

## PRIMENA METODE GLAVNIH KOMPONENTI PRI OBRADI MERENJA VEZANIH ZA KVALITET VODE U ALUVIJALNIM VODOTOCIMA

Mirjana HORVAT, Zoltan HORVAT, Ognjen GABRIĆ  
Građevinski fakultet Subotica, Univerzitet u Novom Sadu

### REZIME

Problemi vezani za zaštitu voda i životne sredine uopšte su postali prilično dominantni u savremenoj hidrotehničkoj praksi. Ovo je posebno izraženo u slučaju prirodnih vodotoka. Stoga ovaj rad predstavlja predlog načina analize merenih vrednosti kvaliteta vode u aluvijalnim vodotocima. Pored elementarnih teorijskih izlaganja, kao primer analiziranog seta podataka su korišćena merenja sprovedena na reci Dunav u 2011. godini. Prikupljeni podaci su obuhvatili fizičke (temperatura, mutoća, itd.), hemijske (pH vrednost, nitritni azot, nitratni azot, itd.) i biloške parametre (petodnevna potrošnja kiseonika, hlorofil-a, itd.). Pošto je cilj bio da se skupi set podataka koji adekvatno opisuje stanje i unutar pojedinačnog vodenog stuba i unutar poprečnog preseka, merenja su vršena u sedam poprečnih preseka, pri čemu je u svakom preseku bilo pet mernih vertikala sa pet tačaka raspoređenih po dubini toka. Na ovako formulisan set podataka je primenjena analiza zasnovana na metodi glavnih komponenti, koja je dala uvid u grupisanje sličnih (u pogledu kvaliteta vode) mernih tačaka po dubini i unutar poprečnog preseka. Ovde prikazane analize za naknadnu obradu merenih vrednosti kvaliteta vode u aluvijalnim vodotocima daju solidnu osnovu za dalja istraživanja same metodologije merenja i načina analize parametara kvaliteta vode.

**Ključne reči:** aluvijalni vodotoci, kvalitet vode, metoda glavnih komponenti

### 1. UVOD

Pošto je voda jedan od osnovnih i nezaobilaznih resursa, principi merenja i naknadne analize pomoću kojih se prati kvalitet voda su od presudnog značaja. Iz ovakvih analiza mogu da proisteknu informacije korisne za upravljanje vodama, kao i uvid u mogućnosti smanjenja prisustva zagađujućih materija. Kada se ove činjenice

stave u kontekst sveobuhvatnog napora čovečanstva koji se ulaže radi očuvanja životne sredine, tematika postaje dodatno relevantna u savremenim hidrotehničkim istraživanjima.

Još od davnina, ljudi su svoja naselja gradili u blizini reka. Kao posledica ove tendencije, današnji veliki gradovi, industrijski kompleksi i druga infrastruktura se nalazi kraj reka. Naravno, ove tvorevine su ujedno i potencijalni zagađivači. Zagađenje koje dospe u rečne tokove može biti benigno (npr. termičko zagađenje koje potiče od termoelektrana) ili znatno ozbiljnije (npr. hemijska industrija). Zbog ovoga je broj parametara kvaliteta koji mogu opisati stanje vode izrazito velik. Ipak, poučno je analizirati i samo osnovne pokazatelje kvaliteta vode, jer oni daju opštu informaciju o stanju vodotoka. Naravno, postoje i zagađujuće materije čije praćenje zahteva dodatne napore. Kao primer ovoga se mogu navesti teški metali, koji se adsorbuju na čestice rečnog nanosa [4], te je njihov monitoring prilično komplikovan, jer se njihov transport može vršiti (pored rastvorenog oblika u vodi) i preko svih vidova nanosa (suspendovani i vučeni nanos). Takođe, čestice teških metala se mogu ponovo naći u vodi usled erozije rečnog dna i njihovog oslobađanja iz adsorbovanog stanja na ranije istaloženom nanosu. Pri analizi zagađenosti vodotokova je bitno uzeti u razmatranje i materije čije je prisustvo i štetno dejstvo identifikованo tek nedavno, kao što je mikroplastička. Autori Liedermann i sar. [8] su prikazali metodologiju za merenje mikroplastike u većim rekama. U pomenutom radu je ustanovljeno da se većina transporta mikroplastike javlja u centralnoj oblasti poprečnog preseka. Međutim, takođe je primećeno da se mikroplastika može istaložiti u nanosu na rečnom dnu, što dodatno komplikuje adekvatan način praćenja ove materije.

Procena stanja rečnih slivova je tematika sa kojom su se bavili brojni istraživači. Mohamed i sar. [9] su analizirali basen reke Klang i 20 lokacija uzorkovanja

vode. Autori su uspeli da identifikuju glavne uzroke zagađenja koje se tu javljalo. Yilma i sar. [12] su koristili statističke metode da bi procenili kvalitet vode u reci Little Akaki. Svakako, ne treba izgubiti iz vida ni istraživanja koja se bave monitoringom kvaliteta vode u jezerima. Primera radi, Kumari i Sharma [6] su takođe koristili statističku analizu da bi predstavili kvalitet vode u jezeru Prashar u Indiji, dok su Horvat i Horvat [2] u svom radu prikazali predlog monitoringa kvaliteta vode u jezeru Palić u Srbiji.

U radovima brojnih istraživača se može naći primena analize zasnovane na metodi glavnih komponenti (MGK) u cilju interpretacije podataka kvaliteta vode. Primenom MGK je moguće identifikovati prostorne i vremenske trendove, pa opažanja koja proizilaze iz prikupljenih setova podataka postaju sigurnija [10]. Li i sar. [7] su koristili MGK da bi smanjili dimenzionalnost podataka koji su opisivali kvalitet vode jezera Taihu u Kini. Sa druge strane, Horvat i sar. [5] su primenili MGK u cilju prostorne i vremenske analize kvaliteta vode u jezeru Palić u Srbiji.

