

Merenje kvaliteta vode u aluvijalnim vodotocima

Mirjana Horvat¹
Zoltan Horvat²
Ognjen Gabrić³

APSTRAKT: Zagađenje životne sredine, kao i pojedinih vodotoka je postao jedan od dominantnih problema u hidrotehničkoj praksi. Tipovi zagađenja u rekama su raznoliki i mogu biti organskog, hemijskog ili drugog tipa. U ovom radu su dati predlozi vezani za metodologiju merenja i naknadne analize prikupljenih podataka, koje se mogu primeniti pri oceni kvaliteta vode u aluvijalnim vodotocima. Pored teorijskog izlaganja vezanog za merenje prisustva različitih materija u vodi, prikazana su neka od sprovedenih merenja parametara kvaliteta vode koja su vršena na Dunavu i podrazumevaju fizičke (temperatura, mutoća, itd.), hemijske (pH vrednost, nitritni azot, nitratni azot, itd.) i biloške parametre (petodnevna potrošnja kiseonika, hlorofil-a, itd.). Ovi parametri su mereni u sedam poprečnih preseka, pri čemu je u svakom preseku bilo pet mernih vertikala sa pet tačaka raspoređenih po dubini toka. Na ovaj način su prikupljeni podaci koji oslikavaju stanje unutar poprečnog preseka, kao i po dubini vodenog stuba. Naknadna analiza merenih vrednosti je podrazumevala određivanje međusobnih korelacionih zavisnosti, kao i utvrđivanje prostornih tendencija. Metroda glavnih komponenti je korišćena da bi se identifikovalo grupisanje mernih tačaka sa sličnim karakteristikama po dubini i unutar pojedinog poprečnog preseka. Predložena metodologija merenja, kao i analize za naknadnu obradu merenih podataka formiraju osnovu za dalja istraživanja i analize vezane za kvalitet vode u aluvijalnim vodotocima.

Cljučne reči: aluvijalni vodotoci, kvalitet vode, metoda glavnih komponenti

Water quality measurements in alluvial watercourses

ABSTRACT: The pollution of the environment and alluvial watercourses became one of the most pressing issues in the hydraulic engineering practice. Pollution types in rivers vary widely and can be of organic, chemical, and other origins. In this paper, a measurement methodology and subsequent analysis are offered that can be used to assess the water quality in alluvial watercourses. A theoretical background is presented concerning measurements of various materials present in the water. The paper also shows some of the conducted water quality measurements on the Danube River that include physical (temperature, turbidity, etc.), chemical (pH, nitrite nitrogen, nitrate nitrogen, etc.), and biological parameters (biological oxygen demand, chlorophyll-a, etc.). These parameters were measured in seven cross-sections, while every single cross-section contained five verticals with five sampling points distributed evenly. In this way, the gathered data gave a good representation of the tendencies both within one cross-section and within the water column. The subsequent analysis of the measured values included correlation computations and the identification of spatial trends. The principal component analysis was employed to identify the potential clustering of sampling points, both within one vertical and within a cross-section. The described measurements methodology and the subsequent analysis give a sound basis for future research and analysis concerning water quality in alluvial watercourses.

Keywords: alluvial watercourses, water quality, principal component analysis

¹ Dr Mirjana Horvat, Građevinski fakultet Subotica, vanredni profesor, isicm@gf.uns.ac.rs

² Dr Zoltan Horvat, Građevinski fakultet Subotica, vanredni profesor, horvatz@gf.uns.ac.rs

³ Dr Ognjen Gabrić, Građevinski fakultet Subotica, docent, ogabric@gf.uns.ac.rs

1 Uvod

Napori usmereni ka očuvanju životne sredine su postali jedan od dominantnih izazova današnjice. Kvalitet voda je takođe postala tema sa kojom se bave istraživači iz različitih oblasti, pošto se radi o resursu koji se koristi u gotovu svakom aspektu ljudskog života. Dakle, principi vezani za praćenje stanja kvaliteta vode su od presudnog značaja, jer se preko ovih aktivnosti dobijaju informacije na osnovu kojih se mogu preduzeti mere usmerene ka smanjivanju zagađenja ili ka efikasnijem upravljanju vodnim resursima.

Na obalama rečnih tokova je uvek bilo intenzivne ljudske aktivnosti. Kao posledica toga, veliki gradovi, industrijski kompleksi i drugi potencijalni izvori zagađenja se nalaze u neposrednoj blizini reka. Zbog ovoga u reke dospeva značajna količina zagađujuće materije. Zagađenje može biti relativno benigno (npr. termičko zagađenje koje potiče od elektrana) ili znatno ozbiljnije (npr. petrohemijska industrija). Međutim, svakako je korisno analizirati i samo osnovne parametre kvaliteta vode, jer oni daju generalnu informaciju o stanju vodotoka. Naravno, postoje zagađujuće materije, kao što su teški metali, koji se mogu adsorbovati na čestice nanosa (Horvat i Horvat, 2016). Ovo ih čini prilično složenim za praćenje, jer se njihov transport može vršiti i preko suspendovanog i vučenog nanosa, ili se mogu naći u vodi usled erozije račnog dna i oslobađanja teških metala adsorbovanim na ranije istaloženom nanosu. Takođe je pri analizi zagađenosti vodotokova bitno uzeti u obzir i materije čije je prisustvo i štetno dejstvo identifikovano ne u tako davnoj prošlosti, kao što je mikroplastika. Liedermann i sar. (2018) su dali predlog metodologije za merenje mikroplastike u rekama. Autori su konstatovali da se većina transporta mikroplastike javlja u srednjem delu poprečnog preseka, ali da mikroplastika može i da se istaloži u nanosu na rečnom dnu.

