AxioVision 4.8 i Carl Zeiss Axio Observer D1 sa digitalnom kamerom AxioCam ICc 5 i softverskim programom ZEN 2. Kvantitativna analiza fitoplanktona rađena je po metodi Utermöhl (1958), prema standardu SRPS EN 15204: 2008.

Metodologija uzorkovanja fitobentosa (dijatoma) obavljena je prema standardu SRPS EN 13946: 2008. Prikupljeni materijal je fiksiran formaldehidom. Priprema preparata silikatnih algi obavljena je u skladu sa standardom SRPS EN 13946: 2008. Analiza fitobentosa obavljena je na mikroskopima koji su navedeni u analizi fitoplanktona. Identifikacija i prebrojavanje dijatoma i interpretacija dobijenih rezultata urađena je u skladu sa standardom SRPS EN 14407: 2008. Za izračunavanje dijatomnih indeksa korišćen je softverski program OMNIDIA.

Ispitivanje makroinvertebrata akumulacija izvršeno je jednom ili dva puta godišnje. Za uzimanje uzoraka korišćena je ručna mreža (dimenzija 25x25 cm, promera okaca 500 μm) prema AQEM protokolu (AQEM, 2002) i primenjena je "multi-habitat" procedura (Hering et al., 2004). Uzorkovano je prema standardu SRPS EN 27828: 2009. Svi uzorci fiksirani su na terenu korišćenjem 70%-og rastvora etanola. Identifikacija jedinki izvršena je u laboratoriji pomoću odgovarajuće literature, korišćenjem stereomikroskopa Carl Zeiss Stereo Discovery V.8 sa kamerom AxioCam ICc5 i ZEN 2 softverom i

performed three times a year: in spring and summer in the period of thermal stratification, and in autumn in the period of water circulation. Depending on the morphometric characteristics of the reservoir, the sites where the investigation will be performed were selected. Firstly, a preliminary examination of basic physico-chemical parameters (PHQEs) was conducted at several localities, then 3-4 localities were selected where complete examination were conducted along the depth of the water column. The sites near the dam are marked with A, in the central part of the reservoir with B, then with C or D going to the entrance to the reservoir. A water temperature was measured every half a meter of water depth. In the period of thermal stratification, the zones of epilimnion, metalimnion (thermocline) and hypolimnion were firstly determined. Deep sampling of water for testing basic physical and chemical indicators, nutrients and chlorophyll *a* was performed using a hydrobiological bottle, or a pump and hose.

Phytoplankton for qualitative analysis was sampled using a planktonic net with a diameter of 25 μm , and for quantitative analysis with a hydrobiological bottle, or pump and hose from different depths. The algal material was fixed with formaldehyde or Lugol solution. Phytoplankton analysis was performed on invert microscopes: Nikon TE-2000U with digital camera DS-5M and NIS-Elements D software, Zeiss Axiovert with digital camera and AxioVision 4.8 software and Carl Zeiss Axio Observer D1 with digital camera AxioCam ICc 5 and ZEN 2 software. Quantitative analysis of phytoplankton was performed by the Utermöhl method (1958), according to the standard SRPS EN 15204: 2008.

The sampling methodology of phytobenthos (diatoms) was performed according to the standard SRPS EN 13946:2008. The collected material was fixed with formaldehyde. A preparation of silicate algae slide was performed in accordance with the standard SRPS EN 13946: 2008. Analysis of phytobenthos was performed on microscopes listed in the analysis of phytoplankton. Identification and counting of diatoms and interpretation of the obtained results were done in accordance with the standard SRPS EN 14407: 2008. The OMNIDIA software was used for calculation of the diatom indices.

A survey of aquatic macroinvertebrates of the reservoirs was performed once or twice a year. A hand net (dimensions 25x25 cm, diameter 500 μm) according to the AQEM protocol (AQEM, 2002) was used for sampling and the "multi-habitat" procedure was applied (Hering et al., 2004). A sampling of macroinvertebrates was conducted according to the standard SRPS EN 27828: 2009. All samples were fixed in the field using 70% ethanol solution. Identification of specimens was performed in the laboratory by appropriate literature, using



stereomikroskopa Leica MS 5. U zavisnosti od tipa vodnog tela na kome je akumulacija formirana, za ocenu ekološkog potencijala korišćeni su sledeći biološki parametri u okviru ASTERICS softvera (AQEM, 2002): saprobni indeks Zelinka & Marvan (Zelinka & Marvan, 1961), BMWP (Biological Monitoring Working Party) skor, Shannon-Weaver indeks diverziteta (Shannon, 1948), ukupan broj taksona, procentualno učešće Oligochaeta/Tubificidae u ukupnoj zajednici makroinvertebrata i broj taksona Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera - EPT indeks (Armitage et al., 1983).

Trofički status akumulacija određen je preko Carlson indeksa trofičnosti (Carlson's Trophic State Index TSI) (Carlson, 1977). Procena ekološkog potencijala akumulacija na osnovu bioloških i fizičko-hemijskih elemenata kvaliteta urađena je prema Pravilniku o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda (Sl. glasnik RS, 74/2011, u daljem tekstu Pravilnik).

REZULTATI I DISKUSIJA

Većina ispitivanih akumulacija pripada dimiktičkom tipu jezerskih sistema umereno-kontinentalne zone, koji karakterišu dva perioda cirkulacije vode, prolećni i jesenji, direktna termička stratifikacija u letnjem periodu i inverzna (obrnuta) stratifikacija u zimskom. Tokom blagih zima inverzna termička stratifikacija može izostati, pa je totalna cirkulacija i homotermija karakteristična i u zimskom periodu. Termički režim akumulacija ima najveći uticaj na sve ostale fizičko-hemijske i biološke elemente kvaliteta.

Na Grafiku 1 prikazane su temperature vode na najdubljoj tački, kod brane, u letnjem periodu, gde se uočava, manje ili više izraženo, termičko raslojavanje vode u akumulacijama uz izdvajanje tri sloja: epilimnion, metalimnion (termokline) i hipolimnion. Termičko raslojavanje vode utiče na njen hemizam. Stratifikaciju i mešanje kontrolišu dva najvažnija faktora u ekologiji fitoplanktona: dostupnost svetlosti i nutrijenata (Tilzer & Goldman, 1978).

Vertikalna raspodela i sadržaj rastvorenog kiseonika (DO) u vodi su osnovni pokazatelji ekološkog statusa/potencijala jezera i akumulacija. Termička stratifikacija dovodi do stratifikacije rastvorenog kiseonika u vodi. U letnjem periodu kiseonična stratifikacija je naročito izražena: sadržaj kiseonika u vodi progresivno opada sa dubinom. U većini akumulacija u površinskom sloju vode primećena je pojava supersaturacije. Na nekim akumulacijama kao što su Garaši, Bresnica, Uvac (Sjenica) i Vrutci supersaturacija je izražena u metalimnionu. Najveći procenat zasićenja vode kiseonikom konstatovan je na dubini koja je 1 do 2 m iznad dubine maksimalnog hlorofila *a*, ili na istoj dubini. Sadržaj rastvorenog kiseonika u vodi u većini

Carl Zeiss Stereo Discovery V.8 stereomicroscope with AxioCam ICc5 camera and ZEN2 software, and Leica MS5 stereomicroscope. Depending on type of water body on which the reservoir was formed, the following biological parameters were used to assess the ecological potential within the ASTERICS software (AQEM, 2002): Zelinka & Marvan Saprobic Index (Zelinka & Marvan, 1961), BMWP (Biological Monitoring Working Party score), Shannon-Weaver Diversity Index (Shannon, 1948), total number of taxa, percentage participation of Oligochaeta/Tubificidae in the total macroinvertebrate community, and number of taxa of Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera - EPT Taxa (Armitage et al., 1983).

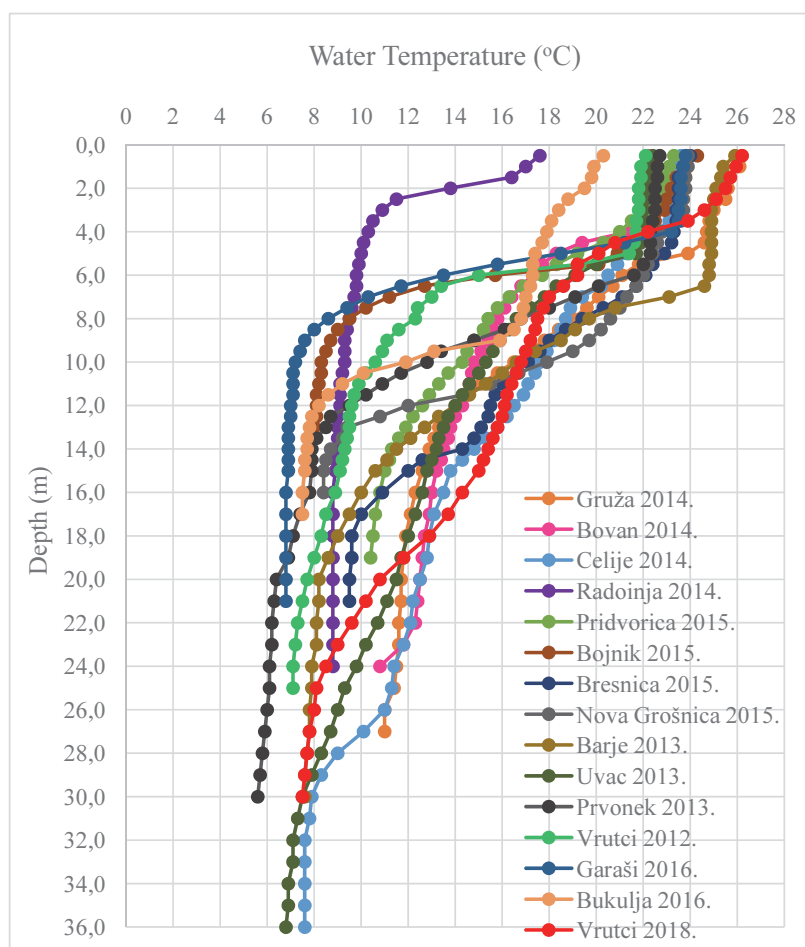
Trophic state of the reservoirs was determined using the Carlson's Trophic State Index (TSI) (Carlson, 1977). An assessment of ecological potential of the reservoirs based on biological and physico-chemical quality elements was performed according to the Regulation on parameters of ecological and chemical status of surface waters and parameters of chemical and quantitative status of groundwater (Official Gazette of the RS, 74/2011, hereinafter the Regulation).

RESULTS AND DISCUSSION

Most of investigated reservoirs belong to dimictic type of lake system of the temperate continental climates, which are characterized by two periods of water circulation, spring and autumn, direct thermal stratification in summer and inverse (reverse) stratification in winter. During mild winters, inverse thermal stratification may be absent, thus total circulation and homothermy are characteristic in the winter as well. The thermal regime of reservoirs has the highest impact on all other physico-chemical and biological quality elements.

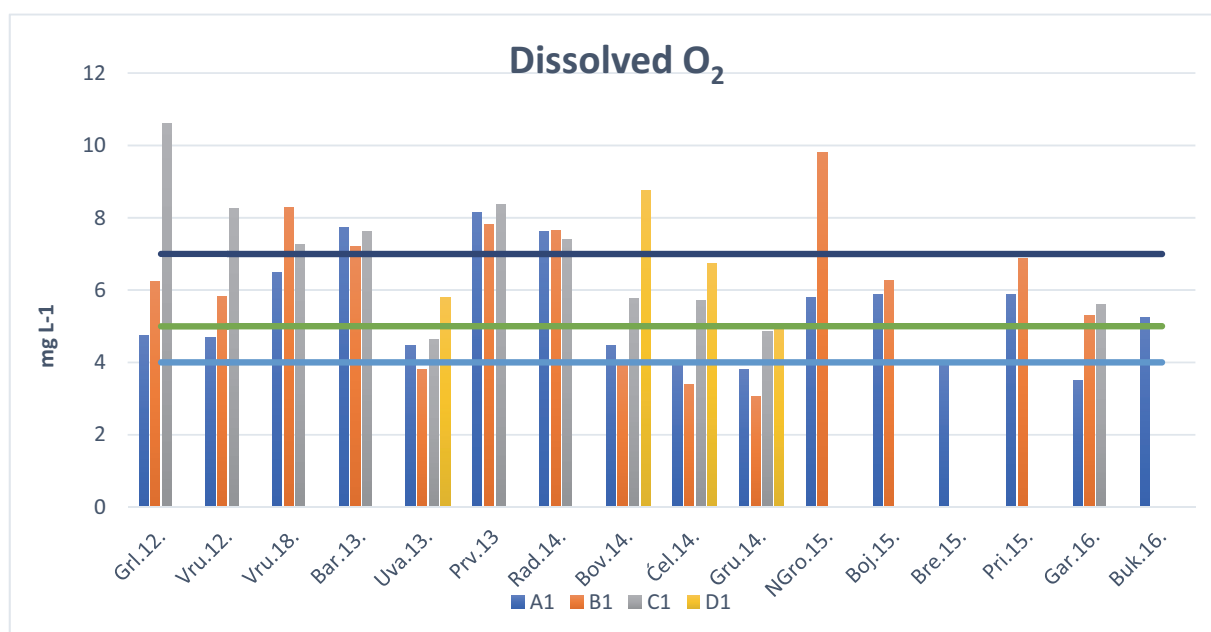
The Graph 1 showed the water temperatures in the deepest point, near the dam, in the summer period, where more or less pronounced thermal stratification of water in the reservoirs was observed, with three layers being separated: epilimnion, metalimnion (thermocline) and hypolimnion. Thermal stratification of water affects its chemistry. Stratification and mixing are controlled by two most important factors in phytoplankton ecology: availability of light and nutrients (Tilzer & Goldman, 1978).

The vertical distribution and content of dissolved oxygen (DO) in the water are the basic indicators of the ecological status/potential of lake and reservoir. Thermal stratification leads to stratification of dissolved oxygen in water. In the summer, oxygen stratification is particularly pronounced: the oxygen content in the water progressively decreases with depth. In most reservoirs in the surface layer of water the occurrence of supersaturation was observed. On some reservoirs, such as Garaši, Bresnica, Uvac



Grafik 1. Raspored temperature vode u akumulacijama, na lokalitetu kod brane (A1), u letnjem periodu

Graph 1. Distribution of water temperature in the reservoirs, at the locality near the dam (A1) in summer period



Grafik 2. Vrednosti koncentracija rastvorenog kiseonika u vodi (C10) na različitim lokalitetima u akumulacijama

Graph 2. The values of Dissolved Oxygen concentration in water (10-percentile) at different localities in the reservoirs

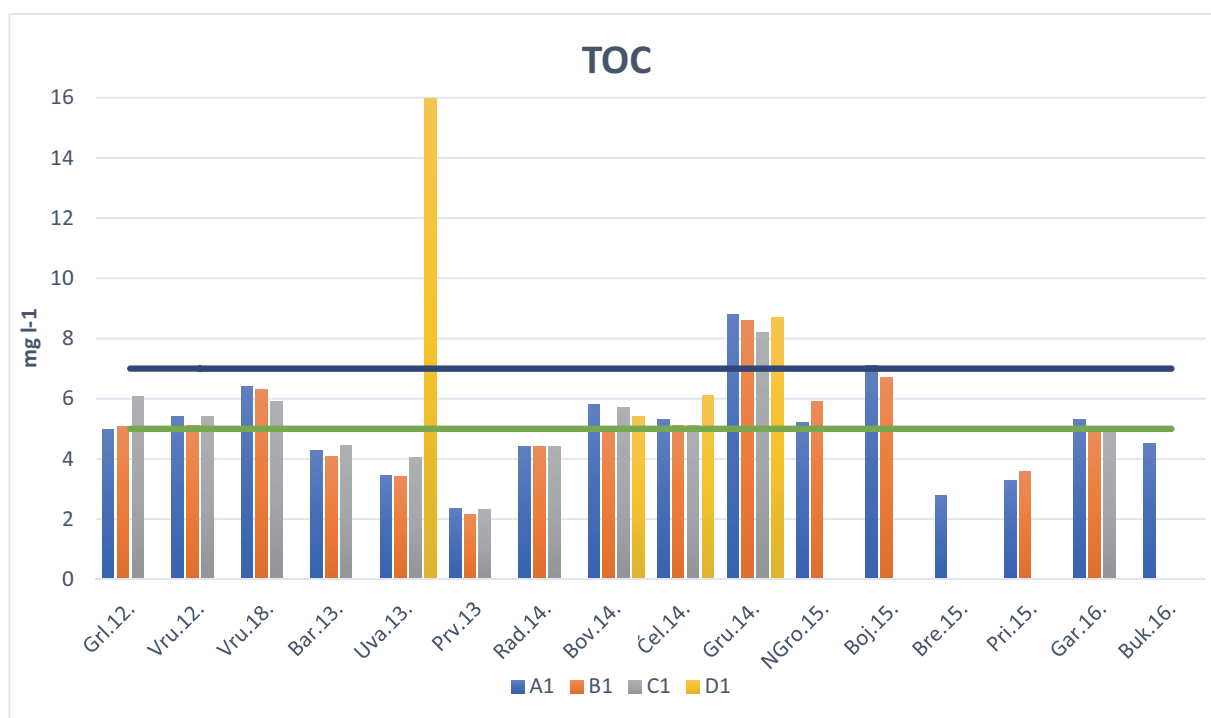


akumulacija opada već u metalimnionu na veoma niske vrednosti, kao što je to slučaj u akumulacijama: Čelije, Bovan, Pridvorica, Garaši i Bojnik (Brestovac). Jedine dve akumulacije u kojima nije konstatovan deficit kiseonika u hipolimnionu u letnjem periodu su Radoinja i Prvonek.

Prema Pravilniku, za procenu ekološkog potencijala za sadržaj rastvorenog kiseonika u vodenom stubu, na godišnjem nivou, vrednost parametra određuje se kao C10 (10-percentil). Na Grafiku 2 može se videti da je vrednost C10 sadržaja rastvorenog kiseonika u vodi odgovarala dobrom i boljem ekološkom potencijalu samo u akumulacijama Prvonek, Radoinja i Barje. U najdubljim delovima akumulacija, kod brane (lokalitet A) i u centralnim delovima akumulacija (lokalitet B), sadržaj rastvorenog kiseonika u vodi (vrednost C10) odgovara lošem ekološkom potencijalu u akumulacijama: Čelije, Gruža, Bresnica, Garaši i Uvac (Sjenica) u centralnom delu akumulacije. Slabom ekološkom potencijalu sadržaj rastvorenog kiseonika u vodi odgovara u akumulacijama: Grlišće, Vrutci 2012. godine, Uvac kod brane i u kanjonu i Bovan, a umerenom u akumulacijama: Bojnik (Brestovac), Pridvorica, Bukulja i Vrutci 2018. godine. U plitkim delovima svih akumulacija (lokaliteti C i D) sadržaj rastvorenog kiseonika u vodi odgovara dobrom i boljem ekološkom potencijalu, međutim, zbog male dubine u tim delovima ne uspostavlja se termička stratifikacija pa samim tim kiseonik slobodno difunduje do dna akumulacija i on nije relevantan pokazatelj ekološkog stanja. Sadržaj ukupnog

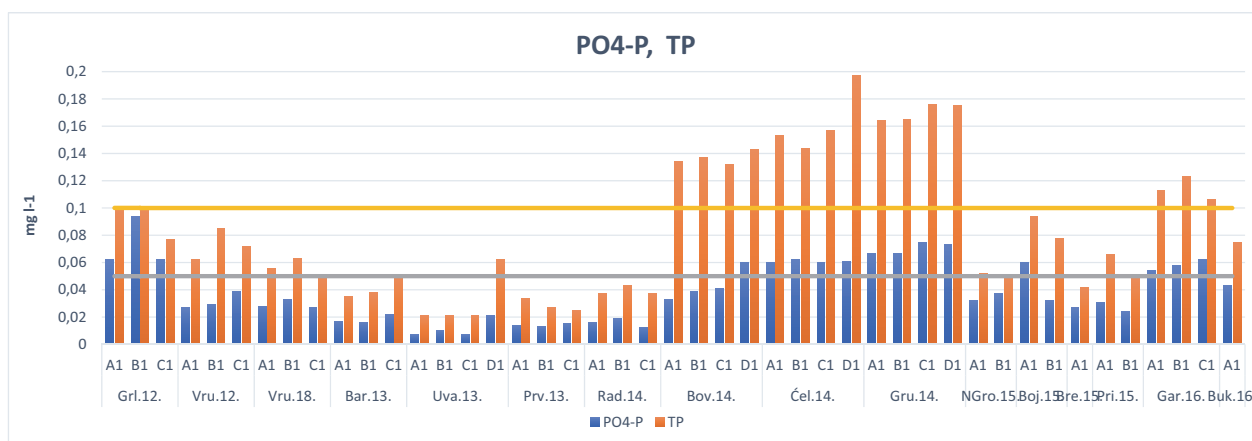
(Sjenica) and Vrutci supersaturation was expressed in metalimnion. The highest percentage of water saturation with oxygen was found at a depth that is 1 to 2 m above the depth of the maximum chlorophyll *a*, or at the same depth. The content of dissolved oxygen in water in most reservoirs decreases already in the metalimnion to very low values, as is the case in the reservoirs: Čelije, Bovan, Pridvorica, Garaši and Bojnik (Brestovac). The only two reservoirs without oxygen deficiency in the hypolimnion in the summer period are Radoinja and Prvonek.

According to the Regulation, the assessment of ecological potential for the content of dissolved oxygen in the water column, on annual level, the value of the parameter is calculated as C10 (10th percentile). The Graph 2 shows that the C10 value of the dissolved oxygen content in the water corresponds to a good and better ecological potential only in the Prvonek, Radoinja and Barje reservoirs. In the deepest parts of the reservoirs, near the dam (locality A), and in the central parts of the reservoirs (locality B), the content of dissolved oxygen in the water (C10 value) corresponds to poor ecological potential in the following reservoirs: Čelije, Gruža, Bresnica, Garaši and Uvac (Sjenica) in the central part of the reservoir. The content of dissolved oxygen in the water corresponds to the poor ecological potential in the following reservoirs: Grlišće, Vrutci in 2012, Uvac near the dam and in the canyon and Bovan, and to the moderate ecological potential in the reservoirs: Bojnik (Brestovac), Pridvorica, Bukulja and Vrutci in 2018. In shallow parts of all reservoirs



Grafik 3. Prosečne godišnje vrednosti ukupnog organskog ugljenika (TOC) na različitim lokalitetima u akumulacijama

Graph 3. Mean annual values of Total Organic Carbon (TOC) at different localities in the reservoirs



Grafik 4. Prosečne godišnje vrednosti ortofosfata (PO₄-P) i ukupnog fosfora na različitim lokalitetima u akumulacijama

Graph 4. Mean annual values of Orthophosphates (PO₄-P) and Total Phosphorus (TP) at different localities in the reservoirs

organskog ugljenika u vodi (TOC) je, takođe, važan pokazatelj ekološkog stanja. Prosečne vrednosti TOC na godišnjem nivou (Grafik 3) odgovaraju dobrom i boljem ekološkom potencijalu u akumulacijama Radoinja, Prvonek, Barje, Uvac kod brane, u centralnom delu i u kanjonu, Bresnica, Pridvorica i Bukulja, umerenom u akumulacijama: Grlšte, Vrutci 2012. i 2018. godine, Bovan, Čelije, Nova Grošnica i Garaši, slabom u akumulaciji Gruža i na ulazu u akumulaciju Uvac.

Prosečne godišnje vrednosti ortofosfata i ukupnog fosfora, prema Pravilniku, su povišene u akumulacijama: Grlšte, Bovan, Čelije, Gruža i Garaši i odgovaraju umerenom ekološkom potencijalu. Granična vrednost ukupnog fosfora za umeren potencijal (III klasa) iznosi 0,100 mg L⁻¹ (Grafik 4).

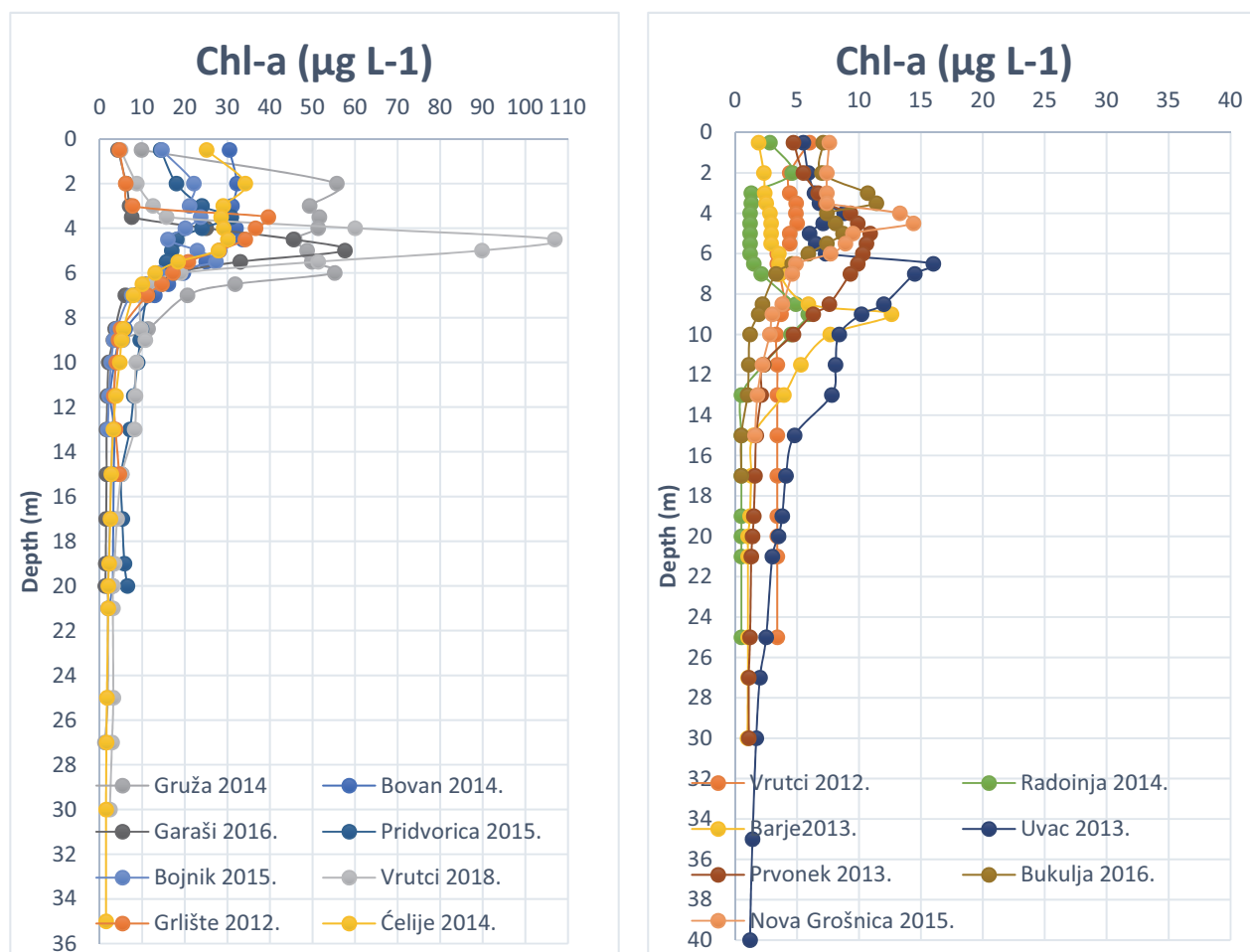
Prema OECD klasifikaciji trofičkog statusa jezera i akumulacija (OECD, 1982), koju kao osnov za klasifikaciju uzimaju mnoge zemlje EU, vrednosti ukupnog fosfora > 0,035 mgL⁻¹ smatraju se povišenim i odgovaraju eutrofnim uslovima (IV klasa), dok vrednosti > 0,100 mgL⁻¹ odgovaraju hipereutrofnim uslovima (V klasa). Prema ovim kriterijumima, u svim našim akumulacijama vladaju eutrofni i hipereutrofni uslovi, osim akumulacije Prvonek koja je mezotrofnog tipa. Akumulacije Radoinja i Barje su prema prosečnim vrednostima ukupnog fosfora na donjoj granici eutrofije.

Fitoplankton najbrže reaguje na fizičko-hemijske promene strukture jezerskih ekosistema. Promene koje se dešavaju u jezerskim ekosistemima najpre utiču na fitoplanktonsku zajednicu. Ove promene dovode do transformacije sastava fitoplanktona i dominacije zajednica algi (Sönmez et al., 2017).

(localities C and D), the content of dissolved oxygen in water corresponds to good and better ecological potential, however, due to the small depth in these parts the thermal stratification was not established, and therefore oxygen diffuses freely to the bottom of reservoirs and it is not a relevant indicator of ecological conditions. The content of total organic carbon in water (TOC) is also an important indicator of ecological status. Mean annual TOC values (Graph 3) correspond to good and better ecological potential in the reservoirs: Radoinja, Prvonek, Barje, Uvac near the dam, in the central part and in the canyon, Bresnica, Pridvorica and Bukulja, moderate in the following reservoirs: Grlšte, Vrutci 2012 and 2018, Bovan, Čelije, Nova Grošnica and Garaši, poor in the Gruža reservoir and at the entrance to the Uvac reservoir.

The mean annual values of orthophosphate and total phosphorus, according to the Regulation, are increased in the following reservoirs: Grlšte, Bovan, Čelije, Gruža and Garaši, and correspond to the moderate ecological potential. The limit value of total phosphorus for moderate potential (Class III) is 0.100 mg L⁻¹ (Graph 4).

According to the OECD classification of trophic status of lakes and reservoirs (OECD, 1982), which is taken as a basis for classification by many EU countries, values of total phosphorus > 0.035 mgL⁻¹ are considered as increased, and correspond to eutrophic conditions (Class IV), whilst values > 0.100 mgL⁻¹ correspond to hypereutrophic conditions (Class V). According to these criteria, eutrophic and hypereutrophic conditions prevailed in all our reservoirs, except the Prvonek reservoir which is mesotrophic type. The Radoinja and Barje reservoirs are in the lower limit of eutrophy according to the average values of total phosphorus.