Ovaj rad prikazuje set merenih vrednosti parametara kvaliteta vode u reci Dunav, kao i njihovu naknadnu analizu primenom MGK u cilju prepoznavanja prostornih i vremenskih tendencija.

## 2. MERENJA

Merenja kvaliteta vode koja su korišćena u ovom radu su sprovedena na deonicu reke Dunava između Mohača u Mađarskoj i Bezdana u Srbiji od 23. do 27. maja 2011. godine [11,3,4,5]. Tokom predmetnih merenja su sakupljeni i podaci vezani za batimetriju dna, hidrauličke parametre, parametre nanosa, itd. Međutim, navedena merenja nisu predmet ovog rada, a mogu se pronaći u [5].

Tokom merne kampanje izučavanu rečnu deonicu je ograničavao uzvodni presek na RKM 1438 (nizvodno od naselja Mohač u Mađarskoj) i nizvodni presek na RKM 1432 (uzvodno od naselja Bezdan u Srbiji). Ukupan broj mernih preseka je bio sedam, od kojih se u svakom nalazilo pet vertikala, na kojima su uzimani uzorci sa pet različitih dubina približno jednakom raspoređenih po visini vodenog stuba. Ovako prikupljeni podaci omogućavaju pregled parametara kvaliteta vode po dubini toka, unutar pojedinačnog poprečnog preseka i unutar analizirane deonice. Usled poteškoća pri organizaciji merne kampanje, nije bilo moguće sprovesti simultano merenje svih poprečnih preseka. Dakle, setovi podataka vezani za pojedini

poprečni presek su smaknuti i prostorno, ali i vremenski. Ovo nikako ne treba gubitit iz vida, a svakako se mora uzeti u obzir pri bilo kakvoj smislenoj analizi. Imena poprečnih preseka, njihova rečna kilometraža, kao i vreme vršenja merenja je dato u Tabeli 1.

Tabela 1. Lista merenih poprečnih preseka

Opis	Skraćenica	RKM	Vreme merenja
Poprečni presek 1	S1	1438	23.5.2011, 15h-16h
Poprečni presek 2	S2	1437	24.5.2011, 9h-12h
Poprečni presek 3	S3	1436	24.5.2011, 13h-14h
Poprečni presek 4	S4	1435	24.5.2011, 16h-18h
Poprečni presek 5	S5	1434	25.5.2011, 9h-11h
Poprečni presek 6	S6	1433	27.5.2011, 19h-12h
Poprečni presek 7	S7	1432	27.5.2011, 13h-15h

U ovom radu je analizirano jedanaest parametara kvaliteta vode (Tabela 2). Pošto razni biološki i hemijski procesi zavise od temperature vode, ona je merena kao jedan od osnovnih pokazatelja. Aktivnost vodonikovih jona je takođe uzeta u razmatranje, jer daje informaciju o kiselosti ili bazičnosti vode (što opet ima značajan uticaj na biološke i hemijske procese koji se odigravaju u vodi). Električna provodljivost je merena kao dobar pokazatelj prisustva rastvorenih soli i drugih neorganskih materija (npr. hloridi, sulfidi i sl.). Pošto je rastvoren kiseonik neophodan za život skoro svih organizama u vodi, takođe je uzet u razmatranje tokom sprovedenih merenja. Oblici azota i fosfora su mereni kao pokazatelji prisustva makronutrijenata. Nitritni azot, nitratni azot i amonijačni azot su tri oblika azota koji se redovno mogu naći u vodi. Naravno, poznato je da procesom oksidacije 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. Hemijska potrošnja kiseonika i petodnevna biološka potrošnja kiseonika su odabrani jer su najčešće korišćeni pokazatelji prisustva organskih materija u ovakvim analizama. Količina fotosintetičkih organizama (algi) u vodi je određivana preko hlorifila-a. Navedena lista parametara koja je odabrana radi opisivanja kvaliteta vode svakako nije konačna i nepromenljiva. Ona se mora odrediti u skladu sa

prirodom vodnog tela koje se izučava, odnosno drugih relevantnih okolnosti.

Tabela 2. Lista merenih parametara kvaliteta vode

Opis	Skraćenica	Jedinica mere
Temperatura vode	Water T.	°C
Aktivnost vodonikovih jona	pH	-
Električna provodljivost	Cond.	µS/cm
Rastvoren kiseonik	DO	mg/L
Nitritni azot	NO2-N	mg/L
Nitratni azot	NO3-N	mg/L
Amonijačni azot	NH4-N	mg/L
Otrofosfati	PO4-P	mg/L
Hemiska potrošnja kiseonika	COD	mg/L
Hlorofil-a	Chl-a	µg/L
Biološka potrošnja kiseonika	BOD5	mg/L

### 3. METODE ANALIZE

#### 3.1. Pearson-ov koeficijent korelacije

Pearson-ov koeficijent korelacija je primjenjen kao jedan od najprihvaćenijih metoda za kvantifikaciju međusobne zavisnosti dva izučavana parametra. Kao što je to poznato, vrednost ovog koeficijenta se kreće između -1 i 1. 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. Predmetni koeficijent korelacijske se računa po jednačini

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

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

#### 3.2. Metoda glavnih komponenti (MGK)

U cilju efikasnog predstavljanja varijacija (rasipanja) vrednosti parametara kvaliteta vode, od kojih se svaki set parametara vezuje za jednu tačku uzorkovanja, korišćena je metoda glavnih komponenti [1]. Osnovni princip ove metode je prikaz višedimenzionalnog niza podataka u (obično) dve dimenzije, pri čemu se

obezbeđuje najviše moguće zadržavanje originalne varijacije (rasipanja) podataka. Matematički gledano, ovo se postiže pronalaženjem takozvanih glavnih komponenti. Prva glavna komponenta u sebi sadrži najveći deo originalnog rasipanja podataka, dok druga glavna komponenta nije korelisana sa prvom i u sebi sadrži najveći deo preostalog rasipanja podataka, itd. Takode treba napomenuti da glavne komponente zapravo predstavljaju linearu kombinaciju nezavisnih promenljivih, što se u našem slučaju svodi na linearu kombinaciju parametara kvaliteta vode.