Mnogi istraživači su se bavili procenom stanja rečnih slivova. Mohamed i sar. (2014) su proučavali 20 lokacija uzorkovanja vode u basenu reke Klang i uspeali su da identifikuju glavne uzroke detektovanog zagađenja. Yilma i sar. (2019) su primenili set statističkih metoda da bi analizirali kvalitet vode u reci Little Akaki. Svakako, ne treba zanemariti ni rad istraživača vezan za monitoring kvaliteta voda u jezerima. Kumari i Sharma (2019) su koristili statističku analizu da bi opisali kvalitet vode u jezeru Prashar u Indiji, dok su Horvat i Horvat (2020) dali predlog za monitoring parametara kvaliteta vode u jezeru Palic u Srbiji.

Primena metode glavnih komponenti (MGK) za interpretaciju podataka vezanih za kvalitet vode se može naći u objavljenim radovima znatnog broja istraživača. Njenom primenom se mogu identifikovati prostorni i vremenski trendovi podataka, pa zaključci vezani za analizu istih postaju sigurniji (Satheeshkumar i Khan, 2012). Li i sar. (2014) su primenili MGK u cilju smanjenja dimenzionalnosti podataka pri izučavanju kvaliteta vode jezera Taihu u Kini, dok su Horvat i sar. (2021) koristili MGK za analizu kvaliteta vode u jezeru Palic u Srbiji.

Ovaj rad predstavlja merene vrednosti parametara kvaliteta vode na Dunavu i njihovu analizu primenom metode glavnih komponenti u cilju identifikacije prostornih i vremenskih tendencija.

2 Merenja

Merenja koja su korišćena u ovom radu su sprovedena od 23. do 27. Maja 2011. godine na deonici Dunava između Mohača u Mađarskoj i Bezdana u Srbiji (Tamas i sar., 2012; Horvat i sar., 2015; Horvat i Horvat, 2016; Horvat i sar., 2021). Načelno, set podataka pored ovde analiziranih parametara kvaliteta vode, sadrži i merenja vezana za hidauličke parametre, batimetriju i nanos, što nije predmet ovog rada, a detaljno je predstavljeno od strane autora Horvat i sar. (2021).

Izučavano je sedam poprečnih preseka, na međusobnom približnom rastojanju od 1km. Uzodni presek jebio na RKM 1438 (nizvodno od naselja Mohács u Mađarskoj), a nizvodni na RKM 1432 (uzvodno od naselja Bezdán u Srbiji). U svakom od odabranih preseka se nalazilo pet vertikala, na kojima su uzimani uzorci sa pet različitih dubina približno jednako raspoređenih po visini vodenog stuba. Na ovaj način, sakupljeni podaci omogućavaju analizu paramterara po dubini toka, unutar poprečnog preseka i unutar odabrane rečne deonice. Usled organizacije merne kampanje, nije bilo

moгуće izvršiti merenje svih poprečnih preseka simultano. Dakle, setovi podataka vezani za pojedini poprečni presek su smaknuti i prostorno i vremenski, što se svakako mora uzeti u obzir pri njihovoj analizi. Nazivi poprečnih preseka, rečna kilometraža, kao i vreme vršenja sprovedenih merenja je dato u Tabeli 1.

Tabela 1. Lista merenih poprečnih preseka
Table 1. Measured cross sections

Opis	Skraćenica	RKM	Vreme merenja
Poprečni presek 1	S1	1438	23 Maj 2011, 15h-16h
Poprečni presek 2	S2	1437	24 Maj 2011, 9h-12h
Poprečni presek 3	S3	1436	24 Maj 2011, 13h-14h
Poprečni presek 4	S4	1435	24 Maj 2011, 16h-18h
Poprečni presek 5	S5	1434	25 Maj 2011, 9h-11h
Poprečni presek 6	S6	1433	27 Maj 2011, 19h-12h
Poprečni presek 7	S7	1432	27 Maj 2011, 13h-15h

Analizirano je jedanaest parametara koji opisuju kvalitet vode, dati u Tabeli 2. Temperatura je merena kao jedan od osnovnih parametara kvaliteta, jer razni biološki i hemijski procesi zavise od temperature vode. Aktivnost vodonikovih jona daje informaciju o kiselosti ili bazičnosti vode. Električna provodljivost je određivana kao pokazatelj prisustva rastvorenih soli i drugih neorganskih materija (hloridi, sulfidi i sl.). Rastvoreni kiseonik je neophodan za život raličitih organizama u vodi, pa je takođe određivan u toku sprovedenih merenja. Različiti oblici azota i forfora su mereni kao pokazatelj prisustva makronutrijenata. Nitritni azot, nitratni azot i amonijačni azot su tri oblika azota koji se mogu naći u vodi, uz napomenu da oksidacijom amonijačni azot prelazi u nitratni azot, a nitratni azot oksidacijom prelazi u nitritni azot. Ortofosfati su mereni kao jedan od najčešće prisutnih oblika fosfora u vodi. Kao pokazatelj prisustva organskih materije su uzeti hemijska potrošnja kiseonika i petodnevna biološka potrošnja kiseonika. Količina fotosintetičkih organizama (algi) u vodi je određivana preko hlorofila-a.

