

Multivarijantna statistička analiza parametara kvaliteta površinskih voda u Vojvodini

Praćenje hemijskih i fizičko-hemijskih parametara (monitoring) površinskih voda predstavlja veoma značajan faktor u kontroli kvaliteta i upravljanju vodama. Kvalitet površinskih voda uglavnom je određen atmosferskim uticajem (prirodni proces) i ispuštanjem industrijskih i komunalnih otpadnih voda u vodna tela (antropogeni proces). Primenom različitih statističkih metoda (multivarijalna statistička analiza) može se u znatnoj meri redukovati obimnost raspoloživih podataka dobijenih monitoringom, a samim tim i ispravna interpretacija dobijenih rezultata o kvalitetu i ekološkom statusu voda. U ovom radu su primenom multivarijalne statističke analize (klaster analiza, faktor analiza i analiza glavnih komponenti) obrađeni rezultati analiza površinskih voda na teritoriji AP Vojvodine u toku 2011. godine. Na osnovu dobijenih rezultata statističke analize mogu se identifikovati glavni faktori koji imaju uticaj na ekološki status i ekološki potencijal vodnih tela i unaprediti postojeća mreža monitoringa.

Ključne reči: kvalitet voda, klaster analiza, analiza glavnih komponenti, faktor analiza.

1. UVOD

Kvalitet površinskih voda zavisi od više faktora, a najviše od atmosferskih padavina, erozije tla u slivu, naseljenosti i razvoja industrije u slivnom području. Promena temperature u toku godišnjih doba, kao i mešanje različitih vrsta voda takođe su bitni faktori koji utiču na kvalitet površinskih voda [1].

Da bi se postigao zadovoljavajući kvalitet površinskih voda neophodan je monitoring koji je izrazito bitan segment u kvalitetnom i pravilnom upravljanju vodama. Monitoring program površinskih voda uključuje analizu vode, sedimenta i biote [2]. Krajnja informacija koja se dobija monitoringom površinskih voda ključna je za donošenje odluka o pravilnom i blagovremenom upravljanju vodama i zahteva odgovarajući način obrade podataka dobijenih merenjima u toku samog monitoringa. Rezultati, koji su dobijeni sprovođenjem različitih monitoring programa su suviše obimni i za njihovu pravilnu interpretaciju se koriste različite statističke metode. Najčešće primenjene metode su multivarijacione statističke metode, od kojih su najznačajnije: klaster analiza, faktor analiza i analiza glavnih komponenti (PCA). Pomoću ovih statističkih metoda moguće je značajna redukcija velikog broja rezultata monitoringa i markiranje mernih stanica sličnog kvaliteta, kao i izdvajanje onih mernih stanica koje značajno odstupaju u kvalitetu vode od ostalih mernih stanica.

Adresa autora: Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 3, Novi Sad, Srbija

Primljeno za publikovanje: 14. 09. 2013.

Prihvaćeno za publikovanje: 22. 11. 2013.

Multivarijacione statističke metode omogućavaju identifikaciju mogućih faktora/izvora koji su odgovorni za varijabilnost kvaliteta vode. Takođe, omogućavaju identifikaciju rasporeda izvora zagađenja i na taj način predstavljaju koristan alat za razvoj odgovarajuće strategije kako bi se ostvarilo efiksano upravljanje vodnim resursima [3-13].

Klaster analiza se koristi za redukciju obimnih podataka, kombinuju se objekti u grupe relativno homogenih sastava. Ona pomaže u grupisanju parametara (slučajeva) u klastere na osnovu sličnosti ili razlike između njih. Izazov mnogih istraživanja u kojima se radi sa velikim brojem podataka upravo je identifikovanje i grupisanje elemenata u manje grupe na osnovu neke povezanosti [14,15].