Prvi korak pri određivanju glavnih komponenti bilo je kog je seta podataka se svodi na zamenu nezavisnih promenljivih sa „normiranim“ veličinama. Ovo je neophodno da bi sve analizirane promenljive istim intenzitetom doprinose varijaciji celog seta podataka. Dakle, promenljive se „normalizuju“, tj. eliminisu se razlike proistekle iz različitih dijapazona merenih parametara. Matematički, ovo se sprovodi uvođenjem novih promenljivih po obrazcu

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

gde je  $Z$  nova „normalizovana“ promenljiva,  $x$  predstavlja originalnu promenljivu,  $\mu$  je srednja vrednost originalne promenljive, dok  $\sigma$  označava standardnu devijaciju originalne promenljive. Sledeći korak je određivanje matrice kovarijanse novog „normalizovanog“ seta podataka  $A$ . Preglednosti radi, ovde se daje obrazac za određivanje kovarijanse među dve „normalizovane“ promenljivе,  $x$  i  $y$

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

gde  $n$  predstavlja broj podataka, dok su  $\bar{x}$  i  $\bar{y}$  redom aritmetičke sredine promenljivih  $x$  i  $y$ . Potom je potrebno sračunati sopstvene vektore i sopsvene vrednosti matrice  $A$ . Navedene veličine predstavljaju pravac glavnih komponenti i „količinu“ sadržane varijacije u toj glavnoj komponenti. Sopstveni vektori  $\vec{v}$  matrice kovarijanse  $A$  su vektori koji zadovoljavaju jednačinu

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

gde je  $\lambda$  sopstvena vrednost matrice kovarijanse. Jednačina (4) se elementarnim operacijama može preuređiti u oblik

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

pri čemu  $\mathbf{I}$  predstavlja jediničnu matricu. Jedinične vrednosti se određuju rešavajući jednačinu (6).

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

Nakon gore opisanog proračuna se jedinični vektori (tj. glavne komponente) poređaju u opadajućem redosledu, pri čemu se odgovarajuće jedinične vrednosti uzimaju kao kriterijum rangiranja. Razlog za ovo se krije u činjenici da jedinična vrednost kvantifikuje „količinu“ rasipanja koju ta glavna komponenta opisuje. Da bi se sprovedena merenja analizirala koristeći MGK, u ovom radu su izabrane prve dve glavne komponente da bi se set podataka mogao prikazati u dvodimenzionalnom prostoru, tj. pomoću grafika. Konstruisani grafici omogućavaju identifikaciju grupa podataka, što u izučavanom primeru zapravo znači grupisanje tačaka uzorkovanja kvaliteta vode.

#### 4. ANALIZA

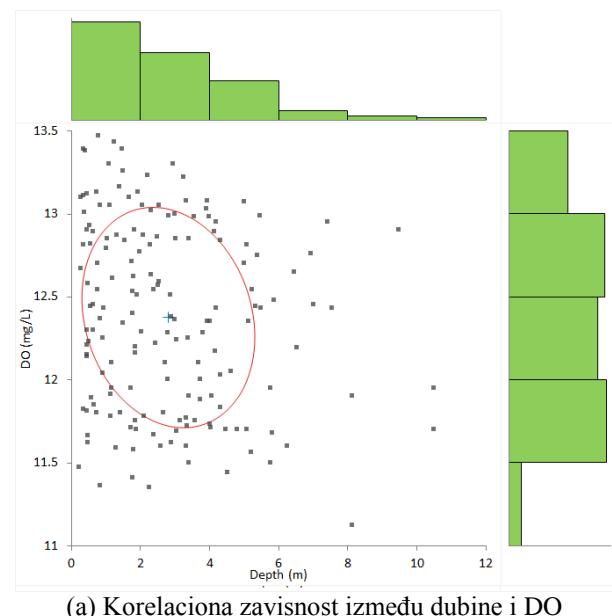
Prvi korak u analizi merenih podataka kvaliteta vode je bio utvrđivanje korelacije između dubine sa koje je uzorak uzet i vrednosti parametara kvaliteta vode. U cilju utvrđivanja ovakve zavisnosti, korišćen je Pearsonov koeficijent korelacije, u skladu sa iznetim u poglavljju 3.1. Rezultati sprovedenog proračuna su dati u Tabeli 3. Konstatuje se da ne postoji zavisnost dubine vode i merenih parametara. Ovo opažanje se može pripisati mešanju vode usled razvijene turbulencije, što je karakteristično za rečne tokove.

