

PROCENA ZAGAĐENOSTI VODE DUNAVA PRIMENOM VIŠEKRITERIJUMSKE ANALIZE*

Ivana I. Mladenović-Ranisavljević^{1**}, Ljiljana M. Takić¹, Vesna D. Nikolić¹,
Ljubiša B. Nikolić¹, Dragan T. Stojiljković¹, Predrag D. Ranisavljević²

(ORIGINALNI NAUČNI RAD)
UDK 519.9:502.3.51 (497.11)

¹Tehnološki fakultet u Leskovcu, Univerzitet u Nišu, Srbija

²Visoka poslovna škola strukovnih studija, Leskovac, Srbija

U ovom radu izvršena je procena zagađenosti vode Dunava duž toka reke kroz Srbiju primenom metode višekriterijumske analize. Odabrane su merne lokacije na ulaznom, središnjem i izlaznom delu toka reke u Srbiji u 2009. godini, odnosno merne lokacije Bezdán, Zemun i Radujevac, respektivno. Za potrebe analize korišćena su četiri parametra kvaliteta vode (suspendovane materije, ukupni oksidi azota, amonijum jon i ortofosfati) koji predstavljaju kriterijume rangiranja lokacija na Dunavu prema nivou zagađenosti vode ovim polutantima. Rezultati kompletne PROMETHEE analize rangiranja pokazuju da je najmanje zagađena datim polutantima merna lokacija Zemun, zatim merna lokacija Radujevac, dok je najzagađenija merna lokacija Bezdán, sa odgovarajućim neto tokovima preferencije $\Phi=0,19$, $\Phi=0,12$ i $\Phi=-0,31$, respektivno. Može se zaključiti da je zagađenost vode Dunava najveća na ulaznom delu toka reke u Srbiji.

Ključne reči: višekriterijumska analiza, Dunav, zagađenost.

Uvod

Dunav je od izvora pritoke Brege u Švarcváldu do ušća u Crno More dugačak 2.888 km, dok dunavski basen obuhvata 816.947 km², što predstavlja 8,5 % površine Evrope. Pored obala Dunava žive pripadnici deset različitih naroda, a u njegovom slivu živi oko 80 miliona Evropljana. Srbiji pripada oko deset procenata ukupne površine basena Dunava, dok dužina toka iznosi 588 km.

Zbog ljudske neumerene upotrebe i zagađenja, vode Dunava danas akumuliraju neprečišćene otpadne vode iz gradova, hemikalije iz poljoprivrede, otpad iz fabrika, naftne mrlje i produkte sagorevanja pogonskih motora brodova. Deo ovog zagađenja se vremenom taloži na obalama reke i narušava prirodnu ravnotežu ekosistema sa ozbiljnim posledicama po floru, faunu i samo stanovništvo [1, 2, 3]. Problem zagađenja Dunava u pojedinačnim podunavskim zemljama postao je glavna tema rasprave brojnih naučnika i stručnjaka iz oblasti zaštite životne sredine. Nažalost, ovaj problem uočen je relativno kasno (krajem osamdesetih godina dvadesetog veka), nakon što su hemikalije u vodi izazvale nestanak dela vodenog života, a posebno riba [4-8].

Četiri glavna problema u vezi sa kvalitetom vode (površinske i podzemne, kao i njenog hemijskog i ekološkog stanja) duž Dunavskog sliva koja su istraživanje, monitoring i analiza Plana za upravljanje slivom reke Dunav [9] utvrdili su: organsko zagađenje,

zagađenje nutrijentima, zagađenje opasnim supstancama i hidromorfološke promene na rekama.

Cilj ovog rada je da pomoću metode višekriterijumskog odlučivanja utvrdi koji je deo Dunava u Srbiji (ulazni, središnji ili izlazni) najzagađeniji u odnosu na koncentracije četiri polutanta – parametra kvaliteta vode: suspendovanih materija, ukupnih oksida azota (NO₂), amonijum jona (NH₄⁺) i ortofosfata (PO₄³⁻).

