

**PRIMENA METODE PRIORITIZACIJE I OCENE RANJIVOSTI POVRŠINSKE VODE  
DUNAVA NA TERITORIJI GRADA NOVOG SADA****APPLICATION OF PRIORITISATION METHOD AND EVALUATION OF  
VULNERABILITY OF DANUBE SURFACE WATER IN THE CITY OF NOVI SAD**

Danijela Seočanac, Dušan Milovanović, Mladenka Novaković, Tijana Adamov, Maja Petrović;  
*Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – ZAŠTITA ŽIVOTNE SREDINE**

**Kratak sadržaj** – U okviru rada daje se uvid u pojavu, rasprostranjenost, ekotoksikološki rizik emergentnih i prioritarnih polutanata prisutnih u površinskoj vodi Dunava ispitivanog na toku kroz grad Novi Sad. Na osnovu literaturnih podataka, koji prikazuju primere metoda prioritizacije i ocene ranjivosti, kao i računskih podataka omogućava se sagledanje kvaliteta površinskih voda na osnovu koji se mogu sprovesti odgovarajuće regulatorne mere kao i omogućava uspostavljanje adekvatnog sistema upravljanja slivom reke Dunav na toku kroz grad Novi Sad.

**Ključne reči:** *emergentne supstance, metode prioritizacije, Dunav, ocena ranjivosti, kvalitet površinskih voda.*

**Abstract** – *The paper provides an insight into the occurrence, distribution, ecotoxicological risk of emerging and priority pollutants present in the surface water of the Danube examined during the flow through the city of Novi Sad. Based on literature data, which show examples of prioritization methods and vulnerability assessment, as well as calculation data, it is possible to see the quality of surface waters based on which appropriate regulatory measures can be implemented and the possibility of determining adequate management of the Danube River Basin.*

**Keywords:** *emerging substances, prioritization methods, Danube, vulnerability assessment, surface water quality*

**1. UVOD**

Akvatični medijumi su svakodnevno izloženi dodatnim izvorima zagađenja koja potiču od velikih količina voda koje se generišu kao otpadni tokovi nakon mnogobrojnih antropogenih aktivnosti (od industrijskih do aktivnosti u domaćinstvima) i koje se najčešće bez prethodnog tretmana ispuštaju u vodene ekosisteme [1]. Emergentne supstance su početkom 21. veka prepoznate kao potencijalno hazardne i veoma toksične komponente koje mogu ispoljavati mutagene, kancerogene i teratogene efekte.

Pored toga, postojećim zakonskim regulativama na nivou Evropske unije nisu definisani koncentracioni nivoi niti preporuke za rutinski monitoring.

**NAPOMENA:**

**Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Maja Petrović, docent.**

Emergentne supstance u životnu sredinu dospevaju putem komunalnih i industrijskih otpadnih voda, jer se u velikom broju slučajeva otpadne vode ne podvrgavaju tretmanima pre ispuštanja u recipijente [2].

**2. EMERGENTNE SUPSTANCE****2.1. Klasifikacija emergentnih supstanci**

Projekat NORMAN (eng. *Network of reference laboratories for monitoring of emerging environmental pollutants*) navodi da se emergentne supstance definišu kao “supstance detektovane u životnoj sredini (otpadne, površinske i podzemne vode), koje trenutno nisu uključene u rutinske monitoring programe u okviru Evropske unije i čija sudbina, ponašanje i (eko) toksikološki efekti još uvek nisu potpuno jasni niti poznati” [3].

Lista emergentnih supstanci u okviru NORMAN projekta trenutno sadrži preko 700 identifikovanih supstanci, kao i produkte nastalih procesima transformacije. Lista je podeljena na 23 klase sa 79 podkategorija koje su izdvojene na osnovu porekla i vrste, pri čemu se spisak emergentnih supstanci stalno proširuje [4].

Većina emergentnih supstanci su sintetičke prirode i imaju sposobnost da značajno utiču na metabolizam ljudskog organizma. Emergentne supstance još uvek nisu uključene u programe biomonitoringa, delimično zbog nedostatka i kompleksnosti odgovarajućih analitičkih metoda koje su neophodne da bi se emergentne supstance mogle detektovati i kvantifikovati u ljudskom organizmu [5].

**2.2. Fizičko-hemijske osobine emergentnih supstanci**

Osnovne fizičko-hemijske osobine emergentnih supstanci su strukturalna stabilnost, perzistentnost i dug polu-život. Takođe je poznato da su one i lipofilne supstance kao i da su bioakumulativne i biomagnifikativne.

