

## SWQI KVALITET VODE AKUMULACIJE BARJE

Ljiljana TAKIĆ  
Tehnološki fakultet u Leskovcu Univerziteta u Nišu  
Ljiljana RANĐELOVIĆ  
JKP „Vodovod“ Leskovac  
Ivan KRSTIĆ  
Fakultet zaštite na radu Univerziteta u Nišu  
E-mail: ljilja\_t@yahoo.com; ljiljana.randjelovic@gmail.com

### REZIME

U radu je analiziran kvalitet vode akumulacije Barje metodom Serbian Water Quality Index prema kojoj se deset odabranih parametara fizičko-hemijskih i mikrobioloških karakteristika sumira u jedan indeksni broj kvaliteta vode. Za potrebe uporedne analize korišćeni su podaci Detaljnog projekta postrojenja za prečišćavanje vode za piće Gorina – Leskovac iz 1992., a za 2009. godinu podaci RHMZ Srbiji i JKP „Vodovod“ Leskovac. Kvalitet vode akumulacije Barje bez obzira na veliki vremenski period od projektovanja nije se drastično promenio. Karakteristika vode saglasno SWQI klasifikaciji pripada II klasi kategorije kvaliteta i zadovoljava zahtevani kvalitet površinskih voda namenjenih za vodosnabdevanje.

**Ključne reči:** Serbian Water Quality Index, akumulacija Barje

### 1. UVOD

Voda za piće nema alternative, zato je potrebno pametno gazdovati raspoloživim vodenim resursima i pratiti kvalitet površinske vode, koja se koristi kao sirovina za dobijanje vode za piće. Akumulacija Barje, ukupne zapremine sirove vode  $41 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , projektovana je kao rešenje za potrebe postojećih i budućih zahteva za vodosnabdevanjem grada Leskovca.

Definisanje kvalitativnih karakteristika sirove vode akumulacije Barje je preduslov za usvajanje optimalnog postupka prečišćavanja do standarda kvaliteta vode za piće u postrojenju Gorina - Leskovac. Opisni indikator i izračunati SWQI indeksni broj kvaliteta vode definišu

stanje površinske vode i realno procenjuju održivost eksploatacije za proizvodnju vode za piće. Upoređivanje i usaglašavanje aktuelnih zakonskih regulativa sa usvojenim metodama za određivanje indikatora kvaliteta površinskih voda imperativ je unapređenja vodosnabdevanja.

### 2. ZAKONSKI OKVIR KONTROLE KVALITETA POVRŠINSKIH VODA

Kontrola kvaliteta površinskih voda našom regulativom podrazumeva primenu Uredbe o kategorizaciji vodotoka i Uredbe o klasifikaciji voda u Republici Srbiji (Sl. glasnik SRS, br. 5/68). Svi vodotoci su razvrstani u četiri kategorije, odnosno definisane su zahtevane klase kvaliteta vode na određenim potezima vodotoka. Površinska voda je zatim razvrstana prema graničnim vrednostima pokazatelja kvaliteta u I, IIa, IIb, III, IV i VK klase. Kategorizacija se vrši na osnovu sledećih pokazatelja: suspendovane materije, ukupni suvi ostatak, pH, rastvoreni kiseonik,  $\text{BPK}_5$ , stepen saprobnosti po Libmanu, stepen biološke produktivnosti, najveći broj koliformnih klica, vidljive otpadne materije, primetna boja i primetan miris [1].

Ovom uredbom nije dat postupak kako da se na osnovu pojedinačno kategorisanih jedanaest pokazatelja kvaliteta odredi zajednička klasa koju treba uporediti sa propisanom. Daljim unapređenjem regulative, donešena je „Uredba o klasifikaciji voda međurepubličkih vodotoka, međudržavnih voda i obalnog mora Jugoslavije” kojom su vodotoci takođe razvrstani u četiri kategorije. Pri tom je kvalitativna kategorizacija proširena novim pokazateljima (zasićenje kiseonikom %  $\text{O}_2$ , HPK, toksične materije i stepen radioaktivnosti).

Međutim, kao i u kod prethodne Uredbe nije dat postupak određivanja sumarne klase kvaliteta na osnovu klase svakog pojedinačnog pokazatelja kvaliteta [2].

Zakonom nije precizno definisan postupak konačne procene ukupne klase kvaliteta vodotoka što ostavlja mesta za mnoge proizvoljne procene.