Grafik 5. Koncentracije hlorofila a na najdubljoj tački, kod brane (A₁), u akumulacijama u letnjem periodu

Graph 5. The concentration of chlorophyll a in the deepest sampling point, at the locality near dam (A₁) in the reservoirs in summer period

Zagrevanjem površinskih slojeva vode u prolećnom periodu dolazi do intenzivnije produkcije fitoplanktona i povećanja sadržaja rastvorenog kiseonika u vodi. Karakteristične su površinske populacije fitoplanktona sa dominacijom silikatnih algi. Od trofičkog statusa akumulacija zavisi prostorna i vremenska distribucija životnih zajednica. U oligotrofnim jezerima raspoloživa količina primarnih nutrijenata, koji kontrolišu produktivnost, naglo se smanjuje u površinskim slojevima, što potiskuje populacije fitoplanktona ka pribežištu u zoni ispod termokline. U površinskim slojevima ostaje jedino mala količina obnovljivih primarnih nutrijenata koja omogućava opstanak letnje siromašne zajednice pri površini (Laušević, 1995). Takva je situacija u akumulaciji Radoinja, koja je oligotrofno-mezotrofnog tipa, gde se fitoplankton odlikuje jednoličnim sastavom i niskom produktivnošću. Konstatuje se jedan maksimum razvića, u letnjem periodu, sa slabo izraženim pikom u zoni ispod termokline, a najveća koncentracija hlorofila a ustanovljena je na 9 m dubine (Grafik 5).

Phytoplankton reacts the fastest to physico-chemical changes in the structure of lake ecosystems. The changes that occur in lake ecosystems firstly affect the phytoplankton community. These changes lead to a transformation of phytoplankton composition and dominance of algal communities (Sönmez et al., 2017).

By heating the surface layers of water in the spring, there is a more intensive production of phytoplankton and an increase of the content of dissolved oxygen in the water. Surface populations of phytoplankton, with a predominance of silicate algae are characteristic. The spatial and temporal distribution of biocenoses depends on trophic status of the reservoir. In oligotrophic lakes, the available amount of primary nutrients, which control productivity, decreases sharply in the surface layers, which "pushes" phytoplankton populations to a refuge in the zone below the thermocline. Only a small amount of renewable primary nutrients remains in the surface layers, which enables the survival of the summer poor community at the surface (Laušević, 1995). Such situation was noted in the Radoinja reservoir, which belongs to oligotrophic-mesotrophic type,

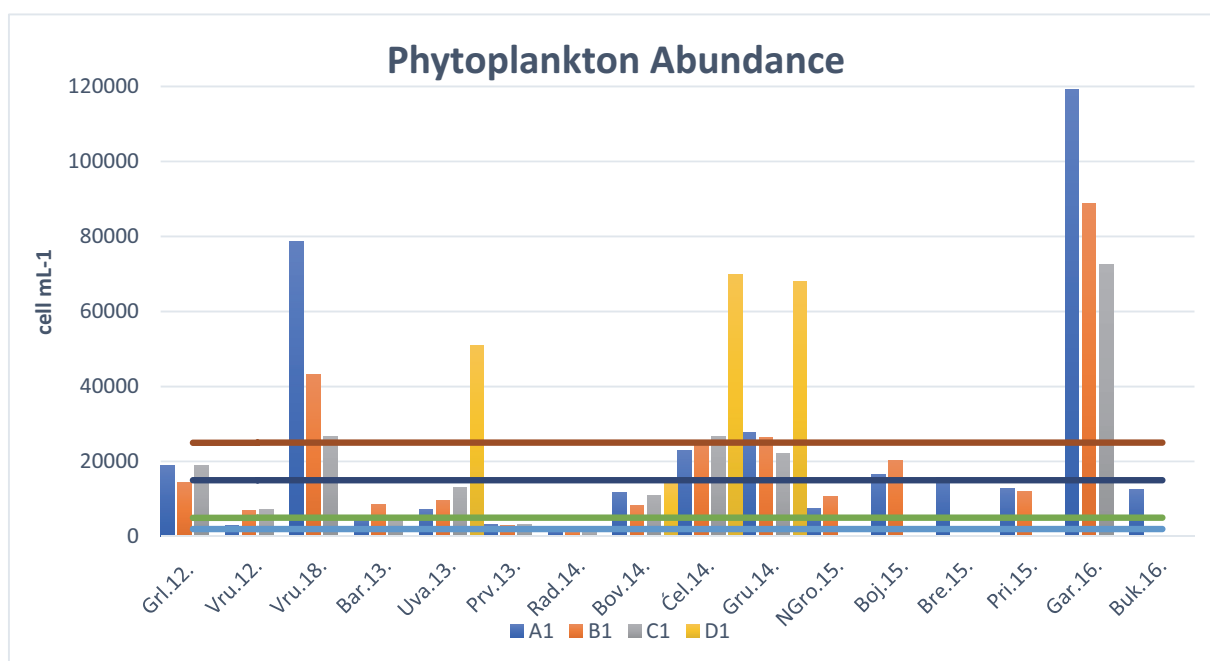
U mezotrofnim jezerima dovoljna količina primarnih ograničavajućih nutrijenata omogućava da dođe do pojave iscrpljivanja sekundarnih ograničavajućih nutrijenata (npr. silicijum, mikroelementi, vitamini) u površinskim slojevima nakon uspostavljanja stratifikacije. Populacije za čiji rast je neophodan sekundarni nutrijent prisiljene su na pomeranje iz epilimniona, ali se u njemu razvijaju značajne populacije vrsta koje ili ne zahtevaju, ili su prilagođene na rast u uslovima niske koncentracije sekundarnog nutrijenta i koje iscrpljuju od proleća preostalu količinu primarnih nutrijenata (Laušević, 1995). U mezotrofnim akumulacijama, kao što su Prvonek, Vrutci, Barje, Uvac (u delu kod brane), Nova Grošnica i Pridvorica dolazi do iscrpljivanja nutrijenata u epilimnionu od strane fitoplanktona i on se povlači u dublje slojeve vode, zauzimajući novu "ekološku nišu", u sloju metalimniona, gde vladaju uslovi slabijeg svetlosnog intenziteta, niže temperature, ali veće koncentracije nutrijenata. U većini mezotrofnih akumulacija, u letnjem periodu, zabeležen je metalimnionski pik razvoja algi, i to najčešće u donjem sloju metalimniona, debljine oko 50 cm, koji se graniči sa hipolimnionom (Grafik 5).

U sredini bogatijim nutrijentima ne postoje mehanizmi koji omogućavaju pojavu metalimnionskog maksimuma hlorofila. U proleće, velika količina epilimnionskih, površinskih nutrijenata stimuliše intenzivan razvoj fitoplanktona. Takav prinos fitoplanktona "ne pati" od nedostatka nutrijenata i najčešće aktivno raste tokom celog leta. Populacije koje su adaptirane na rast u površinskoj vodi postaju dominantne u sastavu fitoplanktona i konačno, svojom zasenom, uništavaju nišu subtermokline

where phytoplankton is characterized by uniform composition and low productivity. One maximum of development was occurred, in the summer period, with a weak peak in the zone below the thermocline, and the highest concentration of chlorophyll *a* was established at a depth of 9 m (Graph 5).

In mesotrophic lakes, a sufficient amount of primary limitative nutrients allows the depletion of secondary limitative nutrients (e.g. silicon, microelements, vitamins) in the surface layers after the establishment of stratification. Populations for which the growth of secondary nutrient is necessary are forced to move from the epilimnion, but significant populations of species developed in the epilimnion either do not require or are adapted to growth in conditions of low concentration of secondary nutrient and which deplete the remaining amount of primary nutrients from the spring period (Laušević, 1995). In mesotrophic reservoirs, such as Prvonek, Vrutci, Barje, Uvac (in the part near the dam), Nova Grošnica and Pridvorica, phytoplankton is depleted of nutrients in the epilimnion and it retreats into deeper layers of water occupying a new ecological niche in the metalimnion layer where prevailed conditions of lower light intensity, lower temperatures, but higher concentrations of nutrients. In most mesotrophic reservoirs, in the summer period, the metalimnion peak of algae development was observed, most often in the lower layer of metalimnion, cca. 50 cm thick bordering with hypolimnion (Graph 5).

In environment rich in nutrients, there are no mechanisms that enable the appearance of the metalimnion maximum of chlorophyll. In the



Grafik 6. Prosečne godišnje vrednosti abundance fitoplanktona na različitim lokalitetima u akumulacijama

Graph 6. Mean annual values of phytoplankton abundance at different sampling sites in the reservoirs



(Laušević, 1995). U eutrofnim akumulacijama, kao što su Gruža, Čelije, Bovan, Grlšte, Sjenica (u centralnom delu, u kanjonu i na ulazu u akumulaciju), Bojnik (Brestovac) i Bresnica, nutrijenata ima dovoljno tokom cele godine, tako da dominiraju površinske populacije algi, a sastav fitoplanktona u dubljim slojevima je siromašan (Grafik 6).

U akumulaciji Garaši, koja je prema svim pokazateljima eutrofnog tipa, maksimum hlorofila *a* i u prolećnom i u letnjem periodu (Grafik 5), izmeren je u metalimnionu na dubini od 5 m. Najverovatnije je da su autekološke osobine vrste *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek, koja je "cvetala" u akumulaciji 2016. godine, uzrokovala ovu pojavu, jer su za ovaj tip jezera karakteristične površinske populacije algi i cijanobakterija. U akumulaciji Bukulja, koja je mezotrofnog tipa, konstatovane su neke karakteristike eutrofnih akumulacija, kao što su površinske populacije algi u letnjem periodu (Grafik 6).

Prosečne godišnje vrednosti abundance fitoplanktona su važan parametar za ocenu ekološkog potencijala akumulacija. Najveće vrednosti, koje odgovaraju lošem ekološkom potencijalu konstatovane su u akumulacijama Garaši, Gruža, Čelije, Uvac (na ulazu u akumulaciju), i u akumulaciji Vrutci 2018. godine. Vrednosti koje odgovaraju slabom ekološkom potencijalu konstatovane su akumulacijama Grlšte, Bojnik i Bresnica, a umerenom u akumulacijama Vrutci 2012. godine, Barje, Uvac (kod brane, u centralnom delu akumulacije i u kanjonu), Bovan, Nova Grošnica, Pridvorica i Bukulja. Akumulacije u kojima je prosečna vrednost abundance fitoplanktona, na godišnjem nivou, iznosila ispod 5000 ćel mL^{-1} , što odgovara dobrom i boljem ekološkom potencijalu, su Prvonek i Radoinja (Grafik 6).

Jedan od najvažnijih parametara za procenu ekološkog potencijala je i prisustvo cijanobakterija i njihova abundanca u akumulacijama. Poslednjih decenija na globalnom nivou primećeno je širenje "cvetanja" cijanobakterija u mnogim jezerima i akumulacijama.

Antropogeno obogaćivanje hranljivim materijama i hidrološke modifikacije, uključujući diverzije vode i izgradnju akumulacija su glavni pokretači širenja cvetanja. Klimatske promene, tj. zagrevanje, ekstremniji kišni događaji i suše deluju sinergistički sa ljudskim pokretačima kako bi pogoršali problem (Paerl, 2018). Cijanobakterijski rodovi koji formiraju cvate izuzetno su otporni na ekstremne sredine; poseduju ćelije za odmor (akinetete), omotače i kapsule, fotoprotektivne pigmente i sposobnost klizanja i brzog kretanja po vodenom stubu, menjajući mobilnost i na taj način optimizirajući pristup svetlosti i hranjivim sastojcima. (Potts & Whitton, 2000; Reynolds, 2006 in Paerl, 2018). Neki rodovi mogu pristupiti ogromnom rezervoaru atmosferskog azota (N_2) putem azotifikacije, koji

spring, a large amount of epilimnetic, surface nutrients stimulates the intensive development of phytoplankton. Such phytoplankton yield "does not suffer" from a lack of nutrients and usually actively grows during the whole summer. Populations that are adapted to growth in surface water become dominant in the composition of phytoplankton and finally, with their shade, destroy the niche of the subthermocline (Laušević, 1995). In eutrophic reservoirs, such as Gruža, Čelije, Bovan, Grlšte, Uvac (in the central part, in the canyon and at the entrance to the reservoir), Bojnik (Brestovac) and Bresnica, there are enough nutrients throughout the year, so that surface algae populations dominate, and the composition of phytoplankton in the deeper layers is poor (Graph 5).

In the Garaši reservoir, which is according to all indicators belongs to eutrophic type, the maximum of chlorophyll, both in the spring and in the summer period (Graph 5), was measured in the metalimnion at a depth of 5 m. It is most likely that the autecological characteristics of *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek, which "bloomed" in the reservoir in 2016, caused this phenomenon, because this type of lake is characterized by the surface populations of algae and cyanobacteria. In the Bukulja reservoir, which belongs to mesotrophic type, some characteristics of eutrophic reservoir were found, such as surface populations of algae in the summer period (Graph 5).

Mean annual values of phytoplankton abundance are important parameter for assessing the ecological potential of reservoirs. The highest values, which correspond to bad ecological potential, were ascertained in the following reservoirs: Garaši, Gruža, Čelija, Uvac (at the entrance to the reservoir), and in the Vrutci reservoir in 2018. The values correspond to poor ecological potential were found in the Grlšte, Bojnik and Bresnica reservoirs, and moderate in the following reservoirs: Vrutci in 2012, Barje, Uvac (near the dam, in the central part of the reservoir and in the canyon), Bovan, Nova Grošnica, Pridvorica and Bukulja. The reservoirs in which the average value of phytoplankton abundance, on an annual level, was below 5000 cells mL^{-1} , which corresponds to good and better ecological potential, are Prvonek and Radoinja reservoirs (Graph 6).

One of the most important parameters for assessing ecological potential is a presence of cyanobacteria and their abundance in the reservoirs. In recent decades, the spread of "blooming" of cyanobacteria in many lakes and reservoirs has been observed on a global level. Anthropogenic nutrient enrichment and hydrological modifications, including water diversions and reservoir construction, are major drivers of bloom expansion. Climate change, i.e., warming, more extreme rainfall events, and droughts, act

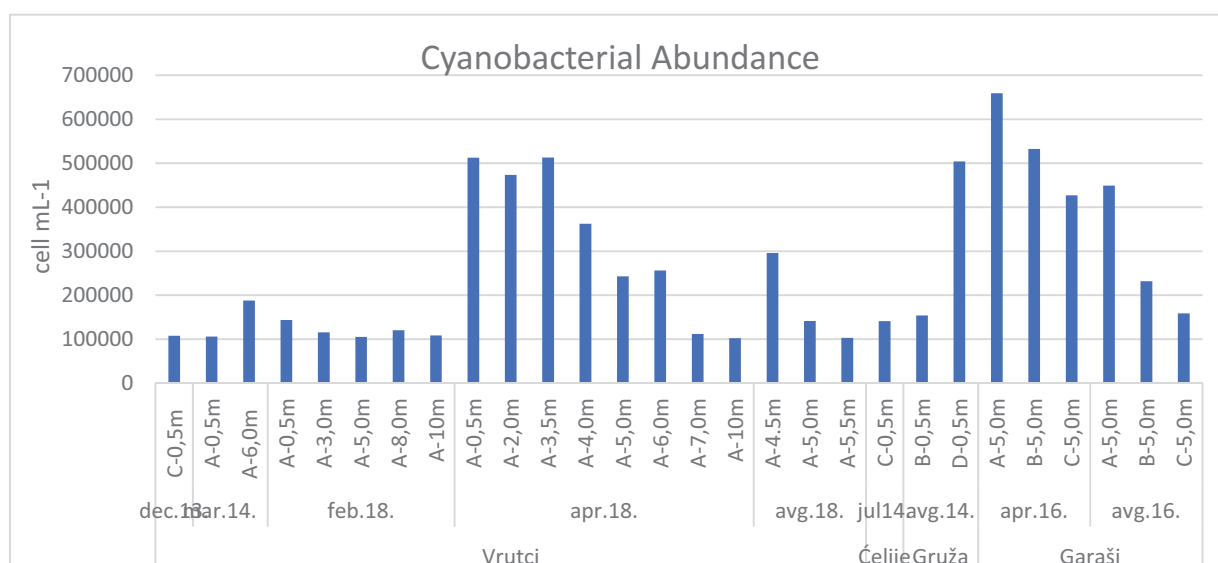
može zaobići ograničenje azota (Gallon et al., 1992 u Paerl, 2018), sekvestrirano gvožđe izlučivanjem siderofora (Wilhelm & Trick, 1994 in Paerl, 2018), skladištenje fosfora, azota i drugih osnovnih hranljivih materija (Reynolds, 2006 in Paerl, 2018), proizvodnju sekundarnih metabolita, uključujući jedinjenja toksična za životinje i čoveka (Paerl et al., 1996), i suprotstavljaju se nepovoljnim i stresnim uslovima okruženja, uključujući fotooksidaciju, povišen salinitet i povezani osmotski stres (Paerl et al., 1996).

Intenzitet "cvetanja" cijanobakterija u nekim akumulacijama za vodosnabdevanje dostiže zabrinjavajuće razmere. U različitim periodima ispitivanja, na pojedinim dubinama, iznosi preko 100 000 cell mL^{-1} (Grafik 7), što je prema preporukama Svetske zdravstvene organizacije, za prisustvo cijanobakterija u vodi za vodosnabdevanje, opasnost visokog rizika po zdravlje stanovništva (Chorus & Bartham, 1999). Ova pojava je konstatovana u akumulaciji Gruža 2014. godine, gde su na ulazu u akumulaciju formirane površinske agregacije usled "cvetanja" azotofiksatorske vrste *Aphanizomenon flosaquae* Ralfs ex Bornet & Flahault. Ova vrsta potencijalno može da luči nekoliko vrsta cijanotoksina (saksitoksin i neosaksitoksin, koji prema tipu toksičnosti, pripadaju grupi neurotoksina, i mikrocistin koji pripada grupi hepatoksina).

U akumulaciji Vrutci, u decembru 2013. godine, primećena je pojava "cvetanja vode" izazvana hepatoksičnom filamentoznom vrstom *Planktothrix rubescens* (De Candolle ex Gomont) Anagnostidis & Komárek. Brojnost cijanobakterija iznosila je preko 90000 cell mL^{-1} , da bi u martu 2014. došlo do još veće proliferacije *P. rubescens* sa preko 100000 cell mL^{-1} .

synergistically with human drivers to exacerbate this problem (Paerl, 2018). Bloom-forming cyanobacterial genera are remarkably resistant to environmental extremes; They possess heat- and desiccation-tolerant resting cells (akinetes), sheaths and capsules, photoprotective pigments, and the ability to glide and rapidly move throughout the water column by altering their buoyancy, and thereby optimizing access to light and nutrients (Potts & Whitton, 2000; Reynolds, 2006; Paerl, 2018). Some genera can access the vast reservoir of atmospheric nitrogen via nitrogen (N_2) fixation, which can circumvent nitrogen limitation (Gallon et al., 1992 in Paerl, 2018), sequester iron by secreting siderophores (Wilhelm & Trick, 1994 in Paerl, 2018), store phosphorus, nitrogen, and other essential nutrients (Reynolds, 2006 in Paerl, 2018), produce secondary metabolites including compounds toxic to animals, including humans (Paerl et al., 1996), and counter adverse and stressful environmental conditions including photooxidation, elevated salinity, and related osmotic stress (Paerl et al., 1996).

The intensity of of cyanobacterial "blooming" in some reservoirs for water supply was reached worrying proportions. In different investigation periods, at certain depths, it amounts to over 100 000 cells mL^{-1} (Graph 7), which is, according of the World Health Organization (WHO) recommendations, for the presence of cyanobacteria in water supply, a high risk to public health (Chorus & Bartham, 1999). This phenomenon was observed in the Gruža reservoir in 2014, where surface aggregations were formed at the entrance to the reservoir due to the "blooming" of the nitrogen-fixing species *Aphanizomenon*



Grafik 7. Akumulacije u kojima je brojnost cijanobakterija u različitim periodima ispitivanja i na različitim dubinama iznosila preko 100 000 cell mL^{-1}

Graph 7. The reservoirs in which cyanobacterial abundance was more than 100 000 cell mL^{-1} in different investigation periods and at different depths



Ponovnim ispitivanjem akumulacije Vrutci u aprilu 2018. konstatovana je brojnost *P. rubescens* preko 500 000 ćel mL^{-1} , a u letnjem periodu vrsta se povlači u metalimnion na dubinu između 4,5 i 5,5 m (Grafik 7).

U akumulaciji Garaši 2016. godine, "cvetanje vode" izazvala je druga vrsta roda *Planktothrix*. Radi se, takođe, o hepatoksičnoj vrsti *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek. Proliferacija vrste je veoma intenzivna u aprilu mesecu na dubini od 5 m (preko 600 000 ćel mL^{-1}) (Grafik 7). Intenzitet "cvetanja" se nastavlja i tokom letnjih meseci. *Planktothrix agardhii* je dominantna vrsta u mnogim plitkim eutrofnim jezerima. Obe vrste roda *Planktothrix* su potencijalno veoma opasne jer mogu da produkuju mikrocistin, toksin jetre. Jezera u kojima dominira *Planktothrix* imaju značajno veće koncentracije mikrocistina po jedinici cijanobakterijske biomase od jezera u kojima dominiraju druge vrste cijanobakterija (Briand et al., 2002). Pored praćenja dinamike cijanobakterija, Agencija za zaštitu životne sredine pratila je i dinamiku mikrocistina u akumulaciji Vrutci 2018. godine. Utvrđeno je prisustvo tri vrste mikrocistina: MC-LR, MC-RR i MC-YR. Najtoksičnija forma je mikrocistin-LR. Utvrđene su veoma visoke koncentracije ukupnih mikrocistina u aprilu 2018. u površinskim slojevima vode, sa najvećom vrednosti na 4 m dubine ($10,9 \mu\text{g L}^{-1}$). Prema kriterijumu EPA (US) ove vrednosti odgovaraju visokom nivou upozorenja ($>1,6 \mu\text{g L}^{-1}$). Ovaj trend se nastavlja i u avgustu 2018., ali se vrsta povlači u metalimnion; koncentracije ukupnog mikrocistina niže su nego u aprilu, ali su opet veoma povišene ($2,58 \mu\text{g L}^{-1}$). Najveća koncentracija utvrđena je za MC-RR. U novembru 2018. godine koncentracije sve tri forme mikrocistina su ispod granice kvantifikacije ($<0,1 \mu\text{g L}^{-1}$). S obzirom da je Svetska zdravstvena organizacija (SZO) dala preporučenu koncentraciju samo za MC-LR ($1 \mu\text{g L}^{-1}$), koncentracije MC-LR su u svim periodima ispitivanja bile ispod propisanih vrednosti. Pojava "cvetanja" cijanobakterija uvek je posledica dugogodišnjeg negativnog antropogenog uticaja i povećane eutrofikacije, koja u kombinaciji sa fizičkim faktorima, kao što su temperatura vode i stabilnost vodenog stuba, dovodi do favorizovanja jedne ili nekoliko vrsta. Globalno zagrevanje i klimatske promene na regionalnom nivou, koje utiču na povećanje temperature vodenih ekosistema predstavljaju sve veću pretnju. Povećanje temperature vode može promeniti hidrodinamiku jezera i produžiti period stratifikacije vode. Klimatske promene se smatraju potencijalnim uzrokom daljeg širenja "cvetanja" štetnih cijanobakterija, naročito u eutrofnim vodama sa porastom temperature, povećanom stratifikacijom, dužim retencionim vremenom i velikim uticajem nutrijenata koji favorizuju dominaciju cijanobakterija (O'Neil et al., 2012).

Okvirna direktiva o vodi EU predviđa i ispitivanje zajednica fitobentosa u jezerima i akumulacijama.

flosaquae Ralfs ex Bornet & Flahault. This species could potentially excrete several types of cyanotoxin (saxitoxin and neosaxitoxin, which according to the type of toxicity, belong to the group of neurotoxins, and microcystin, which belongs to the group of hepatotoxins).

In the Vrutci reservoir in December 2013, the phenomenon of "water bloom" caused by the hepatotoxic filamentous species *Planktothrix rubescens* (De Candolle ex Gomont) Anagnostidis & Komárek was observed. The number of cyanobacteria was over 90 000 cells mL^{-1} , and in March 2014 there was an even greater proliferation of *P. rubescens*, with over 100 000 cells mL^{-1} . In April 2018, the repeated examination of the Vrutci reservoir revealed the number of *P. rubescens* was over 500 000 cells mL^{-1} , and in the summer 2018 the species retreated into the metalimnion, to a depth between 4.5 and 5.5 m (Graph 7).

In the Garaši reservoir in 2016, the water blooming was caused by another species of the genus *Planktothrix*. It is also a hepatotoxic species, *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek. In April 2016, the proliferation of this species was very rapid at a depth of 5 m (over 600 000 cells mL^{-1}) (Graph 7). The intensity of "blooming" continued during the summer months. *Planktothrix agardhii* is a dominant species in many shallow eutrophic lakes. Both species of the genus *Planktothrix* are potentially very dangerous because they can produce microcystin, a liver toxin. The lakes dominated by *Planktothrix* have significantly higher concentrations of microcystins per unit of cyanobacterial biomass than lakes dominated by other species of cyanobacteria (Briand et al., 2002). Besides monitoring of the dynamics of cyanobacteria, the Serbian Environmental Protection Agency also monitored the dynamics of microcystins in the Vrutci reservoir in 2018. The presence of three types of microcystins was determined: MC-LR, MC-RR and MC-YR. The most toxic form is microcystin-LR. Very high concentrations of total microcystins were found in April 2018 in the surface layers of water, with the highest value in 4 m depth ($10.9 \mu\text{g L}^{-1}$). According to the EPA (US) criterion, these values correspond to a high-risk level ($> 1.6 \mu\text{g L}^{-1}$). Such trend was continued in August 2018 as well, but the species was retreated into metalimnion; the concentrations of total microcystin were lower than in April 2018, but very increased ($2.58 \mu\text{g L}^{-1}$). The highest concentration was determined for MC-RR. In November 2018, the concentrations of all three forms of microcystins were below the limit of quantification ($<0.1 \mu\text{g L}^{-1}$). Since the World Health Organization (WHO) proposed the recommended concentration for MC-LR only ($1 \mu\text{g L}^{-1}$), the MC-LR concentrations were below proposed values in all investigation periods. The occurrence of cyanobacterial "blooming" is always a consequence of long-term negative anthropogenic impact and

Akcentat je na ispitivanju bentosnih dijatoma. Iako su dijatomi indeksi već decenijama nezaobilazan "alat" za procenu ekološkog stanja potoka i reka, njihova primena u proceni ekološkog statusa/potencijala jezera i akumulacija je novijeg datuma. Parametar koji se, prema Pravilniku, koristi za procenu ekološkog potencijala akumulacija je IPS ("Indice de pollutio-sensibilite") dijatomi indeks (Coste in Cemagref, 1982). Rezultati ispitivanja pokazuju da je ekološki potencijal akumulacija, na osnovu IPS indeksa, za jednu ili čak dve klase bolji nego što pokazuju ispitivanja zajednica fitoplanktona ili makroinvertebrata. U epilitskim zajednicama, bilo da su prirodne ili veštački postavljene podloge za prikupljanje dijatoma, veoma često dominiraju kosmopolitske, alkalifilne vrste kao što su *Cocconeis placentula* Ehrenberg ili *Achnanthes minutissimum* (Kützinger) Czarnecki. To su brzorastuće, "pionirske" vrste koje su u stanju da brzo kolonizuju ogoljene podloge, imaju širok ekološki spektar i javljaju se u širokom opsegu pH vrednosti, u uslovima od oligotrofije do eutrofije. Često su veoma tolerantne na organsko zagađenje i imaju široku ekološku valencu kada su u pitanju koncentracije nutrijenata. Osim toga, neki radovi ukazuju i da je epipelna zajednica dijatoma u obalskom pojasu većine nizijskih jezera relativno homogena, često dominiraju sitni *Fragilaria* (sensu lato) taksoni. Ovi taksoni koriste povoljne svetlosne uslove u plitkoj litoralnoj zoni, ali su loši indikatori kvaliteta vode, jer imaju široku toleranciju na koncentracije nutrijenata (npr. Bennion et al., 2001). Njihova niska osetljivost sugerise da verovatno neće biti pogodni za razvoj "alata" za klasifikaciju (King et al., 2006).

Vrednosti IPS indeksa koje odgovaraju slabom ekološkom potencijalu utvrđene su u akumulaciji Grlište, umerenom u akumulacijama Bovan, Gruža, Bojnik (Brestovac) i Garaši na ulazu u akumulaciju, a vrednosti koje odgovaraju dobrom i boljem ekološkom potencijalu u svim ostalim akumulacijama.

Ispitivanjem zajednice akvatičnih makroinvertebrata akumulacije Grlište 2012. godine na lokalitetu na ulazu u akumulaciju u septembru mesecu ukupno je zabeleženo 16 taksona. Procentualna zastupljenost maločekinjastih crva (Oligochaeta) u zajednici bila je 39,33%. Iz klase puževa (Gastropoda) bile su prisutne 4 vrste: *Radix labiata* (Rossmässler, 1835), *Physella acuta* (Drepanaud, 1805), *Viviparus viviparus* (Linnaeus, 1758) i *Viviparus acerosus* (Bourguignat, 1862), a iz klase školjki (Bivalvia) samo jedna vrsta: *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771). Na osnovu prisustva pojedinih taksona bioindikatora konstatovano je umereno organsko opterećenje akumulacije. Predstavnici insekatskih redova Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera su odsustovali. Na osnovu svih parametara relevantnih za zajednicu akvatičnih makroinvertebrata, prema Pravilniku, ekološki potencijal akumulacije Grlište

increased eutrophication, which in combination with physical factors, such as water temperature and water column stability, leads to favoring of one or several species. At the regional level, global warming and climate change affected increasing a temperature of aquatic ecosystems, and becoming a high threat. An increase in water temperature could change a lake hydrodynamic and prolong the period of water stratification. Climate change is considered a potential cause of further spread of "blooming" of harmful cyanobacteria, especially in eutrophic waters with rising temperature, increased stratification, longer retention time and high impact of nutrients that favor cyanobacterial dominance (O'Neil et al., 2012).