Fizičko-hemijske osobine koje poseduju emergentne supstance se ne razlikuju značajno od klasičnih supstanci, ali fenomen koji je karakterističan i eksplicitno utvrđen kod emergentnih supstanci je fenomen pseudoperzistentnosti. Prisustvo pseudoperzistentnih emergentnih polutanata u različitim medijumima životne sredine se javlja kao rezultat mnogo veće brzine i frekvencije unosa polutanata u odnosu na njihovu mogućnost razlaganja u medijumima [6].

Poseban problem u vezi sa pseudoperzistentnim polutantima jeste nedostatak relevantnih toksikoloških studija koje bi pružile neophodne podatke o mehanizmima delo-

vanja emergentnih supstanci na živi svet tokom dužeg vremenskog perioda. Efekti niskih ili vrlo niskih doza do sada nisu dovoljno izučavani, jer je niske koncentracione nivoe veoma teško kvantifikovati primarno usled nedostatka pouzdanih analitičkih metoda.

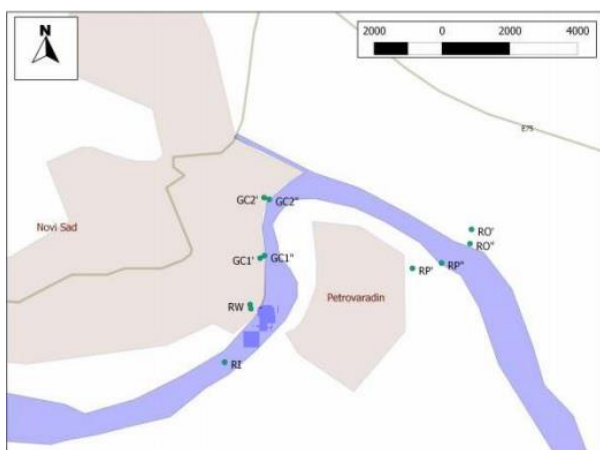
U slučaju emergentnih supstanci, potrebno je izvršiti identifikaciju i definisati procese kojima iste podležu u životnoj sredini, poput sorpcionih procesa, particionih procesa koji se odvijaju između tečne i čvrste faze, abiotičke i biotičke transformacije, oksido-redukциони i fotolitički procesi i drugi [6].

### 3. MATERIJAL I METODE

#### 3.1. Opis lokaliteta uzorkovanja

Za utvrđivanje hemijskog ekostatusa Dunava i njegovih pritoka, neophodno je sprovođenje detekcije i kvantifikacije emergentnih hemikalija, kao i dopuna standardnim ekotoksikološkim ispitivanjima. Hemijski i ekološki status sliva reke Dunava od velikog je značaja za industriju i za stanovništvo Evrope [6].

Da bi se mogao na pravi način rešiti problem zagađenja reke pored standardnih ekotoksikoloških ispitivanja, detekcija i kvantifikacija emergentnih jedinjenja i emergentnih supstanci je počela da se primenjuje kao izuzetno važan segment za utvrđivanje ekološkog statusa Dunava i njegovih pritoka [7].



Slika 1. Prikaz lokaliteta uzorkovanja [7]

Na osnovu lokacije cele kanalizacione mreže u Novom Sadu za sprovođenje analiza odabrano je 10 mesta za uzimanje uzoraka (Slika 1).

Četiri mesta uzorkovanja su podrazumevali kolektore otpadnih voda (GC1', GC2', RO', RP'), pet mesta u dunavskom koritu (RI, GC1'', GC2'', RO'', RP''), dok je jedno mesto predstavljala sirova vodu koja ulazi u postrojenje za tretman vode za piće (RW). Uzorkovanje na svim odabranim mestima sprovedeno je pod istim hidro-meteorološkim uslovima, čiji podaci su dobijeni od Republičkog hidro-meteorološkog zavoda Srbije.

#### 3.2. THV metoda – Faktor rizika

THV (eng. *Total Hazard Value*) metoda prema kojoj se može sprovesti prioritizacija zagađujućih supstanci i jedinjenja je razvijena zbog toga što je uočeno da emergentne supstance nisu uključene u programe monitoringa što za rezultat daje manje dostupnih podataka

o tome koliki rizik predstavljaju te supstance u vodenim sistemima.

Procena opasnosti zagađujuće supstance izračunata je uzimajući u obzir zbirni rizik koji zagađujuća supstanca ostvaruje pojedinačnim vrednostima parametara u jednačini koji redom predstavljaju:

- 1) Perzistentnost (P);
- 2) Toksičnosti (T);
- 3) Bioakumulativni potencijal (B);
- 4) Efekat endokrinih disruptora (ED) [8].