Suspendovane čestice dospevaju u vodu spiranjem sa zemljišta ili erozivnim dejstvom vode u vodotocima. Štetno dejstvo suspendovanih materija zavisi prvenstveno od njihovog hemijskog sastava. Ovo dejstvo se na život u vodi ispoljava smanjenjem efektivne vodene površine (čime se smanjuje fotosinteza i remeti samoprečišćavajuća moć), taloženjem sedimentnog materijala u mirnim vodama čime se pokrivaju organizmi na dnu, koji služe kao hrana drugim organizmima u vodi i zamućivanjem vode pri čemu se smanjuje količina kiseonika u vodi. Ukupni oksidi azota, prema originalnom algoritmu za izračunavanje sumarne vrednosti kvaliteta vode (WQI), izračunavaju se kao zbir nitrita (NO₂⁻) i nitrata (NO₃⁻) [10]. Nitriti predstavljaju kariku u ekološkom prometu azota kao međuprodukti mineralizacije na jednoj strani i denitrifikacije na drugoj, a zajedno sa nitratima, u većim koncentracijama od propisane vrednosti, mogu da izazovu značajne zdravstvene probleme. Amonijum jon nastaje razgradnjom azotnih organskih supstanci

*Rad saopšten na X Simpozijumu „Savremene tehnologije i privredni razvoj“ sa međunarodnim učešćem, Leskovac, 22. i 23. oktobar 2013. godine

** Adresa autora: Ivana I. Mladenović-Ranisavljević, Tehnološki fakultet u Leskovcu, Bulevar oslobođenja 124, 16000 Leskovac, Srbija
E-mail: iva_mlxp@yahoo.com

Rukopis primljen: 04. septembra 2013. godine

Rad prihvaćen: 20. septembra 2013. godine

i poznato je da je amonijak indikator zagađenja sirove vode kao i da utiče negativno na miris i ukus vode. Pojava porasta koncentracije amonijaka u vodi povezana je sa povećanjem temperature i padom koncentracije kiseonika u vodi. Voda sa sadržajem fosfata preko 0,01 mg/l poseduje stimulatívne osobine za razvoj algi koje doprinose obogaćivanju vode organskim materijama povećavajući halokarbonski potencijal. Znatno manja koncentracija fosfata u odnosu na nitrata ukazuje da je ovaj element odgovoran za procese produkcije i eutrofikacije površinske vode.

Za potrebe istraživanja korišćeni su podaci Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije (RH-MZS) koji sprovodi sistematsko praćenje kvantitativnih i kvalitativnih karakteristika površinskih i podzemnih voda u Srbiji [11].

Eksperimentalni deo

Oblast istraživanja

Istraživanje zagađenosti vode Dunava obuhvata tri merne stanice – na ulaznom, središnjem i izlaznom delu toka reke kroz Srbiju, na određenom rastojanju od ušća:

1. Bezdán – ulazni profil (1.425,59 km),
2. Zemun – središnji profil (1.174 km) i
3. Radujevac – izlazni profil (852 km).

Fizičko-hemijski parametri

Analiza obuhvata četiri fizičko-hemijska parametra vode: suspendovane materije, ukupne okside azota, amonijum jon i ortofosfate. Podaci monitoringa kvaliteta vode prikupljeni su u periodu od januara do decembra 2009. godine.

Na mestu uzorkovanja suspendovane materije utvrđene su 13.060.30 SRPS H.Z1.160 metodom, ukupni oksidi azota SRPS ISO 5663 metodom, amonijum jon je određen prema SRPS ISO 7150-1 metodi, a fosfati

su određeni standardnom analitičkom metodom APHA AWWA WEF 4500-P [11].

Obrada podataka

Tradicionalne metode optimizacije pri odlučivanju koriste samo jedan definisani kriterijum, čime se umnogome umanjuje realnost problema koji se mogu rešavati. U realnim situacijama odlučivanje najčešće podrazumeva sagledavanje većeg broja kriterijuma, koji su vrlo često i konfliktni, pa zahtevaju višekriterijumsko odlučivanje kao opciju [12]. Najefikasniji i najčešće korišćen metod višekriterijumskog odlučivanja je PROMETHEE (*Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation*) metod [13-16] i njegov vizuelni interaktivni modul za grafičku interpretaciju GAIA (*Geometrical Analysis for Interactive Assistance*), koji koriste neparametarske metode zasnovane na uparenom poređenju objekata i promenljivih [17].

PROMETHEE metod olakšava rangiranje ili uređenost jednog broja alternativa u skladu sa željama i težinskim uslovima koje prethodno odabiraju korisnici, a primenjuju se na promenljive (na primer, koncentracija polutanata). Njegovi algoritmi su zasnovani na metodi parcijalnih najmanjih kvadrata (PLS), koja određuje relevantnost, i metodi analize glavnih komponenta (PCA), koja određuje dominantnost parametara [18, 19]. Korišćenjem PCA analize moguće je formirati ravan [20, 21].

Za primenu PROMETHEE/GAIA metode korišćen je softver Decision Lab 2000, razvijen u saradnji sa kanadskom kompanijom Visual Decision [21].