Tabela 3. Korelaciona zavisnost između dubine i parametara kvaliteta vode

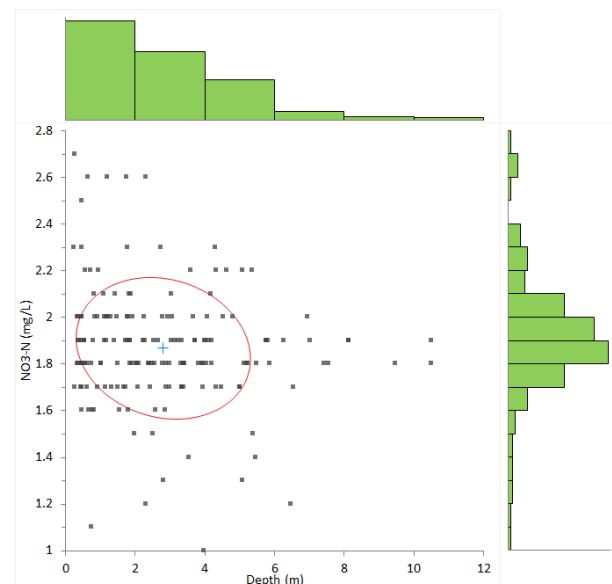
Parametar	Koeficijent korelacije
Water T.	-0.008
pH	-0.006
Cond.	0.071
DO	-0.17
NO2-N	-0.11
NO3-N	-0.14
NH4-N	0.059
PO4-P	-0.067
COD	-0.12
Chl-a	0.069
BOD5	-0.11

Proračun je potvrdio najveću korelacionu zavisnost u slučaju rastvorenog kiseonika i nitratnog azota. Iz ovog

razloga su na Slici 1 prikazane zavisnosti između dubine i ovih parametara, gde histogrami predstavljaju učestalost vrednosti iz odgovarajućih dijapazona, dok elipsa crvene boje obuhvata 50% podataka. Načelno, ovo se interpretira na sledeći način: što je elipsa spljoštenija, to je veća korelacija između dve promenljive.



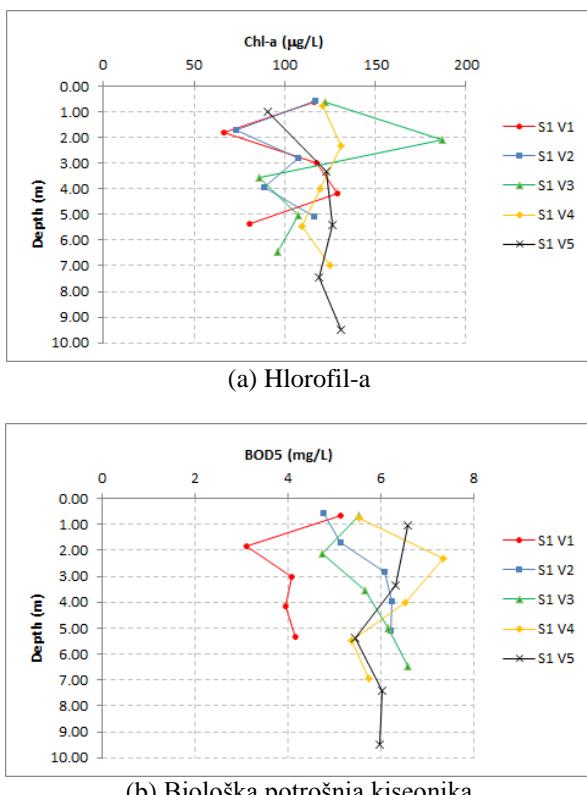
(a) Korelaciona zavisnost između dubine i DO



(b) Korelaciona zavisnost između dubine i NO3-N

Slika 1. Grafički prikaz korelacionih zavisnosti

Prema tome, može se konstatovati 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. Dakle, mešanje po vertikali vodenog stuba je toliko izraženo da ne dolazi do bilo kakve startifikacije, pa se na različitim dubinama ne javljaju uslovi koji bi omogućili odvijanje bioloških i/ili hemijskih procesa koji bi bili različiti od bilo kog drugog dela vodenog stuba. Radi vizuelne demonstracije ovog zaključka, 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

Analiza koja koristi metodu glavnih komponenti je urađena za svaki poprečni presek posebno, pri čemu su uzeti svi mereni parametri kvaliteta vode (11 parametara ukupno) i svaka merna tačka unutar tog preseka. Grafički prikaz proračuna je dat na Slikama 3, 4, 5 i 6. Uvezši u obzir teorijske principe date u poglavljiju 3.2, podseća se da na dijagramima svaka tačka predstavlja tačku uzorkovanja u kojem su mereni parametri kvaliteta vode. Različite boje označavaju merne

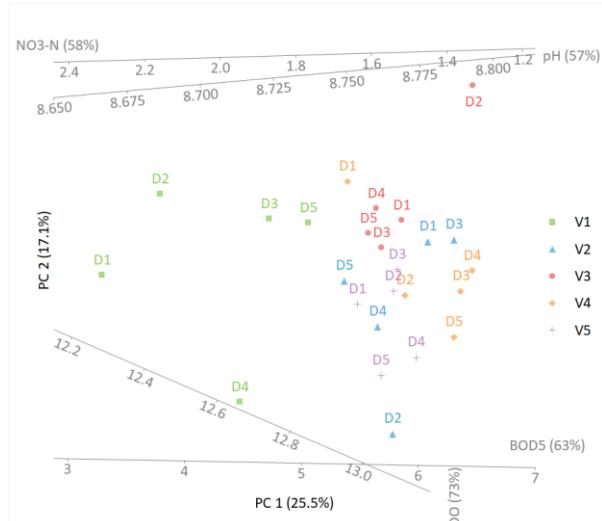
vertikale, dok oznake (D1, D2, D3, itd.) predstavljaju različite dubine uzorkovanja (pri čemu D1 predstavlja najveću dubinu u posmatranoj mernoj vertikali). Na Slikama 3, 4, 5 i 6, horizontalna i vertikalna osa su zapravo prve dve glavne komponente dobijene proračunom. Ovde vredi podsetiti da su glavne komponente linearne kombinacije nezavisnih promenljivih. Zbog ovoga one nemaju interpretaciju neke određene fizičke veličine. Kose linije na Slikama 3, 4, 5 i 6 su ose koje odgovaraju parametrima kvaliteta vode, kod kojih je više od 50% originalnog rasipanja sadržano na prikazanom dijagramu. Dakle, što su tačke na dijagramima bliže jedna drugoj, to su mereni podaci kvaliteta vode u tim tačkama sličniji. Na ovaj način se mogu identifikovati grupisanja u setu analiziranih podataka. Sadržaj varijacije originalnih podataka u prve dve glavne komponente nakon primenjene analize MGK za sve poprečne preseke je dat u Tabeli 4. Vrednosti variraju od 42.6% do 51.6%. Na osnovu ovoga se može zaključiti da je, smanjivanjem „dimenzionalnosti“ podataka sa 11 (broj merenih parametara u svakoj tački uzorkovanja) na 2, još uvek zadržano 42-52% originalnog rasipanja, što se smatra da je dovoljno za identifikaciju grupisanja podataka.