Ocena za svaku promenljivu u jednačini je uzeta kao "1" ako je vrednost specifičnog svojstva iznad graničnog kriterijuma. Ako to nije slučaj, za proračun konačne ocene se uzima "0". Konačni rezultati mogu varirati između minimalnih "0" i maksimalnih "5". Ako je ukupna vrednost faktora rizika jednaka ili veći od 3, polutant je utvrđen kao opasan [8, 9].

#### 3.3. Indeks rangiranja

Za potrebe utvrđivanja novih načina prioritizacije supstanci razvijen je i parametar pod imenom indeks rangiranja (eng. *RI – Ranking Index*), koji predstavlja malu modifikaciju pristupa određivanju prioriteta koji su razvili von der Ohe i saradnici [10].

Formula pomoću koje se računa vrednost parametra je zbir svih frekvencija ranga, koja u ukupnom zbiru daje 100%, jer se pokrivaju sva mesta na kojima se vrši uzorkovanje u rečnom slivu [11].

#### 3.4. Obim prekoračenja

Prednost obima prekoračenja kao metode prioritizacije u odnosu na prethodno navedene je mogućnost određivanja koje jedinjenje ima najviši prioritet u okviru jedne kategorije.

Parametar se računa kao odnos 95%-tne MEC<sub>mesta</sub> vrednosti (eng. *Maximum Environmental Concentrations MEC<sub>95</sub>*), za svaku supstancu koja je podeljena sa najnižom vrednošću PNEC (eng. *Predicted No Effect Concentration*), prema jednačini:

$$\text{Obim prekoračenja} = \frac{MEC_{95}}{\text{najniža PNEC}} \quad (1)$$

Ovim načinom prioritizacije vrši se određivanje procene rizika svakog jedinjenja prema dostupnim podacima o ostvarenom stepenu prekoračenja najniže PNEC, kojom se prikazuje i intenzitet uticaja supstance [12].

#### 3.5. WRASTIC metoda

WRASTIC metoda razvijena je sa ciljem procene podložnosti zagađenju sliva površinskih voda, bez obzira u kakvom hidrogeološkom okruženju se nalazi, ukoliko su analizirane glavne karakteristike sliva kao i načini korišćenja zemljišta. WRASTIC metoda je dobila ime od akronima za sledeće parametre:

- W – Otpadne vode (eng. *Wastewater discharges*);
- R – Rekreativne upotrebe zemljišta (eng. *Recreational land use impacts*);
- A – Poljoprivredne aktivnosti (eng. *Agricultural land use impacts*);
- S – Veličina sliva (eng. *Size of the watershed*);

- T – Putevi transporta (*eng. Transportations avenues*);
- I – Industrijski uticaj (*eng. Industrial land use impacts*);
- C – Pokrivenost zemljišta (*eng. Amount of vegetative ground Cover*).

Svakom od navedenih parametara je dodeljena ocena od 1 do 5, osim parametara "I" odnosno parametra industrijskog uticaja na korišćenje zemljišta gde ocena varira od 1 do 8. Ovi parametri su računati i upareni kako bi zajedničkim kombinovanjem ukazali na ukupni ranjivost posmatranog sliva od zagađenja [13]. Što je vrednost WRASTIC indeksa veća ceo vodotok posmatranog sliva je podložan većem riziku od zagađenja [14].

## 4. REZULTATI I DISKUSIJA

### 4.1. Faktor rizika

Prilikom sprovođenja uzrokovanja vodnog sliva identifikovano 211 hemijskih jedinjenja prioritizovanih u Tabeli 1.

Tabela 1. Vrednosti faktora rizika dodeljeni brojem jedinjenja koja ih ostvaruju [11]

Vrednost faktora rizika	Broj jedinjenja
6	1
5	3
4	31
3	14
2	56
1	88
0	18

Vrednosti koje se pripisuju jedinjenju ukazuju na međusobnu vezu između prioritizacije jedinjenja i ostvarene vrednosti parametra, što je viša vrednost faktora rizika to je veća prioritizacija identifikovanog jedinjenja i/ili supstance [9].

### 4.2. Indeks rangiranja

Broj jedinjenja koji su identifikovani u vodnom slivu je 206 koja su rangirana prema ostvarenim vrednostima od „0%” do „100%”. Dodeljena vrednost od „100%” označava da su vrednosti analizirane supstance i/ili jedinjenja veće od 0 na svim lokacijama u uzorkovanom slivu [11].