Površinska voda I klase se u prirodnom stanju, uz eventualnu dezinfekciju, može upotrebljavati za piće i u prehrambenoj industriji i za gajenje plemenitih vrsta riba. Voda II klase se u prirodnom stanju može koristiti za kupanje i rekreaciju građana, za sportove na vodi, za gajenje nekih vrsta riba, a nakon primene konvencionalnih postupaka obrade (koagulacija, filtracija, dezinfekcija i sl.) može se koristiti za piće i u prehrambenoj industriji. Voda III klase se može koristiti za navodnjavanje, a posle standardnih postupaka obrade u industriji, osim u prehrambenoj. Voda IV klase se može upotrebljavati samo nakon odgovarajuće obrade dok je VK stanje van klase.

### 3. KVALITET VODE METODOM SWQI

Površinske vode su složeni višekomponentni sistemi čije izučavanje zavisi od primene i usvajanja činjenica, principa i metoda hemije, fizike, geologije, hidrologije, meteorologije, matematike i drugih nauka, da bi se rešili problemi koji su u osnovi ekološke prirode. Specifičnost i kompleksnost hemijskog sastava površinskih voda i pokazatelja kvaliteta kao posledica u njoj rastvorenih mineralnih i organskih materija, gasova, koloida, suspendovanih čestica i mikroorganizama, dospelih u vodi prirodnim ili veštačkim procesima, naglašavaju značaj primene indeksnih metoda za njihovo ocenjivanje iznalaženjem zajedničkog faktora koji obuhvata kvalitet kao celinu.

U cilju sagledavanja optimalnog postupka prečišćavanja vode na postrojenju Gorina urađeno je niz fizičko-hemijskih i mikrobioloških analiza vode akumulacije Barje. Shodno programu RHMZ ispitivanje kvaliteta vode akumulacije Barje obavljeno je na tri lokacije (kod brane, sredina jezera i početak jezera) i po dubini (površina, sredina vertikale i dno). Za potrebe ovog istraživanja urađeno je osrednjivanje pojedinačnih pokazatelja kvaliteta vode prema uputstvu 'Eurowaternet – Lakes Aggregation of station data' i dobijena procenjena vrednost kvaliteta izražena odgovarajućim SWQI indeksnim brojem. Projektni podaci o kvalitetu vode definišu postrojenje za prečišćavanje vode za piće Gorina – Leskovac i rezultat

su sistematskih merenja u višegodišnjem periodu 1984.godine - 1988.godine od strane RHMZ Srbije. Za 2009.godinu radi jasnijeg pregleda prezentirani su opsezi koncentracija merenih parametara, odnosno njihove minimalne i maksimalne vrednosti a zatim je za prosečnu vrednost izračunat SWQI.

Tabela 1. Akumulacija Barje – 2009. godina

Parametar	Opseg koncentracije	
	od	do
Temperatura (°C)	3	24
pH vrednost	7,6	9,2
Elektroprovodljivost (µS/cm)	188	417
Zasićenost kiseonikom (%)	30	118
BPK <sub>5</sub> (mg/l)	0,13	10,78
Suspendovane materije (mg/l)	4	122
Ukupni oksidi azota (mg/l)	0,31	2,75
Ortofosfati (mg/l)	0,02	0,33
Amonijum (mg/l)	0,009	0,144
Koliformne bakterije (MPN u 100ml)	380	240000

Sliv reke Veternice od izvorišta do profila brane Barje svrstan je u izvorište I kategorije jer prema Uredbi o kategorizaciji vodotoka (Sl. list SFRJ br. 27/77 i br. 29/88) i Uredbe o klasifikaciji voda (Sl. list SFRJ br. 5/68) zadovoljava maksimalne granične vrednosti sledećih pokazatelja:

1. Suspendovane materije, mg/L 10
2. Ukupni suvi ostatak, mg/L 350
3. pH vrednost 6,8 – 8,5
4. Rastvoreni O<sub>2</sub>, mg/L >8
5. BPK<sub>5</sub> 2
6. Stepen saprobnosti oligosaprobnost
7. Stepen biološke produktivnosti oligotrofni
8. Najverovatniji broj kolif bakt. U 100mL vode 200
9. Vidljive otpadne materije bez
10. Primetne boje bez
11. Primetan miris bez

Posmatrjući pojedinačne pokazatelje kvaliteta, voda pripada onoj klasi kojoj pripada najnepovoljniji pokazatelj kvaliteta vode, što podrazumeva da nije određena sveobuhvatna ocena kvaliteta vode na osnovu njihovog zbirnog učinka. Primenom Uredbe o kategorizaciji vodotoka trenutna prekoračenja pojedinih parametara svrstavaju vodu u I, II ili III klasu čistoće što ukazuju da je kvalitet vode reke Veternice do profila brane lošiji od propisane kategorije. Na osnovu fizičko-hemijskih i mikrobioloških ispitivanja kvaliteta sirove vode, kao i prognoze kvaliteta vode u akumulaciji Barje, generalno, se može reći da su dugogodišnja ispitivanja

pokazala da se većina normiranih pokazatelja kvaliteta vode nalazi ispod granica maksimalno dozvoljenih koncentracija u vodi za piće [3,4].