Rezultati i diskusija

Na osnovu podataka RHMZS, izračunate su srednje godišnje vrednosti posmatranih parametara na odabranim mernim lokacijama i predstavljene u tabeli 1.

Tabela 1. Srednje godišnje vrednosti odabranih parametara
Table 1 The mean annual values of selected parameters

	Suspendovane materije (mg/l)	Ukupni oksidi azota (mg/l)	Amonijum jon (mg/l)	Ortofosfati (mg/l)
Bezdán	32,4	1,891	0,08	0,044
Zemun	21,8	0,751	0,11	0,073
Radujevac	9,8	0,983	0,12	0,200

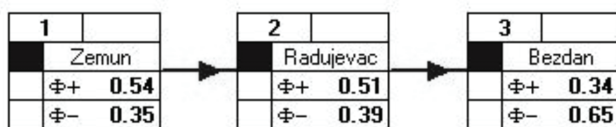
Pri rangiranju mernih lokacija prema kvalitetu uzorka, formiran je scenario tako da udeo svakog parametra (polutanta) u vodi bude minimalan. S obzirom na to da su podaci u tabeli 1 kvantitativnog karaktera, za funkciju preferencije odabrana je linearna funkcija za sve definisane kriterijume, sa pragovima indiferencije i preferencije (Q i

P) u zonama 5 % i 30 %, respektívno. Svakom od kriterijuma dodeljene su odgovarajuće težine (tabela 2).

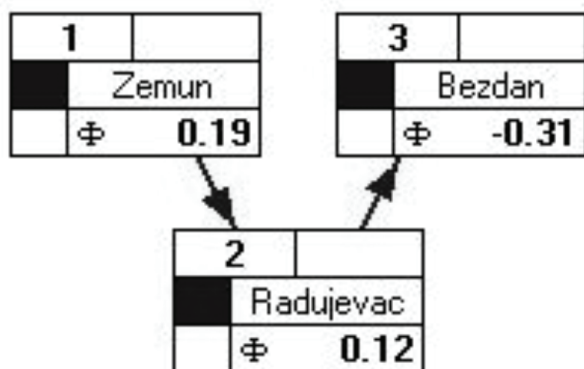
Tabela 2. Scenario zadatih preferencija
Table 2 Scenario of the given preferences

	Suspendovane materije	Ukupni oksidi azota	Amonijum jon	Ortofosfati
Tip funkcije	linearni	linearni	linearni	linearni
Min/Max	min	min	min	min
P	30	30	30	30
Q	5	5	5	5
Jedinica mere	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Skala	numerička	numerička	numerička	numerička
Težinski koeficijent	37	28	15	20

Za definisani scenario izvršeno je PROMETHEE parcijalno i potpuno rangiranje lokacija i dobijene su vrednosti pozitivnih ($\Phi+$) i negativnih ($\Phi-$) tokova preferencije, kao i sumarnog neto toka (Φ), što je prikazano na slikama 1 i 2, respektivno.

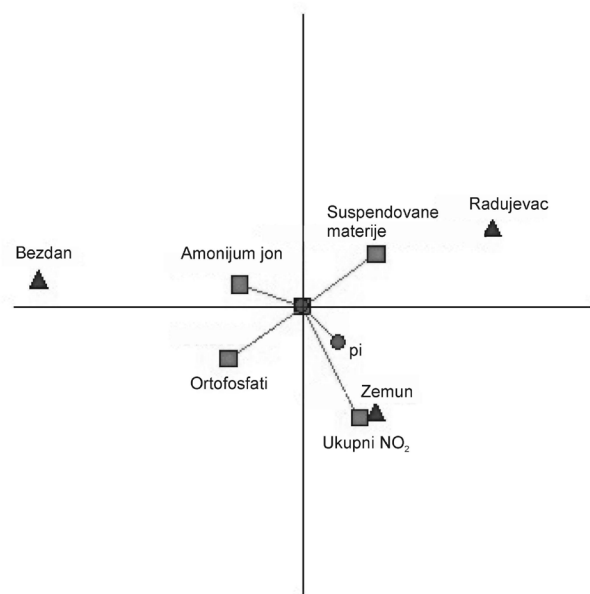


Slika 1. Parcijalno rangiranje mernih lokacija (PROMETHEE I)
Figure 1 Partial ranking of measuring locations (PROMETHEE I)



Slika 2. Kompletno rangiranje mernih lokacija (PROMETHEE II)
Figure 2 Complete ranking of measuring locations (PROMETHEE II)

Rezultati kompletnog rangiranja mernih lokacija (slika 2), od najbolje do najlošije opcije za zadate kriterijume i definisani scenario, pokazuju da je najmanje zagađena datim polutantima merna lokacija Zemun, zatim merna lokacija Radujevac, dok je najzagađenija merna lokacija Bezdán, sa odgovarajućim neto tokovima preferencije $\Phi=0,19$, $\Phi=0,12$ i $\Phi=-0,31$, respektivno.