The EU Water Framework Directive also proposes examination of phytobenthos community in lakes and reservoirs. The emphasis is on the examination of benthic diatoms. Although diatoms indices have been an indispensable "tool" for decades for assessing the ecological status of streams and rivers, their use in assessing the ecological status/potential of lakes and reservoirs has been dated from recently. The parameter used, according to the Regulation, to assess the ecological potential of reservoirs is the IPS ("Indice de pollutio-sensibilite") diatom index (Coste in Cemagref, 1982). The results of investigation showed that the ecological potential of the reservoirs, based on the IPS index, is one or even two classes better compared to the studies of phytoplankton or macroinvertebrate community. In epilithic communities, whether natural or artificially laid substrates for collecting diatoms, usually dominated by cosmopolitan, alkaliphilic species, such as *Cocconeis placentula* Ehrenberg or *Achnanthes minutissimum* (Kützinger) Czarnecki. These fast-growing pioneer species that are able to rapidly colonize bared substrates, and have a wide ecological spectrum occurring in a wide range of pH values, in conditions from oligotrophy to eutrophy. They are often very tolerant to organic pollution and have a wide ecological valence related to nutrient concentrations. Furthermore, some studies indicate that epipellic diatom community in littoral zone of most lowland lakes is relatively homogeneous, often dominated by small *Fragilaria* (sensu lato) taxa. These taxa take advantage of the favourable light conditions in the shallow water of littoral zones, but are poor indicators of water quality, having a broad tolerance to nutrient concentrations (e.g. Bennion et al., 2001). Their low sensitivity suggests that they are unlikely to be suitable for classification "tool" development (King et al., 2006).

The values of the IPS index, corresponding to poor ecological potential, were obtained in the Grlište reservoir, moderate in the following reservoirs: Bovan, Gruža, Bojnik (Brestovac) and Garaši at the entrance to the accumulation, whilst the IPS index values correspond to good and better ecological potential in all other reservoirs.



u 2012. godini mogao bi se okarakterisati kao slab. U narednom ispitivanju akumulacije Grlšte, nakon pet godina, u avgustu i novembru 2017. godine, analizom zajednice akvatičnih makroinvertebrata na lokalitetu kod brane ukupno je konstatovano 13 taksona, a na lokalitetima u centralnom delu akumulacije i na ulazu u akumulaciju po 16 taksona. Izračunate vrednosti BMWP skora na lokalitetima kod brane i na ulazu odgovaraju III klasi (umeren ekološki potencijal), a na sredini akumulacije II klasi (dobar ekološki potencijal). Vrednosti Shannon-Weaver indeksa diverziteta na sva tri lokaliteta odgovaraju II klasi (dobar ekološki potencijal). Visoko procentualno učešće maločekinjastih crva Oligochaeta/Tubificidae u zajednici makroinvertebrata zabeleženo je na sva tri lokaliteta akumulacije (najviše na lokalitetu na ulazu u akumulaciju; 39.22%). Prisutni su pojedini taksoni insekatskih redova Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera. Na osnovu svih parametara relevantnih za zajednicu akvatičnih makroinvertebrata, prema Pravilniku, ekološki potencijal akumulacije Grlšte u 2017. godini je ocenjen kao slab. Poređenjem bioloških parametara zajednice makroinvertebrata akumulacije Grlšte u oba ispitivanja, u 2012. i 2017. godini, konstatovano je da nije došlo do značajnih promena stanja akumulacije (slab ekološki potencijal).

Analizama zajednice akvatičnih makroinvertebrata na lokalitetu kod brane i na ulazu u akumulaciju Barje u avgustu mesecu 2013. godine, ukupno je zabeleženo 11 taksona. Maločekinjasti crvi (Oligochaeta) su odsustvovali u zajednici. Puževi (Gastropoda) zastupljeni su sa 6 vrsta: *Radix labiata* (Rossmässler, 1835), *Radix balthica* (Linnaeus, 1758), *Physella acuta* (Dreparnaud, 1805), *Borysthenia naticina* (Menke, 1845), *Valvata piscinalis* (O. F. Müller, 1774) i *Viviparus acerosus* (Bourguignat, 1862), a školjke (Bivalvia) sa dve vrste: *Anodonta anatina* (Linnaeus, 1758) i *Unio pictorum* (Linnaeus, 1758). Na osnovu svih bioloških parametara ocene ekološkog potencijala za akvatične makroinvertebrate, prema Pravilniku, ekološki potencijal akumulacije Barje u 2013. godini ocenjen je kao umeren. U narednom ispitivanju akumulacije Barje, nakon pet godina, u avgustu 2018. godine, na lokalitetu kod brane ukupno je zabeleženo 14, u centralnom delu akumulacije 12, a na ulazu u akumulaciju 11 taksona. Maločekinjasti crvi (Oligochaeta) su bili prisutni na svim tačkama akumulacije, a najviše na ulazu u akumulaciju (19.05%). Prilikom ovog ispitivanja, zabeleženo je 4 taksona iz reda Odonata: *Ischnura elegans* (Vander Linden, 1820), *Sympetrum* sp., *Coenagrion* sp. i *Lestes* sp., u odnosu na 2013. godinu kada je zabeležena samo jedna vrsta - *Onychogomphus forcipatus* (Linnaeus, 1758). Takođe, zabeleženo je dva taksona reda Coleoptera - *Helochares lividus* (Forster, 1771) i *Halipus* sp.; predstavnici ovog reda odsustvovali su u prethodnom ispitivanju. Na osnovu svih parametara relevantnih za zajednicu akvatičnih makroinvertebrata, prema Pravilniku, ekološki potencijal akumulacije Barje u

Investigation of the aquatic macroinvertebrate community of the Grlšte reservoir, in September 2012, at the site at the entrance to the reservoir, revealed a total of 16 taxa. The percentage of participation sludge worms (Oligochaeta) in the total community was 39.33%. From the class of snails (Gastropoda), a four species were present: *Radix labiata* (Rossmässler, 1835), *Physella acuta* (Dreparnaud, 1805), *Viviparus viviparus* (Linnaeus, 1758) and *Viviparus acerosus* (Bourguignat, 1862), and from the class of mussels (Bivalvia) only one species, *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771). Based on the presence of certain bioindicator taxa, a moderate organic pollution in the reservoir was ascertained. The representatives of Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera insect orders were absent. Based on all parameters relevant to aquatic macroinvertebrate community, according to the Regulation, ecological potential of the Grlšte reservoir in 2012 could be characterized as a poor. In the next investigation of the Grlšte reservoir, after five years, in August and November 2017, the analyses of the aquatic macroinvertebrate community at the site near the dam revealed a total of 13 taxa; 16 taxa at the site in the central part of the reservoir, and 16 taxa and at the entrance to the reservoir. The calculated values of the BMWP score at the sites at the dam, and at the entrance, correspond to class III (moderate ecological potential), and in the middle of the reservoir to class II (good ecological potential). The values of the Shannon-Weaver diversity index correspond to class II (good ecological potential) at all three localities. A high percentage of Oligochaeta/Tubificidae worms in the macroinvertebrate community was recorded at all three sites of the reservoir (mostly at the site at the entrance to the reservoir; 39.22%). The representatives of Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera insect orders were present. Based on all parameters relevant to the aquatic macroinvertebrate community, according to the Regulation, ecological potential of the Grlšte reservoir in 2017 was assessed as a poor. Comparing biological parameters of the macroinvertebrate community of the Grlšte reservoir in both studies, in 2012 and 2017, it was concluded that there were no significant changes in state of the reservoir (poor ecological potential).

The analyses of aquatic macroinvertebrate community at the site near the dam, and at the entrance to the Barje reservoir in August 2013, revealed a total of 11 taxa. Sludge worms (Oligochaeta) were absent from the community. Snails (Gastropoda) are represented by 6 species: *Radix labiata* (Rossmässler, 1835), *Radix balthica* (Linnaeus, 1758), *Physella acuta* (Dreparnaud, 1805), *Borysthenia naticina* (Menke, 1845), *Valvata piscinalis* (O. F. Müller, 1774) and *Viviparus acerosus* (Bourguignat, 1862), and mussels (Bivalvia) with two species: *Anodonta anatina* (Linnaeus, 1758) and *Unio pictorum* (Linnaeus, 1758). Based on all biological parameters of the ecological potential assessment for aquatic macroinvertebrates, according to the

2018. godini je ocenjen kao umeren. Poređenjem bioloških parametara zajednice makroinvertebrata akumulacije Barje u oba ispitivanja, u 2013. i 2018. godini, konstatovano je da nije došlo do značajnih promena stanja akumulacije (umeren ekološki potencijal).

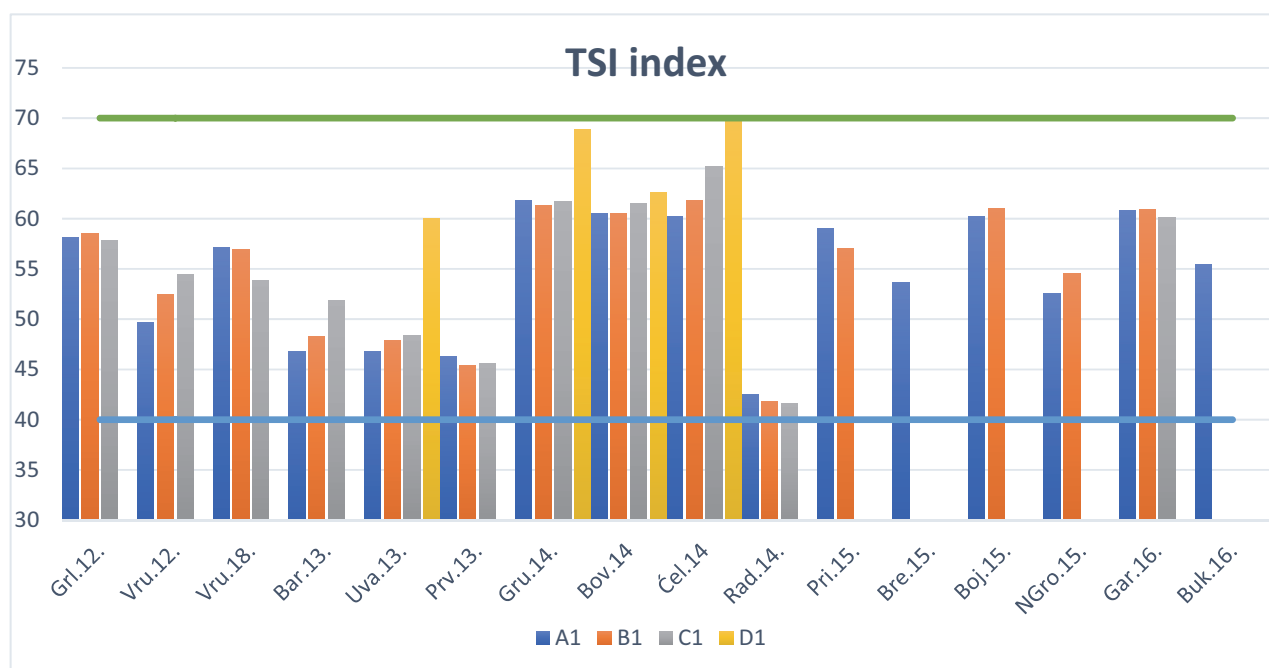
Ekološki potencijal akumulacije Uvac (Sjenica) 2013. godine na osnovu svih parametara relevantnih za zajednicu akvatičnih makroinvertebrata, prema Pravilniku, ocenjen je kao slab, a u 2014. godini akumulacije Radoinja kao umeren, akumulacije Bovan kao slab, a akumulacija Čelije i Gruža kao loš. U 2015. godini, ekološki potencijal, na osnovu parametara zajednice akvatičnih makroinvertebrata, na akumulacionom jezeru Bresnica i Brestovac (Bojnik) bio je umeren, na Pridvorici slab, a na Novoj Grošnici loš. U 2016. godini akumulacija Bukulja imala je u umeren, a akumulacija Garaši slab ekološki potencijal. U 2018. godini akumulacija Vrutci imala je slab ekološki potencijal na osnovu zajednice akvatičnih makroinvertebrata.

Prosečne vrednosti trofičkog indeksa - TSI (Grafik 8), prema Pravilniku, na svim lokalitetima u akumulacijama odgovaraju umerenom ekološkom potencijalu, osim na ulazu u akumulaciju Gruža (D₁) odgovaraju slabom potencijalu. Napominjemo da je širok dijapazon graničnih vrednosti TSI indeksa za umeren ekološki potencijal i da je neophodno revidirati Pravilnik.

Konačno, uzimajući u obzir sve elemente kvaliteta, umeren ekološki potencijal konstatovan je u akumulacijama: Radoinja, Prvonek, Vrutci 2012., Barje

Regulation, ecological potential of the Barje reservoir in 2013 was assessed as a moderate. In the next investigation of the Barje reservoir, after five years, in August 2018, a total of 14 taxa were recorded at the site near the dam, 12 in the central part, and 11 at the entrance to the reservoir respectively. Sludge worms (*Oligochaeta*) were present at all points of the reservoir, but mostly at the entrance to the reservoir (19.05%). During this examination, a four taxa from the order Odonata were recorded: *Ischnura elegans* (Vander Linden, 1820), *Sympetrum* sp., *Coenagrion* sp. and *Lestes* sp. compared to 2013, when only one species was recorded - *Onychogomphus forcipatus* (Linnaeus, 1758). Also, a two taxa from the order Coleoptera have been recorded - *Helochaetes lividus* (Forster, 1771) and *Halipus* sp.; the representatives of this order were absent in the previous examination. Based on all parameters relevant to the aquatic macroinvertebrate community, according to the Regulation, the ecological potential of the Barje reservoir in 2018 was assessed as a moderate. Comparing biological parameters of the macroinvertebrate community of the Barje reservoir in both studies, in 2013 and 2018, it was concluded that there were no significant changes in the state of the reservoir (moderate ecological potential).

Ecological potential of the Uvac (Sjenica) reservoir in 2013, based on all parameters relevant to the aquatic macroinvertebrate community, according to the Regulation, was assessed as a poor, in 2014 of the Radoinja as a moderate, of the Bovan as a poor, and of the Čelije and Gruža reservoirs as a bad. In 2015 ecological potential based on parameters of aquatic macroinvertebrate community was moderate in the



Grafik 8. Prosečne vrednosti indeksa trofičnosti (TSI) na različitim lokalitetima u akumulacijama
Graph 8. Mean annual values of the Trophic State Index (TSI) at different localities in the reservoirs



i Bukulja. Akumulacije Radoinja i Prvonek se nalaze u umerenom potencijalu samo zbog parametara trofičkog statusa; svi ostali parametri i parametri bioloških elemenata kvaliteta odgovaraju dobrom i boljem ekološkom potencijalu. Ovo je još jedan od brojnih razloga koji zahteva izmenu Pravilnika. Neke akumulacije pokazuju razlike u ekološkom potencijalu po lokalitetima. To su akumulacija Uvac (Sjenica), koja ima umeren ekološki potencijal kod brane, slab u centralnom delu akumulacije i u kanjonu a loš na ulazu u akumulaciju; akumulacija Grlšte koja ima slab ekološki potencijal kod brane i na ulazu u akumulaciju, a loš u centralnom delu, i akumulacija Bovan koja ima umeren potencijal na svim lokalitetima osim u centralnom delu, gde je potencijal slab. Akumulacije sa slabim ekološkim potencijalom su: Bojnik (Brestovac), Bresnica i Pridvorica. Loš ekološki potencijal (V klasa) karakteriše akumulacije Čelije, Gruža i Garaše. Akumulacija Vrutci je 2012. bila u umerenom ekološkom potencijalu, ali nakon intenzivnog "cvetanja" cijanobakterija 2013., 2014. i 2018. njen ekološki potencijal se pogoršava i prelazi u loš. Ekološki potencijal akumulacije Nova Grošnica, prema Pravilniku i prema kriterijumima ODV je loš, iz razloga što su konstatovane velike promene strukture i funkcije zajednice makroinvertebrata. Specifična hidromorfologija akumulacije Nova Grošnica, sa slabom diferencijacijom mikrostanista za taksonu specijaliste, uslovlja je oskudnost zajednice bentosnih beskičmenjaka, sa dominacijom vrsta iz familije Chironomidae i Tubificidae u plićim delovima akumulacije. Stoga parametri koji su relevantni za zajednicu bentosnih beskičmenjaka ukazuju na loš ekološki potencijal akumulacije, ali se ne mogu uzeti kao reprezentativni u konačnoj oceni ekološkog potencijala imajući u vidu specifičnu hidromorfologiju i veliku starost akumulacije. Ekspertska procena na osnovu rezultata ostalih elemenata kvaliteta je da je ekološki potencijal akumulacije umeren.

Ovakvo stanje akumulacija je pre svega posledica dugogodišnjeg negativnog antropogenog uticaja i narušavanja prirodnih procesa koji vladaju u vodenim ekosistemima. Starost mnogih akumulacija je preko 30 i 40 godina. Mnoge akumulacije imaju morfološke karakteristike koje pogoduju eutrofikaciji, veliku površinu, a malu dubinu, a u mnogima nije urađena zaštita od erozije, oko mnogih se nalaze obradive površine u neposrednoj blizini, sa kojih se vrši spiranje u akumulacije, zatim nekontrolisana upotreba veštačkih đubriva, nedozvoljena izgradnja stambenih i turističkih objekata u užoj zoni sanitarne zaštite. I na kraju visok priliv nutrijenata, organskog zagađenja i specifičnih zagađujućih materija koje se direktno ispuštaju u reke i dospevaju u akumulacije.

ZAKLJUČAK

Monitoring bioloških elemenata (BQEs), pratećih fizičko-hemijskih elemenata (PHQEs)

Bresnica and the Brestovac (Bojnik) reservoirs, poor in the Pridvorica, and bad in the Nova Grošnica. In 2016 the Bukulja reservoir had a moderate and the Garaši reservoir a poor ecological potential. In 2018 the Vrutci reservoir had a poor ecological potential based on aquatic macroinvertebrate community.

The average values of the trophic index - TSI (Graph 8), according to the Regulation, at all localities in the reservoirs correspond to moderate ecological potential, except at the entrance to the reservoir Gruža (D₁) where correspond to poor potential. We noted that there is a wide range of TSI index limit values for moderate ecological potential and that is necessary to revise the Regulation.

Finally, taking into consideration all quality elements, a moderate ecological potential was found in the following reservoirs: Radoinja, Prvonek, Vrutci 2012, Barje and Bukulja. The Radoinja and Prvonek reservoirs were in moderate potential only due to the parameters of trophic status; all other parameters and parameters of biological quality elements correspond to good and better ecological potential. This is another of the many reasons requiring the amendment of the Regulation. Some reservoirs show differences in ecological potential by localities. These are the Uvac (Sjenica) reservoir, which had a moderate ecological potential at the dam, poor in the central part of the reservoir and in the canyon, and poor at the entrance to the reservoir; the Grlšte reservoir which had a poor ecological potential at the dam and at the entrance to the reservoir, and poor in the central part, and the Bovan reservoir which had a moderate potential in all localities except the central part, where the potential was poor. The reservoirs with poor ecological potential are: Bojnik (Brestovac), Bresnica and Pridvorica. Bad ecological potential (V class) characterized the reservoirs Čelije, Gruža and Garaši. The Vrutci reservoir had a moderate ecological potential in 2012, but after the intensive "blooming" of cyanobacteria in 2013, 2014 and 2018, its ecological potential worsened and corresponded to a bad. The ecological potential of the Nova Grošnica reservoir, according to the Regulation and the WFD criteria, is poor, due to the fact that large changes in the structure and function of the macroinvertebrate community have been evidenced. The specific hydromorphology of the Nova Grošnica reservoir, with poor differentiation of microhabitats for the specialist taxa, conditioned the scarcity of the benthic invertebrate community, with the dominance of species from Chironomidae and Tubificidae families in more shallow parts of the reservoir. Therefore, the parameters relevant to the benthic invertebrate community indicate poor ecological potential of the reservoir, but cannot be taken as a representative in the final ecological potential assessment of considering specific hydromorphology and long age of the reservoir. Expert assessment based on the

i specifičnih zagađujućih supstanci za potrebe određivanja ekološkog potencijala akumulacija za vodosnabdevanje sproveda je Agencija za zaštitu životne sredine Srbije od 2012. godine prema zahtevima ODV. Sve ispitivane akumulacije pripadaju dimiktičkom tipu jezera umereno kontinentalne zone i odlikuje ih više ili manje izražena termička stratifikacija vode u prolećnom i letnjem periodu. Stratifikacija i cirkulacija vode kontrolišu dva najvažnija faktora u ekologiji fitoplanktona: dostupnost svetlosti i nutrijenata. Sadržaj rastvorenog kiseonika u većini akumulacija, u letnjem periodu, opada već u metalimnionu i njegov deficit je evidentan u hipolimnionu, osim u akumulacijama Prvonek i Radoinja. Vrednost C10 (10-percentil) za rastvoreni kiseonik na godišnjem nivou u mnogim akumulacijama odgovara slabom ili lošem ekološkom potencijalu. Prema Pravilniku, konstatovane su povećane prosečne godišnje koncentracije ortofosfata i ukupnog fosfora u akumulacijama: Grlište, Bovan, Čelije, Gruža i Garaši, i one odgovaraju umerenom ekološkom potencijalu. Prema OECD klasifikaciji radi se o velikom povećanju ovih nutrijenata u svim akumulacijama, koje odgovara eutrofnim i hipereutrofnim uslovima, osim akumulacije Prvonek koja ima mezotrofan status. Prosečne godišnje vrednosti ukupnog organskog ugljenika (TOC) su, takođe, povećane u nekim akumulacijama. Od trofičkog statusa akumulacija zavisi prostorna i vremenska distribucija životnih zajednica. Najvažniji biološki element kvaliteta u jezerima i akumulacijama je fitoplankton; on najbrže reaguje, naročito svojom brojnošću i biomasom, na promene životnih uslova. Prosečne vrednosti abundance fitoplanktona su povećane u većini akumulacija i odgovaraju slabom ili lošem ekološkom potencijalu. Eutrofikacija je poslednjih decenija na globalnom nivou, jedan od najozbiljnijih problema koji utiče na kvalitet vode. Jedna od posledica eutrofikacije je "cvetanje" cijanobakterija koje dostiže zabrinjavajuće razmere. One potencijalno mogu da proizvode širok spektar toksina koji mogu da izazovu oboljenja ljudi i životinja. Intenzitet "cvetanja" cijanobakterija u nekim akumulacijama iznosi >100000 čel mL^{-1} , što je prema preporukama Svetske zdravstvene organizacije, za prisustvo cijanobakterija u vodi za vodosnabdevanje, opasnost visokog rizika po zdravlje stanovništva. To su akumulacije: Vrutci, Čelije, Gruža i Garaši. I u drugim akumulacijama brojnost cijanobakterija, u pojedinim periodima je povišena, ali iznosi <100000 čel mL^{-1} , što je, prema preporukama Svetske zdravstvene organizacije, opasnost srednjeg rizika po zdravlje stanovništva. U akumulacijama Vrutci i Garaši "cvetanje" su izazvale dve filamentozne, hepatoksične vrste roda *Planktothrix* (*P. rubescens* i *P. agardhii*), koje imaju značajno veće koncentracije mikrocistina po jedinici cijanobakterijske biomase od drugih vrsta cijanobakterija. U akumulaciji Vrutci 2018. godine praćene su i koncentracije cijanotoksina.

results of other quality elements is that the ecological potential of the reservoir is moderate.

Such state of the reservoirs is primarily a consequence of the long-term negative anthropogenic impact and disruption of natural processes prevailing in aquatic ecosystems. The age of many reservoirs is over 30 and 40 years. Many reservoirs have morphometric characteristics affecting eutrophication, large area and small depth, and many have not been protected from erosion, around many there are arable land in the surrounding area, from which rinsing into reservoirs is occurred, then uncontrolled use of fertilizers, illegal construction of residential and tourist facilities in the narrow zone of sanitary protection. And finally, a high nutrient influx, organic pollution and specific pollutants discharged directly into rivers and reach reservoirs.

CONCLUSIONS

Since 2012 monitoring of biological elements (BQEs), accompanying physico-chemical elements (PHQEs) and specific pollutants for the purpose of determining the ecological potential of reservoirs intended for water supply according to the WFD requirements has been conducted by the Serbian Environmental Protection Agency. All investigated reservoirs belong to dimictic type of lake of the temperate continental climates, and characterized by more or less pronounced thermal stratification of water in the spring and summer period. Stratification and water circulation control two most important factors in phytoplankton ecology: the availability of light and nutrients. The content of dissolved oxygen in most reservoirs, in the summer period, decreases yet in the metalimnion and its deficit is evident in the hypolimnion, except in the Prvonek and Radoinja reservoirs. The value of C10 (10th percentile) for dissolved oxygen on annual level in many reservoirs corresponds to a poor or bad ecological potential. According to the Regulation, the increased mean annual concentrations of orthophosphate and total phosphorus in the following reservoirs: Grlište, Bovan, Čelije, Gruža and Garaši have been ascertained corresponding to a moderate ecological potential. According to the OECD classification, there is a large increase in these nutrients in all reservoirs, which corresponds to eutrophic and hypereutrophic conditions, except for the Prvonek reservoir which had mesotrophic status. Mean annual values of total organic carbon (TOC) had also increased in some reservoirs. The spatial and temporal distribution of biocenoses depends on the trophic status of the reservoirs. The most important biological quality element in lakes and reservoirs is phytoplankton; it reacts the fastest to changes in living conditions, particularly with its number and biomass. The mean values of phytoplankton abundance were increased in most reservoirs and correspond to



U aprilu su utvrđene visoke koncentracije ukupnih mikrocistina koje su činili: MC-LR, MC-RR i MC-YR. Te koncentracije ($10,9 \mu\text{g L}^{-1}$) prema kriterijumu EPA (US) odgovaraju visokom nivou upozorenja. U avgustu 2018. *P. rubescens* se povlači u metalimnion, snižavaju se koncentracije ukupnih mikrocistina, ali i dalje ostaju na visokom nivou. Tek u novembru su njihove vrednosti ispod granice kvantifikacije. Mikrocistin-LR, koji je najtoksičnija forma od ove tri, bio je ispod propisane vrednosti koncentracije koje je dala Svetska zdravstvena organizacija (SZO) samo za ovu formu mikrocistina ($1 \mu\text{g L}^{-1}$). Klimatske promene i globalno zagrevanje dodatno pogoršavaju situaciju i smatraju se potencijalnim uzrokom daljeg širenja "cvetanja" štetnih cijanobakterija.

Ispitivanje bentosnih dijatoma i primena dijatomnih indeksa (IPS) za određivanje ekološkog potencijala akumulacija je novijeg datuma. Zbog prisustva kosmopolitskih vrsta koje imaju široku ekološku valencu, rezultati pokazuju da je ekološki potencijal za jednu ili dve klase bolji nego što pokazuju ispitivanja fitoplanktona i makroinvertebrata.

U zajednici akvatičnih makroinvertebrata, na organsko opterećenje ispitivanih akumulacija uglavnom ukazuje povećana brojnost taksona maločekinjastih crva (Oligochaeta), predstavnika pijavica (podklasa Hirudinea), kao i predstavnika familije Chironomidae. Postavlja se pitanje ocene

poor or bad ecological potential. In recent decades eutrophication has been a global problem, one of the most serious problems affecting water quality. One of the consequences of eutrophication is "blooming" of cyanobacteria, which reaches worrying proportions. Cyanobacteria can potentially produce a wide range of toxins that can cause disease in humans and animals. The intensity of "blooming" of cyanobacteria in some reservoirs was $>100\,000 \text{ cells mL}^{-1}$, which, according to the the World Health Organization (WHO) recommendations, for the presence of cyanobacteria in water supply, is a threat of high risk to public health. These are the following reservoirs: Vrutci, Čelije, Gruža and Garaši. In other reservoirs, the number of cyanobacteria is increased in some periods, but it amounts $<100\,000 \text{ cells mL}^{-1}$, which is, according to the the WHO recommendations, a threat of medium risk to the health of population. In the Vrutci and Garaši reservoirs, the "blooming" was caused by two filamentous, hepatotoxic species of the genus *Planktothrix* (*P. rubescens* and *P. agardhii*), which have significantly higher concentrations of microcystins per unit of cyanobacterial biomass than other cyanobacterial species. In 2018 in the Vrutci reservoir, cyanotoxin concentrations were also monitored. In April, high concentrations of total microcystins were found, consisting of: MC-LR, MC-RR and MC-YR. These concentrations ($10,9 \mu\text{g L}^{-1}$) according to the EPA (US) criterion correspond to a



Slika 1. Akumulacija Vrutci – Opština Užice, 2014 (foto: SEPA)

Figure 1. The Vrutci reservoir – Municipality of Užice, 2014 (photo: SEPA)

indikativnosti zajednice makroinvertebrata u oceni ekološkog statusa i potencijala jezera i akumulacija, s obzirom da je na pojedinim akumulacijama prisutan veći broj neindikatorskih, neosetljivih, invazivnih i neustonskih taksona, a fluktuacije vodostaja, velike količine padavina i nanosa u akumulacije driftom donose i organizme iz obližnjih potoka i reka, koje ne pripadaju stalnim makrozoobentocenoza akumulacionih jezera.

Konačna ocena pokazuje da su akumulacije: Radoinja, Prvonek, Vrutci 2012. godine, Barje, Bukulja, Nova Grošnica, Uvac (Sjenica) na lokalitetu kod brane i Bovan kod brane i na ulazu u akumulaciju, imale umeren ekološki potencijal. Slab ekološki potencijal imale su akumulacije: Grlište kod brane i na ulazu u akumulaciju, Bovan u centralnom delu, Bojnik (Brestovac), Bresnica i Pridvorica. Loš ekološki potencijal imale su akumulacije: Čelije, Gruža, Garaši, Grlište u centralnom delu i Vrutci 2018. godine, nakon višegodišnjeg cvetanja cijanobakterija.

high level of warning. In August 2018, *P. rubescens* withdrawn into the metalimnion, the concentrations of total microcystins decreased, but still remained at a high level. Only in November their values are below the limit of quantification. Microcystin-LR, which is the most toxic form of these three, was less to proposed concentration value given by the World Health Organization (WHO) only for this form of microcystin ($1 \mu\text{g L}^{-1}$). Additionally, climate change and global warming deteriorate the state, considered as a potential cause of the further spread of "blooming" harmful cyanobacteria.

The examination of benthic diatoms and the use of diatom indices (IPS) to determine the ecological potential of the reservoir has been dated from recently. Due to the presence of cosmopolitan species that have a wide ecological valence, the results showed the ecological potential is one or even two classes better compared to the studies of phytoplankton or macroinvertebrate community.