Tabela 2. Lista merenih parametara kvaliteta vode
Table 2. Measured water quality parameters

Opis	Skraćenica	Jedinica mere
Temperatura vode	Water T.	°C
Aktivnost vodonikovih jona	pH	-
Električna provodljivost	Cond.	µS/cm
Rastvoreni kiseonik	DO	mg/L
Nitritni azot	NO ₂ -N	mg/L
Nitratni azot	NO ₃ -N	mg/L
Amonijačni azot	NH ₄ -N	mg/L
Otrofosfati	PO ₄ -P	mg/L
Hemijska potrošnja kiseonika	COD	mg/L
Hlorofil-a	Chl-a	µg/L
Biološka potrošnja kiseonika	BOD ₅	mg/L

3 Metode

3.1 Pearson-ov koeficijent korelacije

U cilju uspostavljanja korelacione zavisnosti između dubine uzorkovanja i pojedinih parametara kvaliteta vode, odnosno radi utvrđivanja korelacione zavisnosti između merenih parametara kvaliteta vode, korišćen je Pearson-ov koeficijent korelacije. Vrednost ovog koeficijenta varira između -1 i 1,

pri čemu vrednosti bliske 1 ukazuju na snažnu pozitivnu korelisanost, vrednosti bliske -1 ukazuju na snažnu negativnu korelisanost, dok vrednosti bliske 0 ukazuju da ne postoji korelisanost između analiziranih parametara. Predmetni koeficijent korelacije se računa po obrazcu

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

gde je r Pearson-ov koeficijent korelacije, x_i i y_i su merene vrednosti dva parametra za koje se traži korelacioni koeficijent, \bar{x} i \bar{y} su srednje vrednosti dva parametra za koje se traži korelacioni koeficijent, dok n predstavlja broj parova podataka x i y .

3.2 Metoda glavnih komponenti

Da bi se varijacije u vrednostima merenih parametara kvaliteta vode vezane za različite tačke uzorkovanja predstavile na efikasan način, korišćena je metoda glavnih komponenti (Horvat i Horvat, 2021). Princip ove metode se ogleda u mogućnosti prikaza višedimenzionalnog niza podataka u dve dimenzije, uz najviše moguće zadržavanje originalne varijacije (rasipanja) podataka. Ovo se postiže pronalaženjem takozvanih glavnih komponenti, pri čemu prva glavna komponenta sadrži najveći udeo originalne varijacije podataka, dok druga glavna komponenta nije korelisana sa prvom i sadrži najveći deo preostale varijacije podataka, itd. Ovako definisane glavne komponente zapravo predstavljaju linearnu kombinaciju nezavisnih promenljivih, tj. u ovom slučaju linearnu kombinaciju parametara kvaliteta vode.

Matematički gledano, prvi korak pri određivanju glavnih komponenti seta podataka je zamena nezavisnih promenljivih (tj. parametara kvaliteta vode) sa veličinama „stavljenim u istu razmeru“ koje doprinose varijaciji celog seta podataka istim intenzitetom. Na ovaj način se promenljive „normalizuju“, tj. eliminišu se razlike koje potiču iz različitih dijapazona merenih parametara. Ovo se postiže uvođenjem novih promenljivih po obrazcu

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (2)$$

gde je Z „normalizovana“ promenljiva, x je originalna promenljiva, μ je srednja vrednost originalne promenljive, dok je σ standardna devijacije originalne promenljive. Nakon ovoga, potrebo je odrediti matricu kovarijance novog seta podataka A . Primera radi, kovarijansa između dve „normalizovane“ promenljive, x i y , je

$$cov(x, y) = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y}) \quad (3)$$

gde n označava broj podataka, dok \bar{x} i \bar{y} predstavljaju aritmetičku sredinu promenljivih x i y . Nakon ovoga se sračunaju sopstveni vektori i sopstvene vrednosti matrice A , koji redom predstavljaju pravac glavnih komponenti i „količinu“ sadržane varijacije u toj glavnoj komponenti. Po definiciji, sopstveni vektori \vec{v} matrice kovarijance A su vektori koji zadovoljavaju jednačinu

$$A \cdot \vec{v} = \lambda \vec{v} \quad (4)$$

gde λ predstavlja sopstvenu vrednost matrice kovarijansi. Prethodna jednačina se može preurediti u oblik

$$\vec{v} \cdot (A - \lambda I) = 0 \quad (5)$$

pri čemu I označava jediničnu matricu. Jedinične vrednosti se određuju rešavajući jednačinu

$$det(A - \lambda I) = 0 \quad (6)$$

Nakon sprovedenog proračuna se jedinični vektori (tj. glavne komponente) poređaju u opadajućem redosledu, uzimajući odgovarajuće jedinične vrednosti kao kriterijum rangiranja (jer jedinična vrednost kvantifikuje „količinu“ rasipanja koje ta glavna komponenta opisuje). U cilju analize merenja u ovom radu izabrane su prve dve glavne komponente. Ovo je urađeno da bi se set podataka mogao

prikazati u dvodimenzionalnom prostoru, tj. pomoću grafika. Na ovaj način je moguće vizualno identifikovati grupisanje podataka, što u ovom radu zapravo znači grupisanje tačaka uzorkovanja.