Analiza glavnih komponenti (*Principal Components Analysis*, PCA) ima sposobnost da prepoznaje i eliminiše suvišne podatke iz eksperimentalnih rezultata. Primenom analize glavnih komponenti redukuje se veliki broj raspoloživih podataka, a kao rezultat se dobija različiti broj novih promenljivih tzv. glavne komponente (*principal components*, PC). Glavna komponenta, PC, je u stvari linearna kombinacija originalnih promenljivih. U praktičnom radu obično je dovoljno zadržati samo nekoliko glavnih komponenti, čiji zbir obuhvata veliki procenat ukupne promenljive [14-16].

Faktor analiza koristi se za opis međusobne zavisnosti velikog broja promenljivih korišćenjem manjeg broja osnovnih, ali neopažljivih slučajnih promenljivih povezanih kao faktori. Ova metoda takođe se koristi za redukciju velikog broja podataka, ali i za otkrivanje strukture povezanosti među promenljivim (varijable), odnosno za njihovu klasifikaciju [15].

Navedene statističke metode pružaju mogućnost lakšeg, bržeg i jasnijeg definisanja promjenljivih koji imaju najveći uticaj na kvalitet površinskih voda. U ovom radu smo primenom navedenih statističkih metoda analizirali i interpretirali rezultate kvaliteta površinskih, veštačkih vodnih tela na teritoriji AP Vojvodine u cilju procene kvaliteta vode, identifikacije mogućih izvora zagađenja i dobijanja informacija za njihovo upravljanje.

2. EKSPERIMENTALNI DEO

Za potrebe ovog rada korišćeni su podaci o kvalitetu veštačkih vodnih tela na teritoriji AP Vojvodine za mesec avgust 2011. godine [17].

Pregled vodnih tela i mernih stanica na kojima je izvršeno uzorkovanje vode za analizu i čije su vrednosti pokazatelja kvaliteta obrađene u ovom radu dat je u tabeli 1. Obrađeno je ukupno 18 mernih stanica na sledećim veštačkim vodnim telima: Dunav-Tisa-Dunav, Plovni Begej i Kanal Nadela.

Tabela 1 - Pregled obrađenih vodenih tela – mernih stanica

Oznaka	Naziv vodnog tela – merna stanica	Oznaka	Naziv vodnog tela – merna stanica
DTD1	Kanal DTD* – Sombor	DTD10	Kanal DTD – Bački Petrovac
DTD2	Kanal DTD – Mali Stapar	DTD11	Kanal DTD – Novo Miloševo
DTD3	Kanal DTD – Vrbas 1	DTD12	Kanal DTD – Melenci
DTD4	Kanal DTD – Vrbas 2	DTD13	Kanal DTD – Vlajkovac
DTD5	Kanal DTD – Srpski Miletić	DTD14	Kanal DTD – Kajtasovo
DTD6	Kanal DTD – Savino Selo	PB1	Plovni Begej – Srpski Itebej
DTD7	Kanal DTD – Bačko Gradište	PB2	Plovni Begej – Klek
DTD8	Kanal DTD – Novi Sad	KN1	Kanal Nadela – Uzdin
DTD9	Kanal DTD – Bač	KN2	Kanal Nadela - Starčevo

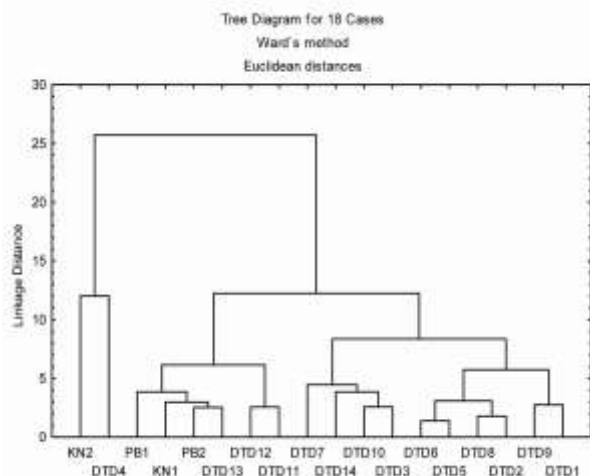
*Kanal DTD - Kanal Dunav-Tisa-Dunav

Analizirano je 25 pokazatelja kvaliteta vode: suspendovane materije, UV_{254nm} , HPK(Mn), BPK_5 , pH, ukupna tvrdoća, alkalitet, ukupni alkalitet, bikarbonati, slobodni CO_2 , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , rastvorni silikati, ukupne rastvorne soli, elektroprovodljivost, NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} , ukupni fosfor, rastvorni kiseonik i zasićenost vode kiseonikom.