Među mnogobrojnim različitim grupama jedinjenja, u dobijenim rezultatima svojim koncentracionim vrednostima se posebno istakla grupa industrijskih organskih hemikalija koje su pronađene u najvišim koncentracijama. Rezultati su prikazani u Tabeli 2.

Tabela 2. Broj jedinjenja sa ostvarenim vrednostima indeksa rangiranja [19]

Vrednost indeksa rangiranja	Broj jedinjenja
100%	54
80 - 100%	7
60 - 80%	11
40 - 60%	35
20 - 40%	40
0- 20%	59

### 4.3. Obim prekoračenja

Prioritizacija jedinjenja zasnovana na definisanju procene izloženosti zagađujuće supstance, u proračunu indikatora rizika za krajnju prioritizaciju supstanci, korišćen je indikator izloženosti. U Tabeli 3 su prikazani rezultati vrednosti obima prekoračenja dobijenih za ukupno 347 identifikovanih jedinjenja.

Tabela 3. Broj jedinjenja podeljenih prema vrednosti obima prekoračenja [11]

Vrednosti obima prekoračenja	Broj jedinjenja
< 0	38
1 – 10	15
10 – 100	34
100 – 1000	41
>1000	87
Nije identifikovana	132

Ovaj indikator rangira jedinjenja prema obimu očekivanih efekata i prema onim vrednostima koncentracija koje su bliske vrednostima koje karakterišu dozvoljene koncentracije (nakon čijih prekoračenja mogu biti izazvani negativni efekti). Na ovaj način se mogu prioritizovati jedinjenja koja potencijalno mogu imati veći uticaj na medijume životne sredine omogućujući da se nad njima sprovede odgovorajući monitoring programi [10].

### 4.5. WRASTIC metoda

Vrednosti koje su određene za svaki od pojedinačnih parametara WRASTIC metode su prikazani u Tabeli 4.

Tabela 4. Tabelarni prikaz vrednosti pojedinačnih parametara WRASTIC indeksa

Parametri	Dodeljene vrednosti parametrima
Otpadne vode (W)	5
Rekreativna upotreba zemljišta (R)	5
Poljoprivredna aktivnost (A)	3
Veličina sliva (S)	5
Putevi transporta (T)	5
Industrijski uticaj (I)	4
Pokrivenost zemljišta (C)	3

Proračunom je dobijena vrednost WRASTIC indeksa od 60, na osnovu kojeg se može zaključiti da je kvalitet vode reke Dunav kroz Novi Sad klasifikovan kao "loš" [15].

## 5. ZAKLJUČAK I PRAVCI DALJIH ISTRAŽIVANJA

U radu su predstavljeni rezultati izvršene prioritizacije identifikovanih jedinjenja u vodenim sistemima na osnovu proračuna nekoliko različitih parametara za prioritizaciju jedinjenja. Rezultati dobijeni primenom parametra faktor rizika su prikazali međusobnu vezu koja

postoji između prioritizacije jedinjenja i ostvarenih vrednosti parametra. Većina identifikovanih jedinjenja je ostvarila niske vrednosti parametra što ukazuje da ta jedinjenja nisu od prioritnog značaja u daljim istraživanjima.

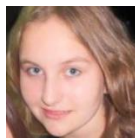
Još jedan od parametara koji je prikazan u radu je indeks rangiranja. Vrednosti ovog parametra su izražene u procentima i one prikazuju procentalnu vrednost identifikovanog jedinjenja kojima su zabeležene vrednosti veće od 0 na svim mernim mestima u vodenom sistemu. Prikazani rezultati su pokazali da čak četvrtina identifikovanih jedinjenja ima ostvarenu maksimalnu vrednost parametra, što ih čini jedinjenjima od interesnog značaja za dalja proučavanja vodenog sistema.

Detektovani koncentracioni nivoi i rezultati proračuna WRASTIC indeksa kao i prikaz proračuna parametara prioritizacije ukazuju na permanentno prisustvo emergentnih supstanci i drugih mikropolutanata u površinskim vodama Dunava kod Novog Sada. Potrebno je obezbediti frekventniju analizu uzoraka u vremenu i prostoru kako bi se stvorila osnova za sprovođenje odgovarajućeg seta mera prevencije i smanjenje mogućih uticaja na životnu sredinu u okviru održivog upravljanja slivom Dunava u Srbiji.