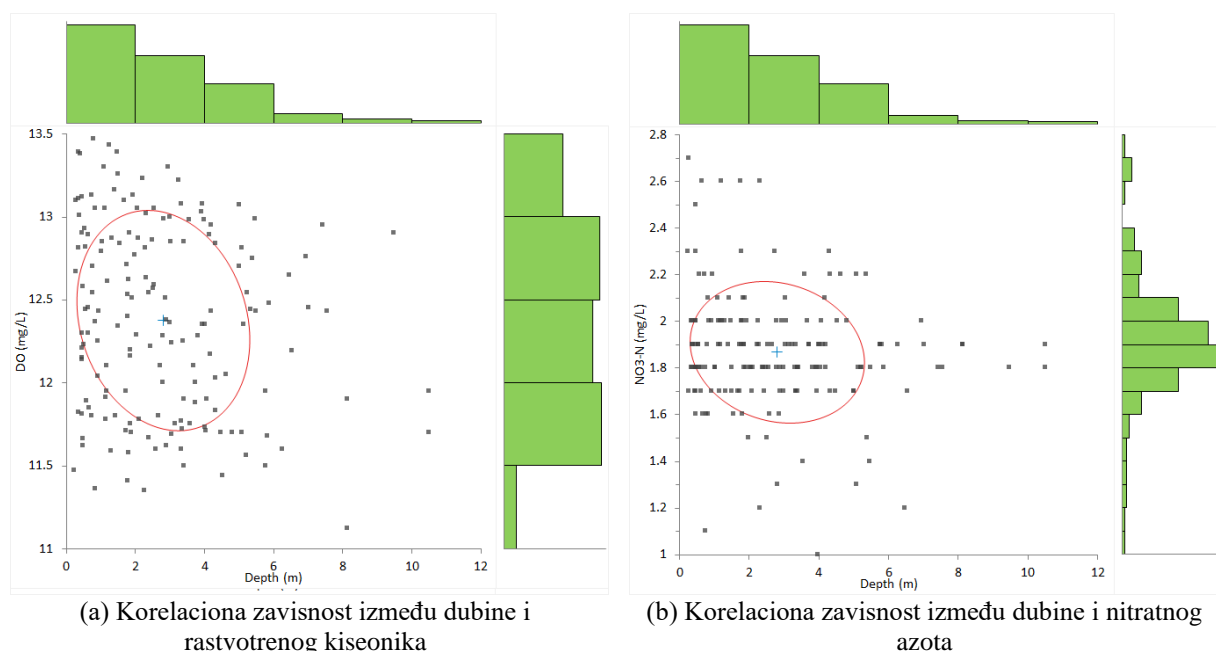
4 Analiza

Pre svega je utvrđeno da li postoji korelacija između dubine sa koje je uzorak uzet i vrednosti parametara kvaliteta vode. Radi utvrđivanja postojanja ovakve zavisnosti, korišćen je Pearson-ov koeficijent korelacije. Rezultati proračuna su dati u Tabeli 3, iz kojih se vidi na ne postoji zavisnost dubine vode i merenih parametara. Ovo se najverovstnije može pripisati mešanju vode usled izuzetno razvijene turbulencije u rečnom toku.

Tabela 3. Korelaciona zavisnost između dubine i parametara kvaliteta vode
 Table 3. Correlation between depth and the water quality parameters

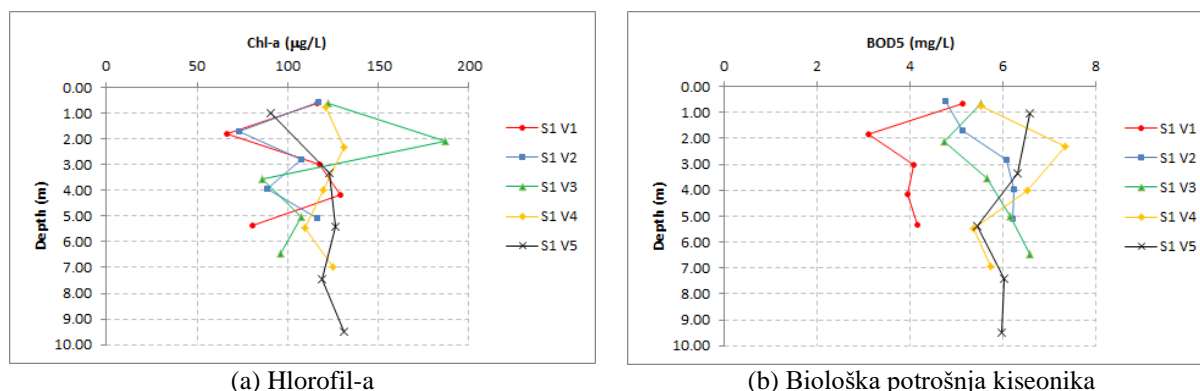
Koef. kor.	Water T.	pH	Cond.	DO	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	COD	Chl-a	BOD ₅
Dubina	-0.008	-0.006	0.071	-0.17	-0.11	-0.14	0.059	-0.067	-0.12	0.069	-0.11

Najveća korelaciona zavisnost je utvrđena za rastvoreni kiseonik i nitratni azot, zbog čega su na Slici 1 prikazane zavisnosti između dubine i ovih parametara. Histogrami predstavljaju učestalost vrednosti iz odgovarajućih dijapazona, dok elipsa crvene boje obuhvata 50% podataka. Što je elipsa spljoštenija, to je veća korelacija između dve promenljive. Dakle, konstatuje se da se čak ni za koeficijente korelacije od -0.17 (između dubine i rastvornog kiseonika) i -0.14 (između dubine i nitratnog azota) ne može identifikovati jednoznačna zavisnost. Na osnovu ove analize se može tvrditi da je mešanje po vertikali toliko izraženo da ne dolazi do bilo kakve stratifikacije, niti se na različitim dubinama javljaju uslovi koji bi omogućili odvijanje bioloških i/ili hemijskih procesa različitih od onih koji se odigravaju u preostalom delu vodenog stuba.



Slika 1. Grafički prikaz korelacionih zavisnosti
 Figure 1. Scatter plots

Primeru radi, na Slici 2 su prikazane merene vrednosti hlorofila-a i biološke potrošnje kiseonika po dubini toka za poprečni presek 1.