Klaster analiza, analiza glavnih komponenti i faktor analiza rađene su primenom softverskog programa *Statistica 12*.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Primenom *klaster analize* mernih stanica po Vards-ovom (*Wards*) metodu dobijen je dendrogram prikazani na slici 1.



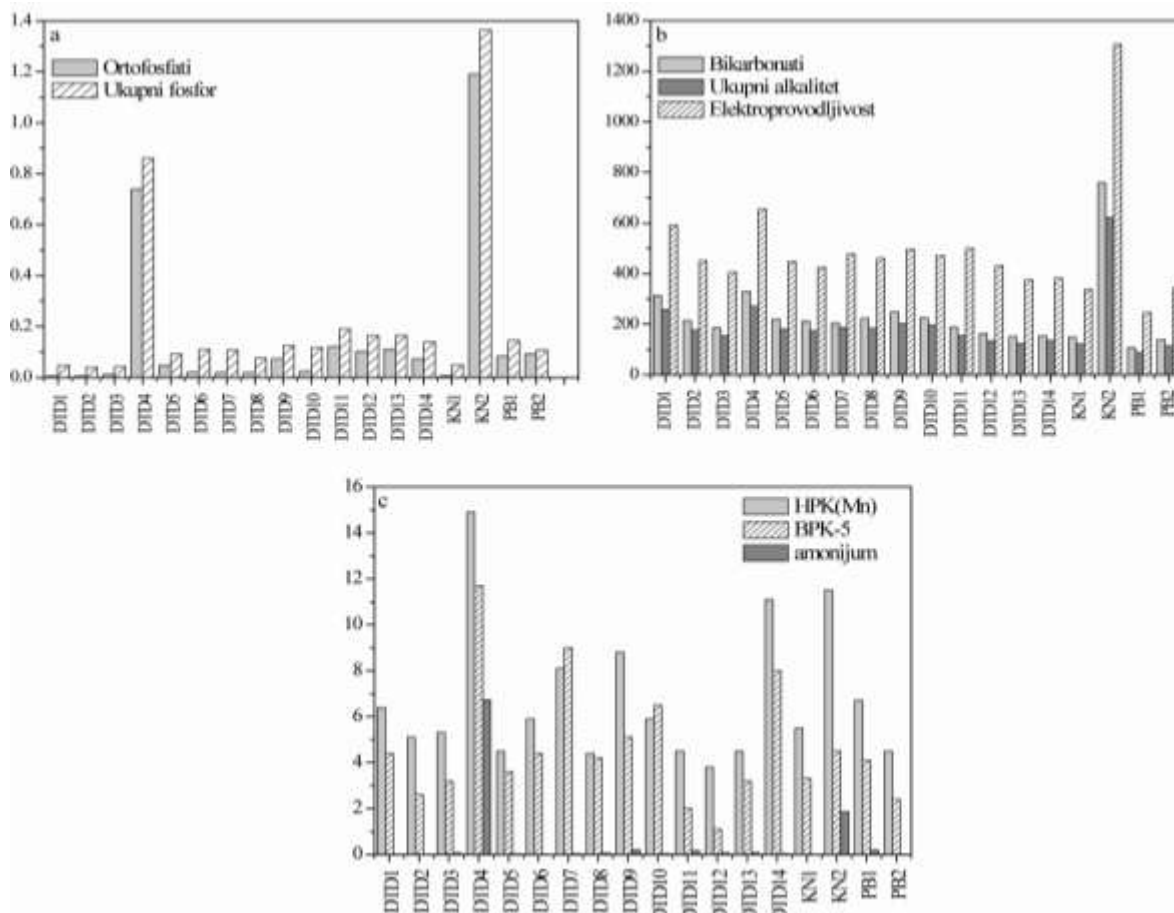
Slika 1 - Dendrogram ispitivanih vodnih tela