In aquatic macroinvertebrate community, the increased number of sludge worms taxa (Oligochaeta), the leech representatives (subclass Hirudinea), as well as the representatives of the family Chironomidae, mainly indicate organic load in the investigated reservoirs. The indicativeness of macroinvertebrate community in assessing ecological status and potential of lakes and reservoirs is questionable bearing in mind a high number of non-indicative, insensitive, invasive and neuston taxa are present in some reservoirs, and water-level fluctuations drifted organisms into reservoir from nearby streams and rivers, which do not belong to regular macrozoobenthocenosis of reservoir.

The final assessment showed that the following reservoirs: Radoinja, Prvonek, Vrutci in 2012, Barje, Bukulja, Nova Grošnica, Uvac (Sjenica) at the site near the dam, and Bovan near the dam and at the entrance to the reservoir, had a moderate ecological potential. The reservoirs had a poor ecological potential are: Grlište near the dam and at the entrance to the reservoir, Bovan in the central part, Bojnik (Brestovac), Bresnica and Pridvorica. The reservoirs had a bad ecological potential are: Čelije, Gruža, Garaši, Grlište in the central part, and Vrutci in 2018, after many years of cyanobacterial "blooming".



LITERATURA / REFERENCE

1. Agencija za zaštitu životne sredine (2018). Rezultati ispitivanja kvaliteta površinskih i podzemnih voda za 2017. godinu, Ministarstvo zaštite životne sredine, Beograd.
2. Agencija za zaštitu životne sredine (2019). Rezultati ispitivanja kvaliteta površinskih i podzemnih voda za 2018. godinu, Ministarstvo zaštite životne sredine, Beograd.
3. Akçaalan, R., Köker, L., Gürevin, C., Albay, M. (2014). *Planktothrix rubescens*: a perennial presence and toxicity in Lake Sapanca. Turkish Journal of Botany 38: 782-789 pp.
4. AQEM Consortium (2002). Manual for the application of the AQEM system. A comprehensive method to assess European streams using benthic macroinvertebrates developed for the purpose of the Water Framework Directive. Version 1.0 (www.aqem.de), February 2002, 202 pp.
5. Armitage, P. D., Moss, D., Wright, J. F., Furse, M. T. (1983). The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. Water Research. 17: 333-347 pp.
6. Bennion, H., Appleby, P. G., Phillips, G. L. (2001). Reconstructing nutrient histories in the Norfolk Broads: implications for the application of diatom-phosphorus transfer functions to shallow lake management. Journal of Paleolimnology 26: 181-204 pp.
7. Briand, J.-F., Robillot, C., Quibblier-Llobet, C., Bernard, C. (2002). A perennial bloom of *Planktothrix agardhii* in a shallow eutrophic French lake: limnological and microcystin production studies. Archiv für Hydrobiologie 153: 605-662 pp.
8. Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. Limnology and Oceanography 22, 361-368 pp.
9. Chorus, I., Bartham, J. (1999). Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public consequences, monitoring and management, World Health Organization.
10. Coste, M. in Cemagref (1982). Etude des méthodes biologiques d'appréciation quantitative de la qualité des eaux. Rapport Division Qualité des Eaux Lyon-Agence Financière de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse.
11. Denić, Lj., Čađo, S., Đurković, A., Novaković, B., Dopuđa-Glišić, T., Veljković, N., Stojanović, Z., Milovanović, J., Domanović, M. (2015). Status površinskih voda Srbije - analize i elementi za projektovanje monitoringa, Agencija za zaštitu životne sredine, Ministarstvo poljoprivrede i zaštite životne sredine, Energodata, Beograd.
12. Denić, Lj., Čađo, S., Dopuđa-Glišić, T., Đurković, A., Novaković, B., Veljković, N., Stojanović, Z., Domanović, M. (2018). Izveštaj o statusu površinskih voda Srbije u 2015. i 2016. godini, Agencija za zaštitu životne sredine, Ministarstvo zaštite životne sredine, Beograd.
13. Denić, Lj., Veljković, N., Stojanović, Z., Čađo, S., Dopuđa-Glišić, T., Đurković, A., Novaković, B., Domanović, M. (2018). Status površinskih voda Srbije - Razvoj monitoringa u okviru planova upravljanja rečnim slivovima. Agencija za zaštitu životne sredine, Ministarstvo zaštite životne sredine, Energodata, Beograd.
14. EPA (2020). United States Environmental Protection Agency. Risk Assessment.
15. Gallon, J. R. (1992). Tansley Review No. 44/Reconciling the incompatible: N₂ fixation and O₂. New Phytologist. 122:571-609 pp. doi: 10.1111/j.1469-8137.1992.tb00087.x.
16. Hering, D., Verdonchot, P. F. M., Moog, O., Sandin, L. (Eds.) (2004). Overview and application of the AQEM assessment system. Hydrobiologia 516: 1-20 pp.
17. King, L., Clarke, G., Bennion, H., Kelly, M., Yallop, M. (2006). Recommendations for sampling littoral diatoms in lakes for ecological status assessments. Journal of Applied Phycology 18: 15-25 pp. doi: 10.1007/s10811-005-9009-3.
18. Laušević, R. (1995). Prostorna i vremenska dinamika životnih zajednica ekosistema veštačkih jezera (akumulacija), Biološki fakultet Univerziteta u Beogradu, Institut za botaniku i botanička bašta "Jevremovac".
19. OECD (1982). Eutrophication of waters: monitoring, assessment and control. OECD Publications, N° 42077, Paris: 154 pp.
20. O'Neil, J. M., Davis, T. W., Burford, M. A., Gobler, C. J. (2012). The rise of harmful cyanobacteria blooms: The potential roles of eutrophication and climate change, Harmful Algae 14: 313-334 pp.
21. Paerl, H.W., Millie, D. F. (1996). Physiological ecology of toxic cyanobacteria. Phycologia 35: 160-167 pp.
22. Paerl, H. W. (2018). Mitigating Toxic Planktonic Cyanobacterial Blooms in Aquatic Ecosystems Facing Increasing Anthropogenic and Climatic Pressures, Toxins 10 (2): 76.
23. Potts M., Whitton B. A. (2000). The Biology and Ecology of Cyanobacteria. 2nd ed. Blackwell Scientific Publications; Oxford, UK, p. 669.
24. Reynolds, C. S. (2006). Ecology of Phytoplankton (Ecology, Biodiversity and Conservation). Cambridge University Press; Cambridge, UK: p. 524.
25. Sönmez, F., Kutlu, B., Sesli, A. (2017). Spatial and Temporal Distribution of Phytoplankton in Karkamis Dam Lake (Sanliurfa/Turkey), PSP Volume 26 No. 10/2017, Fresenius Environmental Bulletin, 6234-6245 pp.
26. Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. The Bell System Technical Journal 27: 379-423 pp.

27. Sulis, A., Buscarinu, P., Soru, O., Sechi, G. M. (2014). Trophic State and Toxic Cyanobacteria Density in Optimization Modeling of Multi-Reservoir Water Resource Systems, *Toxins* 2014, 6, 1366-1384, ISSN 2072-6651 www.mdpi.com/journal/toxins.
28. Swedish Environmental Protection Agency, Environmental Quality Criteria, Lakes and Watercourses, Report 5050.
29. Tilzer, M. M., Goldman, C. R. (1978). Importance of mixing, thermal stratification and light adaptation for phytoplankton productivity in Lake Tahoe (California-Nevada). *Ecology* 59: 810-821 pp.
30. WFD (2000). Water Framework Directive - Directive of European Parliament and of the Council 2000/60/EC Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy.
31. Wilhelm, S. W., Trick, C. G. (1994). Iron-limited growth of cyanobacteria: Multiple siderophore production is a common response. *Limnology and Oceanography* 39: 1979-1984 pp. doi: 10.4319/lo.1994.39.8.1979.
32. Zelinka, M., Marvan, P. (1961). Zur Präzisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fließender Gewässer. *Archiv für Hydrobiologie* 57: 389-407 pp.
33. Правилник о параметрима еколошког и хемијског статуса површинских вода и параметрима хемијског и квантитативног статуса подземних вода (Сл. гласник РС, број 74/2011).
34. Уредба о утврђивању годишњег програма мониторинга статуса вода за 2012. годину (Сл. гласник РС, број 100/12).
35. Уредба о утврђивању годишњег програма мониторинга статуса вода за 2013. годину (Сл. гласник РС, број 43/13).
36. Уредба о утврђивању годишњег програма мониторинга статуса вода за 2014. годину (Сл. гласник РС, број 85/14).
37. Уредба о утврђивању годишњег програма мониторинга статуса вода за 2015. годину (Сл. гласник РС, број 46/15).
38. Уредба о утврђивању годишњег програма мониторинга статуса вода за 2016. годину (Сл. гласник РС, број 36/16).
39. Уредба о утврђивању годишњег програма мониторинга статуса вода за 2018. годину (Сл. гласник РС, број 35/18).



EcoStruxure
Innovation At Every Level

Rešenja za postrojenja otpadnih voda

EcoStruxure™ za optimizaciju energije
u sistemima za preradu otpadnih voda

Rešenja za optimizaciju elektroenergetskog napajanja i
automatizaciju postrojenja, u cilju smanjenja potrošnje energije i do 30%.

Posetite www.sereply.com i ukucajte 74650P

schneider-electric.rs

Life Is On

Schneider
Electric

Jelena Molnar Jazić, Aleksandra Tubić, Marijana Kragulj Isakovski,
Snežana Maletić, Dejan Krčmar, Tamara Apostolović, Jasmina Agbaba



UTICAJ SEZONSKIH VARIJACIJA NA FIZIČKO-HEMIJSKE PARAMETRE KVALITETA VODE REKE DUNAV KOD NOVOG SADA

APSTRAKT

Tokom proteklih decenija pod uticajem klimatskih promena primećeno je zagrevanje jezera i reka. Pretpostavlja se da će u narednom periodu temperature površinskih voda biti veće, da će se povećati intenzitet padavina u nekim područjima, da će u sušnom periodu biti duži periodi niskih vodostaja reka i da će doći do povećanja brojnih oblika zagađenja vode. Sezonske varijacije i klimatske promene imaju uticaj na procese koji se odvijaju u akvatičnim ekosistemima, zdravlje ljudi i pouzdanost tehnologije pripreme vode za piće, kao i povećanje operativnih troškova upravljanja vodnim sistemima. Kako bi se na vreme preduzele adekvatne mere za prilagođavanje na klimatske promene, pred Međunarodnu komisiju za zaštitu reke Dunav (eng. *International Commission for the Protection of the Danube River* - ICPDR) je, usvajanjem Dunavske deklaracije, postavljen zadatak da razvije Strategiju za prilagođavanje klimatskim promenama u slivu reke Dunav do 2012 godine. U radu je prikazan pregled uticaja sezonskih varijacija na fizičko-hemijske parametre kvaliteta vode reke Dunav kod Novog Sada u periodu od 2005-2018. godine.

Ključne reči: kvalitet vode, Dunav, sezonske varijacije

1. KVALITET VODE REKE DUNAV-ANALIZA RASPOLOŽIVIH PODATAKA

Monitoring kvaliteta površinskih voda započet je u Srbiji šezdesetih i sedamdesetih godina prošlog veka. Zahvaljujući razvijanju sistema monitoringa definisane su mnoge lokacije na vodotoku, a rezultati merenja na ovim lokacijama mogu poslužiti kao dobra osnova za vremenske i prostorne analize sa aspekta dugoročnih promena stanja kvaliteta vode (Sl.glasnik RS, 2017).

Tokom protekle dve decenije postojao je i veći broj međunarodnih monitoring kampanja u kojima su izvršene procene uticaja različitih ispuštanja otpadnih voda u Dunav (komunalne i industrijske otpadne vode, efekti prisustva deponija u blizini vodotoka, elektrana i dr.), kao i difuznog zagađenja (poljoprivreda). Jedna od najznačajnijih kampanja u tom smislu je bila Joint Danube Survey koja je sprovedena do sada četiri puta, tokom 2001., 2007., 2013. i 2019. godine. U period 2001-2013. god. istraživanje je obuhvatalo 68 lokacija na kojima je vršeno uzorkovanje vode, suspendovanih materija i sedimenta, i ispitan je njihov sastav, prisustvo zagađujućih materija, kao i hidrobiološko stanje reke. Podaci koji su na ovaj način

prikupljeni i analizirani predstavljaju dobru osnovu za procenu stanja Dunava i analizu trendova (ICPDR 2002, 2008, 2015).

U proteklom periodu nije samo započeto definisanje izvora zagađenja, već je i čitav region pretrpeo značajne društvene i ekonomske promene, uključujući i promene u industriji i poljoprivredi. Čak i danas su promene koje se dešavaju veoma intenzivne, naročito kada su u pitanju regulative u oblasti zaštite životne sredine u pojedinim zemljama Dunavskog sliva (npr. programi vezani za zaštitu površinske i podzemne vode, razvoj velikih kanizacionih sistema i projekata za tretman otpadnih voda i dr.). Nedvosmisleno se može tvrditi da je u regionu Centralnoistočne Evrope (od početka 1990. godine) zagađenje Dunava smanjeno za nekoliko redova veličine. Kao posledica toga, ekološki, hidrobiološki i hemijski status Dunava se značajno poboljšao tokom proteklih decenija. Ove je jednim delom posledica značajnih investicija u oblasti teške industrije i zaštite životne sredine, kao i stalnog porasta cene komunalnih usluga (cena vode i kanizacione takse) (ICPDR, 2015).

Jelena MOLNAR JAZIĆ, Aleksandra TUBIĆ, Marijana KRAGULJ ISAKOVSKI, Snežana MALETIĆ, Dejan KRČMAR, Tamara APOSTOLOVIĆ, Jasmina AGBABA, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Trg Dositeja Obradovića 3, 21000 Novi Sad, e-mail: aleksandra.tubic@dh.uns.ac.rs



Uprkos već navedenom pozitivnom razvoju, u slivu Dunava će i dalje postojati industrijski, komunalni i poljoprivredni izvori zagađenja, koji potencijalno mogu da ugroze kvalitet reke i indirektno utiču na obalsku filtraciju. Pored tačkastih izvora zagađenja, industrijskog i komunalnog porekla, moraju se uzeti u obzir i difuzni izvori zagađenja. Ovo se uglavnom odnosi na poljoprivredne izvore (skladišta organskog đubriva, ocedne vode iz stočarstva, skladištenje đubriva, i dr.). Karakterističan uticaj na životnu sredinu iz ove vrste izvora zagađenja jeste povećano opterećenje zemljišta i podzemnih voda azotom i fosforom (Sommerwerk et al., 2009).

Uzimajući u obzir promene u kvalitetu vode, uočena je dobra korelacija između srednje godišnje temperature ambijentalnog vazduha i temperaturnih promena vode Dunava. Trend povećanja temperature vode je najveći tokom perioda kritično niskog vodostaja (npr. u avgustu), kada je potreba za vodom najveća, a obezbeđivanje zdravstveno bezbedne vode za piće je apsolutno neophodno. Takođe, može se uočiti i povećanje vrednosti maksimalne godišnje temperature vode (ICPDR, 2015).

Zahvaljujući već istaknutom razvoju, kvalitet Dunava se značajno popravio sa aspekta opštih hemijskih parametara od šezdesetih godina prošlog veka. Smer i stepen poboljšanja razlikuje se u zavisnosti od komponente i veoma je heterogen.

Vodu Dunava karakteriše nizak sadržaj organskih materija. U isto vreme registrovana je pojava novih polutanata kao što su hormoni, pesticidi i dr. Indikatori ispuštanja komunalnih otpadnih voda (mikrobiološki parametri, nutrijenti i dr.) jasno ukazuju na potrebu za daljim unapređivanjem postojećih tretmana i uspostavljanjem tercijarnog tretmana. Bez ovoga se ne može očekivati poboljšanje kvaliteta u srednjem i donjem toku reke Dunav (ICPDR, 2015).

Dugoročne promene vrednosti parametara kao što je rastvoreni kiseonik, organske materije i amonijak mogu da utiču na kvalitet vode koja se dobija obalskom filtracijom, što može imati za posledicu potrebu za uvođenjem dodatnih tretmana nakon obalske filtracije, a pre distribucije vode. Organski polutanti prisutni u Dunavu mogu da izazovu dodatne probleme u obalskoj filtraciji zbog toga što biodegradacija ovih jedinjenja u aktivnoj zoni obalske filtracije može značajno smanjiti količinu kiseonika i dovesti do formiranja anaerobnih uslova. Rezultati dobijeni tokom JDS3 kampanje ukazuju na promene u pojavi organskog zagađenja duž reke. pH vrednost i rastvoreni kiseonik su pokazali dobru pozitivnu korelaciju sa primarnom produkcijom organske materije i njenom degradacijom. Koncentracija i zasićenost rastvorenim kiseonikom blizu je stanja ravnoteže. Na osnovu analitičkih rezultata srednjeg toka Dunava registrovano je sporo i blago poboljšanje kvaliteta vode sa aspekta parametara indikatora

organskog zagađenja. Kao posledica ovoga povećava se koncentracija i zasićenost rastvorenim kiseonikom.

Sa aspekta snabdevanja vodom za piće azotne forme (nitriti, nitrati, amonijak) imaju posebnu važnost, jer predstavljaju rizik po zdravlje ljudi. JDS analiza je pokazala da je koncentracija amonijum jona i nitrita u Dunavu veoma niska, blizu granice detekcije metode. Koncentracija nitrita i ukupnog azota pokazuje trend opadanja idući od gornjeg ka donjem toku reke, uz negativnu korelaciju sa protokom u reci, dok za koncentracija fosfora nije zabeležen neki poseban trend. Nešto niže koncentracije su izmerene u donjem toku (ICPDR 2008, 2015).

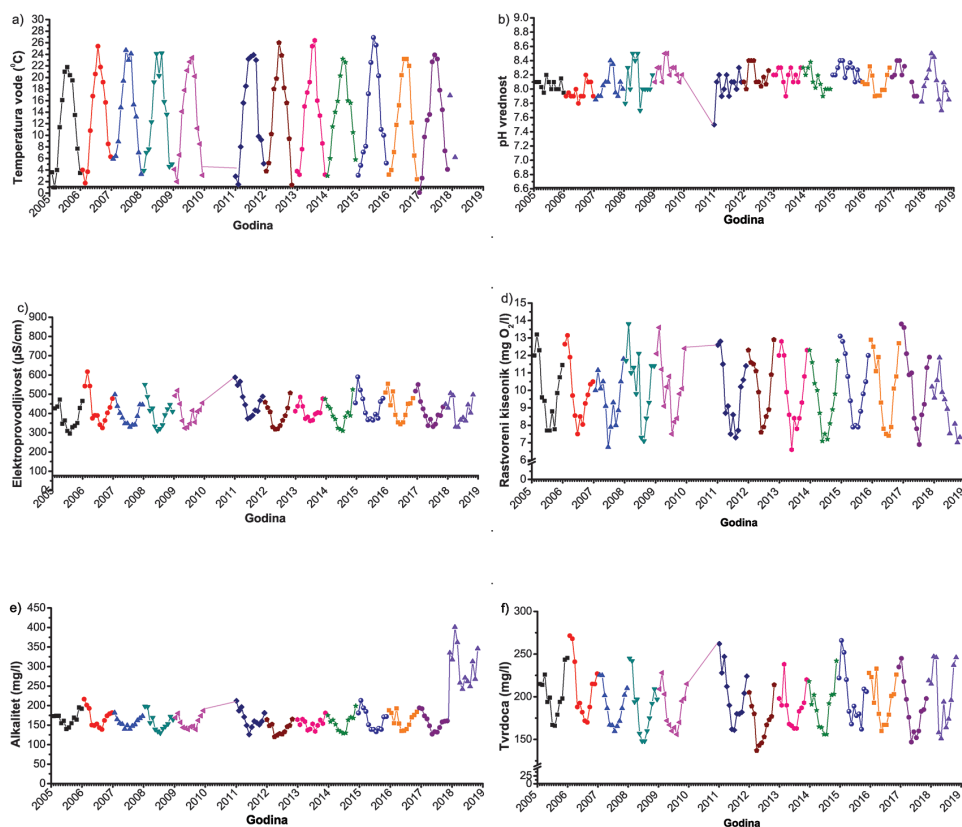
Promene koncentracije nutrijenata tokom vremena u srednjem toku Dunava su slične sa promenama zabeleženim kod potrošnje kiseonika. U nekim slučajevima je zabeležen i nešto drastičniji pad koncentracije. Ovo je posledica poboljšanja tretmana komunalnih otpadnih voda (nitrifikacija i precipitacija fosfora na postrojenju za tretman). Takođe, poljoprivredna aktivnost u gornjem toku Dunava se značajno promenila, a dospevanje veštačkih đubriva u vodu je mnogo bolje kontrolisano. Jedini izuzetak je nitrat, čija koncentracija se konstantno povećava tokom proteklih decenija. Kvalitet vode reke Dunav odgovara kategoriji dobrog ekološkog statusa prema EU WFD sa aspekta sadržaja amonijum jona, nitrita i nitrata. Jedno od najvećih poboljšanja zabeleženo je kroz značajno smanjenje koncentracije rastvorenog ortofosfata od početka devedesetih godina prošlog veka do danas, tako da kvalitet vode Dunava sa aspekta ovog parametra ima status dobrog kvaliteta (WFD klasifikacija).

Dosadašnja istraživanja su pokazala da oblici azota i fosfora ne predstavljaju rizik za izvođenje obalske filtracije duž toka Dunava. Izmerene koncentracije amonijum jona, nitrita i nitrata su niže od propisanih standardima za vodu za piće. Međutim, na osnovu redoks potencijala se može zaključiti da se ove forme mogu transformisati jedna u drugu u procesu obalske filtracije, zbog čega zagađenje na tim mestima može biti značajno (npr. plitke podzemne vode bogate nitratima).

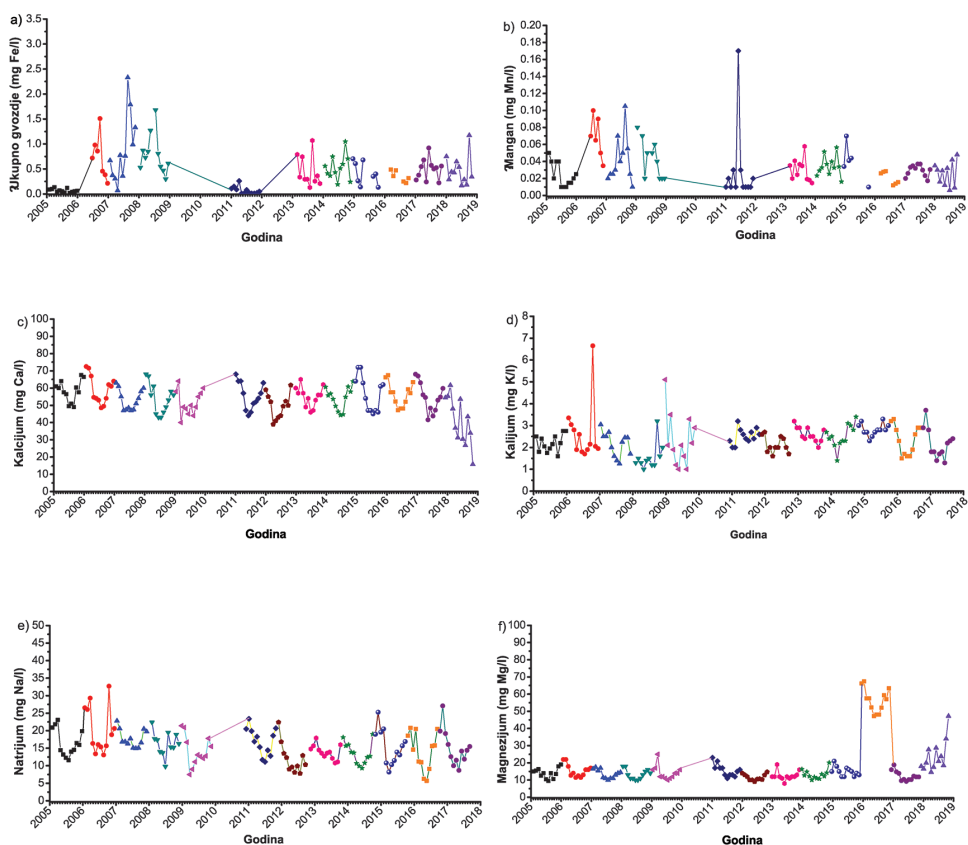
2. ANALIZA RASPOLOŽIVIH PODATAKA O KVALITETU VODE REKE DUNAV (KOD NOVOG SADA) ZA PERIOD 2005-2018. GODINE

U radu je dat pregled kvaliteta vode reke Dunav kod Novog Sada za period 2005-2018. godine na osnovu fizičko-hemijskih parametara, a rezultati su prikazani na slikama 1-5. Podaci su preuzeti iz izveštaja Agencije za zaštitu životne sredine (www.sepa.gov.rs).

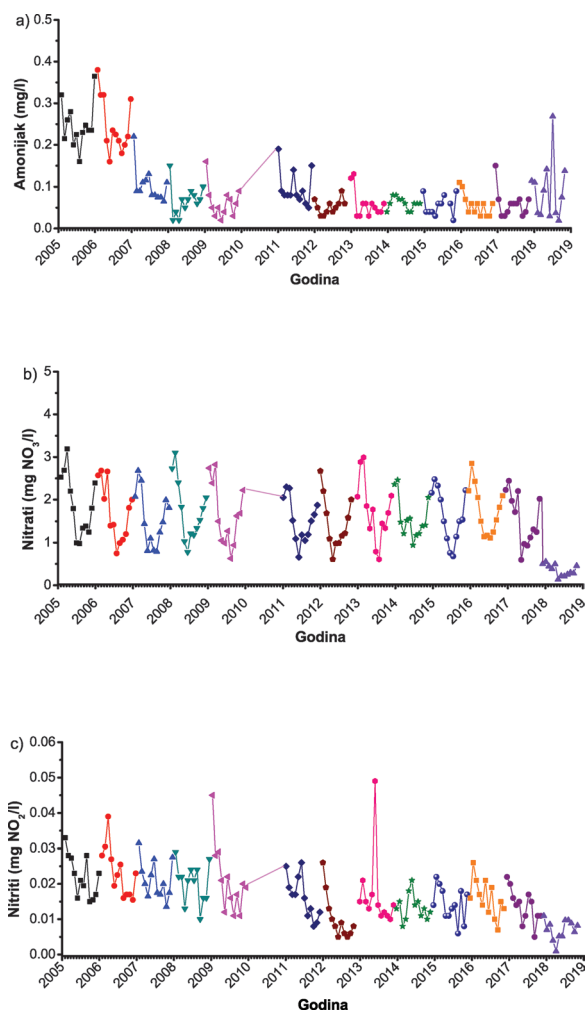
Temperatura vode Dunava varira u zavisnosti od godišnjeg doba i kretala se u opsegu od 0,1-26,4 °C. Trend promene temperature vode sličan je iz godine



Slika 1. Fizičko-hemijski parametri vode Dunava (Novi Sad) u periodu 2005-2018. godine: (a) temperature, (b) pH, (c) elektroprovodljivost, (d) sadržaj kiseonika, (e) alkalitet i (f) tvrdoća



Slika 2. Sadržaj (a) ukupnog gvožđa, (b) mangana, (c) kalcijuma, (d) kalijuma, (e) natrijuma i (f) magnezijuma u vodi Dunava (Novi Sad) u periodu 2005-2018. godine



Slika 3. Sadržaj (a) amonijaka, (b) nitrata i (c) nitrita u vodi Dunava (Novi Sad) u periodu 2005-2018. godine

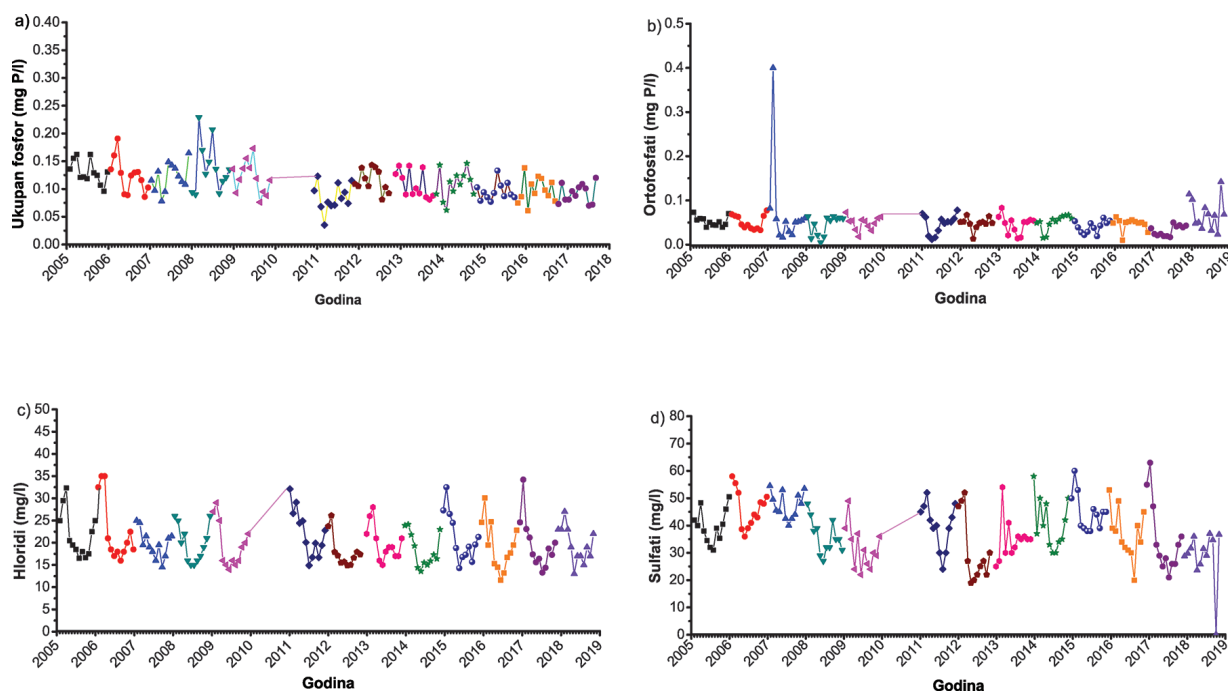
u godinu i jedino što se ističe, jeste da je temperatura vode bliska 0 °C zabeležena samo jednom i to 2017. god (slika 1a). pH vrednost se kretala u opsegu od 7,4-8,5 što je u granicama uobičajenih vrednosti za površinske vode (slika 1b). Elektroprovodljivost vode Dunava kod Novog Sada fluktuirala je u granicama od 295-617 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$, zavisno od godišnjeg doba (slika 1c). Značajnija odstupanja od uobičajenog godišnjeg trenda za posmatrani period nisu uočena. Sadržaj kiseonika u vodi u bio je u proseku $10,0 \pm 1,8 \text{ mg O}_2/\text{l}$. Minimalne vrednosti ($6,5\text{-}7,5 \text{ mg O}_2/\text{l}$), tokom godine, beleže se u letnjim mesecima, dok su maksimalne vrednosti ($13\text{-}14 \text{ mg O}_2/\text{l}$) karakteristične za zimski period (januar i decembar) (slika 1d). Vrednost alkaliteta vode kretala se u opsegu od 120-217 mg/l (slika 1e). Niže vrednosti su uglavnom zabeležene u toplijim mesecima, dok su više vrednosti izmerene u zimskom periodu. Može se uočiti da su tokom 2018. godine izmerene značajno veće vrednosti za alkalitet vode (250-400 mg/l), što je verovatno posledica različite lokacije uzorkovanja. Tvrdoća vode kreće se u opsegu od 137-271 mg/l (slika 1f). Trend promene ovog parametra tokom godine prati promenu

alkaliteta vode, uz minimalne vrednosti uglavnom u letnjim periodima, a maksimalne u zimskim.