Slika 2. Raspored hlorofila-a i biološke potrošnje kiseonika po dubini toka za poprečni presek 1
Figure 2. Chlorophyll-a and biological oxygen demand distribution for cross section 1

Analiza glavnih komponenti je sprovedena za svaki poprečni presek posebno, uzimajući u obzir sve merene parametre kvaliteta vode (11 parametara ukupno) i svaku mernu tačku unutar tog preseka. Rezultati proračuna su grafički prikazani na Slikama 3 i 4. Načelno, na dijagramima se vide tačke uzorkovanja u kojima su mereni parametri kvaliteta vode. Obojeni simboli predstavljaju merne vertikale, dok oznake (D1, D2, D3, itd.) predstavljaju različite dubine uzorkovanja, pri čemu D1 predstavlja najveću dubinu u posmatranoj mernoj vertikali. Horizontalna i vertikalna osa su prve dve glavne komponente. Kao što je to ranije rečeno, glavne komponente su linearna kombinacija nezavisnih promenljivih, te se ne mogu interpretirati kao fizička veličina. Kose ose na Slikama 3 i 4 su oni parametri kvaliteta vode, kod kojih je više od 50% originalne varijacije sadržano u prezentovanom grafičkom prikazu. Dakle, što su tačke na dijagramima bliže, to su mereni podaci kvaliteta vode u dve tačke sličniji, pa se ovako mogu identifikovati grupisanja u setu analiziranih podataka. Procenat sadržane varijacije originalnih podataka u prve dve glavne komponente nakon primenjene analize je dat u Tabeli 4. Ove vrednosti variraju od 42.6% do 51.6%. Dakle, smanjivanjem „dimenzionalnosti“ podataka sa 11 (broj merenih parametara u svakoj tački uzorkovanja) na 2, se zadržalo 42-52% originalne varijacije, što se smatra dovoljnim za vizuelnu identifikaciju grupisanja podataka.

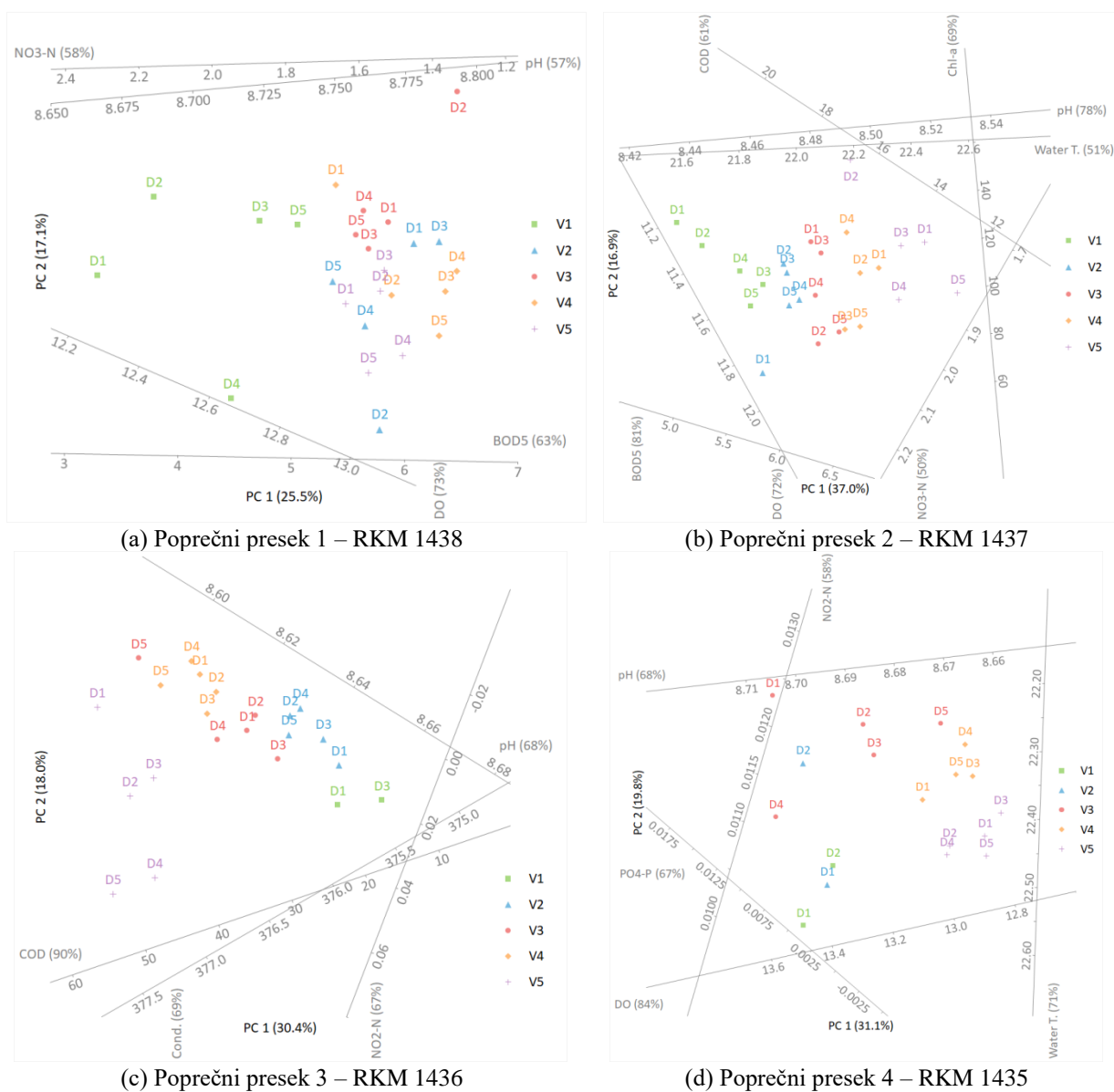
Tabela 4. Sadržaj varijacije podataka u prve dve glavne komponente
Table 4. Amount of variance presented by the first two principal components

Poprečni presek	1	2	3	4	5	6	7
Procenat varijacije	42.6%	53.9%	48.4%	50.9%	50.6%	43.8%	51.6%