Rezultati klaster analize mernih stanica površinskih vodnih tela pokazuje formiranje jednog klastera sa dva veća podklastera, uz odstupanje dve merne stanice (KN2 i DTD4). Ovakvo grupisanje i odvajanje ove dve merne stanice od ostalih može se tumačiti na osnovu kvaliteta vode na ovim mernim mestima.

Kvalitet površinske vode na ove dve merne stanice, DTD4-Vrbas2 i KN2-Starčevo, po većini analiziranih parametara odstupa od ostalih mernih stanica, što je prikazano histogramima na slici 2. U okviru Kanala Nadela, posmatrano prema profilu ovog kanala, merna stanica KN2-Starčevo, nalazi se nizvodno u poređenju sa mernom stanicom KN1-Uzdin, a između njih se nalazi veliki broj različitih tačkastih zagađivača (industrija). Takođe, prisutan je i uticaj difuznog zagađenja sa poljoprivrednih površina, što naglo pogoršava kvalitet površinske vode na ovom području od ustave „Skrobara” do ustave „Ivanovo” [18]. Uticaj zagađenja se ogleda u većim detektovanim koncentracijama organskih, fosfornih i azotnih materija. Pored toga, ustanovljene su i više vrednosti alkaliteta, elektroprovodljivosti i bikarbonatima u vodi na ovim mernim stanicama u odnosu na ostale merne stanice (slika 2a-c). Velika razlika u kvalitetu površinske vode u okviru HsDTD na mernoj stanici DTD4-Vrbas2, u odnosu na ostale u okviru istog hidrosistema je takođe prisustvo različitih industrija, prvenstveno prehrambenog sektora. One ispuštaju otpadne vode sa velikom koncentracijom uglavnom organskih materija, fosfornih i azotnih jedinjenja (slike 2a i 2c) [19].

Na slici 1 uočava se prisustvo dva podklastera. Generalno posmatrajući, klaster analiza je podelila merne stanice prema regionu. U prvom podklasteru grupišu se merne stanice koje se geografski posmatrano nalaze u okviru Banata (DTD11-13, KN1, PB1 i PB2), dok se u drugom podklasteru nalaze merne stanice u okviru Bačke koje čine Veliki bački kanal (DTD1-10, izuzev DTD4). Uočavamo

da se u drugom podklasteru (Bačka) nalazi merne stanice DTD14-Kajtasovo, koja geografski pripada Banatu. Navedeni vodotok dolazi sa padina Karpata (Rumunija) i odlikuje ga veoma bujični režim koji je nepovoljan zbog nekontrolisane seče šuma na Karpatima i regulacionih radova u Rumuniji. To može biti jedan od razloga ovakvog ne pripadanja ove merne stanice bačkoj regiji.



Slika 2 - Histogrami sadržaja odabranih parametara na svim lokalitetima

Analiza glavnih komponenti je statistička metoda koja se vrlo često koristi u cilju redukcije velikog broja podataka kako bi se omogućila lakša i pravilnija analiza rezultata. Analiza je izvršena na standardizovanom setu podataka. U ovom radu je korišten kriterijum faktorskog opterećenja: $\geq 0,70$, jer se smatra da je tada povezanost parametara „visoka“. Za karakteristični koren (eng. *eigenvalues*) selektovane su vrednosti ≥ 1 [20].

Obradom navedenih parametara, analiza glavnih komponenti, sa četiri glavne komponente opisuje ukupan udeo varijansi od 89,6 %. Vrednosti pojedinih glavnih komponenti prikazane su u tabeli 2.