Slika 3. GAIA ravan definisanog scenaria
Figure 3 GAIA plane of the defined scenario

Na osnovu pozicija kriterijuma u GAIA ravni (obeleženi kvadratima) može se utvrditi saglasnost ili konfliktnost između pojedinih kriterijuma (slika 3). Takođe, i pozicije alternativa (predstavljenih trouglovima) određuju jačinu ili slabost alternative u odnosu na kriterijume, tako da ukoliko je neka alternativa bliža usmerenju ose pojedinog kriterijuma, utoliko je bolja po tom kriterijumu. Na lokaciji Zemun voda je najmanje zagađena količinom ukupnih oksida azota, dok je na lokaciji Bezdán voda sa najvećim udelom ovog polutanta. Lokaciju Bezdán takođe karakteriše i velika zastupljenost suspendovanih materija u vodi, čija je koncentracija, pak, najmanja na lokaciji Radujevac. Iako generalno najlošija, lokacija Bezdán karakteriše se najmanjim udelom ortofosfata i amonijum jona.

Lokacija usmerena u pravcu štapa odluke pi , koji definiše kompromisno rešenje u skladu sa zadatima težinama kriterijuma, je lokacija Zemun koja je, shodno

tome, najbolja prema većini zadatih kriterijuma. Lokacija Bezdán je najlošija po većini kriterijuma jer je pozicionirana u smeru suprotnom od pravca štapa odluke (slika 3).

Zaključak

Rezultati kompletne PROMETHEE/GAIA analize rangiranja parametara kvaliteta vode pokazali su da je najmanje zagađena lokacija Zemun, iza koje je lokacija Radujevac, a da je najzagađenija lokacija Bezdán. Odgovarajući neto tokovi preferencije su $\Phi=0,19$, $\Phi=0,12$ i $\Phi=-0,31$, respektivno. Na osnovu dobijenih rezultata, može se zaključiti da je voda najzagađenija na ulaznom delu toka reke u Srbiji.

Analizom GAIA ravni identifikovane su najvažnije varijable koje utiču na rangiranje vode, kao i njihova međuzavisnost. Ove promenljive je lako potvrditi PLS analizom, što se može iskoristiti kao polazna tačka u daljim istraživanjima modelovanja i predviđanja nivoa zagađenja vode.

Zahvalnost

Rad je deo istraživanja u okviru projekata III-43014 i TP 33034, koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