Dakle, na Slikama 3 i 4 su predstavljena sprovedena merenja kvaliteta vode nakon analize glavnih komponenti, za svaki poprečni presek posebno. Grupisanje tačaka je posledica sličnosti merenih parametara kvaliteta vode u tačkama uzorkovanja koje su predstavljene u dvodimenzionalnom koordinatnom sistemu. Primera radi, na Slici 3(b) se vidi da tačke sa svake merne vertikale formiraju posebnu grupu, tj. da su tačke unutar svake merne vertikale više slične jedna drugoj nego tačkama sa neke druge vertikale. Ovo znači da u poprečnom preseku 2 postoji neki raspored parametara kvaliteta vode po širini toka. Na Slici 4(a) i 4(b) je jasno da vertikala 1 odstupa u odnosu na ostale, dok se na Slici 4(c) ne vidi gotovo nikakvo grupisanje mernih tačaka. Iako se na nekim od analiziranih poprečnih preseka može identifikovati neki vid posebnosti pojedinih mernih vertikala (što ukazuje na heterogenost po širini poprečnog preseka), ne može se identifikovati nikakva različitost mernih tačaka po visini vodenog stuba. Zadnja konstatacija je u saglasnosti sa sračunatim koeficijentima korelacije, prikazanim u Tabeli 3, koji ukazuju da ne postoji zavisnost između dubine vode i merenih parametara kvaliteta vode.

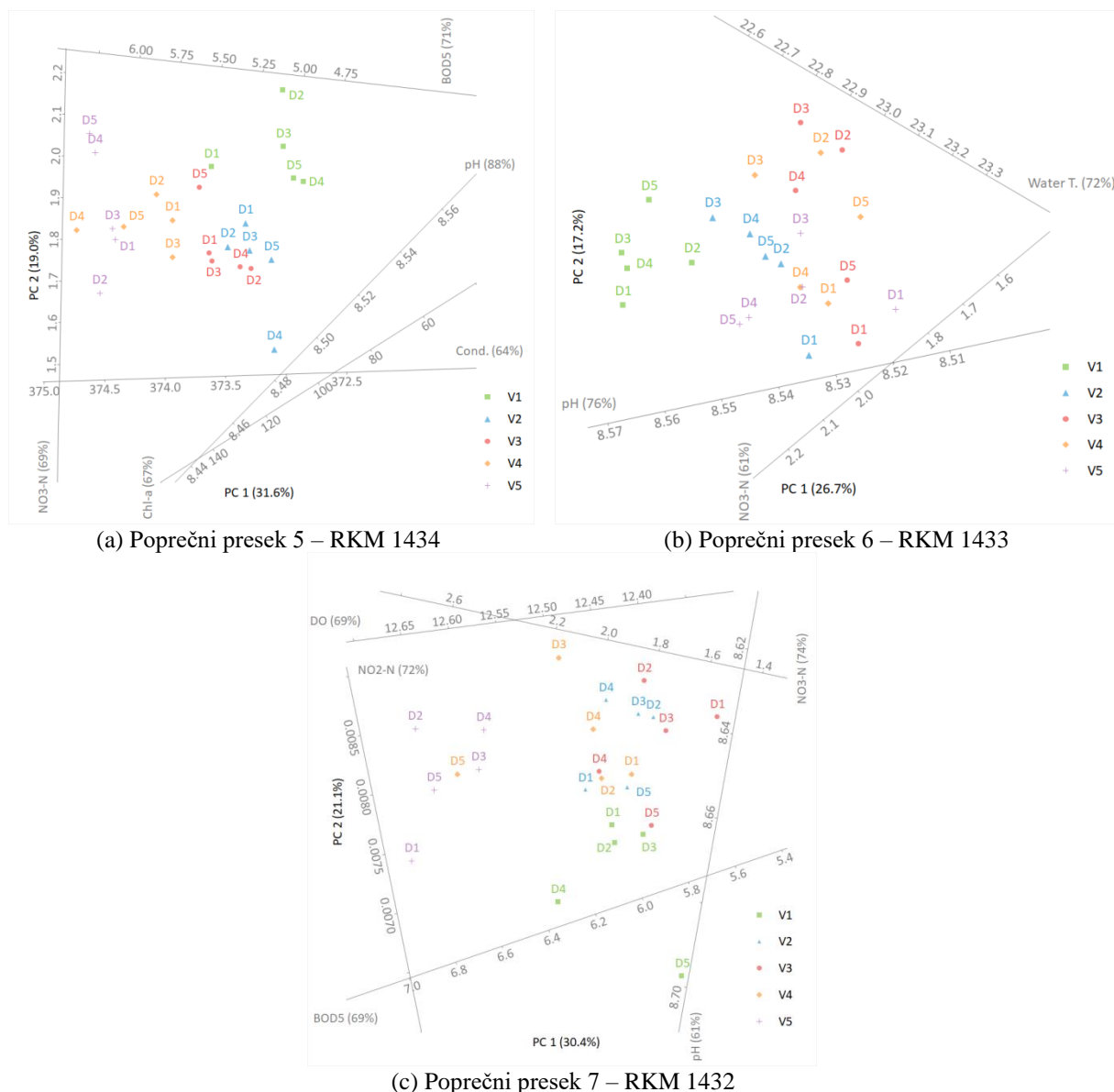
Nakon sprovedene analize merenih parametara kvaliteta vode u sedam poprečnih preseka, može se konstatovati da u pojedinim presecima postoje grupisanja mernih tačaka pojedinih vertikala, dok se

u drugim presecima ne može identifikovati nikakvo grupisanje. Iako mereni parametri kvaliteta vode čine veoma složeni, međuzavisni skup, mešanje vode usled turbulencije ima značajan uticaj. Kao posledica hidrodinamike, ne postoji nikakva tendencija po visini vodenog stuba (što je potvrđeno i sračunatim koeficijentima korelacije i sprovedenom analizom glavnih komponenti), dok je unutar pojedinih poprečnih preseka moguća pojava vertikalne koje imaju zasebne karakteristike i mogu se identifikovati kao posebna grupa nakon sprovedene analize glavnih komponenti. Dakle, ako bi se želelo izvršiti uzorkovanje radi određivanja kvaliteta vode reprezentativnog za taj poprečni presek, dubina uzorkovanja nema gotovo nikakav značaj. Sa druge strane mesto uzorkovanja u smislu poprečne pozicije unutar preseka nosi sa sobom neki rizik u pogledu „reprezentativnosti“ lokacije. Primera radi, u slučaju poprečnog preseka 2 (Slika 3(b)) parametri kvaliteta uzeti iz merne vertikale 1 i 5 se značajno razlikuju, dok je u poprečnom preseku 6 (Slika 4(b)) različitost izmerenih vrednosti u vertikalama 1 i 5 znatno manja.