U Agenciji za zaštitu životne sredine Ministarstva životne sredine i prostornog planiranja Republike Srbije razvijen je indikator životne sredine za oblast voda namenjen izveštavanju javnosti i stručnjaka o stanju kvaliteta voda. Indikator se zasniva na metodi Water Quality Index [5] prema kojoj deset odabranih parametara (zasićenost kiseonikom, koliformne bakterije, BPK<sub>5</sub>, pH vrednost, oksidi azota, fosfati, suspendovne materije, amonijum jon, temperatura i provodljivost) svojim svojstvima reprezentuju osobine površinskih voda svodeći ih na jedan indeksni broj. Udeo svakog od deset odabranih parametara na ukupni kvalitet vode nema isti relativni značaj, zato je svaki od njih dobio svoju težinu i broj bodova prema udelu u ugrožavanju kvaliteta. Sumiranjem proizvoda ( $q_i \times w_i$ ) dobija se indeks 100 kao idealan zbir težina svih parametara. Koliko će indeksnih poena u rasponu od 0 do 100 pripasti nekoj vodi zavisi od osvojenih poena pojedinih parametara. Klasifikacioni sistem opisivanja kvaliteta površinskih voda metodom Serbian Water Quality Index (SWQI) predstavlja način procenjivanja kvaliteta za grupu odabranih parametara, tako da se primenom ove metode može dobiti sveobuhvatna ocena stanja kvaliteta površinskih voda. Usvojeni klasifikacioni kriterijum opisnog indikatora kvaliteta i određivanje klase površinske vode na osnovu izračunate vrednosti SWQI indeksnog broja prikazani su u tabeli 2 [6].

Tabela 2. SWQI klasifikacija [6]

SWQI vrednost	90 – 100 89 – 84	83-72	71 - 39	38 - 0
Opisni indikator	Odličan Veoma dobar	Dobar	Loš	Veoma loš
Klasa vode	I	II	III	IV

Metoda izračunavanja WQI je:

$$WQI = \sum_{i=1}^n q_i \cdot w_i$$

gde je:

WQI = indeks kvaliteta vode, bezdimenzionalni broj na skali od 0 do 100

n = broj parametara

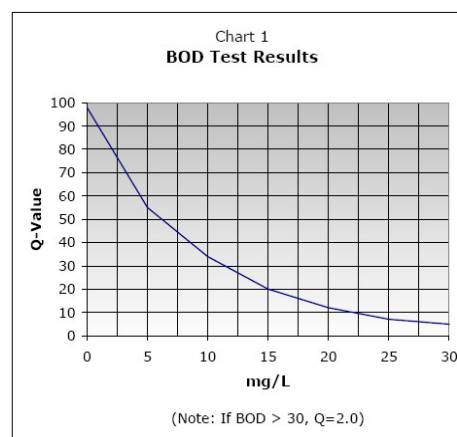
$q_i$  = kvalitet vode odgovarajućeg parametara

$w_i$  = težina dodeljena odgovarajućem parametru

Tabela 3. Težinski koeficijenti parametara,  $w_i$  [7]

Parametar	Težinski koeficijent, $w_i$
Temperatura (°C)	0,05
pH vrednost	0,09
Elektroprovodljivost ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	0,06
Zasićenost kiseonikom (%)	0,18
BPK <sub>5</sub> (mg/L)	0,15
Suspendovane materije (mg/L)	0,07
Ukupni oksidi azota (mg/L)	0,08
Ortofosfati (mg/L)	0,08
Amonijum (mg/L)	0,12
Koliformne bakterije (MPN u 100ml)	0,12
$\Sigma w_i =$	<b>1,00</b>

Kvalitet vode parametra,  $q_i$ , se određuje za svaki parametar prema definisanim dijagramima [5]. Vrednost koncentracije u uzorku vode (mg/L) u preseku sa krivom iz dijagrama na ordinati predstavlja vrednost  $q_i$ . Njihov proizvod ( $q_i \times w_i$ ) predstavlja udeo pojedinog parametra u ukupnoj vrednosti SWQI. Primer dijagrama za parametar BPK<sub>5</sub> kvaliteta vode prikazan je na slici 1. Da bi se olakšalo korišćenje metode autori su, na osnovu pojedinačnih zavisnosti (kvalitet, mg/L – Q), pripremili tabelarni pregled zavisnosti proizvoda ( $q_i \times w_i$ ) i koncentracija za svih deset parametara kvaliteta (Tabela 5). Takođe, stručnjaci koji žele da primenom te metode izvrše provere klasa kvaliteta akvatorija (vodotoka i akumulacija) mogu koristiti interaktivnu prezentaciju na sajtu Agencije za zaštitu životne sredine [6].