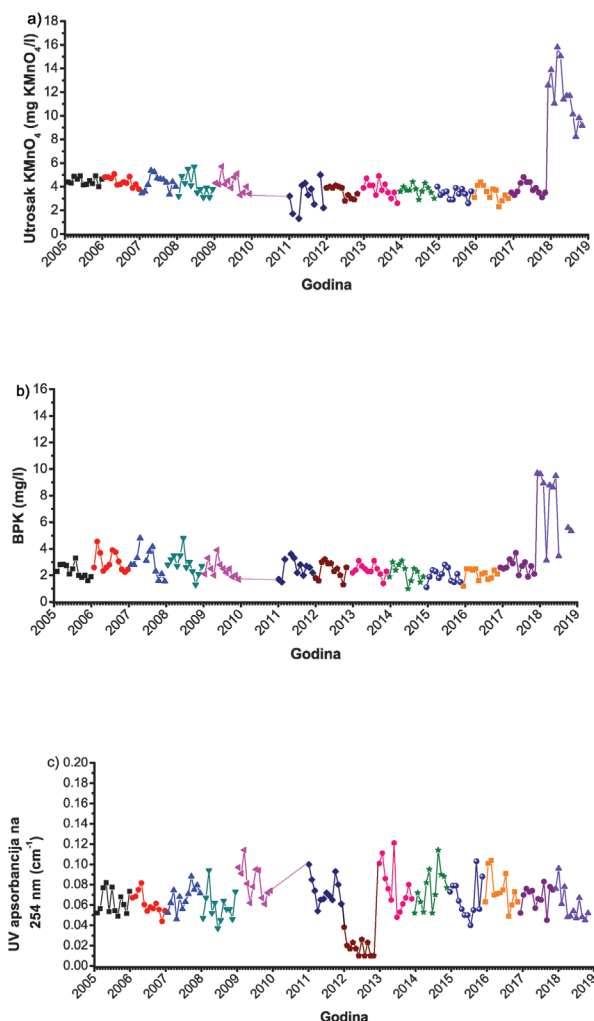
Sadržaj gvožđa i mangana u vodi reke Dunav kod Novog Sada (slike 2a i 2b) kretao se do maksimalno 2,5 mg/l Fe i 0,17 mg/l Mn, redom. Minimalne vrednosti gvožđa su izmerene tokom 2005. i 2011. godine, dok su maksimumi izmereni u septembru 2006., 2007. i 2008. godine. Može se uočiti da su i izmerene koncentracije mangana u periodu od 2006-2009. godine bile više u odnosu na prethodnu godinu. Generalno je sadržaj gvožđa i mangana niži u vodi Dunava u periodu od 2012-2018. godine, u odnosu na raniji period. Koncentracije kalcijuma, kalijuma, natrijuma i magnezijuma (slike 2c-2f), ukazuju da sadržaj navedenih metala varira u uskim granicama tokom godine, pri čemu su srednje godišnje vrednosti iznosile $53,8 \pm 9,11 \text{ mg/l Ca}$, $2,34 \pm 0,74 \text{ mg/l K}$, $15,5 \pm 4,69 \text{ mg/l Na}$ i $17,8 \pm 12,3 \text{ mg/l Mg}$. Koncentracije svih navedenih metala u vodi su nešto veće na početku i na kraju godine, dok su u prolećnim i letnjim mesecima niže. Generalno su nešto više koncentracije izmerene u periodu od 2005-2010. godine, sa tendencijom blagog smanjenja u periodu od 2012-2018. godine. Ovaj trend ne važi za sadržaj magnezijuma, koji je značajno veći tokom 2016. i 2018. godine, u odnosu na sve druge godine koje su praćene.

Sadržaj azotnih materija praćen je preko koncentracije amonijačnog azota, nitrata i nitrita u vodi (slika 3a-3c). Koncentracija azotnih materija fluktuira tokom godine u zavisnosti od godišnjeg doba. Generalno, dobijeni rezultati ukazuju na to da se sadržaj azotnih materija u vodi Dunava smanjuje tokom godina, što je u skladu sa zaključcima koji su dobijeni i za druge delove Dunava, uzvodno i nizvodno od Novog Sada. Najveći trend smanjenja se uočava kod amonijaka, osim za 2018. godinu, ali to može biti posledica razlike u lokacijama na kojima je voda uzorkovana. Sadržaj amonijačnog azota se smanjuje sa prosečnih $0,14 \pm 0,09 \text{ mg/l}$ u periodu od 2005-2011. godiine, na prosečnu vrednost od $0,06 \pm 0,04 \text{ mg/l}$ za period od 2012-2018. godine. Prosečna godišnja koncentracija nitrata iznosi $1,69 \pm 0,7 \text{ mg/l}$, a nitrita $0,017 \pm 0,008 \text{ mg/l}$. Najveće koncentracije nitrita izmerene su u proleće 2006., 2009. i 2013. godine.

Sadržaj fosfatnih materija (slika 4a,b) u vodi Dunava generalno se kreće ispod 0,2 mg P/l ukupnih fosfata i ispod 0,1 mg P/l ortofosfata. Varijacije tokom godine nisu značajne. Sadržaj ukupnog fosfora se blago smanjuje u period od 2012-2018. godine, u odnosu na prethodni period, što je u skladu sa zaključcima drugih istraživanja i podržava tvrdnje da se kvalitet vode reke Dunav poboljšao, usled primene sve većeg broja postrojenja za tretman otpadnih voda u državama kroz koje ova reka prolazi, pre ulaska u Republiku Srbiju. Koncentracija hlorida u vodi reke



Slika 4. Sadržaj (a) ukupnog fosfora, (b) ortofosfata, (c) hlorida i (d) sulfata u vodi Dunava (Novi Sad) u periodu 2005-2018. godine



Slika 5. Sadržaj organskih materija u vodi Dunava (Novi Sad, 2005-2018. god): (a) permanganatni broj, (b) BPK i (c) UV_{254}

Dunav (slika 4c), kod Novog Sada, tokom perioda 2005-2018. godine kreće se u opsegu od 13-35 mg/l. Sezonske varijacije su uočljive, pri čemu su najviše vrednosti izmerene početkom godine, nakon čega koncentracija hlorida postepeno opada. Sadržaj sulfata u vodi reke Dunav, kod Novog Sada kretao se u opsegu od 20-65 mg/l (slika 4d). Najčešće su koncentracije povećane tokom zime (na početku i na kraju godine), dok su u toplijem delu godine niže. Poređenjem prosečnih godišnjih vrednosti, nisu uočene značajnije razlike tokom godina.

Sadržaj organskih materija u vodi Dunava kod Novog Sada praćen je na osnovu vrednosti utroška $KMnO_4$, biološke potrošnje kiseonika (BPK) i UV apsorpcije na 254 nm (UV_{254}), a rezultati ovih merenja prikazani su na slici 5.

Uglavnom se sadržaj organskih materija kreće ispod 6 mg/l, izraženo preko utroška $KMnO_4$ (slika 5a) i 5 mg O_2 /l (slika 5b). Za 2018. godinu su dobijene nešto veće vrednosti, ali to je verovatno posledica različitog mesta uzorkovanja vode. Dunavsku vodu karakteriše nizak sadržaj UV apsorbujućih supstanci, što se ogleda u vrednostima ovog parametra koje su uglavnom u opsegu od 0,04 cm^{-1} -0,12 cm^{-1} .

3. ZAKLJUČAK

U radu su prikazane vrednosti fizičko-hemijskih parametara kvaliteta vode reke Dunav kod Novog Sada u periodu od 2005-2018. godine, i to: temperatura, pH, elektroprovodljivost, sadržaj kiseonika, alkalitet, tvrdoća, zatim sadržaj ukupnog



gvožđa, mangana, kalcijuma, kalijuma, natrijuma, magnezijuma, azotnih materija (amonijačni azot, nitrati i nitriti), ukupnog fosfora i ortofosfata, hlorida, sulfata i organskih materija (permanganatni broj, BPK i UV₂₅₄). Generalno posmatrano, prikazane vrednosti fizičko-hemijskih parametara kretale su se u granicama propisanih vrednosti za I i II klasu površinskih voda prema Uredbi o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentima i rok za njihovo dostizanje (*Sl. glasnik RS br. 55/05, 71/05-ispavka, 101/07, 65/08 i 16/11*). Zabeležene su sezonske varijacije

u vrednostima ispitivanih parametara kvaliteta vode, bez značajnijih odstupanja od uobičajenog godišnjeg trenda u posmatranom periodu. Za potpuno određivanje klase površinske vode prikazane podatke potrebno je dopuniti podacima vezanim za sadržaj specifičnih organskih supstanci i metala, sa naglaskom na prioritetne i prioritetne hazardne supstance, kao i mikrobiološkim parametrima kvaliteta.

Zahvalnost dugujemo Gradskoj upravi za zaštitu životne sredine Grada Novog Sada koje je finansiralo istraživanje kroz projekat VI-501-2/2018-188-7.

LITERATURA

1. Agencija za zaštitu životne sredine, Ministarstvo zaštite životne sredine, Republika Srbija. <http://www.sepa.gov.rs/>
2. Dalmacija, B., Bečelić-Tomin, M., Maletić, S., Agbaba, J. (Urednici) (2018) Mogućnosti održivog vodosnabdevanja i klimatske promene. Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Novi Sad.
3. ICPDR (2002) JOINT DANUBE SURVEY - Technical Report of the International Commission for the Protection of the Danube River, (Eds.: Literáthy, P; Koller-Kreimel, V.; Liska, I.), Vienna, Austria.
4. ICPDR (2008) JOINT DANUBE SURVEY 2. – Final Scientific Report, (Eds.: Liska, I.; Wagner, F., Slobodnik, J.), Vienna, Austria.
5. ICPDR (2015) Joint Danube Survey 3 A Comprehensive Analysis of Danube Water Quality, (Eds: Liška I., Wagner F., Sengl M., Deutsch K. Slobodník J.)
6. „Sl. glasnik RS”, br. 3/2017. Strategija upravljanja vodama na teritoriji Republike Srbije do 2034. godine.
7. Sommerwerk, N., Hein, T., Schneider-Jacoby, M., Baumgartner, C., Ostojic, A., Paunovic, M., Bloesch, J., Siber, R., and Tockner, K. 2009. The Danube river basin. In: Tockner, K., Robinson, C., and Uehlinger, U. (eds.), Rivers of Europe. Elsevier, London, pp. 59-112.
8. Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentima i rok za njihovo dostizanje (*Sl. glasnik RS br. 55/05, 71/05-ispavka, 101/07, 65/08 i 16/11*).

Nebojša Veljković, Tamara Perunović, Milorad Jovičić, Ljubiša Denić,
Tatjana Dopuđa Glišić, Nebojša Redžić, Sandra Radić



INDIKATOR URBANE ODRŽIVOSTI NA NACIONALNOM NIVOU – STUDIJA SLUČAJA ZA SRBIJU

URBAN SUSTAINABLE INDICATOR AT THE NATIONAL LEVEL – CASE STUDY FOR SERBIA

IZVOD

U radu je prezentovana analiza koja ima za cilj da ukaže na stanje kvaliteta vodotokova kao posledicu uticaja ispuštanja gradskih otpadnih voda i predloži smernice za definisanje prioriteta u izgradnji gradskih postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda (GPPOV). Analiza je urađena korišćenjem indikatora *Serbian Water Quality Index (SWQI)* na nacionalnom nivou. *SWQI* kao indikator urbane održivosti prezentuje informacije o prostornom rasporedu stanja kvaliteta površinskih voda na slivnim područjima nizvodno od ispušta gradskih otpadnih voda. Rezultati istraživanja mogu pomoći donosiocima odluka na nacionalnom i lokalnom nivou u praćenju napretka ka postavljenim ciljevima zaštite voda.

Ključne reči: prečišćavanje otpadnih voda, indikator urbane održivosti

ABSTRACT

This paper presents an analysis with the main goal to pointing out the quality of watercourses due to impact of urban wastewater discharges and proposing guidelines for defining priorities in the construction of urban wastewater treatment plants (UWWTP). The analysis was done using the *Serbian Water Quality Index (SWQI)* at the national level. *SWQI* as an indicator of urban sustainability presents information on the spatial distribution of surface water quality in catchments downstream of urban wastewater discharges. The results of the research can help decision makers at national and local level to monitor progress towards the set water protection goals.

Keywords: wastewater treatment plants, urban sustainable indicator

UVOD

Planiranje održivog razvoja podrazumeva : za vodosnabdevanje i odvođenje otpadnih voda
uspostavljanje veza između korišćenja resursa, : obezbeđuju osnovne usluge koje omogućavaju
zagađenja vazduha, voda i zemljišta i nastajanje : ekonomski i društveni razvoj i istovremeno imaju
otpada kao posledice socijalnih i ekonomskih uticaja : uticaja na način kako se društvo odnosi prema
u razvoju urbanih sredina i širih prostornih veštačkih : vodi kao resursu za razvoj. Snabdevanje naselja
i prirodnih ekosistemskih celina. Urbani razvoj je deo : vodom, kanalisanje i prečišćavanje upotrebljenih
globalnog koncepta održivog razvoja i podrazumeva : voda se može smatrati najvažnijim problemom
primenu politike zaštite životne sredine sa težištem na : razvoja komunalne infrastrukture i direktno zavisi
projektima koji doprinose smanjenju potrošnje resursa : od broja stanovnika i razvijenosti zemlje i regije. U
i minimiziraju uticaj industrijskog i komunalnog : radu je dat primer korišćenja indikatora kvaliteta
sektora na životnu sredinu. Kriterijumi za ocenu : površinskih voda Serbian Water Quality Index kao
održivog upravljanja sistemima za vodosnabdevanje : indikatora urbane održivosti u skladu sa priručnikom
i odvođenje otpadnih voda treba da obuhvate : „Monitoring i evaluacija strategija lokalnog održivog
ekološke, društvene i ekonomske aspekte komunalne : razvoja“, koji je pripremljen u okviru projekta Program
infrastrukture. Ovi aspekti treba da obezbede nivo : podrške opštinama IPA 2007 (MSP ISP 2007). Rezultati
usluga svim građanima zajednice bez ugrožavanja : rada mogu poslužiti kao primer alata u sprovođenju
celokupnosti prirodnih, izgrađenih i društvenih : nacionalne politike i lokalnih strateških planova u
sistema od kojih pružanje ovih usluga zavisi. Sistemi : oblasti zaštite voda.

Nebojša VELJKOVIĆ, Tamara PERUNOVIĆ, Milorad JOVIČIĆ, Ljubiša DENIĆ, Tatjana DOPUĐA GLIŠIĆ,
Nebojša REDŽIĆ, Sandra RADIĆ, AGENCIJA ZA ZAŠTITU ŽIVOTNE SREDINE



INDIKATORI ŽIVOTNE SREDINE I URBANOG ODRŽIVOG RAZVOJA

Savremeni sistemi za snabdevanje vodom, odvođenje i prečišćavanje otpadnih voda na više načina utiču na životnu sredinu. Integralni pristup uticaja ovog sistema na životnu sredinu predstavljen je blok-dijagramom (slika 1) i obuhvata:

1. Zahvatanje sirove vode za proizvodnju vode za piće.
2. Korišćenje električne energije, hemikalija i drugih proizvoda.
3. Ispuštanje gradskih atmosferskih, neprečišćenih i prečišćenih otpadnih voda u vodoprijemnike.
4. Korišćenje bioloških otpadnih materija iz procesa prečišćavanja u poljoprivredi.
5. Ispuštanje gasova iz procesa direktno ili indirektno povezanih sa vodosnabdevanjem i prečišćavanjem otpadnih voda.

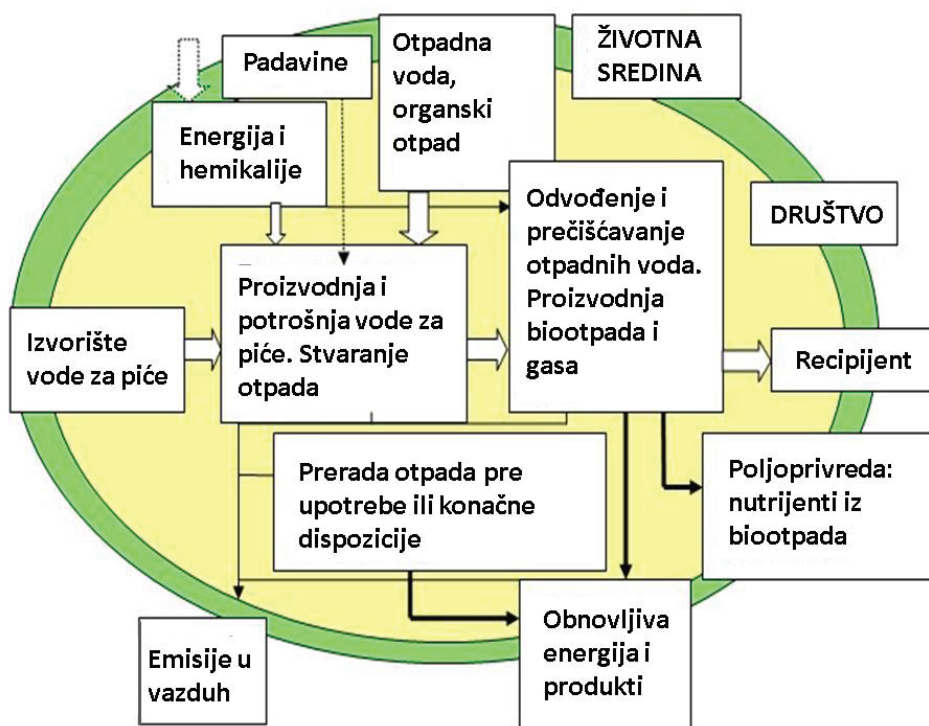
Osnovna funkcija sistema za vodosnabdevanje i odvođenje otpadnih voda je obezbeđenje higijenski ispravne vode za piće, dispozicija otpadne vode, prečišćavanje otpadnih voda radi zaštite vodoprijemnika i dispozicija atmosferskih padavina radi sprečavanja štete od poplava u urbanoj sredini. Kriterijum održivosti obuhvata sve prethodne zahteve koje treba da ispuni preduzeće za vodosnabdevanje i odvođenje otpadnih voda i lokalna samouprava kao osnivač.

Ako indikator shvatimo kao stepen ispunjenja utvrđenih kriterijuma onda se mogu razmotriti sledeći pristupi za definisanje ekološke održivosti

urbanih sistema za vodosnabdevanje i odvođenje otpadnih voda:

1. Ekološka održivost definisana kao saglasnost sa politički utvrđenim kriterijumima kvaliteta životne sredine.
2. Ekološka održivost definisana uz pomoć naučno utvrđenih nivoa kritičnog opterećenja i kapaciteta nosivosti.
3. Ekološka održivost definisana uz poštovanje *kriterijuma održivosti*.

Prvi pristup znači da se za neku aktivnost može reći da je održiva ukoliko je u skladu sa politički utvrđenim kriterijumima zaštite životne sredine, kao što su: *Nacionalni program zaštite životne sredine* (2007), *Nacionalna strategija održivog razvoja Srbije* (2008), *Strategija upravljanja vodama na teritoriji Republike Srbije do 2034* (2016), (nacrt) *Strategija upravljanja otpadom za period 2019-2024* (2019). Drugi pristup se zasniva na konceptu kritičnog opterećenja i kapaciteta nosivosti u pogledu maksimalnog zagađenja ili eksploatabilnih mogućnosti koje neki ekosistem može da podnese, a da *opterećenje pritisak* ne prouzrokuje štetne ili negativne efekte. Treći pristup se može formulisati preko *kriterijuma održivosti* koji definišu ocenu održivosti izvesne aktivnosti ili sistema kao celine korišćenjem odgovarajućih indikatora. Određivanje indikatora životne sredine i održivog razvoja je suštinski preduslov za unapređenje održivog društva, tako da su se tokom devedesetih godina prošlog veka pojavili brojni programi koji su imali za cilj izradu indikatora kao kvalitativnih i kvantitativnih pokazatelja održivog razvoja.



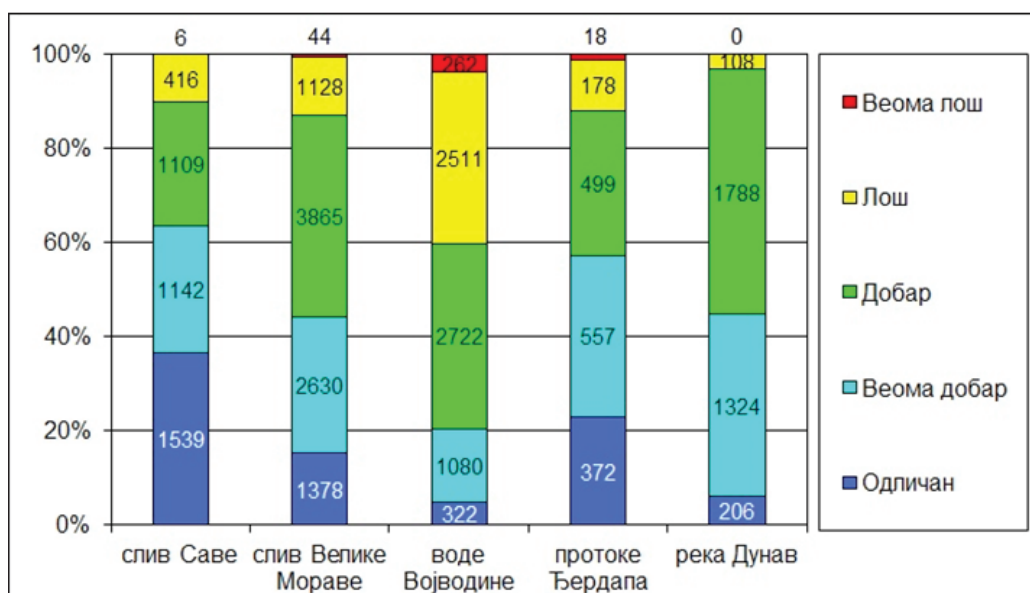
Slika 1. Prikaz sistema za vodosnabdevanje, odvođenje i prečišćavanje otpadnih voda kao podсистема životne sredine i društva [1]

U Agenciji za zaštitu životne sredine je razvijen indikator životne sredine *Serbian Water Quality Index* koji je namenjen izveštavanju javnosti, stručnjaka i donosioca političkih odluka (lokalna samouprava, državni organi). Indikator se zasniva na metodi prema kojoj se deset parametara fizičko-hemijskog i mikrobiološkog kvaliteta (zasićenost kiseonikom, BPK₅, amonijum jon, pH vrednost, ukupni oksidi azota, ortofosfati, suspendovane materije, temperatura, elektroprovodljivost i koliformne bakterije) agregiraju u kompozitni indikator kvaliteta površinskih voda vrednujući kvalitet u neprekinutom nizu od 0 do 100 [2], [3].

Prema analizi 25204 uzorka sa 248 mernih mesta uzorkovanih u proseku jednom mesečno u periodu od 1998-2017. godine najlošije stanje je na teritoriji Autonomne Pokrajine Vojvodine. Indikatoru kvaliteta loš i veoma loš pripada 40% uzoraka sa ove teritorije, a samo klasi veoma loš čak 79% uzoraka (Slika 2), [4].

ODREĐIVANJE INDIKATORA URBANE ODRŽIVOSTI - SERBIAN WATER QUALITY INDEX

Gradska otpadna voda je upotrebljena voda iz domaćinstava ili mešavina upotrebljene vode iz domaćinstava sa industrijskom upotrebljenom vodom i/ili kišnicom. Otpadna voda iz domaćinstva je otpadna voda iz stambenih naselja i servisa, koje potiču pretežno od ljudskog metabolizma i kućnih aktivnosti. Industrijska otpadna voda je bilo koja otpadna voda koja se izliva iz prostorija koje se koriste za vršenje zanatske ili industrijske delatnosti, osim otpadne vode iz domaćinstva i oticaja od kišnice. U naselju kao oblasti gde su stanovništvo i/ili privredne aktivnosti dovoljno koncentrisane, gradska otpadna voda se putem sistema javne kanalizacije sakuplja i odvodi do gradskog postrojenja za prečišćavanje ili do izliva u vodoprijemnik.



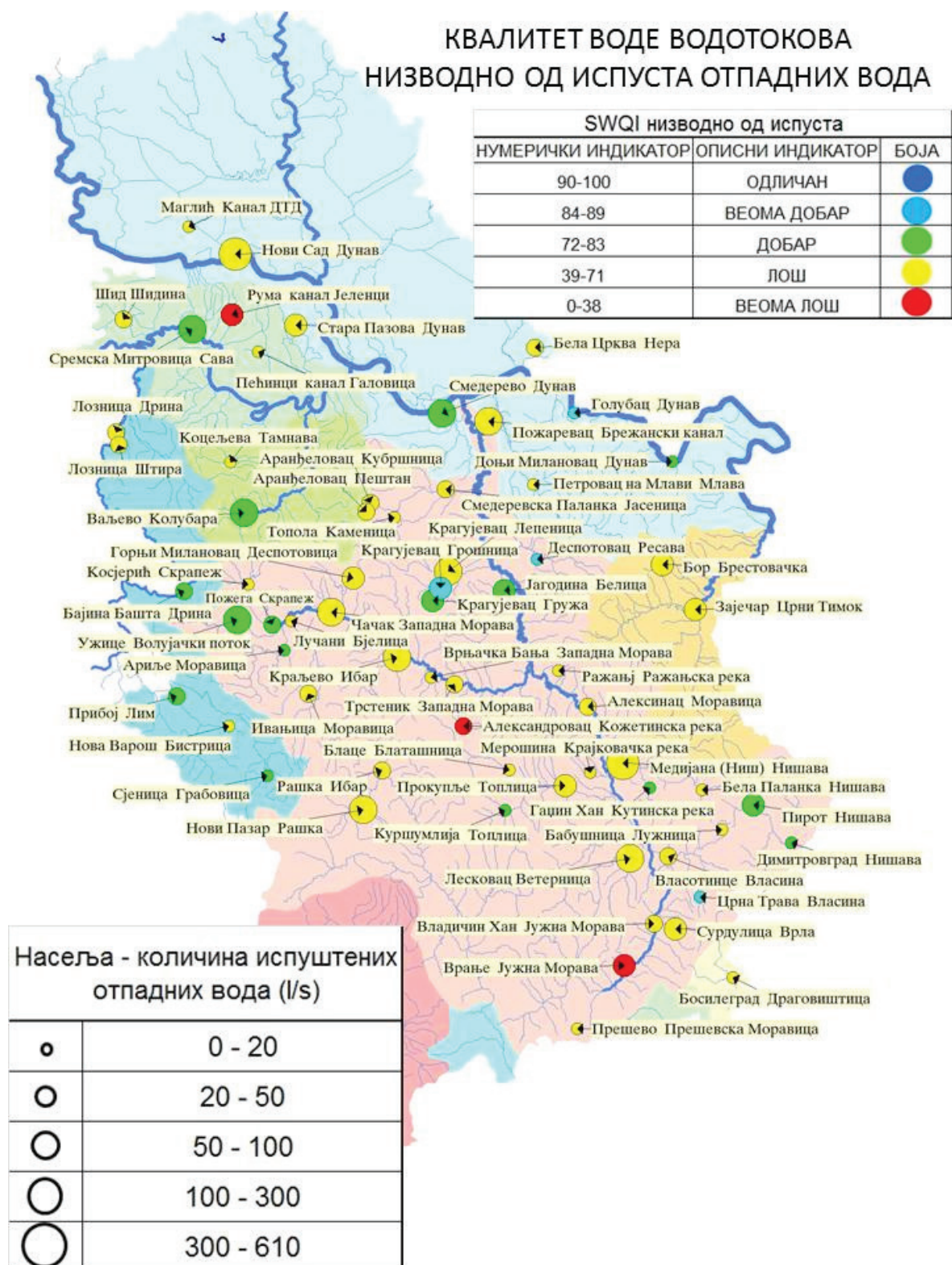
Slika 2. Analiza uzoraka vode metodom SWQI po slivnim područjima Republike Srbije (1998-2017)

Korišćenje indikatora kvaliteta površinskih voda *Serbian Water Quality Index* (SWQI) kao indikatora urbane održivosti na nacionalnom nivou na primeru Srbije, prezentovanog u ovom radu, zasniva se na preporuci projekta *Program podrške opštinama* IPA 2007 (MSP ISP 2007) [5]. Metodološki pristup i set predloženih indikatora urbane održivosti datih u priručniku projekta treba da posluži opštinama i gradovima u Srbiji kao koristan alat u sprovođenju njihovih lokalnih strateških planova. Ovaj rad/studija slučaja može poslužiti zaposlenima u gradskim i opštinskim upravama koji rade na sprovođenju Strategija lokalnog održivog razvoja (SLOR) i drugih strateških planova za razvoj pojedinačnih sektora, ali i donosiocima odluka kojima praćenje i evaluacija sprovođenja strateških dokumenata u oblasti zaštite voda može služiti kao podloga za donošenje novih odluka.