Tabela 4. Sadržaj varijacije podataka u prve dve glavne komponente

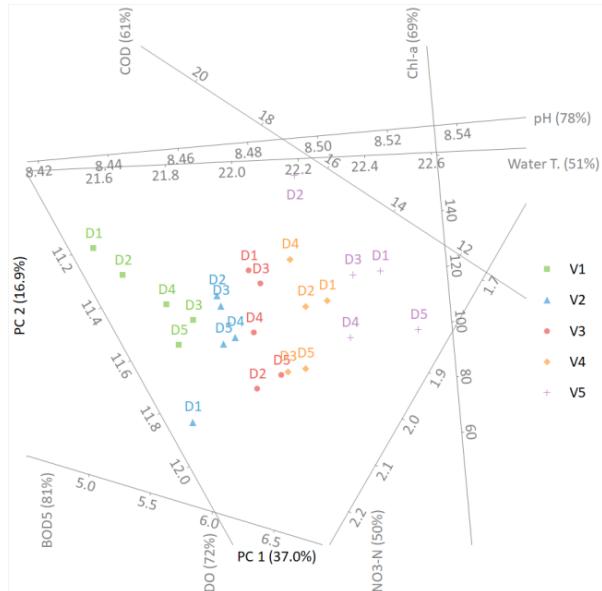
Poprečni presek	Procenat varijacije
1	42.6%
2	53.9%
3	48.4%
4	50.9%
5	50.6%
6	43.8%
7	51.6%

Slike 3, 4, 5 i 6 prikazuju sprovedena merenja kvaliteta vode nakon analize metodom glavnih komponenti, za svaki od poprečnih preseka posebno. Grupisanje tačaka se javlja usled sličnih vrednosti merenih parametara kvaliteta vode u tačkama uzorkovanja, što je sad predstavljeno u dvodimenzionalnom koordinatnom sistemu. Na Slici 3(b) se vidi da tačke sa svake merne vertikale formiraju posebnu grupu. Ovo znači da postoji veća sličnost mernih vrednosti unutar svake merne vertikale nego između različitih vertikala. Dakle, u poprečnom preseku 2 postoji primetni raspored parametara kvaliteta vode po širini toka. Pomoću rezultata prikazanih na Slici 5(a) i 5(b) se primećuje da vertikala 1 odstupa u odnosu na ostale, dok Slika 6(a) prikazuje homogenu grupu mernih tačaka. Iako je

sprovedena analiza potvrdila postojanje nekog vide posebnosti pojedinih mernih vertikala (što ukazuje na heterogenost po širini poprečnog preseka), različitosti mernih tačaka po visini vodenog stuba nema. Zadnje opažanje je u saglasnosti sa ranije sračunatim koeficijentima korelacije (Tabela 3), pa se sa izvesnošću može tvrditi da u izučavanom setu podataka ne postoji zavisnost između dubine vode i merenih parametara kvaliteta vode.



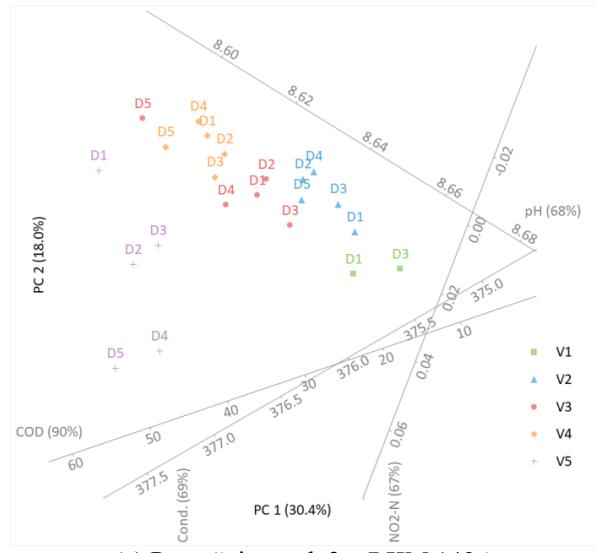
(a) Poprečni presek 1 – RKM 1438



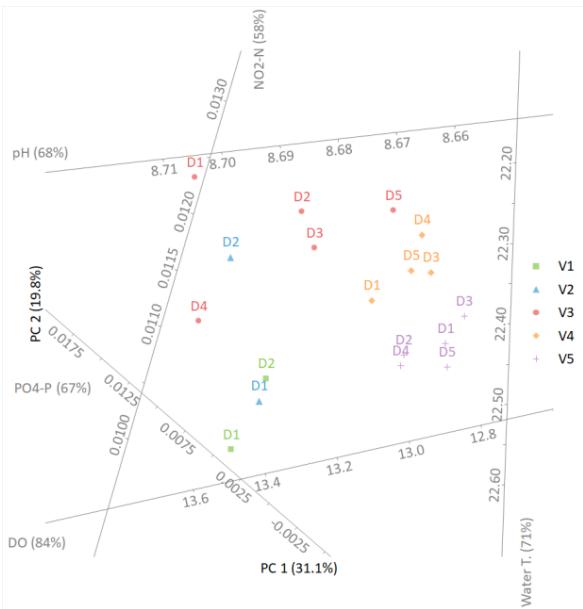
(b) Poprečni presek 2 – RKM 1437

Slika 3. Analiza glavnih komponenti za poprečne preseke, deo 1

Nakon sprovedene analize koristeći MGK, može se tvrditi da u pojedinim poprečnim preseцима postoje grupisanja mernih tačaka pojedinih vertikala. Sa druge strane, u drugim preseциma se ne može identifikovati nikakvo grupisanje mernih tačaka. Dakle, iako je evidentno da mereni parametri kvaliteta vode čine kompleksan, međuzavisni skup, mešanje vode usled razvijene turbulencije ima značajan uticaj.