Slika 1. Dijagram za određivanje kvaliteta vode ( $q_i$ ) parametra BPK<sub>5</sub> [5]

U tabeli 4 prikazan je postupak određivanja SWQI za akumulaciju Barje, uz primenu podataka iz projekta PPV iz 1992. i na osnovu najnovijih merenja koja je izvršio RHMZ (2009).

Tabela 4. Kvalitet vode akumulacije Barje metodom SWQI

Parametri (jedinica mere)	Podaci iz projekta 1992		Podaci RHMZ 2009	
		$q_i \cdot w_i$		$q_i \cdot w_i$
Temperatura (°C)	7	5	20	3
pH vrednost	7,7	9	7,7	9
Elektroprovodljivost ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	191	5	224	5
Zasićenost kiseonikom (%)	104	18	86	16
BPK <sub>5</sub> (mg/L)	3,4	11	2,2	13
Suspendovane materije (mg/L)	116	1	8	7
Ukupni oksidi azota (mg/L)	3,5	4	0,285	8
Ortofosfati (mg/L)	1,19	0	0,016	8
Amonijum (mg/L)	0,02	12	0,56	5
Koliformne bakterije (MPN u 100m mg/L)	200	12	14666	8
<b>SWQI</b>		<b>77</b>		<b>82</b>

Iz tabele se vidi da voda iz akumulacije Barje na osnovu zbirnog učinka odabranih vrednosti parametara SWQI metodom pripada 77 indeksnih poena prema projektovanim parametrima i 82 indeksnih poena prema podacima RHMZ za 2009. godinu. Prema datoj klasifikaciji obe vrednosti pripadaju II klasi, a manja vrednost SWQI kod projektovanih parametara pokazuje da se kod projektovanja računalo na starenje akumulacije i pogoršanje kvaliteta vode. Sveobuhvatni opisni indikator stanja kvaliteta vode akumulacije Barje ocenjuje da je voda *dobra*. Saglasno SWQI klasifikaciji, voda ovog stepena čistoće može se upotrebljavati za snabdevanje naselja vodom za piće primenom savremenih metoda prečišćavanja.

Primenom naše Uredbe o klasifikaciji voda određena je I i II klasa kvaliteta vode akumulacije Barje, što je donekle zadovoljavajući stepen saglasnosti u odnosu na broj indeksnih poena SWQI metode ali ne i realan pokazatelj stvarnog kvaliteta vode.

Kriterijumu kvaliteta vode akumulacije Barje I klase, sa aspekta podobnosti korišćenja za vodosnabdevanje

trebalo bi da odgovara SWQI = 84 -100 klasifikacionih poena. Proračun pokazuje da kvalitetu vode akumulacije Barje odgovara SWQI = 82 indeksnih poena što je svrstava u II klasu kvaliteta površinskih voda naših zakonskih okvira. Analiza ukazuje na izbor različitih pokazatelja kvaliteta vode, tj. nekompatibilnost parametara naše zakonske regulative o klasifikaciji voda i indikatora SWQI prema njihovoj nameni i stepenu čistoće.

Tabela 5. Procenjivanje kvaliteta vode za proračun indeksa SWQI

Kvalitet vode ( $q_i \times w_i$ )	Zasićenost kiseonikom (% saturacije)	BPK <sub>5</sub> (mg/l)	
18	93-109		
17	88-92	110-119	
16	85-87	120-129	
15	81-84	130-134	0
14	78-80	135-139	1,0
13	75-77	140-144	2,0
12	72-74	145-154	2,5
11	69-71	155-164	3,0
10	66-68	165-179	3,5
9	63-65	180 +	4,0
8	59-62		4,5
7	55-58		5,0
6	50-54		5,5
5	45-49		6,2
4	40-44		7,0
3	35-39		8,0
2	25-34		9,0
1	10-24		10,0
0	0-9		15,0+

Kvalitet vode ( $q_i \times w_i$ )	Amonijum (mg/l, N)		Koliformne bakterije (coli/100ml)	
12	0	0,09	0	249
11	0,10	0,14	250	999
10	0,15	0,19	1000	3999
9	0,20	0,24	4000	7999
8	0,25	0,29	8000	14999
7	0,30	0,39	15000	24999
6	0,40	0,49	25000	44999
5	0,50	0,59	45000	79999
4	0,60	0,99	80000	139999
3	1,00	1,99	140000	249999
2	2,00	3,99	250000	429999
1	4,00	9,99	430000	749999
0		10,00+		750000+

nastavak Tabele 5.