U Srbiji se u reke i kanale putem javnih kanalizacionih sistema ispušta godišnje 294 miliona m³ otpadne vode, a od toga se prečišćava nekim vidom tretmana (primarni, sekundarni, tercijarni) svega 17 % otpadne vode. Ovako velika količina ispuštenih otpadnih voda koje nisu prethodno prečišćene utiče veoma nepovoljno na živi svet u vodi, na kvalitet vode reka namenjene rekreaciji i dovodi u pitanje podobnost površinske vode kao izvorišta za vodosnabdevanje. Ova analiza ima za cilj da ukaže na stanje kvalitet vodoprijemnika kao posledicu uticaja ispuštanja gradskih otpadnih voda i prvi put predloži smernice za definisanje kriterijuma prioriteta u izgradnji gradskih postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda (GPPOV). Podaci o kvalitetu vode reka uzvodno i nizvodno od ispusta gradskih otpadnih voda su preuzeti iz izveštaja o monitoringu koje javna komunalna preduzeća dostavljaju Agenciji za zaštitu

životne sredine u skladu sa zakonom [6]. Rezultati monitoringa kvaliteta vode reka obuhvataju period od tri godine (2016 – 2018) sa učestalošću ispitivanja više puta u toku godine, što je dovoljno da se metodom *Serbian Water Quality Index* oceni kvalitet sa osrednjenim indeksom i prezentuje opisni indikator. Analizama su obuhvaćena 66 profila na rekama u

kojima se posle mešanja ispuštenih otpadnih voda od strane odgovarajućih JKP vrši kontrola kvaliteta. Kvalitet vode reka na mestima nizvodno od izliva gradskih otpadnih voda predstavljen je indikatorom *Serbian Water Quality Index* sa odgovarajućom bojom simbola naselja, istovremeno veličina simbola predstavlja količinu ispuštene otpadne vode [7].



Слика 3. Квалитет воде река низводно од излива комуналних отпадних вода [5]

Obim podataka o kvalitetu vode reka uzvodno i nizvodno od ispusta 62 JKP iz njihovih kanalizacionih sistema, od najvećih gradova (Novi Sad, Kragujevac, Niš, Leskovac, Jagodina, Kraljevo, Vranje, itd) do najmanjih naseljenih mesta (Maglić, Blace, Pećinci, itd), sa podacima o količinama otpadnih voda koje se ispuštaju u reke i pripadajućim podatkom o minimalnom srednjem mesečnom proticaju 95-% obezbeđenosti, predstavlja dovoljan preduslov da se uradi analiza uticaja komunalnih otpadnih voda na vodoprijemnik i predloži metodološki postupak za definisanje kriterijuma za određivanje prioriteta u izgradnji GPPOV (Tabela 1).

njihovih otpadnih voda na kvalitet vodoprijemnika. U ovim primerima uzvodni profili, pre ispusta otpadnih voda, imaju kvalitet ocenjen kategorijom *dobar* sa vrednostima bliskim jedinici za *indeks uticaja* ($_{95\%}Index_{ww}$), što znači da je uticaj količina izlivenih otpadnih voda na recipijent zapreminski veoma mali. Ipak je na nizvodnom profilu posle mešanja sa otpadnom vodom kvalitet vode vodoprijemnika pogoršan do kategorije *loš* i pripadaju im visoke vrednosti indikatora $\Delta(SWQI_{nizv} - SWQI_{uzv})$. Primer naselja Koceljeva daje drugačiju sliku uticaja, uzvodni profili pre ispusta otpadnih voda ima kvalitet ocenjen kategorijom *loš* sa niskom vrednosti *indeksa uticaja*

Tabela 1. Prioritet u izgradnji GPPOV: Kriterijum „ $\Delta(SWQI_{nizv} - SWQI_{uzv}) < -10$ ”

Red. br.	Naselje	Vodotok (Recipijent)	$Q_{95\%}$ (m ³ /s)	Q_{ww} (m ³ /s)	$_{95\%}Index_{ww}$	$SWQI_{uzv}$	$SWQI_{nizv}$	$\Delta(SWQI_{nizv} - SWQI_{uzv})$
1	Zaječar	Crni Timok	0.655	0.067	0.907	79	55	-24
2	Loznica	Štira	-	0.092	-	65	43	-22
3	Babušnica	Lužnica	0.680	0.012	0.983	78	60	-18
4	Trstenik	Zapadna Morava	16.5	0.025	0.998	68	50	-18
5	Aleksandrovac	Košetinska reka - sliv Pepeljuše	-	0.036	-	52	35	-17
6	Čačak	Zapadna Morava	4.35	0.280	0.94	74	59	-15
7	Pećinci	Kanal Galovica	-	0.017	-	71	56	-15
8	Ruma	Kanal Jelenci	-	0.085	-	45	30	-15
9	Koceljeva	Tamnava	0.021	0.018	0.538	66	52	-14
10	Novi Sad	Dunav	-	0.609	-	67	53	-14
11	Nova Varoš	Bistrica	0.131	0.012	0.916	69	56	-13
12	Vladičin Han	Južna Morava	1.45	0.022	0.985	55	42	-13
13	Bosilegrad	Dragovištica	-	0.006	-	69	57	-12
14	Ivanjica	Moravica - sliv Zapadne Morave	0.781	0.024	0.97	83	71	-12
15	Preševo	Preševska Moravica	0.040	0.013	0.755	53	42	-11

Izbor prvih 15 gradova/naseljenih mesta kojima se daje prioritet u izgradnji GPPOV bazira se na kriterijumu „ $\Delta(SWQI_{nizv} - SWQI_{uzv}) < -10$ ”, koji se izračunava kao razlika kvaliteta vode reke nizvodno i uzvodno od ispusta otpadnih voda. Kriterijum „ $_{95\%}Index_{ww}$ ” je prateći i daje samo uvid u uticaj količine ispuštenih otpadnih voda na kvalitet vodoprijemnika. Ovaj kriterijum se izračunava iz količnika, gde brojilac predstavlja minimalni srednje mesečni proticaj 95-% obezbeđenosti a imenilac zbir minimalnog srednjeg mesečnog proticaja 95-% obezbeđenosti i količine izlivenih otpadnih voda. Primer u ovom pregledu prioriteta za naselja Zaječar, Babušnica, Čačak i Ivanjica daje jasnu sliku uticaja

($_{95\%}Index_{ww}$), što znači da je uticaj količina izlivenih otpadnih voda na recipijent zapreminski veoma visok. Dok je na nizvodnom profilu posle mešanja sa otpadnom vodom kvalitet vode reke Tamnave zadržao kategoriju *loš* sa smanjenom vrednošću indikatora $\Delta(SWQI_{nizv} - SWQI_{uzv})$ za 14 $SWQI$ poena.

Dobar primer su naselja Golubac i Crna Trava koja se ne nalaze na listi prioriteta izgradnje GPPOV (Slika 3). Golubac daje sliku uticaja tako što uzvodni profil na Dunavu pre ispusta otpadnih voda ima kvalitet ocenjen kategorijom *veoma dobar* sa uticajem količina izlivenih otpadnih voda na recipijent zapreminski „beznačajnim”, zato je na nizvodnom profilu posle



mešanja sa otpadnom vodom kvalitet vode Dunava zadržao kategoriju *veoma dobar* sa vrednošću 87 *SWQI*. Sa druge strane u Južnoj Srbiji, primer naselja Crna Trava daje drugačiju sliku uticaja. Uzvodni profil na Vlasini pre ispusta otpadnih voda ovog opštinskog centra ima kvalitet ocenjen kategorijom *veoma dobar* (89 *SWQI*), dok na nizvodnom profilu posle mešanja sa otpadnom vodom kvalitet vode reke zadržava kategoriju *veoma dobar* sa vrednošću 88 *SWQI*. Demografski ispražnjen i bez privredne aktivnosti ovaj opštinski centar u Jugoistočnoj Srbiji ne predstavlja „pritisak“ na životnu sredinu.

ZAKLJUČAK

Urbani razvoj kao deo strategije održivog razvoja je koncept rešavanja pitanja napretka u pogledu dostizanja ciljeva na državnom, regionalnom i lokalnom nivou. Upravljanje sistemima za vodosnabdevanje i odvođenje otpadnih voda je integrisani proces urbanog održivog razvoja koji

uključuje analizu situacije, formulisanje politike i akcionih planova, primenu, monitoring i redovne analize stanja korišćenjem odgovarajućih indikatora, kao što je *Serbian Water Quality Index*. Rezultati istraživanja vrednosti indikatora *SWQI* na nacionalnom nivou pokazuje kako ovaj indikator može pomoći u praćenju napretka ka postavljenim ciljevima. Indikator urbane održivosti *SWQI* prezentuje informacije o prostornom rasporedu stanja kvaliteta površinskih voda na slivnim područjima nizvodno od ispusta gradskih otpadnih voda. Informacije koje pruža indikator su lako razumljive i smislene i mogu pomoći donosiocima odluka na nacionalnom i lokalnom nivou da razumeju situaciju i donesu odluku o daljim delovanjima u oblasti zaštite voda. Lokalnim samoupravama je jako važno da prikupljanje podataka u okviru praćenja dostizanja ciljeva politike i akcionih planova bude prema jedinstvenoj nacionalnoj metodologiji i da se podaci za izradu indikatora redovno ažuriraju [8]. Ove uslove *SWQI* kao indikator urbane održivosti ispunjava.

LITERATURA

1. Veljković, N: *Savremena eksploatacija i održavanje objekata i postrojenja u sistemima vodovoda i kanalizacije*, Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo, Beograd, 2008. str. 277-286.
2. *Pravilnik o nacionalnoj listi indikatora zaštite životne sredine* („Službeni glasnik“ RS broj 37/11) http://www.sepa.gov.rs/download/NLI_web.pdf
3. *Izračunajte Serbian Water Quality Index vašeg vodotoka ili jezera!* <http://www.sepa.gov.rs/index.php?menu=46&id=8012&akcija=showExternal>
4. *Životna sredina u Srbiji 2004 – 2019*, Agencija za zaštitu životne sredine, 2019. http://www.sepa.gov.rs/download/FIN_JubilarnaPublikacija.pdf
5. *Monitoring i evaluacija strategija lokalnog održivog razvoja – Priručnik*, Program podrške opštinama IPA 2007 „Dobra uprava, planiranje i pružanje usluga“, 2012.
6. *Pravilnik o metodologiji za izradu nacionalnog i lokalnog registra izvora zagađivanja, kao i metodologiji za vrste, načine i rokove prikupljanja podataka* („Službeni glasnik RS“, br. 91/2010, 10/2013 i 98/2016)
7. *Izvor: Upitnik – nedostatak vode za piće*, Agencija za zaštitu životne sredine i MUP/Sektor za vanredne situacije, 2016. ($Q_{\text{otpadna voda}} = 80\% \times Q_{\text{isporučene količine vode za piće}}$)
8. *Uredba o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokovima za njihovo dostizanje* („Sl. Glasnik RS“, br. 67/2011, 48/2012 i 1/2016), član 19, stav 3.



ISTRAŽIVAČKO ISKUSTVO U UPOTREBI SATELITSKE TEHNOLOGIJE ZA OTKRIVANJE CURENJA NA VODOVODNOJ MREŽI PANČEBO, KOVIN, KOVAČICA

REZIME

Satelitsko snimanje vodovodne mreže je nova tehnologija u otkrivanju curenja, odnosno gubitaka vode, na distributivnim mrežama vodovodnih sistema. Preciznost i moć ove tehnologije pomažu, da se terenskim akustičnim uređajima pronađu i saniraju pojedine neotkrivene grupe iz obe kategorije Stvarnih i Komercijalnih gubitaka. Prva ovdašnja istraživanja, sa novom tehnologijom, i sa prikazanim rezultatima, izvedena su na području Pančeva, Kovina i Kovačice.

Ključne reči: Satelitsko snimanje, curenje, vodovodna mreža, akustično snimanje, Stvarni gubici, Komercijalni gubi

UVODNE NAPOMENE

Na ovim prostorima su, u prethodnim godinama, obavljana mnoga istraživanja u vezi sa svim aspektima otkrivanja i sanacije obe kategorije Stvarnih i Komercijalnih gubitaka, a sve u želji da se problem gubitaka postavi na ono mesto koje mu po značaju i pripada.

Ipak, trebao je da prođe izuzetno dug period vremena, da bi se pojavila ta nova tehnologija, koja je mogla da otkrije, i prikaže dostupnim, značajan deo grupe Stvarnih, (nedetektabilnih-baznih!) gubitaka vode, na distributivnim delu vodovodnih sistema. Zahvaljujući stručnjacima i entuzijastima iz ovih oblasti, jedna moćna satelitska tehnologija prebačena je, sa svemirskih istraživačkih aktivnosti, na planetu zemlju i ovozemaljske probleme. Koliko je važno očuvanje najvažnijeg životnog resursa, pokazuju stručnjaci širom sveta, dajući problemu gubitaka, zdrave i pitke vode, globalni značaj. U tom smislu je i najznačajnije svetsko udruženje za vode – **IWA**, proglasilo **4. Decembar** kao **Svetski dan gubitaka vode – World Water Loss Day**! Razlog više, da se svemu ovome da poseban značaj, jeste i saznanje, da su ti gubici na ovim prostorima, dostigli neprihvatljivo visoke procenete, u rasponu od 30-80% izgubljene, prečišćene vode. A istina je i to, da su ti isti gubici, osnovni i nesporni generator pada fakturisanja, koji uz to generišu i sve ostale probleme, lošeg finansijskog poslovanja vodovodnih

preduzeća. Otuda, nije nikakvo iznenađenje da se u cilju zaštite ovog resursa, od svih kategorija gubitaka, širom sveta, koriste najsavremenije tehnologije današnjice. To je nešto što bi moralo biti prepoznato i na ovim prostorima, uz ovako visoke procenete izgubljene pitke vode, da bi se konačno, ta agonija velikih gubitaka spustila na najniži prihvatljivi nivo („donja tačka“ ekonomskog nivoa gubitaka). Na kraju, sve bi ovo moralo biti shvaćeno i prihvaćeno (!), posebno od strane nadležnih rukovodećih struktura u vodovodnim sistemima, da bi se otkrivanjem i sanacijom, te najzahtevnije grupe gubitaka, podigla i opšta učinkovitost, prevashodno iskazana, kroz uspešno finansijsko poslovanje a uz to i uspešnije sveukupno održavanje, predmetnih vodovodnih sistema.

Šta sve i koliko mogu pomoći podaci, sa satelitskih snimaka podzemne vodovodne mreže, biće reči u ovom radu.

OČEKIVANJA OD NOVE SATELITSKE TEHNOLOGIJE...

Sve ovo je počelo, kada je grupa istraživača iz Izraela, koja se inače bavila traganjem za vodom na najbližim planetama (Mars i Venera), shvatila da ti isti moćni uređaji mogu biti primenjeni i u traganju za vodnim gubicima na Zemlji. Nije trebalo dugo vremena, da se



značajan broj tih istraživača okrene ka novom izazovu, otkrivanju gubitaka pitke vode u distributivnim mrežama vodovodnih sistema. Prva istraživanja su dala veoma optimistične rezultate i počele su primene tih tehnologija u raznim delovima Zemlje, gotovo na svim kontinentima. Tako je nova tehnologija svemirskog monitoringa prešla na planetu Zemlju sa fascinirajućom preciznošću informacija satelitskih radarskih uređaja, koji su mogli registrovati i najniži nivo curenja na distributivnim mrežama vodovodnih sistema. Kakva i kolika je moć ovih uređaja, ako isti registruju tako niska procurivanja na mreži do nivoa od **0,1 l/min**?

CURENJE (broj kapi u 10 sekundi)	PROTICAJ (l/cas)	PROTICAJ (m ³ /mesecno)
7	0,5	0,36
20	1,8	1,31
37	4,0	2,92
mlaz precnika 1,5 mm	18	13,133
mlaz precnika 3,00 mm	36	26,266

Tabela 1. Faze kapanja i formiranje prvog mlaza curenja

Iz ovog priloga, na kome su radili istraživači (Levandovski i Kriger), može se lako saznati koliki je stvarni nivo gubitaka od 0,1 l/min, u odnosu na istraživačka iskustva, prikazana u grafičkom prilogu (Tabela 1) iz poglavlja **Analiza opravdanosti, Jahorina 2009.**

Faza najbržeg kapanja
(37 kapi za 10 sec) iznosi 0,07 l/min

Faza formiranja prvog mlaza
(...za 10 sec) iznosi 0,3 l/min

Kao što se iz prethodnog priloga može videti, registrovani nivo gubitaka od 0,1 l/min, može se smestiti između faze najbržeg kapanja i faze formiranja prvog mlaza, uz napomenu da je ipak znatno bliži fazi kapanja a to znači i kategoriji Baznih, nedetektibilnih gubitaka (Background Losses) ! Koliki je značaj ove grupe gubitaka ukazuje i činjenica da su sva ta Bazna-nedetektibilna curenja, na uličnoj distributivnoj mreži, bila predmet istraživanja i kod mnogih svetskih eksperata, pa su tako eksperti iz nekadašnje IWSA-e (današnja IWA), Lambert i ost.,

dali na značaju upravo ovoj grupi curenja, odnosno gubitaka, gde su isti iskazani u većem procentu nego ostale dve grupe zajedno, vidljivih (prijavljenih) i detektibilnih (neprijavljenih) curenja (Tabela 2).

Najkraće rečeno, ova metodologija je zasnovana na tehnološkoj moći Satelita, (koji se nalazi na visini od oko 650 km, udaljen od Zemlje), koji nosi radar SAR (Synthetic Aperture Radar) sensor i koji ima tu moć da, prodornim L- zracima, koje šalje na Zemlju, a koji mogu da prodru u tlo zemlje, registruje postojanje traga pitke vode, iscurile iz vodovodne mreže. Radarska tehnologija sve to prepoznaje, u vidu tzv. spektralnog „potpisa“ (signature), koji simbolizuje sve posebnosti i različitosti, karakteristične za traženu pitku vodu a koji, tačnije rečeno, predstavlja odnos između elektromagnetne talasne dužine i njene interakcije sa vodom. Posebnost te pitke vode (dielektrična konstanta) je ta, da u tlu produkuje visoku dielektričnu propustljivost, za razliku od drugih vrsta vode (slana voda, zagađena voda, jezerska voda, itd.), i takav signal se vraća senzoru radara, na kome je uz pomoć posebnog algoritma, izvršena trijaža svih vrsta vode i zadržan samo taj prepoznatljivi, pristigli „potpis“ tražene pitke vode. Dakle, moćni uređaji radara će dati lokacije iscurile pitke vode, u vidu „fleka“, na površini snimanog prostora, koji će posle preklapanja sa GIS mapama, dati približne ulične lokacije (Slika 1), odnosno tačke od interesa (POI) gde se, terenskim akustičnim uređajima, otkrivena tačna mesta curenja, obeležavaju zelenom bojom, potom se sumnjiva mesta, obeležavaju žutom bojom, tihi signali, se obeležavaju crvenom bojom i konačno na kraju se, neproverivo stanje, obeležava plavom bojom.

U smislu prethodnog, izuzetno je važno pomenuti, da boja na satelitskom snimku ne iskazuje veličinu curenja, nego koliko je snažno registrovan „potpis“ tražene pitke vode, u kontaktu sa zemljom, što opet ukazuje samo na visinu verovatnoće njegovog postojanja. Kao primer može se navesti iskustvo istraživača, „da veliko curenje koje traje recimo, nekoliko dana, može dati isti „potpis“, kao i vrlo malo curenje koje traje nekoliko godina“(!).

Važno je imati na umu i to, da prethodno prikazana metodologija otkrivanja curenja ne isključuje tradicionalnu detekciju akustičnog curenja, poznate kao Aktivna kontrola curenja (AKC), nego joj upravo

Komponenta infrastrukture	Neotkriveno (Bazno) curenje	Neregistrovano (neprijavljeno) curenje	Registrovano (prijavljeno) curenje	UARL ukupno	Jedinice
Cevovod	9.6	2.6	5.8	18	L/km cevovoda / dan /m pritiska

Tabela 2. Prikaz gubitaka vode za tri navedene grupe na distributivnom cevovodu kako su to videli istraživači iz IWSA-e



Slika 1. Prikaz Tačke od interesa (POI) prečnika do 100 m

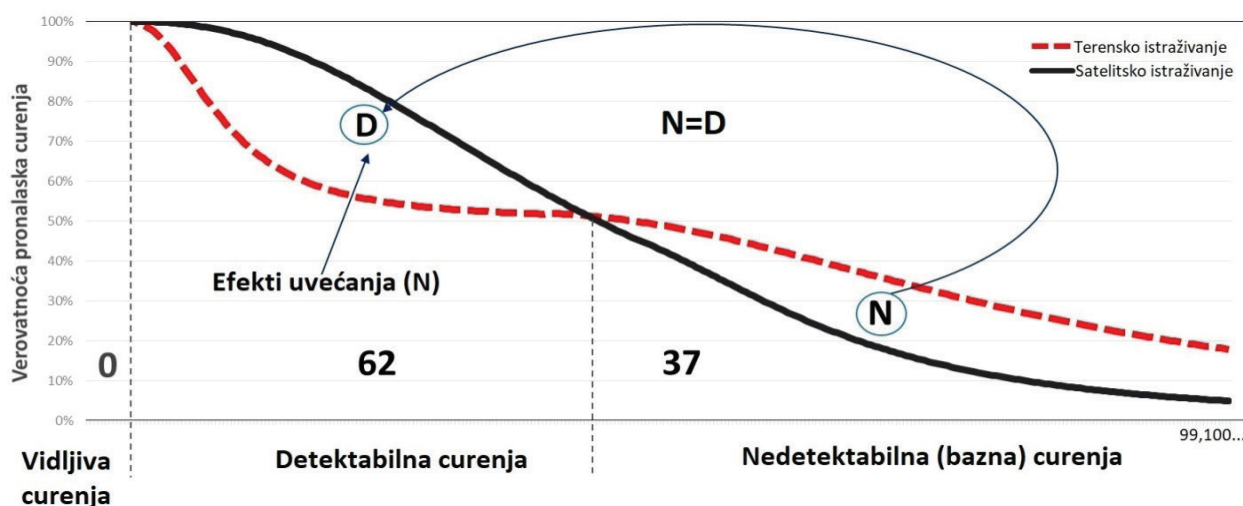
pomaže da se, približnim satelitskim lociranjem tih potencijalnih mesta curenja, omogući izbegavanje obilaženja ukupne mrežne infrastrukture. Takođe, Aktivna kontrola curenja (AKC), podrazumeva upotrebu najkvalitetnijih akustičnih uređaja za detekciju curenja i sa posebnim akcentom, na izboru vremena za ovo istraživanje, kako bi se izbegli svi remetilački faktori zvuka, karakteristični za centre većih urbanih sredina

Kakvi i koliki su efekti od novog načina potrage za izgubljenom vodom, moguće je videti i prepoznati u grafičkom prilogu Slika 2. Značajan deo grupe Nedetektabilnih (Baznih) curenja, koja su u prethodnim vremenima bila nedostupna, za tadašnju tehnologiju Aktivne kontrole curenja (N), novom tehnologijom postala su dostupna D), i kao takva prešla su u grupu Detektabilnih curenja.

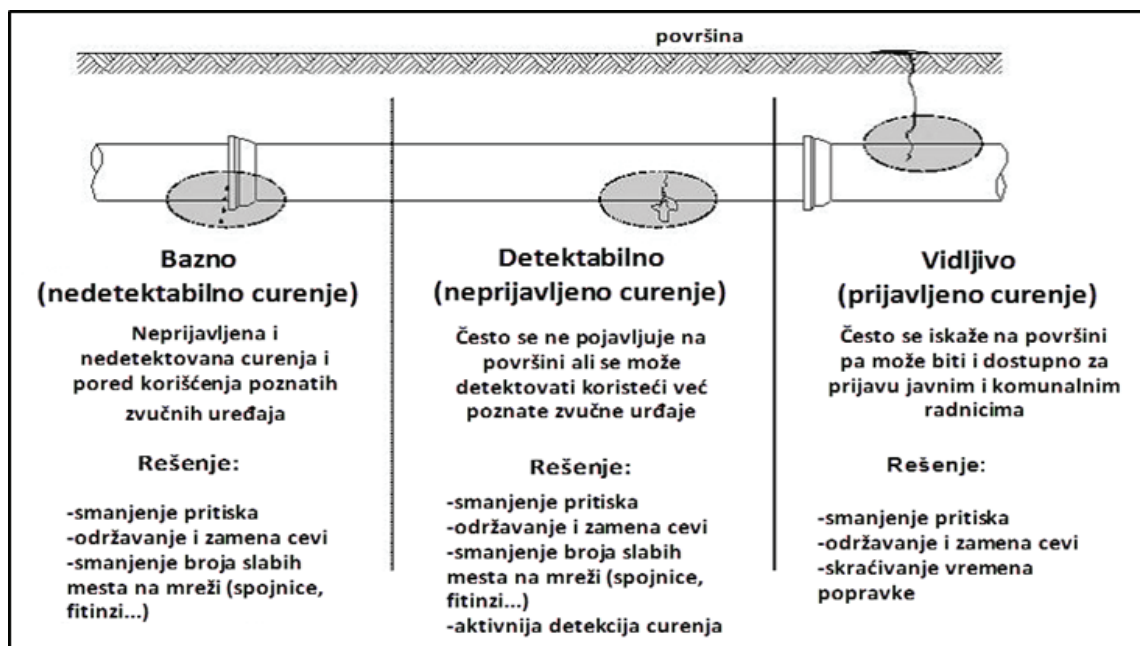
Nažalost, jedan deo tih Baznih gubitaka ostaje i dalje nedostupan, za sadašnju moć akustičnih uređaja,

prevashodno u vidu niskih nivoa faza kapanja, koja su locirana najčešće na spojevima cevi (Slika 3), gde bi usled sleganja nakvašenog terena ispod cevovoda u profilu ulice, najčešće kao posledice dinamike teškog saobraćaja, dolazilo i do razvlačenja cevi na spojevima sa donje (bazne) strane, odnosno stvaranja uslova za pojavu potencijalnih mesta, raznih nivoa curenja, od niskih faza kapanja do formiranja prvih mlazeva (Tabela 1).

Kada se pogledaju oba grafička priloga (Slika 2 i Slika 3), jasno se vide mesta nastanka sve tri grupe Stvarnih gubitaka, kao i efekti satelitskog snimanja, odnosno pregrupisavanja značajnog dela iz grupe Baznih (nedetektabilnih curenja) u grupu Detektabilnih (neprijavljenih curenja). Iskustveno je poznato da i ta nedostupna niska faza kapanja u određenom vremenskom periodu prerasta u fazu formiranog mlaza (Tabela 1) i na taj način postaje dostupan tehnologiji terenskog akustičnog istraživanja.



Slika 2. Grafički prikaz efekata primene satelitske tehnologije



Slika 3. Prikaz lokacija za sve tri grupe Stvarnih gubitaka (curenja)

Upravo Satelitski monitoring upravo i podrazumeva da se određene nove vrste lociranih potencijalnih curenja (sumnjivo, tiho i neproverivo) nedostupnih za postojeću akustičnu tehnologiju, moraju permanentno pratiti, da bi u nekom neodređenom vremenskom periodu, isti postali dostupni a onda bi, sa preciznim lociranjem mesta curenja, bila moguća i njihova sanacija, ako za ista postoje hitni i opravdani razlozi.

Svi istraživači sa ovih prostora se slažu oko toga, da su najslabija mesta mrežnog sistema, mesta priključaka, od uličnih cevi do vodomernih skloništa, i da su najveći procenti izgubljene vode upravo na tim priključcima i vodomernim skloništim. Pre ili kasnije u fazi istraživanja, kada se snimci sa Satelita koreliraju sa GIS podacima, potom obavi akustična detekcija i otkriju tačne lokacije curenja, otkriće se i mnoga mesta nelegalnih priključaka, koja nisu registrovana kao legalni potrošači i gde je u pitanju jedan od vidova nelegalne potrošnje. Sva ta procurivanja na tim priključcima su očekivana posledica, nestručno i tehnički neispravno, izvedenih spojeva, nezavisno od toga da li je u pitanju, nelegalni priključak na uličnu vodovodnu cev („divlji priključak!“), ili nelegalno priključenje, bez mernog uređaja, na legalni priključak ispred vodomernog skloništa („slepa veza!“), itd.

Nažalost, to je već odomaćena praksa krađe vode, koju značajan broj potrošača smatra legalnim „narodnim dobrom“, što je odraz recidiva, iz naše već davne prošlosti, a za koju se uz to, ne polaže nikakva odgovornost ! To je deo te Nelegalne potrošnje kod Komercijalnih gubitaka, odnosno treće grupe prikazane u vidu Neidentifikovanih potrošača (Slika

4) koji po broju, a na osnovu istraživačkih iskustava na ovim prostorima, nisu za zanemarivanje.

Kao što je već prethodno rečeno, da je na priključcima ubedljivo najviši procenat kvarova, u odnosu na sve druge vrste kvarova na vodovodnoj mreži, to još više ukazuje koliko je bitno da se sva ta curenja mogu prepoznati, potom i adekvatno reagovati, jer su posledice u tom slučaju, itekako povoljne za vodovodne sisteme, pogotovo u našim okolnostima. Takođe, je bitno napomenuti, u kontekstu prigradskih naselja i to, da značajan broj tih nelegalnih cevovoda prolazi preko nenaseljenih i neodržavanih prostora, a gde se i znatno veća curenja, koja se čak iskazuju na površini terena, obično ne prijavljuju jer nisu ni primećena od strane lokalnih žitelja a ni od nadležnih operativaca, koji taj cevovod i ne obilaze. Zbog toga je Satelitska informacija, o (visokoj!) verovatnoći postojanja podzemnog curenja na takvim cevovodima, izuzetno važno saznanje, kao uput na pravu reakciju, obilazak i snimanje tih manje kontrolisanih lokacija, zbog prevencije od velikih havarija i otkrivanja, eventualnih novih neidentifikovanih priključaka, nelegalnih mreža, itd.

Konačno, za sve ovo potrebno je napraviti jedan detaljan i adekvatan algoritam, koji bi precizno definisao postupak, „korak po korak“, za rešavanje predmetnog problema, i gde bi svaki „korak“, odnosno svaka pojedinačna obavezujuća aktivnost, bila u potpunosti definisana i spremna za realizaciju, da bi se moglo brzo i efikasno odreagovati na informacije o svim sumnjivim mestima otkrivenih curenja i eventualnim rizicima, te da se na kraju proveru, šta sve može da se skriva iza tih curenja u smislu statusa mreže i priključaka, a i mogućnosti nastanka neželjenih događaja.