Slika 3. Analiza glavnih komponenti za poprečne preseke, deo 1
 Figure 3. Principal component analysis for cross-sections, part 1

19. Savetovanje SDHI i SDH - Beograd, Srbija 2021. Conference SDHI & SDH - Belgrade, Serbia 2021.



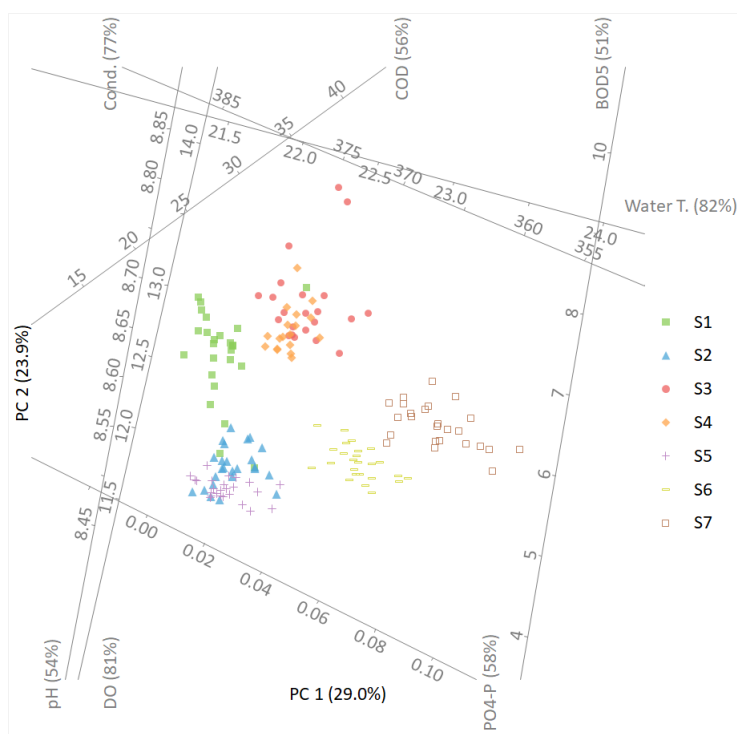
Slika 4. Analiza glavnih komponenti za poprečne preseke, deo 2
Figure 4. Principal component analysis for cross-sections, part 2

Nakon ovoga je sprovedena i analiza glavnih komponenti na setu podataka za celu izučavanu deonicu Dunava (tj. za svih sedam poprečnih preseka zajedno). Cilj ove analize je bio da se ustanovi da li se podaci za pojedine poprečne preseke grupišu u pogledu sličnosti izmerenih parametara kvaliteta vode ili se ne može identifikovati ovakva tendencija. Na slici 5 je dat grafički prikaz sprovedene analize, pri čemu se konstatuje da dijagram sadrži 53% originalnog rasipanja podataka. Pre svega, može se jasno zaključiti da svaki izučavani poprečni presek čini jednu određenu grupu podataka. Zanimljivo je primetiti da pojedini poprečni preseki (presek 1, 6 i 7) čine jedinstvene zasebne grupe, dok se drugi poprečni preseki međusobno preklapaju (presek 2 sa presekom 5 i presek 3 sa presekom 4).

Međutim, interpretacija ove konstatacije je malo složenija nego što se to na prvi pogled čini. Naime, analizirani poprečni preseki su načelno mereni u različitim trenutcima, tačnije, neki poprečni preseki su mereni isti dan, a neki različitim danima (Tabela 1). Ovo znači da merenja ne obuhvataju samo prostornu, nego i vremensku smaknutost. Dakle, opažanje da svaki poprečni presek na Slici 5 čini zasebnu grupu se može pripisati činjenici da usled neustaljenosti tečenja dolazi do takvih promena

u kvalitetu vode, da se to može identifikovati nakon primene metode glavnih komponenti u vidu zasebnih grupa podataka. Ovakvo razmišljanje bi prilično lako objasnilo zašto se podaci iz poprečnog preseka 3 i 4 preklapaju: mereni su istog dana, kada je došlo do približno ustaljenog strujanja, te su i merene vrednosti slične i ne mogu se rastaviti u dve nezavisne grupe. Međutim, istog dana je meren i poprečni presek 2, koji čini potpuno nezavisnu grupu u odnosu na tačke iz preseka 3 i 4. Štaviše, ne može se primetiti postepena „migracija“ tačaka iz grupe koju čini presek 2 u grupu koje čine preseki 3 i 4. Ako se dalje analiziraju grupe mernih tačaka sa Slike 5, opaža se preklapanje tačke poprečnog preseka 2 i 5. Ovo ukazuje da i prostorna razmaknutost analiziranih preseka ima uticaj na merene vrednosti, jer je vreme merenja poprečnog preseka 2 i 5 pomereno za jedan ceo dan. Iako je načelno moguće da je usled neustaljenosti sistema na različite lokacije (preseki 2 i 5) dospela voda sa sličnim karakteristikama u pogledu njenog kvaliteta, ovakva sličnost najverovatnije ima veze i sa samom lokacijom dva poprečna preseka.