## 6. LITERATURA

- [1] J.Vie, C. Hilton-Taylor, S. Stuart, "Wildlife in a Changing World: An Analysis of the 2008 IUCN Red List of Threatened Species", Gland, Switzerland, 2009.
- [2] N.Veljković, D. Vidojević D., M. Jovičić, "Uticiji zagađujućih materija iz urbanih otpadnih voda na životnu sredinu i zdravlje", Zbornik referenata međunarodne konferencije "Otpadne vode, komunalni čvrsti otpad i opasan otpad". Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo, Subotica, 2010.
- [3] V. Dulio1, B. van Bavel, E. Brorström-Lundén, J. Harmsen, J. Hollender, M. Schlabach, J. Slobodnik, K. Thomas, J. Koschorreck, "Emerging pollutants in the EU: 10 years of NORMAN in support of environmental policies and regulations", *Environ. Sci. Eur.*, Vol. 30, pp. 1-13, 2018.
- [4]<https://www.hbm4eu.eu/the-substances/emerging-substances/> (pristupljeno u avgustu 2021.)
- [5]<http://www.norman-network.net/index.php.php> (pristupljeno u avgustu 2021.)
- [6] M. Miloradov, M. Turk Sekulić, J. Radonić, N. Milić, N. Grujić Letić, I. Mihajlović, M. Milanović, "Industrijske emergentne hemikalije u životnom okruženju", *Hemijska Industrija*, Vol. 68, pp. 51 – 62, 2014.
- [7] M. Miloradov, M. Turk Sekulić, J. Radonić, J. Kiurski, D. Milovanović, I. Spanik, I. Mihajlović, "Pseudopersistent pollutant in the environment: Emerging substances", XVII International Symposium on Analytical and Environmental Problems, Szeged, Hungary, 2011, Proceedings. pp.180 – 184,2011.
- [8] K. Daginnus, S. Gottardo, A. Payá-Pérez, P. Whitehouse, H. Wilkinson, J.M. Zaldívar, "A modelling approach for the prioritization of chemicals under the Water Framework Directive" *JRC Scientific and Technical Reports*, Vol. 8, pp. 435 – 455, 2011.
- [9] K.O. Ozgun, B. Basak, C. Eropak, S. Abat, G. Kirim, E. Girgin, A. Hanedar, E. Gunes, E. Cital, E. Gorgun, Y.C. Gomec, G.F. Babuna, S. Ovez, A. Tanik, I. Ozturk, C. Kinaci, Y. Karaaslan, M.S. Gucver, E. Siltu, K.A. Orhon, "Prioritization methodology of dangerous substances for water quality monitoring with scarce data", *Clean. Technol. Environ. Policy*, Vol.19, pp. 105-122, 2016.
- [10] P.C. von der Ohe, V. Dulio, J. Slobodnik, E. De Deckere, R. Kühne, R.U. Ebert, A. Ginebreda, W. De Cooman, G. Schüürmann, W. Brack, "A new risk assessment approach for the prioritization of 500 classical and emerging organic microcontaminants as potential river basin specific pollutants under the European Water Framework Directive", *Sci. Total Environ.*, Vol. 409, pp. 2064 – 2077, 2011.
- [11] M. Kuzmanović, A. Ginebreda, M. Petrović, D. Barcelo, "Risk assessment based prioritization of 200 organic micropollutants in 4 Iberian rivers", *Sci. Total Environ.*, Vol. 289, pp. 503 – 504, 2015.
- [12] K. Booij, B. Vrana, J.N. Huckins, "Theory, modelling and calibration of passive samplers used in water monitoring: Chapter 7", Amsterdam, Elsevier Science, 2007.
- [13] F.S. Alavipoor, Z. Ghorbaninia, S. Karimi, H. Jafari, "Surface Water Contamination Risk Assessment Modeled by Fuzzy- WRASTIC", *Water Environ. Res.*, Vol. 88, pp. 589 – 601, 2016.
- [14] K. Williams, "Source Water Assessment and Protection Program", United States Environmental Protection Agency, 2000.
- [15] C. Diamantino, M.J. Henriques, M.M. Oliveira, J.P.L. Ferreira, "Methodologies for pollution risk assessment of water resources systems", *Water in Celtic Countries: Quantity, Quality and Climate Variability*, pp. 298-306, 2007.

### Kratka biografija:



**Danijela Seočanac** rođena je 1997. godine u Kraljevu. Osnovne studije na Fakultetu tehničkih nauka završila je na smeru „Čiste energetske tehnologije“ na kojima je odbranila svoj diplomski rad iz oblasti energetska politika 2020. godine.

Kontakt: [danijela97seocanac@gmail.com](mailto:danijela97seocanac@gmail.com)