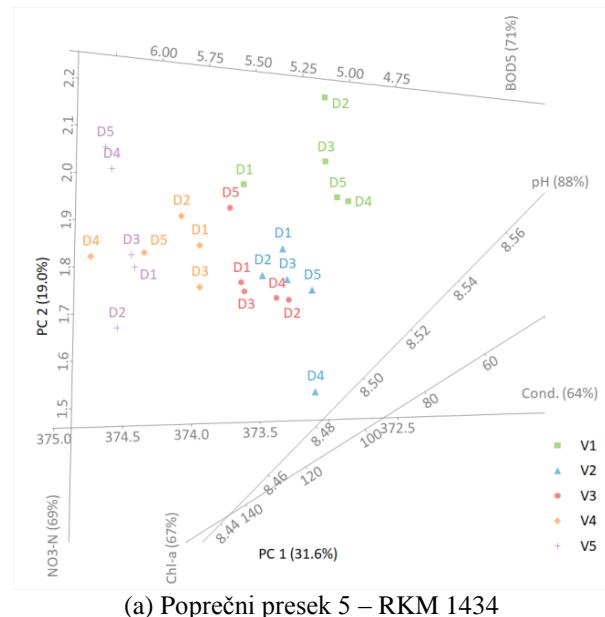
(a) Poprečni presek 3 – RKM 1436



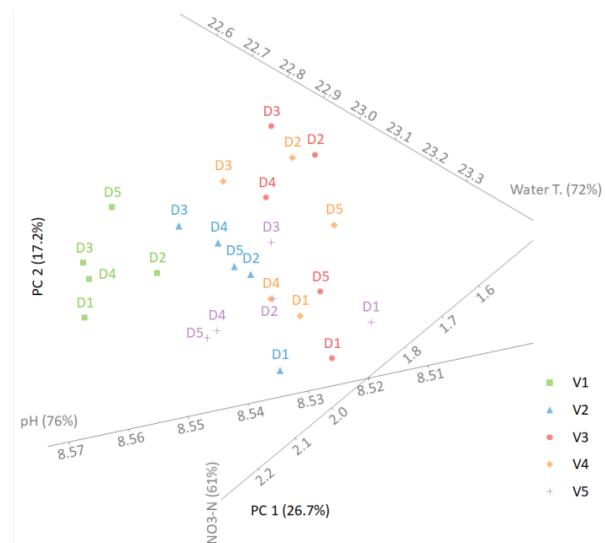
(b) Poprečni presek 4 – RKM 1435

Slika 4. Analiza glavnih komponenti za poprečne preseke, deo 2

Prema tome, kao posledica hidrodinamčkih parametara, ne postoji nikakva jednoznačna tendencija po visini vodenog stuba (ovo je potvrđeno na dva načina: koeficijentima korelacije i sprovedenom analizom na osnovu MGK). Međutim, unutar pojedinih poprečnih preseka je moguća pojava vertikalna sa zasebnim karakteristikama.



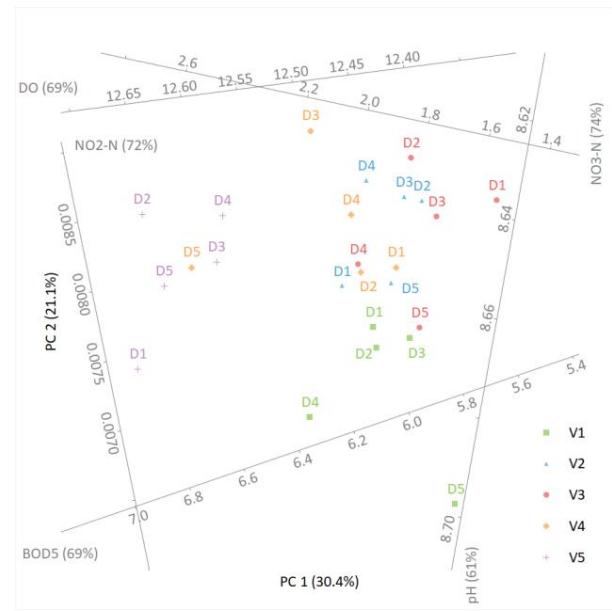
(a) Poprečni presek 5 – RKM 1434



(b) Poprečni presek 6 – RKM 1433

Slika 5. Analiza glavnih komponenti za poprečne preseke, deo 3

Opožarja izneta u prethodnom delu ukazuju na to da u slučaju vršenja uzorkovanja koje bi trebalo da bude reprezentativno (u pogledu parametara kvaliteta vode) za taj poprečni presek, dubina uzorkovanja nema gotovo nikakav značaj. Međutim, mesto uzorkovanja u pogledu lokacije u poprečnom smislu unutar preseka nosi sa sobom određeni rizik u pogledu „reprezentativnosti“ lokacije. U ovde analiziranom setu podataka se ovo najbolje može demonstrirati na primeru poprečnog preseka 2 (Slika 3(b)), gde se parametri kvaliteta uzeti iz merne vertikale 1 i 5 značajno razlikuju. Kao primer drugog ekstrema se može uzeti poprečni presek 6 (Slika 4(b)), gde je različitost izmerenih vrednosti u vertikalama 1 i 5 znatno manja.