Kvalitet vode ( $q_i \times w_i$ )	Susp. mater. (mg/l)	pH	
10			
9		6,5-7,9	
8		6,0-6,4	8,0-8,4
7	0-9	5,8-5,9	8,5-8,7
6	10-14	5,6-5,7	8,8-8,9
5	15-19	5,4-5,5	9,0-9,1
4	20-29	5,2-5,3	9,2-9,4
3	30-44	5,0-5,1	9,5-9,9
2	45-64	4,5-4,9	10,0-10,4
1	65-119	3,5-4,4	10,5-11,4
0	120+	0-3,4	

Kvalitet vode ( $q_i \times w_i$ )	Ukupni oksidi azota (mg/l, N)		Fosfat (Ortofosfat) (mg/l, P)	
10				
9				
8	0	0,49	0	0,029
7	0,50	1,49	0,030	0,059
6	1,50	2,49	1,060	0,099
5	2,50	3,49	0,100	0,129
4	3,50	4,49	0,130	0,179
3	4,50	5,49	0,180	0,219
2	5,50	6,99	0,220	0,279
1	7,00	9,99	0,280	0,369
0	10,00+		0,370+	

Kvalitet vode ( $q_i \times w_i$ )	Elektro-Provodljivost ( $\mu\text{S/cm}$ )		Tempera-tura ( $^{\circ}\text{C}$ )
7			
6	0-49	50-188	
5	189	190-239	0-17,4
4	240	289	17,5-19,4
3	290	379	19,5-21,4
2	380	539	21,5-22,9
1	540	839	23,0-24,9
0	810+		25+

#### 4. ZAKLJUČAK

Najznačajnije mere za zaštitu vodenih resursa su monitoring voda, kategorizacija voda i propisivanje standarda o kvalitetu voda. Kvalitet vode akumulacije Barje saglasno SWQI klasifikaciji pripada II klasi kategorije kvaliteta i zadovoljava kriterijum površinskih voda namenjenih za vodosnabdevanje uz metode obrade. Komparacija važećih zakonskih regulativa sa klasifikacionim sistemom opisivanja kvaliteta površinskih voda metodom SWQI značajna je sa aspekta dodatne provere klase kvaliteta vodotoka, odnosno akumulacije, što je korisno kako u fazi planiranja tehnoloških linija PPV – postrojenja za preradu vode, tako i u fazi njihove eksploatacije.

#### LITERATURA

- [1] Uredba o klasifikaciji voda, Službeni glasnik SRS, br. 5/68.
- [2] Uredba o klasifikaciji voda međurepubličkih tokova, međudržavnih voda i voda obalnog mora Jugoslavije, Službeni list SFRJ, br. 6/78.
- [3] Postrojenje za prečišćavanje vode za piće Gorina - Leskovac, Energoprojekt-Hidroinženjering DD, Beograd, 1992.
- [4] Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće, Službeni list SFRJ, br.33/87
- [5] Development of a Water Quality Index, Scottish Development Department, Engineering Division, Ediniburhg, 1976.
- [6] Serbian Water Quality Index <http://www.sepa.gov.rs/index.php?menu=6&id=8006&akcija=showExternal>
- [7] N.Veljković, Indikatori održivog razvoja i upravljanje vodnim resursima, Zadužbina Andrejević,2006

WATER QUALITY OF THE BARJE RESERVOIR  
ANALYZED BY THE SERBIAN WATER QUALITY INDEX - SWQI

by

Ljiljana TAKIĆ

Faculty of Technology in Leskovac, University of Niš

Ljiljana RANĐELOVIĆ

Municipal Water Supply Company, Leskovac

Ivan KRSTIĆ

Faculty of occupational safety, University of Niš

Summary

The paper describes the analysis of the quality of the water reservoir Barje by applying the Serbian Water Quality Index, according to which ten selected parameters of physical, chemical and microbiological characteristics are integrated into a single index of water quality. For the analysis used the data on water quality as shown in the detailed design of water treatment plants Gorina-Leskovac

and Hidrometeorological service of Republic of Serbia.

In accordance with the SWQI classification categories, the quality of water in the accumulation Barje belongs to the class II quality and meets the required quality of surface water intended for water supply.

Key words: Water Quality Index, Barje, reservoir

Redigovano 05.11.2010.