Takođe je bitno napomenuti, da su grupisanja podataka po poprečnim presecima (Slika 5) daleko jednoznačnija nego grupisanja pojedinih mernih vertikalna (Slika 3 i 4). Dakle, može se slobodno zaključiti da je prostorno-vremenska smaknutost merenih vrednosti između pojedinih poprečnih preseka daleko izraženija nego razlike unutar bilo kog poprečnog preseka. Jednoznačne tendencije ili razlike unutar pojedinačnog vodenog stuba su gotovo nepostojeće.



Slika 5. Analiza glavnih komponenti za rečnu deonicu
Figure 5. Principal component analysis for the river reach

5 Zaključci

Na deonici Dunava između RKM 1438 i RKM 1432 su od 23. do 27. Maja 2011. godine sprovedena merenja kvaliteta vode. Uzorci su uzeti iz sedam poprečnih preseka, od kojih je svaki imao po pet vertikalna sa pet tačaka raspoređenih po dubini toka. Mereno je jedanaest parametara kvaliteta vode, koji su obuhvatali temperaturu, rastvoren kiseonik, različite oblike azota i fosfora, prisustvo organskih materija i prisustvo fotosintetičnih organizama (algi). Za analizu prikupljenih podataka je korišćen Pearson-ov koeficijent korelacije i analiza glavnih komponenti.

Nakon sprovedenih analiza se može zaključiti da se nije našla značajna korelacija između izmerenih parametara kvaliteta vode i dubine sa kojih su uzorci uzeti. Dakle, vertikalno mešanje usled turbulentne difuzije je dovoljno intenzivno da spreči bilo kakvu stratifikaciju, odnosno da spreči stvaranje posebnih uslova za odvijanje hemijskih i/ili bioloških procesa koji bi kao rezultat dali različite vrednosti parametara kvaliteta vode na različitim dubinama. Stoga se zaključuje da je dubina uzorkovanja gotovo nebitna pri određivanju kvaliteta vode reprezentativnog za posmatrani poprečni presek.

Što se tiče „posebnosti“ izmerenih parametara u različitim vertikalama istog poprečnog preseka, analiza glavnih komponenti nije dala zadovoljavajuće jednoznačan zaključak. Načelno, u pojedinim poprečnim presecima su se tačke sa neke merne vertikale grupisale posebno u odnosu na ostale tačke preseka, dok u nekim presecima nije moglo da se identifikuje bilo kakvo grupisanje mernih tačaka. Međutim, na osnovu ovde sprovedene analize, najbezbednije je uzorkovati iz „središnjeg“ dela toka u blizini talvega. Na ovaj način će uzorci za određivanje kvaliteta vode biti dovoljno reprezentativni za posmatrani poprečni presek.

Konačno, analiza glavnih komponenti za celu deonicu reke je za rezultat dala veoma jasno grupisanje mernih tačaka po poprečnim presecima. Načelno, ova pojava može biti posledica neustaljenosti strujanja. Međutim, dodatna analiza sprovedena u radu ukazuje na mogućnost da sama lokacija analiziranog poprečnog preseka može imati snažan uticaj na vrednosti parametara kvaliteta vode.

Predložena metodologija merenja, kao i analize za naknadnu obradu merenih podataka formiraju osnovu za dalja istraživanja i analize vezane za kvalitet vode u aluvijalnim vodotocima.

Zahvalnica

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (program br. 451-03-9/2021-14/200093).

Literatura

1. Horvat M., Horvat Z., Pastor K. (2021) Multivariate analysis of water quality parameters in Lake Palic, Serbia, *Environmental Monitoring and Assessment*, 193: 410.
2. Horvat M., Horvat, Z. (2020) Implementation of a monitoring approach: The Palic-Ludas lake system in the Republic of Serbia, *Environmental Monitoring and Assessment*, 192: 150.
3. Horvat Z., Isic M., Spasojevic M. (2015) Two dimensional river flow and sediment transport model, *Environmental Fluid Mechanics*, 15: 595-625.
4. Horvat Z., Horvat M. (2016) Two dimensional heavy metal transport model for natural watercourses, *River Research and Applications*, 32: 1327-1341.
5. Horvat Z., Horvat M., Koch D., Majer, F. (2021) Field measurements on alluvial watercourses in light of numerical modeling: case studies on the Danube River, *Environmental Monitoring and Assessment*, 193: 6.
6. Kumari R., Sharma R. C. (2019) Assessment of water quality index and multivariate analysis of high altitude sacred Lake Prashar, Himachal Pradesh, India, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16: 6125–6134.
7. Li Y. P., Tang C. Y., Yu Z. B., Acharya, K. (2014) Correlations between algae and water quality: Factors driving eutrophication in Lake Taihu, China, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11: 169–182.
8. Liedermann M., Gmeiner P., Pessenlehner S., Haimann M., Hohenblum P., Habersack H. (2018) A Methodology for Measuring Microplastic Transport in Large or Medium Rivers. *Water*, 10: 414.
9. Mohamed I., Othman F. N., Ibrahim A. I., Alaa-Eldin, M. E., Yunus, R. M. (2014) Assessment of water quality parameters using multivariate analysis for Klang River basin. Malaysia, *Environmental Monitoring and Assessment*, 187: 4182.
10. Satheskumar P., Khan A. B. (2012) Identification of mangrove water quality by multivariate statistical analysis methods in Pondicherry coast, India, *Environmental Monitoring and Assessment*, 184: 3761–3774.

19. Savetovanje SDHI i SDH - Beograd, Srbija 2021. Conference SDHI & SDH - Belgrade, Serbia

11. Tamas E. A., Varga A., Szibert J., Lengyel Varga A., Spasojevic M. (2012) The Danube River simultaneous bathymetric, flow, sediment and water quality data collection, *16th Conference of Serbian Society for Hydraulic Research and Serbian Society for Hydrology*.
12. Yilma M., Kiflie Z., Gessese, N. (2019) Assessment and interpretation of river water quality in Little Akaki River using multivariate statistical techniques. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16: 3707–3720.