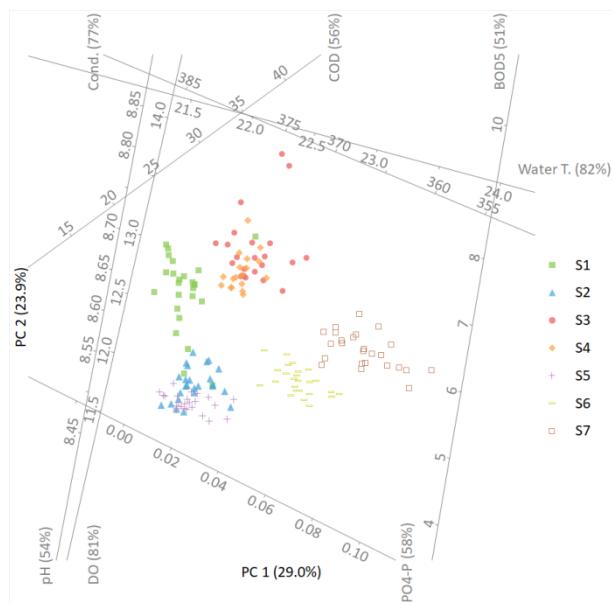


(a) Poprečni presek 7 – RKM 1432

Slika 6. Analiza glavnih komponenti za poprečne preseke, deo 4

Analiza zasnovana na MGK je sprovedena na setu podataka za kompletan izučavanu deonicu Dunava (tj. za svih sedam poprečnih preseka zajedno). Ova analiza je za cilj imala pronalaženje odgovora na pitanje da li postoji grupisanje mernih tačaka u pogledu sličnosti izmerenih parametara kvaliteta vode po pojedinim poprečnim preseцима ili se ovakva pojava ne može identifikovati. Slika 7 daje grafički prikaz sprovedene analize, pri čemu je utvrđeno da dijagram sadrži 53% originalne varijacije podataka. Na samom početku se sa velikom izvesnošću može tvrditi da svaki poprečni presek čini jednu određenu grupu podataka. Međutim, bitno je konstatovati da neki poprečni preseci (presek 1,

6 i 7) čine jasno razgraničene, jedinstvene zasebne grupe, dok se drugi poprečni preseci (barem delimično) međusobno preklapaju (presek 2 sa presekom 5 i presek 3 sa presekom 4).



Slika 7. Analiza glavnih komponenti za rečnu deonicu

Međutim, zadnju konstataciju ne treba shvatiti površno jer je njena dublja interpretacija složenija nego što se to na prvi pogled čini. Podseća se da su analizirani poprečni preseci mereni u različitim vremenskim trenucima. Tačnije, neki od poprečnih preseka su mereni isti dan, a neki različitim danima, kao što je to navedeno u Tabeli 1. Dakle, merenja u sebi sadrže ne samo prostornu, nego i vremensku smaknutost, pa bi se moglo reći da svaki poprečni presek na Slici 7 čini posebnu grupu usled neustaljenog tečenja koje generiše takve promene u kvalitetu vode da se to može identifikovati nakon primene analize zasnovane na metodi glavnih komponenti. Ovakva hipoteza bi prilično lako objasnila zašto se podaci vezani za poprečni presek 3 i 4 preklapaju. Naime, mereni su istog dana, pa se u tom relativno kratkom periodu strujanje može smatrati za približno ustaljeno, te su i merene vrednosti slične i ne mogu se rastaviti u dve jasno razgraničene grupe. Međutim, ova hipoteza se ne može prihvati kao validno objašnjenje, jer je istog dana meren i poprečni presek 2, a njene merne tačke čine potpuno nezavisnu grupu u odnosu na tačke iz preseka 3 i 4. Štaviše, ne može se primetiti ni postepena „migracija“ mernih tačaka iz grupe koju čini presek 2 u grupu koju čine preseci 3 i 4. Daljom analizom

grupisanja mernih tačaka sa Slike 7 se može konstatovati preklapanje mernih tačaka poprečnih preseka 2 i 5. Ovakvi rezultati analize ukazuju na činjenicu da i prostorna razmaknutost poprečnih preseka ima uticaj na izmerene vrednosti, jer je vreme merenja poprečnog preseka 2 i 5 pomereno za jedan ceo dan. Naravno, teorijski je moguće da je usled neustaljenosti rečnog toka na različite lokacije (preseci 2 i 5) dospela voda sličnog kvaliteta. Ipak, grupisanje podataka koje se opaža na Slici 7 najverovatnije ima veze i sa samom lokacijom dva poprečna preseka.

Slika 7 omogućava još jednu konstataciju. Naime, grupisanje mernih tačaka po poprečnim presecima (Slika 7) je daleko jednoznačnije nego grupisanje pojedinih mernih vertikala (Slike 3, 4, 5 i 6). Dakle, prostorno-vremenska smaknutost izmerenih vrednosti između pojedinih poprečnih preseka je izraženija nego detektovane razlike unutar bilo kog od izučavanih poprečnih preseka. Takođe, nedvosmislene tendencije unutar pojedinačnog vodenog stuba su načelno nepostojće.

## 5. ZAKLJUČCI

Na deonici Dunava, u pograničnoj oblasti između Mađarske i Srbije, između RKM 1438 i RKM 1432 su od 23. do 27. maja 2011. godine sprovedena merenja, koja su obuhvatala i neke od parametara kvaliteta vode. Analizirano je sedam poprečnih preseka, od kojih je svaki imao po pet vertikala sa pet tačaka približno jednoliko raspoređenih po dubini toka. Mereno je jedanaest parametara kvaliteta vode: tempratura, rastvoren kiseonik, različiti oblici azota i fosfora, prisustvo organskih materija i prisustvo fotosintetičnih organizama (algi). Za analizu prikupljenih podataka je korišćen Pearson-ov koeficijent korlacije i metoda glavnih komponenti.