KOMERCIJALNI GUBICI	NELEGALNA POTROŠNJA	NELEGALNI PRIKLJUČCI NEREGISTROVANI PRIKLJUČCI NEIDENTIFIKOVANI PRIKLJUČCI	
	NETAČNOSTI POTROŠAČKIH MERENJA	NEREGISTROVANA POTROŠNJA PROBLEMI VODOMERA	NETAČNOSTI VODOMERA
			UKOČENI VODOMERI
			VODOMERI KOJI SE KOČE
			PREDIMENZIONISANI VODOMERI
		GREŠKE ČITANJA VODOMERA	POGREŠNA I NEPOTPUNA ČITANJA
	GREŠKE PRI OBRAČUNU UTROŠENE VODE		
		PRODUŽENA KLASIFIKACIJA KOMERCIJALNIH GUBITAKA	

Slika 4. Deo poznate IWA-klasifikacije-vode koja ne donosi prihod (NRW) a koja se odnosi na Komercijalne gubitke

Inače, ovaj inovativni programski pristup za otkrivanje curenja, koristi prevashodno Metodologiju trijaže sistema satelitskih snimaka a potom i upotrebu najbolje prakse, odnosno iskustva iz operativnih, terenskih aktivnosti akustičnog snimanja na ciljnim lokacijama, odnosno Tačkama od interesa (POI). Šta sve i koliko mogu da doprinesu dobro obučeni terenski operativci uz vrhunske akustične uređaje, na precizno definisanim lokacijama, posle detaljne trijaže satelitskih snimaka, jesu sledeći benefiti:

- Smanjenje troškova pronalaska curenja,
- Povećana efikasnost pronalaska curenja,
- Detekcija curenja i na prostoru krajnjih korisnika vode,
- **Detekcija curenja na mestima nelegalnih priključenja na vodovodnu mrežu,**
- **Detekcija curenja na nelegalnim vodovodnim mrežama,**
- Skraćenje rada operativaca na terenu uz bolje rezultate,
- Smanjenje nivoa podzemnih curenja.

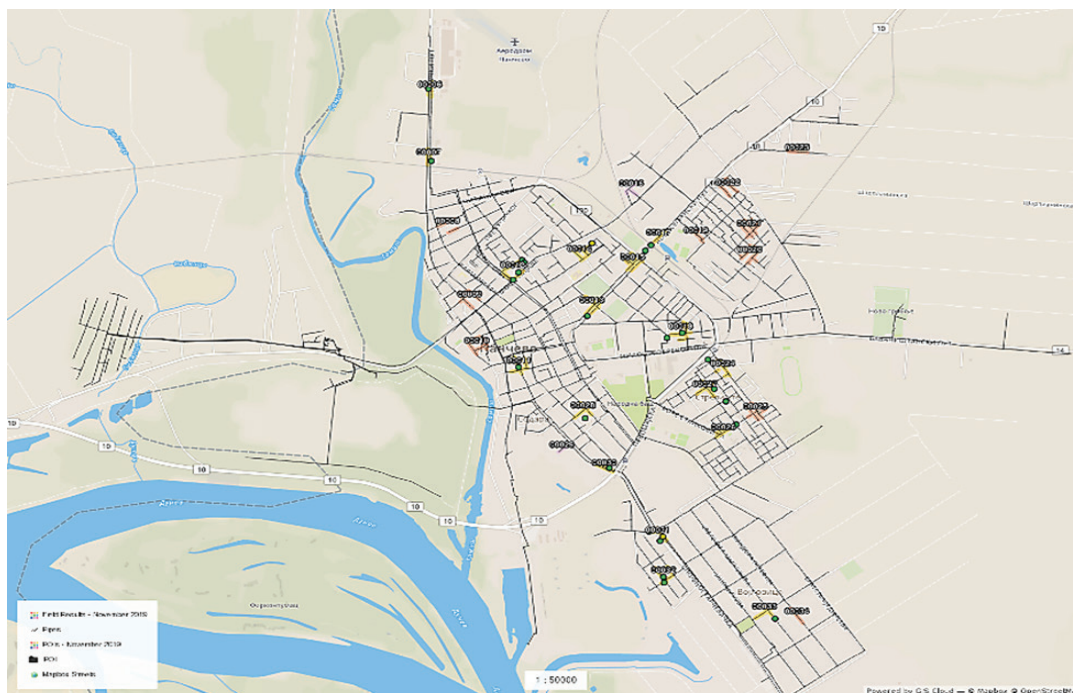
REZULTATI PRIMENE NA PODRUČJU PANČEVA, KOVINA I KOVAČICE...

Tokom 2019. godine, obavljeno je satelitsko snimanje prostora, koji je obuhvatao područje Pančeva, Kovina

i Kovačice, a čiji je krajnji cilj bio detekcija curenja na vodovodnim mrežama ovih mesta. Posle satelitskog snimanja predmetnog terena, izvršeno je preklapanje toga satelitskog snimka sa GIS mapama pomenutih mesta i dobijene su šire lokacije potencijalnih curenja, odnosno tačke od interesa (POI), sa prečnikom do 100 m (Slika 1), a potom je na kraju obavljena i terenska pretraga sa akustičnim uređajima, a na bazi već lociranih tačaka od interesa (Points Of Interest), i pronađena su mnoga nova mesta curenja na tretiranoj distributivnoj infrastrukturi. Izvesno je da se na prvi pogled može primetiti (Tabela 3), da je na razmatranom području, od ukupnog broja potencijalnih mesta curenja ($\Sigma = 99$), pronađeno više od 60% novih, detektabilnih mesta curenja (62), što je itekako povoljan rezultat, ako se zna da su to rezultati od samo jednog satelitskog snimanja. Pouzdano se zna da bi ponovljenim snimanjem, u nekom vremenskom razmaku, značajan broj tih, za sada nedetektabilnih (baznih) curenjana (37), bio otkriven i dostupan za eventualnu sanaciju. I na kraju, još se može konstatovati, da na ovom satelitskom snimku mreže, nije registrovano ni jedno vidljivo (prijavljeno) curenje (Slika 5).

Mesto Otkriveno	Pančevo					Σ	Kovin	Kovačica	Σ
	Pančevo	Starčevo	Omoljica	Ivanovo	B. Brest.				
Curenje	24	5	5	0	1	35	19	8	62
Sumnjivo	3	0	0	0	0	3	2	0	5
Tiho	20	2	0	1	1	24	2	0	26
Neproverivo	2	1	0	0	0	3	1	2	6
									$\Sigma = 99$

Tabela 3. Rezultati broja otkrivenih i potencijalnih mesta curenja na snimanim područjima Pančeva, Kovina i Kovačice



Slika 5. Vodovodna mreža grada Pančeva sa mestima otkrivenog (i potencijalnog) curenja

Kao što se može videti u Tabeli 3 i na Slici 5, u gradu **Pančevu** otkrivena su 24 mesta curenja, od čega su 3 sumnjiva, 20 su tiha i 2 neproveriva. Dakle, u samom gradu pronađeno je oko 50% curenja od ukupnog broja potencijalnih mesta curenja, a na 249 km uličnog cevovoda i 17500 priključaka (Tabela 5), ima 13 kvarova na uličnoj mreži i 11 na priključcima, što je u ovom smislu, ipak redak slučaj za vodovodne sisteme sa ovih prostora. Kod ostalih prigradskih naselja upravo, dominiraju kvarovi na priključcima. Konačno, kada se u Tabeli 4, pogledaju rezultati kvarova (mesta curenja) grada Pančeva i prigradskih naselja dobija se slika dominacije kvarova na priključcima (15 na uličnom cevovodu i 20 na priključcima).

Prigradsko naselje **Starčevo**, udaljeno je oko 9 km od Pančeva, i bilo je obuhvaćeno ovim satelitskim snimanjem, lokalne vodovodne mreže. U samom naselju otkriveno je 5 mesta curenja, 2 su tiha i 1 neproverivo, na cevovodu dužine 24 km, sa 2200 priključaka, uz napomenu da su svih 5 mesta curenja otkrivena na priključcima (3 do vodomera i

2 iza vodomera), (Tabela 3, Tabela 4 i Tabela 5. Drugo naselje **Omoljica**, udaljeno je od naselja Starčeva oko 7 km, bilo je obuhvaćeno istim satelitskim snimanjem lokalne vodovodne mreže i otkriveno je samo 5 mesta curenja, od kojih su 2 na cevovodu ukupne dužine 36 km, i tri mesta curenja su na priključcima (iza vodomera), a kojih u naselju ima 1650, (Tabela 3, Tabela 4 i Tabela 5).

Treće naselje koje je obuhvaćeno ovim satelitskim snimanjem je **Banatski Brestovac** i udaljen je od naselja Omoljice oko 5 km, a na lokalnoj vodovodnoj mreži dužine 17 km, uz 950 priključaka, otkriveno je 1 curenje na priključku (do vodomera) i 1 je tiho, (Tabela 3, Tabela 4 i Tabela 5). I konačno, naselje **Ivanovo**, udaljeno od naselja Omoljice oko 5 km, bilo je takođe obuhvaćeno, istim satelitskim snimanjem lokalne vodovodne mreže, sa otkrivenim jednim potencijalnim mestom curenja (1 tiho), na cevovodu dužine 18 km, sa 405 priključaka, (Tabela 3, Tabela 4 i Tabela 5).

Mesto Lok. curenja	Pančevo					Σ	Kovin	Kovačica	Σ
	Pančevo	Starčevo	Omoljica	Ivanovo	B. Brest.				
Cevovod	13	0	2	0	0	15	5	0	20
Do vodomera	7	3	0	0	1	11	8	6	25
Iza vodomera	4	2	3	0	0	9	6	2	17
									Σ = 62

Tabela 4. Mesta lociranih curenja na mrežama Pančeva, Starčeva, Omoljice, Ivanova, Banatskog Brestovca, Kovina i Kovačice

Mesto Sistem distributivni	Pančevo					Σ	Kovin	Kovačica	Σ
	Pančevo	Starčevo	Omoljica	Ivanovo	B. Brest.				
Cevovod (km)	249	24	36	18	17	344	69,5	62	475,5
Priključci (kom)	17500	2200	1650	405	950	22705	5120	2360	30185

Tabela 5. Prikaz dužine mreže i broja priključaka za svako naselje snimanog područja

STANDARDI ZA NIVO OŠTEĆENJA NA DISTRIBUTIVNOJ MREŽI VODOVODNOG SISTEMA			
NIVO KVAROVA PO DVGW (W 400-3)	STOPA OŠTEĆENJA CEVI		PREPORUKA
	GLAVNA I SEKUNDARNA MREŽA	PRIKLJUČCI	
	GODIŠNJI KVAROVI NA 100 km MREŽE	GODIŠNJI KVAROVI NA 1000 PRIKLJUČAKA	
NIZAK	≤ 10	≤ 5	ODRŽAVATI OVAJ NIVO
SREDNJI	10 do 50	5 do 10	POBOLJŠATI NIVO
VISOK	50	10	HITNA SANACIJA

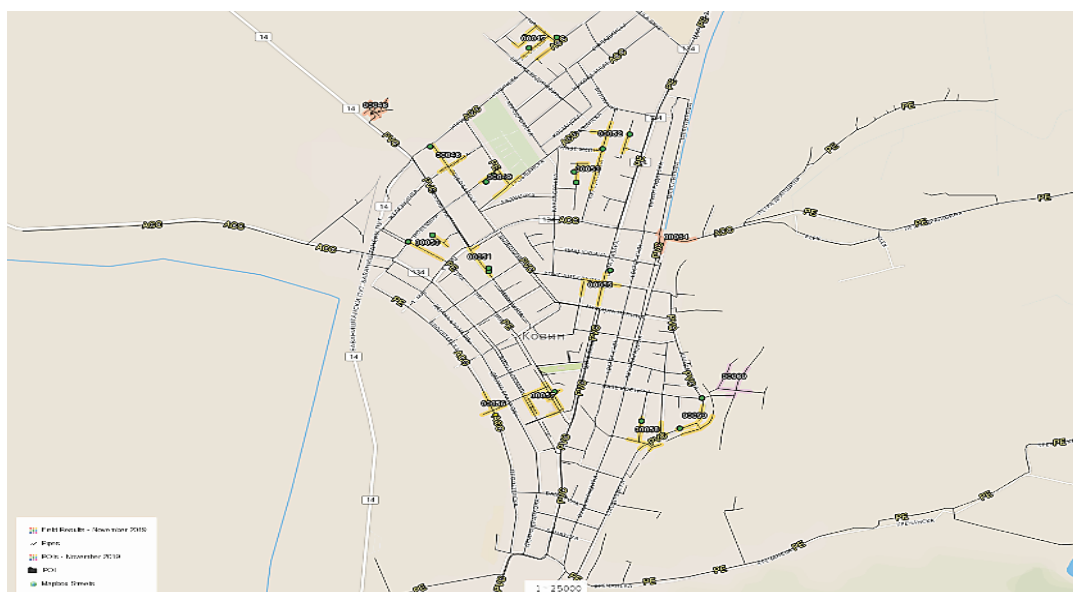
Tabela 6. Standardi za procenu nivoa održavanja distributivnih sistema

Ipak, na kraju će rezultati iz naselja **Kovina** i **Kovačice**, još upečatljivije, potvrditi prethodno pomenuto istraživačko iskustvo, o dominaciji kvarova na priključcima, da bi konačna slika sa celog ovog područja bila...**20 kvarova (curenja) na uličnoj mreži dužine 475,5 km. i 42 kvara (curenja) na 30185 priključaka**, kako je to i prikazano u Tabeli 3, Tabeli 4 i Tabeli 5.

Budući da su tokom ovih pretraga pribavljeni su svi relevantni podaci za sva ova naselja, bilo bi potrebno izvršiti i procenu realnog nivoa održavanja ovih distributivnih sistema (vodovodne mreže i priključci), na kojima se po dogođenim otkazima, događaju i razne vrste curenja, odnosno gubitaka vode. S tim u vezi, u razvijenom delu sveta urađeni su standardi,

koji su omogućili, da se kroz nivo broja oštećenja (kvarova) na mreži i priključcima, proceni i nivo održavanja celokupnog distributivnog sistema, iskazanog u tri nivoa (Tabela 6).

Ako se tehnički standardi, prikazani u Tabeli 6, primene na grad **Pančevo** sa svim prigradskim naseljima (Starčevo, Omoljica, Ivanovo i Banatski Brestovac), lako se može uočiti da je nivo kvarova, koji se iskazuju kao curenja na uličnoj vodovodnoj mreži, i priključcima, na prihvatljivo niskom nivou sa preporukom „**održavati ovaj nivo**“, što upravo potvrđuju i standardi DVGW, da se sistem distributivne vodovodne mreže u ovom području održava na željenom visokom nivou.



Slika 6. Vodovodna mreža naselja **Kovin** sa mestima otkrivenog (i potencijalnog) curenja



Naselje **Kovin** (Slika 6), je bilo obuhvaćeno satelitskim snimanjem i tom prilikom otkriveno je 19 curenja, 2 sumnjiva, 2 tiha i 1 neproverivo, uz napomenu da su 5 curenja otkrivena na mreži dužine 69.5 km, a 14 curenja je otkriveno na priključcima (8 do vodomera i 6 iza vodomera), kojih u ovom sistemu ima 5120, kako je to prikazano u Tabeli 3, Tabeli 4 i Tabeli 5.

Ako bi se provera nivoa održavanja ovog distributivnog sistema vršila, prema standardima prikazanim u Tabeli 6, onda bi se mogao konstatovati visok nivo održavanja i ulične mreže i priključaka sa preporukom „**održavati ovaj nivo**“.

Naselje **Kovačica** (Slika 7), je takođe bilo obuhvaćeno satelitskim snimanjem i na tom prostoru otkriveno je 8 curenja na priključcima (6 do vodomera i 2 iza vodomera), i 1 neproverivo, na mreži dužine 62 km, sa 2360 priključaka, kako je to prikazano u Tabeli 3, Tabeli 4 i Tabeli 5.



Slika 7. Vodovodna mreža naselja Kovačica sa mestima otkrivenog (i potencijalnog) curenja

Ako bi se i u ovom slučaju vršila provera nivoa održavanja distributivnog sistema u naselju Kovačica, onda bi se prema poznatim standardima (Tabela 6), došlo do konstatacije o visokom nivou, sa preporukom „**održavati ovaj nivo**“

UMESTO ZAKLJUČKA

Kada se analiziraju sve prethodne aktivnosti, neumitno se nameće utisak da satelitski snimak, mogućeg podzemnog curenja, upotpunjuje

široki spektar potraga za kompleksnim vrstama gubitaka vode, koji su u prethodnim vremenima bili nedostupni za postojeću metodologiju traganja za gubicima, nazvanu Aktivna kontrola curenja (**Active leakage control**). Sam način ovakve kontrole podrazumevao je povremeno obilaženje celokupne mreže sa akustičnim uređajima, što je bila izuzetno zahtevna aktivnost, pogotovo kada su u pitanju mreže dužine, čak i po nekoliko hiljada kilometara. Satelitska tehnologija je dala odgovore na sva dotadašnja košmarna pitanja, pošto je ponudila kratke i obeležene lokacije, na mrežnom sistemu, sa pouzdanim pokazateljima o visokoj verovatnoći postojanja traga curenja, na tim lokacijama. Međutim, neki vodovodni sistemi su potpuno zapustili sektore distributivnih sistema, i pored konstatovanih, ekstremno visokih gubitaka vode, dozvoljavajući čak i česte pojave neželjenih događaja, u vidu velikih havarija, koji pored velikih gubitaka vode, proizvode i velike štete, na tim prostorima. Saznanje, koliko kvarova (curenja) postoji na distributivnom sistemu, koji od njih su alarmantni, sa visokim rizikom nastanka neželjenih događaja-havarija, kako je to već objašnjeno **FMECA** metodologijom u radu **Analiza rizika i upravljanje rizikom u distributivnom delu vodovodnog sistema**, (Jahorina 2017.), jeste kapitalno saznanje, za sve odgovorne i posvećene operativce a posebno za menadžment toga preduzeća. Kako, na sve ovo nadležni reaguju, govore podaci o neprihvatljivo visokim procentima izglubljene vode u njihovim vodovodnim sistemima.

Otuda, treba reći da su nadležni rukovodioci i operativci iz Pančeva, Kovina i Kovačice, preduzeli hrabre i odgovorne korake u želji da, uz pomoć satelitske tehnologije, saznaju i sve nove potencijalne manjkavosti svojih vodovodnih sistema. Na njihovo zadovoljstvo, ni moćna satelitska tehnologija, nije mogla da naruši stanje, poželjno dobrog održavanja, i da pronađe neprihvatljivo visok broj mesta curenja na distributivnim delovima pomenutih vodovodnih sistema, jer su nivoi pronađenih curenja, bili tako niski, da su zavredeli status, „**održavanja toga nivoa**“, po preporuci **DVGW**- standarda (Tabela 6.).

Sve ovo ipak, ne bi trebalo biti shvaćeno kao neko veliko i neočekivano iznenađenje, jer su neka ranija istraživačka iskustva sa ovih prostora (**Iskustva na smanjenju Komercijalnih gubitaka u Beogradskom vodovodnom sistemu**, Beč, WWC, 2008.), upravo pokazala da, na ovim prostorima, postoji i ta neka druga kategorija gubitaka, znatno veća i pogubnija za vodovodne sisteme, u odnosu na sve ove, ovde pronađene tzv. Stvarne gubitke, u vidu curenja na oštećenoj mreži i priključcima.

Ako se analizom vodnog bilansa, izvrše merenja količine vode ušle u distributivni sistem, i količine potrošene vode (Input-Output), utvrdi postojanje značajnog procenta nekontrolisane vode, vode koja

ne donosi prihod (Non revenue water), onda se treba okrenuti ka drugoj kategoriji gubitaka vode, poznatih pod nazivom kao Komercijalni gubici (Apparent Losses). Ta kategorija gubitaka, tretira posebno problem lošeg rada mernih uređaja-vodomera, potom i raznih vidova nelegalne potrošnje, grešaka u fakturisanju potrošene vode, itd. Na prvi pogled bi se moglo zaključiti, da ova satelitska tehnologija, u nekim od ovih aktivnosti i ne može značajnije pomoći? Međutim, u prethodnim istraživačkim radovima sa ovih prostora, je precizno navedeno, u kojim sve segmentima, ova satelitska tehnologija,

može pomoći čak i kod otkrivanja nekih grupa iz kategorije Komercijalnih gubitaka. (**Otkrivanje gubitaka na vodovodnoj mreži primenom satelitske tehnologije**, Jahorina 2019.) Drugim rečima, satelitska tehnologija može pomoći kod obe kategorije, Stvarnih i Komercijalnih gubitaka (Real and Apparent Losses), a to bi konačno i značajno pomoglo da se agonija velikih gubitaka, kao glavnih generatora lošeg poslovanja, spusti na prihvatljivo nizak nivo, što bi moralo biti shvaćeno (i prihvaćeno !) od strane svih čelnih rukovodilaca vodovodnih sistema, na ovim prostorima.

LITERATURA:

1. Izveštaj o satelitskom snimanju područja Pančevo, Kovin i Kovačica, Kolektor, Slovenija.
2. Stevo Savić - Otkrivanje gubitaka na vodovodnoj mreži primenom satelitske tehnologije, Jahorina 2019.
3. Paul Schumi - Advanced Leak Detection Technology Utilizing Satellite, (Water Asset Management Conference, Oktobar, 2017.).
4. Shame Majetich, Lauren Guy - Satellite Imaging Offers Accurate, Cost Effective Distribution Sistem Monitoring, (USA)
5. Stevo Savić - Monografija-Strategija smanjenja gubitaka u vodovodnim sistemima, Beograd 2018.
6. Časopis Voda I sanitarna tehnika u 2020. godini, Beograd

14

Specijalnih funkcija
za pumpe poseduje
VLT® AQUA Drive
da bi Vama olakšao
posao.

Upravlajte vodom bez briga Danfoss VLT Drives **ima rešenje**

- Kaskadni kontroler
- Detekcija rada na suvo
- Detekcija rada na kraju krive
- Izmena vodeće pumpe
- Zaštita nepovratnog ventila
- Bezbednosti STOP
- Detekcija malog protoka
- Režim punjenja cevi
- Režim spavanja
- Sat realnog vremena
- Zaštita podataka šifrom
- Zaštita od preopterećenja
- Smart Logic Controller
- Rampa u dva koraka
(Početna i završna rampa)



www.danfoss.rs/vlt

VLT®
THE REAL DRIVE

ENGINEERING
TOMORROW

Danfoss



M. Sremački, N. Živančev, J. Radonić,
M. Vojinović Miloradov, M. Petrović

EPIDEMIOLOGIJA ZASNOVANA NA PRAĆENJU SASTAVA OTPADNE VODE URBANE SREDINE

APSTRAKT

Novi pristup i princip praćenja kvalitativnog i kvantitativnog sastava otpadnih voda urbane sredine može da omogući uvid u različite navike i stanja ljudske populacije na teritoriji naseljenog mesta koje se posmatra. Epidemiologija zasnovana na kvalitativnom i kvantitativnom sastavu otpadne vode urbane sredine (Epidemiologija otpadne vode, EOVS) podrazumeva praćenje bio-hemijskih markera unutar jednog urbanog sistema. EOVS pristup daje uvid u zdravstveni status populacije u epidemiološkom smislu, navike i kretanja legalnih i ilegalnih medikamenata i psihoaktivnih kontrolisanih supstanci, promene u ponašanju populacije ili nagle promene u broju populacije, nepredviđene prirodne ili antropogene uticaje i drugo. Princip na kom je postulirana epidemiologija zasnovana na praćenju bio-hemijskih parametara otpadne vode omogućavaju procenu ekspozicije populacije i životne sredine različitim agensima, od legalnih i ilegalnih medikamenata, proizvoda za ličnu higijenu, industrijskih hemikalija, do pesticida, patogena i drugih. U zavisnosti od modela EOVS-a i potreba praćenja, epidemiologija otpadnih voda omogućava donošenje zaključaka i pronalaženje uzročno-posledičnih relacija između ekspozicije pomenutim agensima, stila života (korišćenje farmaceutika, proizvoda za ličnu higijenu, psihoaktivnih kontrolisanih supstanci) i razvoja specifičnih bolesti kod populacije koja boravi na posmatranoj lokaciji. U radu će biti diskutovani bio-hemijski markeri koji se koriste u EOVS metodologiji.

Ključne reči: Otpadna voda urbane sredine; Epidemiologija otpadne vode; Bio-hemijski markeri.

1. UVODNA RAZMATRANJA

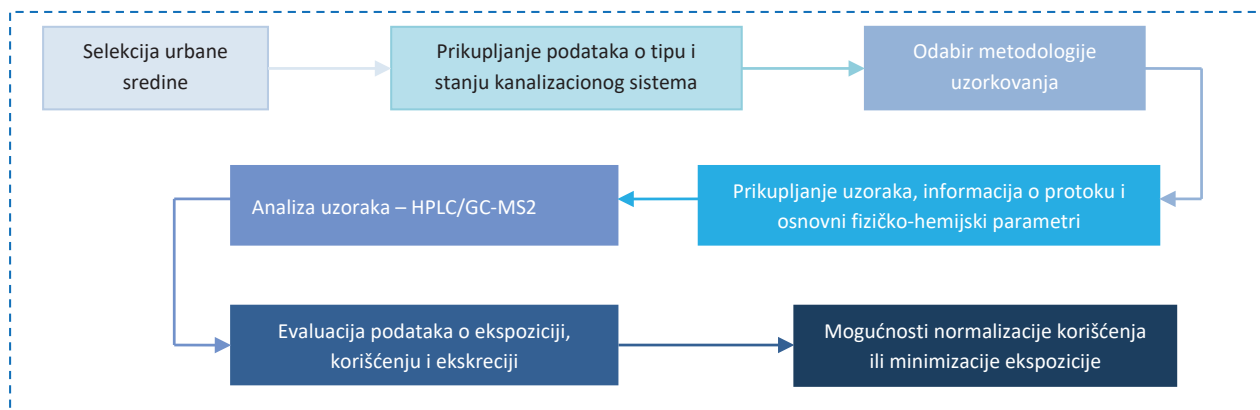
Otpadna voda urbanih sredina je kompleksni matriks i sadrži različite hemijske supstance i biološke markere koji predstavljaju odraz i otisak aktivnosti populacije. Monitoring i analiza otpadne vode mogu dovesti do važnih kvalitativnih i kvantitativnih podataka i informacija o potrošnji, ekskreciji, ekspoziciji, depoziciji i drugim aktivnostima populacije koja boravi na posmatranom urbanom području [1].

Praćenje kvaliteta otpadne vode (monitoring) iz urbane sredine je metod koji se dugi niz godina koristi za praćenje parametara koji su bitni za rad postrojenja za prečišćavanje otpadne vode, kanalizacione sisteme i procenu uticaja koji otpadna voda ima na životnu sredinu. Praćenje različitih hemijskih supstanci i bioloških markera u otpadnoj vodi predstavlja novi pristup koji za cilj ima praćenje potrošnje, navika i aktivnosti populacije. Epidemiologija zasnovana na praćenju bio-hemijskih markera u otpadnoj vodi urbane sredine koristi metodu normalizacije

ulazne koncentracije analita *per capita* korišćenjem podataka o količini otpadne vode (protok) i broju stanovnika (populacije). Metoda je neinvazivna, uz potpunu zaštitu podataka o ličnosti, pošto se izvodi na segmentu ili na celom kanalizacionom sistemu, izbegavajući problem pristranosti prilikom ispitivanja i prikupljanja potrebnih podataka o korisniku, frekvenciji korišćenja, primeni, odlaganju i drugo [2]. Pristup EOVS omogućava prostornu i vremensku procenu trendova, promena u ponašanju i aktivnostima populacije (festivali, karnevali, migracije, prirodne katastrofe, akcidenti).

Otpadna voda iz urbane sredine, kao smeša telesnih ekskrecija koja sadrži hemijske supstance i patogene koje se izlučuju, predstavlja odraz stila života populacije. Određene supstance se mogu pratiti u svom originalnom obliku, dok se druge transformišu već u samom telu korisnika ili usled reakcija u vodi i interakcija u kanalizacionom sistemu. Zbog toga

M. SREMAČKI, N. ŽIVANČEV, J. RADONIĆ, M. VOJINOVIĆ MILORADOV, M. PETROVIĆ, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za inženjerstvo zaštite životne sredine i zaštite na radu, Trg Dositeja Obradovića 6, Srbija, e-mail: majasremacki@uns.ac.rs



Slika 1. Epidemiologija zasnovana na praćenju bio-hemijskih markera otpadne vode urbane sredine (EOV)

se, prilikom primene epidemiologije otpadne vode, za praćenje biraju kako supstance, tako i njihovi metaboliti [3].

Novi pristup EOv se može primeniti korišćenjem različitih grupa bio-hemijskih markera, u zavisnosti od potreba istraživanja. Bio-hemijski markeri se dele na šest grupa i to bio-hemijski markeri za:

- farmaceutike i proizvode za ličnu higijenu,
- psihoaktivne kontrolisane supstance,
- alkohol, kofein i duvan (AKD),
- broj stanovnik (populacija),
- industrijske hemikalije, i
- mikrobiološke markere.

U radu su u fokus stavljeni markeri broja stanovnika, psihoaktivne kontrolisane supstance, mikrobiološki (SARS-CoV-2) i AKD markeri.

Pre primene analitičkog segmenta Epidemiologije Otpadne Vode (EOV) (Slika 1) potrebno je prikupiti detaljne informacije o kanalizacionom sistemu posmatranog naseljenog mesta, (specifičnosti i karakteristike), odabrati potencijalne lokacije uzorkovanja i definisati metodologiju uzorkovanja u zavisnosti od potreba istraživanja.

2. BROJ STANOVNIKA (POPULACIJA)

Broj stanovnika (populacija) je za EOv veoma značajan faktor u kontekstu relevantnosti, tačnosti i preciznosti dobijenih analitičkih rezultata. Kako bi se EOv metod koristio za kvantitativno praćenje ekspozicije populacije različitim bio-hemijskim vrstama, potrebno je dobro proučiti i analizirati populaciju koju obuhvata posmatran kanalizacioni sistem [4]. Tradicionalne metode za procenu broja stanovnika na osnovu protoka, BPK, HPK, ukupnog azota i fosfora, projektovanog kapaciteta postrojenja, ekvivalent stanovnika ili iz popisa stanovništva su se pokazale kao nedovoljno prilagodljive i nepouzdate za primenu u EOv.