Literatura

- [1] F. Thielen, S. Zimmermann, F. Baska, H. Taraschewski, B. Sures, The intestinal parasite *Pomphorhynchus laevis* (Acanthocephala) from barbel as a bioindicator for metal pollution in the Danube River near Budapest, Hungary, *Environmental Pollution* 129 (3) (2004) 421-429.
- [2] P. Woitke, J. Wellnitz, D. Helm, P. Kube, P. Lepom, P. Litheraty, Analysis and assessment of heavy metal pollution in suspended solids and sediments of the river Danube Chemosphere, 51 (8) (2003) 633-642.
- [3] V. Stefanović, Balkan endemic nephropathy: a need for novel etiological approaches, *Quart J Med* 91 (1998) 457-463.
- [4] B. Stanić, N. Andrić, S. Zorić, G. Grubor-Lajsić, R. Kovačević, Assessing pollution in the Danube River near Novi Sad (Serbia) using several biomarkers in sterlet (*Acipenser ruthenus* L.), *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 65 (3) (2006) 395-402.
- [5] I. Jarić, Ž. Višnjić-Jeftić, G. Cvijanović, Z. Gačić, Lj. Jovanović, S. Skorić, M. Lenhardt, Determination of differential heavy metal and trace element accumulation in liver, gills, intestine and muscle of sterlet (*Acipenser ruthenus*) from the Danube River in Serbia by ICP-OES, *Microchemical Journal*, 98 (1) (2011) 77-81.
- [6] J. Garnier, G. Billen, E. Hannon, S. Fonbonne, Y. Videnina, M. Soulie, Modelling the transfer and retention of nutrients in the drainage network of the Danube River estuarine, *Coastal and Shelf Science*, 54 (3) (2002) 285-308.
- [7] L. Somlyódy, P.H. Brunnerand, H. Kroiss, Nutrient balances for Danube countries: A strategic analysis, *Water Science and Technology*, 40 (10) (1999) 9-16.
- [8] I. Navodaru, M. Staras, I. Cernisencu, The challenge of sustainable use of the Danube Delta Fisheries, Romania, *Fisheries Management and Ecology*, (8) (4-5) (2001) (323-332).
- [9] Akcioni plan Strategije Evropske unije za Dunavski region, Evropska Komisija, Brisel, SEC (2010) 1489/3. Dostupno sa sajta <http://www.dunavskastrategija.rs>
- [10] Scottish Development Department, Development of a Water Quality Index, Engineering Division, Edinburgh, 1976.
- [11] Republički Hidrometeorološki Zavod Srbije (RHMZS), Hidrološki godišnjak – 3. Kvalitet voda, Beograd, 2009.
- [12] K.S. Raju, L. Duckstein, C. Arondel, Multicriterion Analysis for Sustainable Water Resources planning: a case study in Spain, *Water Resources Management* 14 (2000) 435-456.
- [13] S. Kolli, H.R. Parsaei, Multicriteria analysis in the evaluation of advanced manufacturing technology using PROMETHEE, *Computers and Industrial Engineering*, 23 (1-4) (1992) 455-458.
- [14] M. Behzadian, R.B. Kazemzadeh, A. Albadvi, M. Aghdasi, PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications, *European Journal of Operational Research* 200 (2010) 198-215.
- [15] R. Bajčetić, B. Srđević, Višekriterijumska analiza varijanti rekonstrukcije regionalnog vodozahvatnog sistema metodom PROMETHEE, *Vodoprivreda* 0350-0519, 39 (2007) 149-162.
- [16] A. Albadvi, S.K. Chaharsooghi, A. Esfahanipour, Decision making in stock trading: An application of PROMETHEE, *European Journal of Operational Research* 177 (2) (2007) 673-683.
- [17] B. Mareschal, J.P. Brans, Geometrical representations for MCDA. The GAIA module, *European Journal of Operational Research* 34 (1) (1988) 69-77.
- [18] B. Mareschal, J.P. Brans, PROMCALC - The PROMETHEE Software User's Guide, HWPR/034, VUB, Brussels, 1986.
- [19] Đ. Nikolić, N. Milošević, I. Mihajlović, Ž. Živković, V. Tasić, R. Kovačević, N. Petrović, Multi-criteria analysis of air pollution with SO₂ and PM₁₀ in urban area around the copper smelter in Bor, Serbia, *Water Air Soil Pollut.* 206 (1-4) (2010) 369-383.
- [20] J.P. Brans, Ph. Vincke, B. Mareschal, How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method, *European Journal of Operational Research* 24 (2) (1986) 228-238.
- [21] Visual Decision Inc., Getting Started Guide, Decision Lab 2000 – Executive Edition, Montreal, Quebec Canada, 2007.

Summary**THE ASSESSMENT OF THE DANUBE WATER POLLUTION BY USING
MULTICRITERIA ANALYSIS**

Ivana I. Mladenović-Ranisavljević¹, Ljiljana M. Takić¹, Vesna D. Nikolić¹,
Ljubiša B. Nikolić¹, Dragan T. Stojiljković¹, Predrag D. Ranisavljević²

(ORIGINAL SCIENTIFIC PAPER)
UDK 519.9:502.3.51 (497.11)

¹Faculty of Technology, University of Niš, Leskovac, Serbia

²Higher Business School Leskovac, Serbia

The assessment of the Danube water pollution in Serbia in this study was conducted by using the multicriteria analysis. In 2009 three measuring locations on the Danube were selected: the inlet (Bezdan), the middle (Zemun) and the outlet point of the river in Serbia (Radujevac). For the purposes of the investigation, four water quality parameters (suspended matter, total nitrogen oxides, ammonium ion and orthophosphates) were used as the water pollution ranking criteria. The results of the complete PROMETHEE ranking analysis indicate that the least polluted location, according to the given criteria, is the measuring location Zemun followed by the measuring location Radujevac, while the most polluted location is the measuring location Bezdan with corresponding net flow preferences $\Phi = 0.19$, $\Phi = 0.12$ and $\Phi = -0.31$, respectively. It can be concluded that the most polluted part of the Danube is at the inlet point of the river in Serbia.

Keywords: multicriteria analysis, the Danube, pollution.