Analize predstavljene u ovom radu opravdavaju zaključak da nema značajne korelacije između izmerenih parametara kvaliteta vode i dubine sa kojih su uzorci uzeti. Ovo je posledica vertikalnog mešanja usled turbulentne difuzije, koje je dovoljno intenzivno da onemogući bilo kakvu startifikaciju, odnosno stvaranje posebnih uslova za odvijanje hemijskih i/ili bioloških procesa na različitim dubinama vodenog stuba. Dakle, dubina uzorkovanja je gotovo nebitna pri određivanju kvaliteta vode reprezentativnog za posmatrani poprečni presek.

Što se tiče različitosti parametara iz pojedinih vertikala istog poprečnog preseka, analiza zasnovana na metodi

glavnih komponenti nije dala jednoznačan zaključak. Generalno gledano, u pojedinim poprečnim presecima je došlo do grupisanja mernih tačaka po vertikalama, dok je u drugim presecima „oblak“ mernih tačaka ostao u potpunosti homogen. Međutim, na osnovu rezultata prikazanih u ovom radu, najsvršishodnije je uzorkovati iz središnjeg dela toka. Na ovaj način će uzorci za određivanje kvaliteta vode biti prihvatljivo reprezentativni za poprečni presek iz kog su uzeti.

Prikazana analiza zasnovana na metodi glavnih komponenti za celu razmatranu deonicu reke je kao rezultat dala veoma jasno grupisanje mernih tačaka po poprečnim presecima. Iako ova pojava može biti posledica neustaljenog strujanja u reci, dodatna razmatranja sprovedena u radu ukazuju da lokacija posmatranog poprečnog preseka može rezultovati u različitom kvalitetu vode u odnosu na druge poprečne preseke.

Predložena metologija analize merenih podataka kvaliteta vode daje osnovu za dalja istraživanja vezana za biološko-hemijsko stanje 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. and Pastor K.: Multivariate analysis of water quality parameters in Lake Palic, Serbia, Environmental Monitoring and Assessment, 193: 410, 2021.
- [2] Horvat M. and Horvat, Z.: Implementation of a monitoring approach: The Palic-Ludas lake system in the Republic of Serbia, Environmental Monitoring and Assessment, 192: 150, 2020.
- [3] Horvat Z., Isic M. and Spasojevic M.: Two dimensional river flow and sediment transport model, Environmental Fluid Mechanics, 15: 595-625, 2015.
- [4] Horvat Z., Horvat M.: Two dimensional heavy metal transport model for natural watercourses, River Research and Applications, 32: 1327-1341, 2016.
- [5] Horvat Z., Horvat M., Koch D. and Majer, F.: Field measurements on alluvial watercourses in light of numerical modeling: case studies on the Danube River, Environmental Monitoring and Assessment, 193: 6, 2021.
- [6] Kumari R. and Sharma R. C.: 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, 2019.
- [7] Li Y. P., Tang C. Y., Yu Z. B. and Acharya, K.: Correlations between algae and water quality: Factors driving eutrophication in Lake Taihu, China, International Journal of Environmental Science and Technology, 11: 169–182, 2014.
- [8] Liedermann M., Gmeiner P., Pessenlehner S., Haimann M., Hohenblum P. and Habersack H.: A Methodology for Measuring Microplastic Transport in Large or Medium Rivers. Water, 10: 414, 2018.
- [9] Mohamed I., Othman F. N., Ibrahim A. I., Alaa-Eldin, M. E. and Yunus, R. M.: Assessment of water quality parameters using multivariate analysis for Klang River basin. Malaysia, Environmental Monitoring and Assessment, 187: 4182, 2014.
- [10] Satheeshkumar P. and Khan A. B.: Identification of mangrove water quality by multivariate statistical analysis methods in Pondicherry coast, India, Environmental Monitoring and Assessment, 184: 3761–3774, 2012.
- [11] Tamas E. A., Varga A., Szibert J., Lengyel Varga A. and Spasojevic M.: 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, 2012.
- [12] Yilma M., Kiflie Z. and Gessese, N.: 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, 2019.

## APPLICATION OF THE PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS TO WATER QUALITY MEASUREMENTS IN ALLUVIAL WATERCOURSES

by

Mirjana HORVAT, Zoltan HORVAT, Ognjen GABRIĆ  
Faculty of Civil Engineering Subotica, University of Novi Sad

### Summary

Problems related to water protection and nature protection in general became quite dominant in the field of contemporary hydraulic engineering. This is even more true when considering natural watercourses. Hence this paper describes a methodology for analyzing measurements regarding water quality in alluvial watercourses. In addition to a theoretical background, an analysis example is presented using a set of measurements conducted on the Danube River in 2011. The gathered data included physical (temperature, turbidity, etc.), chemical (pH, nitrite nitrogen, nitrate nitrogen, etc.), and biological parameters (5-day biological oxygen demand, chlorophyll-a, etc.). Since the intention was to gather a data set that describes the water quality parameters both within a water column

and within a cross-section, the measurements were conducted in seven cross-sections, while every single cross-section contained five verticals with five sampling points distributed evenly. The principal component analysis was employed to identify any clustering of similar (with respect to water quality parameters) sampling points both within a water column and a cross-section. The described principles for analyzing water quality measurements give a sound basis for future research concerning water quality measurements and their subsequent interpretation.

Key words: alluvial watercourses, water quality, principal component analysis

Redigovano 4.11.2021.