Za rešavanje problema primenjen je pristup posmatranja malih molekula koji su karakteristični za urbanu populaciju i koji se mogu detektovati iznad LOQ. U ovoj grupi markera postoje egzogeni i endogeni markeri broja populacije. Odabir supstance koja se prati primenom analitičkih metoda i studija je specifičan za svaku lokaciju, ali postoje supstance koje prevazilaze fizičke i geografske granice i konzumiraju se na globalnom nivou (lekovi, alkoholna i bezalkoholna pića i drugo) [1]:

- egzogeni markeri su bio-hemijski markeri čija se ekskrecija može detektovati u bilo kojoj populaciji odnosno otpadnoj vodi koju posmatrana populacija generiše, nezavisno od geografske lokacije – farmaceutici (acesulfam, atenolol, karbamazepin, ibuprofen i drugi), nikotin i kafein i njihovi metaboliti;
- endogeni markeri su bio-hemijski markeri specifični za ljudski metabolizam sa homogenom raspodelom ekskrecije za celu populaciju – amonijak i 5-hidroksiindoletanska kiselina (5-HIAA – glavni metabolit 5-hidroksi triptamina, odnosno hormona serotonina).

Obe grupe bio-markera imaju potencijalne limite prilikom primene i iz tog razloga se preporučuje izrada skrining-target studije bio-hemijskih markera za određivanje koje supstance se na posmatranoj lokaciji mogu koristiti kao markeri broja stanovnika.

3. PSIHOAKTIVNE KONTROLISANE SUPSTANCE (PAKS)

Prema nacionalnoj zakonskoj regulativi, Zako o psihoaktivnim kontrolisanim supstancama („Službeni list“ br. 99/10 i 57/18), psihoaktivna kontrolisana supstanca je svaka supstanca biološkog, odnosno sintetičkog porekla koja se nalazi na Spisku, u skladu sa Konvencijom o psihotropnim supstancama („Službeni list SFRJ“ br. 40/73), odnosno supstanca koja deluje primarno na centralni nervni sistem i menja moždane funkcije, zbog čega se menja

percepcija, raspoloženje, svest i ponašanje; dok je opojna droga svaka supstanca biološkog, odnosno sintetičkog porekla koja se nalazi na Spisku, u skladu sa Jedinstvenom konvencijom o opojnim drogama („Službeni list SFRJ” br. 2/64), odnosno supstanca koja deluje primarno na centralni nervni sistem smanjujući osećaj bola, izazivajući pospanost ili budnost, halucinacije, smetnje u motornim funkcijama, kao i druge patološke ili funkcionalne promene centralnog nervnog sistema.

PAKS se mogu podeliti na više načina, ali primarni je na: (1) već definisane i zakonom zabranjene PAKS i (2) nove PAKS koje predstavljaju supstance u čistom obliku ili u obliku preparata koje nisu propisane prema Jedinstvenoj konvenciji o opojnim drogama Ujedinjenih nacija iz 1961. godine, izmenama i dopunama Protokola iz 1972. godine i Konvencijom o psihotropnim supstancama Ujedinjenih nacija iz 1971. godine, a koja može da predstavlja zdravstvenu ili socijalnu pretnju, kao i supstance koje su propisane navedenim Konvencijama.

PAKS koje se prate kao bio-hemijski markeri su najčešće one koje se na posmatranoj lokaciji i u posmatranoj populaciji najviše konzumiraju – 3,4-metilendioksimetamfetamin (ekstazi – MDMA), amfetamini, metamfetamini, kokain, heroin, kanabis (*trans-Δ⁹*-tetrahidrokanabinol) i ketamin.

4. AKD MARKERI

AKD bio-hemijski markeri su metaboliti najšire korišćenih supstanci u svetu, alkohola, kofeina i duvana.

Za praćenje alkohola (etil-alkohol ili etanol) se koriste metaboliti etil-sulfat i etil-glukoronid [5]. Ipak se češće, za procenu konzumacije etil-alkohola, koristi etil-sulfat jer se pokazao kao znatno stabilnija supstanca od etil-glikoronida [6]. Etil-sulfat je veoma hidrofilan i, iako se, nakon konzumacije alkohola, ekskretuje iz tela u veoma niskim koncentracijama, količina korišćenog alkohola na broj stanovnika je toliko velika da je moguće detektovati ga i prilikom direktne injekcije u LC-MS² sistem [5].

Konzumiranje kofeina se najčešće prati direktno preko kofeina ili metabolita paraksantina (1,7-dimetilksantin), 1-metilksantin, 7-metilksantin i 1,7-dimetilurinske kiseline. Stabilnost markera kofeina je zadovoljila sve analitičke potrebe za monitoring kofeina EOVS metodologijom [7].

Konzumacija cigareta se prati monitoringom nikotina kao bio-hemijskog markera zbog već poznatih farmakokinetičkih procesa. Pored nikotina koriste se i metaboliti kotinin, hidroksikotinin, anabsin i anatabin. Iako poslednja dva, anabazin i anatabin nemaju toliko poznatu farmakokinetiku kao nikotin, mogu se

koristiti kao bio-hemijski markeri u EOVS metodologiji jer su jedino prisutni u listu duvana [1].

5. MIKROBIOLOŠKI MARKERI – MOGUĆNOSTI

Značajan broj studija i istraživača se u svetu posvetilo praćenju SARS-CoV-2 virusa koji izaziva teški oblik upale pluća i druge infekcije u vidu bolesti COVID-19, primenom EOVS metodologije. Primena EOVS-a za detekciju i praćenje SARS-CoV-2 migracija se odrazilo u svetlu postuliranja mogućeg sistema za ranu detekciju i monitoring pojave različitih patogena i mikroorganizama koji nisu autohtoni u posmatranom kanalizacionom sistemu. Praćenje patogena i mikroorganizama pomoću EOVS metodologije predstavlja potencijalnu mogućnost za ranu izolaciju populacije u kojoj postoje prenosioci i tako omogućiti izolaciju i ograničenje širenja zaraznih bolesti [8]. SARS-CoV-2 je sferna nano čestica kompleksne supramolekulske organske strukture, visoko parzitaran neživi sistem, sa brzim mehanizmom replikacije.

6. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Epidemiologija zasnovana na praćenju kvalitativnog i kvantitativnog sastava otpadne vode generisane u urbanim sredinama je značajan pristup praćenju različitih aktivnosti, navika i procesa unutar jednog urbanog područja. EOVS omogućava praćenje zdravstvenog statusa populacije u epidemiološkom smislu, navike i kretanje legalnih i ilegalnih farmaceutika, psihoaktivnih kontrolisanih supstanci, promena u ponašanju populacije ili nagle fizičko-populaciono-geografske promene (broja stanovnika, nepredviđeni prirodni ili antropogeni uticaji i drugo). Princip i pristup na kom se postavlja EOVS omogućavaju utvrđivanje ekspozicije stanovnika i životne sredine na bio-hemijske agense. Epidemiologija otpadne vode ima potencijal da postane vodeća metodologija praćenja kvaliteta otpadne vode, ali i rani sistem upozorenja promena zdravstvenog stanja populacije i statusa životne sredine, koji bi se primenjivao u cilju zaštite stanovništva. U procesu izrade su istraživanja i studije za ispitivanje primene metode EOVS za praćenje epidemije i pandemije oboljenja COVID-19 izazvano virusom SARS-CoV-2.



LITERATURA

1. Choi P.M., Tschärke B.J., Donner E., O'Brien J.W., Grant S.C., Kaserzon S.L., Mackie R., O'Malley E., Crosbie N.D., Thomas K.V., Mueller J.F. (2018) Wastewater-based epidemiology biomarkers: Past, present and future, *Trends in Analytical Chemistry*, vol. 105, p. 453-469, <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.06.004>
2. Hall W., Prichard J., Kirkbride P., Bruno R., Thai P.K., Gartner C., Lai F.Y., Ort C., Mueller J.F. (2012) An analysis of ethical issues in using wastewater analysis to monitor illicit drug use, *Addiction*, 107(10), p. 1767-73, doi: 10.1111/j.1360-0443.2012.03887.x
3. Gracia-Lor E., Castiglioni S., Bade R., Been F., Castrignano E., Covaci A., Gonzalez-Marino I., Hapeshi E., Kasprzyk-Hordern B., Kinyua J., Lai F.Y., Letzel T., Lopardo L., Meyer M.R., O'Brien J., Ramin P., Rousis N.I., Rydevik A., Ryu Y., Santos M.M., Senta I., Thomaidis N.S., Veloutsou S., Yang Z., Zuccato E., Bijlsma L. (2017) Measuring biomarkers in wastewater as a new source of epidemiological information: Current state and future perspectives, vol. 99, p. 131-150. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.12.016>
4. Castiglioni S., Bijlsma L., Covaci A., Emke E., Hernández F., Reid M., Ort C., Thomas K.V., van Nuijs A.L.N., de Voogt P., Zuccato E. (2013) Evaluation of uncertainties associated with the determination of community drug use through the measurement of sewage drug biomarkers, *Environmental Science and Technology*, 47 (3) p.1452-1460, <https://doi.org/10.1021/es302722f>
5. Mastroianni N., Lopez de Alda M., Barcelo D. (2014) Analysis of ethyl sulfate in raw wastewater for estimation of alcohol consumption and its correlation with drugs of abuse in the city of Barcelona, *Journal of Chromatography A*, vol. 1360 p. 93-99. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2014.07.051>
6. Rodríguez-Alvarez T., Rodil R., Cela R., Quintana J.B. (2014) Ion-pair reversed-phase liquid chromatography/equadrupole-time-of-flight and triple-quadrupole mass spectrometry determination of ethyl sulfate in wastewater for alcohol consumption tracing, *Journal of Chromatography A*, vol. 1328, p. 35-42, <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2013.12.076>
7. Senta I., Garcia-Lor E., Borsotti A., Zuccato E., Castiglioni S. (2015) Wastewater analysis to monitor use of caffeine and nicotine and evaluation of their metabolites as biomarkers for population size assessment, *Water Research*, vol. 74, p. 23-33, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.02.002>
8. Mao K., Zhang H. and Yang Z. (2020) Can a Paper-Based Device Trace COVID-19 Sources with Wastewater-Based Epidemiology? *Environmental Science and Technology*, vol. 54, p. 3733-3735, <https://dx.doi.org/10.1021/acs.est.0c01174>

IN MEMORIAM



Prof. dr Milan A. DIMKIĆ
(1953 - 2020)

U Beogradu je 11. novembra 2020. godine u šezdeset sedmoj godini preminuo prof. dr Milan A. Dimkić, jedan od najcenjenijih srpskih hidrotehničara, profesor Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu i dugogodišnji direktor Instituta za vodoprivredu „Jaroslav Černi“. Tokom godina plodnog rada Milan Dimkić je dao poseban doprinos nauci u oblastima korišćenja i zaštite podzemnih voda, kao i upravljanja vodnim resursima, ujedno uspešno primenjujući rezultate istraživanja prilikom rešavanja brojnih složenih hidrotehničkih problema u našoj zemlji i inostranstvu.

Milan Dimkić je rođen 1953. godine u Beogradu. O svom poreklu govorio je u jednom skorašnjem intervjuu: „Moj deda po očevoj liniji krajem 19. veka izbegao je sa Kosova, iz okoline Prizrena, u Prokuplje, a kasnije je došao u Beograd radi studija. Nakon završenih studija građevine, postao je dobar inženjer železnice. Interesovanje za građevinu se nastavilo, jer je iza njega i moj otac, Aleksandar Dimkić, pedesetih godina prošlog veka završio građevinu u Beogradu. Bio je dobar građevinar-konstruktivac, jedan od direktora „Energoprojekta“. Tradiciju odabira građevine kao životnog poziva nastavili smo moja oba rođena brata i ja. Po majčinoj liniji moji koreni su u Sandžaku, odnosno Raškoj oblasti, između Nove Varoši i Sjenice, gde se moj čukun, čukun, čukundeda obreo bežeći iz Pljevalja. Podaci govore da je on, daleke 1810. godine, dobivši ferman, napravio prvu crkvicu-brvnaru u tom kraju i od tada je iznedreno osam generacija sveštenika. Kada se sve uzme u obzir, ja se lično smatram pomalo civilnim sveštenikom i pomalo građevinskim inženjerom.“

Opredeljujući se za tehniku kao životni poziv, Milan Dimkić je prvo završio Matematičku gimnaziju u Beogradu, a zatim je diplomirao na Građevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu – hidrotehnički smer 1978. godine. Još kao student pokazivao je sklonost ka inovativnim rešenjima, tako da je nagrađen Oktobarskom nagradom za najbolji studentski rad.

Odmah po diplomiranju, 1978. godine, zaposlio se u Institutu za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, za koji je vezana gotovo čitava njegova karijera. Tokom rada u Institutu, napredovao je od asistenta (1978.), preko višeg istraživača (1985.) do šefa Odseka za zaštitu podzemnih voda (1988.). U periodu 1990-1991. godine vršilac je dužnosti direktora Zavoda za hidrauliku podzemnih voda i melioracije, a od 1991. do 1997. godine je direktor Zavoda za hidrauliku, podzemnih voda i melioracije. Od 1997. do 1999. godine je šef odseka za podzemne vode, a od 1999. do 2018. godine vršio je dužnost generalnog direktora Instituta za vodoprivredu „Jaroslav Černi“.

Milan Dimkić je bio posebno ponosan na svoj rad u oblasti rešavanja problema zagađivanja podzemnih voda. Na primer, 1983. godine, kada se u neposrednoj blizini izvorišta vodosnabdevanja Požege, prevrnuo voz sa više od 100 kubnih metara dizela, Milan Dimkić je osmislio zanimljivo rešenje zaštite primenom hidrauličke zaves. Slični stručni izazovi bili su i rešavanje ugroženosti izvorišta grada Skoplja od šestovalentnog hroma iz HEK „Jugohrom“, kao i rešavanja zaštite izvorišta Kraljeva „Žičko polje“ od fenola koji je dolazio lbrom sa prostora Kosova i Metohije, sredinom osamdesetih godina prošlog veka.



Od njegovih radova na remedijaciji podzemnih voda veliki značaj ima rešavanje pitanja hemijskog zagađenja izvorišta "Medijana" iz obližnje Elektronske industrije "Niš", zbog čega je praktično došlo do obustave snabdevanja vodom grada. Prema rečima Milana Dimkića: „Rešenje koje smo moje kolege iz Instituta "Jaroslav Černi" i ja osmislili sastojalo se u čišćenju izvorišta metodom ispiranja, što nikada ranije u Srbiji nije rađeno, a retko gde i u svetu. Ovim najvećim poduhvatom ispiranja u Srbiji izvorište je očišćeno, nakon čega je napravljena hidraulička zavesa koju je činila dijafragma veličine 1200 x 8 metara (u proseku), sa najvećom dubinom od oko 15 metara. Zahvaljujući ovim radovima Niš i danas pije vodu izuzetnog kvaliteta.”

Milan Dimkić je bio jedan od onih stručnjaka koji su uspešno kombinovali nauku i struku, tako da je prilikom rešavanja stručnih problema često vršio jedinstvene eksperimente u cilju proširivanja teorijskih znanja. Na bazi rezultata istraživanja, magistrirao je 1986. godine sa tezom „Doprinos izučavanju strujanja podzemnih voda u kompresibilnim subarteskima i arteskima izdanima“, a doktorirao 2005. godine sa tezom „Mogućnost primene površinske veštačke infiltracije u procesu pripreme vode za piće“.

Od doprinosa Milana Dimkića teoriji strujanja podzemnih voda izdvajaju se sledeći: strujanje u arteskima i subarteskima izdanima, uzevši u obzir kompresibilne karakteristike povlatnih i podinskih slojeva; prečišćavajući procesi pri filtraciji podzemne vode; kao i različite metode, tehnička pitanja i procesi pri eksploataciji podzemne vode.

Poslednjih godina Milan Dimkić se sa saradnicima-doktorandima bavio multidisciplinarnim istraživanjima fenomena "starenja" bunara i transformacije kvaliteta podzemnih voda u aluvijalnim sredinama, na velikom broja bunara beogradskog izvorišta, kao i na nizu izvorišta i drenažnih sistema u aluvionima drugih naših velikih reka. Ova istraživanja omogućila su mu da uspostavi zavisnosti između najvažnijih parametara koji utiču na ovaj fenomen. Sve ovo je rezultovalo novim preporukama za projektante, jer su istraživanja pokazala da primena do sada korišćenih kriterijuma mehaničkog i hidrauličkog karaktera može da ima veoma velike tehničke i ekonomske konsekvence na projektovanje i održavanje bunarskih filtara, kao i na režim rada bunara.

Milan Dimkić je bio izvanredan profesor, omiljen među studentima, jer je nesebično delio svoje znanje i svoje veliko iskustvo u praksi. Predavanja su mu bila veoma zanimljiva, ilustrovan brojn timerima iz prakse, a svoje studente često je dovodio u Institut da od vodećih inženjera dobiju uvid u savremena kretanja u struci.

U periodu od 1999. godine, kada je došao na čelo Instituta za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Milan Dimkić je značajno doprineo njegovom uspešnom razvoju i pretvaranju u savremenu organizaciju posvećenu kako naučno-istraživačkom radu, tako i tržišnim delatnostima. Za vreme dok je bio direktor, u Institut je primljeno preko 120 mladih stručnjaka.

Milan Dimkić je autor oko 220 radova objavljenih u stručnim časopisima, zbornicima i monografijama, u zemlji i inostranstvu, od čega preko 20 radova sa ISI liste. Glavni je urednik međunarodno priznate knjige „Upravljanje podzemnim vodama u velikim rečnim slivovima“, kao i nedavno završene knjige „Procesi u aluvijalnim akviferima“, čije objavljivanje nažalost nije dočekao.

Milan Dimkić ima i izuzetno velike zasluge za razvoj i unapređenje sektora voda u Srbiji. Bio je predsednik Srpskog društva zaštitu voda; osnivač i glavni urednik časopisa Water Research and Management, a takođe i osnivač i prvi direktor Centra za vode za održivi razvoj i prilagođavanje klimatskim promenama, pod pokroviteljstvom UNESCO-a pri Institutu za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ (WSDAC). U stručnim krugovima je široko poznat njegov višegodišnji doprinos radu srpske delegacije pri Međunarodnoj komisiji za zaštitu reke Dunav (ICPDR) sa mesta potpredsednika delegacije, kao i dugogodišnji rad u Tehničkoj komisiji Udruženja vodovoda podunavskih zemalja (IAWD).

Za svoj rad Milan Dimkić je dobio je brojna priznanja, od kojih se ističu: nagrada „Jaroslav Černi“ za najbolji magistarski rad, kao i nagrada „Profesor dr Vojislav K. Stojanović“ Udruženja univerzitetskih profesora i naučnika Srbije. Nosilac je ordena Belog anđela drugog stepena.

Milan Dimkić je bio vrhunski stručnjak, a pre svega dobar čovek. Neka mu je večna slava i hvala.

U ime kolega iz Instituta „Jaroslav Černi“
Miodrag Milovanović i Dejan Divac



TEHNIČKA PRAVILA

Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo počev od 2011.godine izdaje tehnička pravila za oblast snabdevanja vodom, odvođenja i prečišćavanja otpadnih voda u saradnji sa:

Nemačkim stručnim i naučnim udruženjem za gas i vodu DVGW i

Nemačkim udruženjem za vodoprivredu, otpadne vode i otpad DWA

U našoj ponudi možete naći sledeća izdanja :

Šifra	Naziv	Cena (€)
1. UTVSI DVGW W 400-1	Tehnička pravila za distributivne vodovodne sisteme - Deo 1: Projektovanje	66,57
2. UTVSI DVGW W 400-2	Tehnička pravila za distributivne vodovodne sisteme - Deo 2: Izgradnja i ispitivanje	92,96
3. UTVSI DVGW W 400-3	Tehnička pravila za distributivne vodovodne sisteme - Deo 3: Rad i održavanje	120,41
4. UTVSI DVGW W 101	Uputstvo za zaštićene oblasti vode za piće – Zaštićene oblasti podzemnih voda	52,07
5. UTVSI DVGW W 102	Uputstvo za zaštićene oblasti vode za piće – zaštićene oblasti akumulacija	52,07
6. UTVSI DVGW W 1000	Zahtevi u pogledu kvalifikovanosti i organizacije preduzeća vodovoda	52,07
7. UTVSI DVGW W 1010	Vodič za izradu radnog priručnika za preduzeća vodovoda	27,45
8. UTVSI DVGW W 1001	Bezbedno snabdevanje vodom za piće - upravljanje rizikom u redovnim uslovima rada	28,55
9. UTVSI DVGW W 1002	Bezbedno snabdevanje vodom za piće – organizacija i upravljanje u kriznim situacijama	43,96
10. UTVSI DVGW W 392	Kontrola vodovodne mreže i gubici vode – mere, postupci i procene	52,07
11. UTVSI DVGW W 290	Dezinfekcija vode za piće- kriterijumi za primenu i zahtevi	52,07
12. UTVSI DVGW W 335	Regulacija pritiska, protoka i nivoa pri transportu i distribuciji vode	52,07

13. UTVSI DVGW W 343	Sanacija podzemnih cevovoda od livenog gvožđa i čelika obloženih cementnom košuljicom, primena, zahtevi, obezbeđenje kvaliteta i ispitivanje	52,07
14. UTVSI DVGW W 402	Statistika mreže i kvarova, prikupljanje i ocena podataka za održavanje vodovodne mreže	92,96
15. UTVSI DVGW W 403	Podrška pri opredeljivanju za rehabilitaciju distributivnih vodovodnih sistema	66,57
16. UTVSI DVGW W 404	Kućni priključci	30,29
17. UTVSI DVGW W 407	Merenje potrošnje vode u stanovima- vodomeri za stanove	36,47
18. UTVSI DVGW W 409	Uticaj metoda i načina izgradnje na ekonomsku efikasnost rada i održavanja (operativne troškove vodovodne mreže) za sisteme za snabdevanje vodom	40,62
19. UTVSI DVGW W 410	Potražnja za vodom, karakteristike i faktori uticaja	52,07
20. UTVSI DVGW W 611	Optimizacija energije i smanjenje troškova u vodovodnim sistemima	30,29
21. UTVSI DVGW W 1100	Benčmarking u snabdevanju vodom i ispuštanju otpadnih voda	30,29
22. UTVSI DVGW W 108	Praćenje kvaliteta podzemne vode u slivnim područjima	33,54
23. UTVSI DVGW W 125	Upravljanje bunarima – upravljanje slivom	52,07
24. UTVSI DVGW W 300-6	Rezervoari vode za piće; deo 6- Projektovanje, izgradnja, rad i održavanje sistema prefabrikovanih rezervoara	52,07
25. UTVSI DVGW W 300-7	Rezervoari vode za piće-; deo 7: Preporuke za primenu koncepta čišćenja i dezinfekcije	33,54
26. UTVSI DVGW W 300-8	Rezervoari vode za piće-; deo 8; preporuke za primenu higijenskog: izgradnja i rehabilitacij	52,07
27. UTVSI DVGW W 303-B1	Dinamičke promene pritiska u sistemima za snabdevanje vodom: Dodatni list 1: Opasnosti i mere za kontrolu rizika	52,07
28. UTVSI DVGW W 397	Izračunavanje potrebne dubine polaganja kućnih priključaka	92,96
29. UTVSI DVGW W 406	Merenje zapremine i pritiska hladne vode za piće u cevovodima pod pritiskom- izbor, dimenzionisanje, ugradnja i rad vodomera	52,07
30. UTVSI DVGW W 610	Crpne stanice u oblasti snabdevanja vodom	120,41
31. UTVSI DVGW W 614	Održavanje crpnih stanica	66,57

32. UTVSI DVGW W 1001-B1	Bezbedno snabdevanje vodom za piće – upravljanje rizicima u redovnim uslovima rada; Dodatni list 1: Primena u distributivnim vodovodnim sistemima	33,54
33. UTVSI DVGW W 1001-B2	Bezbedno snabdevanje vodom za piće – upravljanje rizicima u redovnim uslovima rada; Dodatni list 2: Upravljanje rizicima u području slivova u kojima se zahvata podzemna voda	92,96
34. UTVSI DVGW W 1020	Preporuke i uputstva za slučaj prekoračenja graničnih vrednosti i ostalih odstupanja od zahteva Uredbe o kvalitetu vode za piće	52,07
35. UTVSI DVGW W 1050	Zaštita objekata sistema za snabdevanje vodom	52,07
36. UTVSI DVGW W 1100-2	Definicije glavnih indikatora performansi u oblasti snabdevanja vodom	120,41
37. UTVSI DVGW W 1100-3	Strukturne karakteristike snabdevanja vodom	92,96
38. UTVSI DVGW Informacija o vodi 80	Zaštita objekata sistema za snabdevanje vodom – Vodič za izradu koncepta zaštite objekata	92,96
39. UTVSI DWA-A 118 E	Hidrauličko projektovanje i verifikacija sistema za odvođenje otpadnih voda	52,00
40. UTVSI ATV-DVWK-A 127	Statički proračun kanala i cevovoda za otpadne vode	58,50
41. UTVSI DWA-A 116-1E	Posebni kanalizacioni sistemi, Deo 1: Vakuumski kanalizacioni sistemi izvan objekata	38,00
42. UTVSI DWA-A 116-2E	Posebni kanalizacioni sistemi, Deo 2: Kanalizacioni sistemi pod pritiskom izvan objekata	38,00

Napomena:

Cene su izražene u evrima bez PDV-a

Cena će biti izražena u dinarima pri čemu će se koristiti srednji kurs NBS, na dan fakturisanja.

PDV iznosi 10%

Izdanja možete naručiti putem e-mail Udruženja: office@utvsi.com



BAYLAN

WATER & ENERGY METERS



Kompanija Baylan se prostire sa na 70.000 m² sa dnevnom proizvodnjom preko 18.000 vodomera. (75% mehaničkih, 25 % elektronskih). U asortimanu je preko 100 vrsta vodomera te kalorimetri i strujomeri.

Vodomere odlikuje visoka preciznost- metrološka klasa tačnosti kućnih vodomera je R 160-R 500 (C-D), pouzdanost i dugotrajnost u eksploataciji. Princip rada – volumetrijski, ultrazvučni, mehanički prenos (“mokri”), magnetni prenos („suvi“). LoRa stacionarni sistemi omogućavaju očitavanje, memorisanje i transfer podataka ka serveru korisnika, u realnom vremenu. Prijejd opcija. Domet LoRa modula je do 5.000 metara, na otvorenom prostoru.



Načini komunikacije – Mod-Bus, M-Bus interfejs, AMR, Gfsk, LoRa, GPRS, Bluetooth, Wifi, Sigfox, NbIoT.



„Delta Nova Watermeters“ doo,

Bulevar oslobođenja 127/7, 21000 Novi Sad, PIB: 108572678, MB: 21026328

Web: <http://www.baylanwatermeters.com> , e – mail: office@deltanova.rs, tel/fax: +381 21 3014193

GRUNDFOS KPL/KWM

**AKSIJALNE PROPELERNE PUMPE I PUMPE
SA PROMENLJIVIM PROTOKOM**
za transport velikih količina voda



- Najbolja hidraulična efikasnost do 85%
- Kompaktan i lak dizajn - vodeći na našem tržištu
- Najveća primena u navodnjavanju, odvodnjavanju, zaštiti od poplava kao i za regulaciju nivoa u kanalskoj mreži – brodske prevodnice

be
think
innovate

GRUNDFOS 

Sistemska rešenja

ZA VODOVOD I KANALIZACIJU



pouzdanost
efikasnost
standardizovanost
profesionalnost

Sa više od sedamnaest godina iskustva u oblastima primene industrijske automatizacije, prerade pitkih i otpadnih voda, regulacije i automatskog vođenja tehnoloških procesa, firma MERIS d.o.o. pozicionirala se kao lider na tržištu. Standardizovanjem svojih procesa rada, dovođenjem mladih i perspektivnih kadrova u tim, na čijem čelu su neki od najboljih inženjera u svojim oblastima ekspertize, stvorena je snažna profesionalna baza znanja i iskustva.

Kreirajući rešenja prema potrebama klijenata, njihovim ciljevima, MERIS primenjuje svetski priznate tehnologije, servisira i savetuje, imajući uvek na umu pre svega poslovne uspehe korisnika, optimizaciju njihovih resursa, kao i uštede novca i energije.

MERIS je stvorio bazu klijenata koji mu veruju. Tim MERIS-a, gradi partnerske odnose sa svojim klijentima, optimizujući njihove procese i unapređujući njihove rezultate.



Ekskluzivni zastupnik, distributer i serviser

Endress+Hauser 
People for Process Automation


a xylem brand


SANITAIRE®

godwin 

JESCO 

BIOKUBE 

ERHARD 
BY TALIS

Narodnih heroja 42/II, 11070 Beograd, Srbija • Tel: (+381 11) 314 88 00, Faks: (+381 11) 314 88 11 • Email: meris@meris.rs

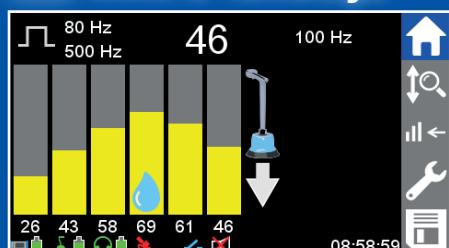
www.meris.rs

Elektro akustična detekcija curenja sa novim bežičnim HL 7000

sebaKMT
A member of Megger Group



Mikro lokacija



GPS funkcija

Sačuvaj položaj,
vreme i datum
merenja



Memorisanje podataka

Sačuvajte celokupno
merenje u uređaj

SebaKMT - A member of Megger group

www.sebakmt.com. e-mail: sales@sebakmt.com toni.kavcic@megger.com tel: +386 41 524 630



VEDIR IMPEX
Tradicija • Kvalitet • Pouzdanost

TRI DEZENIJE
uspešnog poslovanja
VEDIR-IMPEXA

Ekskluzivno zastupanje kompanija Tsurumi, Grindex, Ebara, Dragflow, Varisco, Weda Atlas Copco, BBA i još nekoliko desetina najuglednijih svetskih proizvođača pumpi, ventila i prateće opreme.

Najpouzdanija podrška građevinskim, rudničkim, prerađivačkim i drugim kompanijama, kao i individualnim korisnicima u Srbiji, Bosni i Hercegovini, Crnoj Gori i Severnoj Makedoniji.



VEDIR IMPEX DOO, Ljermontova 13, 11050 Beograd, 011/347-31-77, office@vedirimpex.rs, www.vedirimpex.rs