Prva glavna komponenta (PC1) doprinosi oko 59 % u ukupnom varijabilitetu i najviše je korelirana sa promenljivima: alkalitet, ukupna tvrdoća, bikarbonati, ukupni alkalitet, elektroprovodljivost,

ukupne rastvorne soli, ortofosfati, ukupni fosfor, natrijum, kalijum, kalcijum, magneziju, hloridi, sulfati, HPK(Mn) i UV_{254nm} . Ovaj faktor se može nazvati „hidrohemijski faktor“.

Drugu glavnu komponentu (PC2) najviše opisuju promenljive: rastvorni kiseonik, zasićenost vode kiseonikom, pH i slobodni CO_2 . U ukupnom varijabilitetu, druga glavna komponenta učestvuje sa oko 15 %. Ovaj faktor se može nazvati „ekološki faktor“. Kako se može zaključiti iz ovih rezultata jedna od namena vešačkih vodnih tela je prihvat otpadnih voda. Imajući to u vidu, ovaj faktor se može objasniti biohemijskim procesima razlaganja organskih materija u površinskim vodama. Sa druge strane, pozitivna korelacija (rastvoreni kiseonik, zasićenost vode kiseonikom i pH) i negativna korelacija (slobodni CO_2) pojedinih poka-

zatelja kvaliteta sa ovim faktorom ukazuje na relativne dnevne promene ovih pokazatelja u vodi, u toku 24 časa. Viša koncentracija CO₂ je najčešće u kombinaciji sa nižom koncentracijom rastvorenog kiseonika (viša respiracija). Naime, za površinske vode je karakteristično da se sa povećanjem

rastvorenog kiseonika u pojedinim slučajevima smanjuje CO₂ jer se pojavom aeracije omogućava njegov difuzioni povratak u atmosferu. Treba svakako imati na umu da je uzorkovanje vode izvršeno u letnjem periodu kada je i rastvorljivost CO₂ u vodi niža u poređenju sa zimskim periodom.

Tabela 2

	PC1	PC2	PC3	PC4
suspendovane materije	0,06744	-0,09057	-0,33541	0,85781
rastvorni kiseonik	0,43411	0,86340	-0,15718	0,02623
zasićenost vode kiseonikom	0,42391	0,86741	-0,16276	-0,01351
alkalitet	-0,96964	0,19089	0,06926	-0,08533
ukupna tvrdoća	-0,92978	0,27006	0,08328	-0,17916
slobodni CO ₂	-0,09889	-0,85981	-0,13656	-0,31266
bikarbonati	-0,97116	0,16267	0,09252	-0,10596
ukupni alkalitet	-0,96990	0,19067	0,06917	-0,08438
pH	-0,12022	0,87978	-0,29288	0,10683
elektroprovodljivost	-0,98225	0,14314	0,09855	-0,02070
ukupne rastvorne soli	-0,97363	0,17113	0,12521	0,03743
amonijum	-0,55418	-0,46658	-0,58562	-0,12657
nitriti	0,41750	-0,21891	0,46404	0,35206
ortofosfati	-0,94461	-0,19940	-0,08333	0,08613
ukupni fosfor	-0,94828	-0,17262	-0,10185	0,09908
rastvorni silikati	-0,65212	-0,11153	0,49038	0,21258
natrijum	-0,94641	0,11285	0,20430	0,15120
kalijum	-0,92062	-0,24173	-0,11869	0,17210
kalcijum	-0,78214	0,26785	0,21915	-0,21323
magnezijum	-0,93843	0,24723	0,01110	-0,15583
hloridi	-0,74714	-0,13481	0,05617	0,16173
sulfati	-0,90323	0,09901	0,21150	0,22105
BPK-5	-0,26725	0,07695	-0,92033	0,00984
HPK(Mn)	-0,63020	-0,11263	-0,67651	0,02000
UV ekstinkcija na 254 nm	-0,92818	-0,04607	-0,09072	0,08454
Karakterističan koren	14,636	3,842	2,599	1,313
ukupni varijabilitet, %	58,54	15,37	10,40	5,25
kumulativni varijabilitet, %	58,54	73,91	84,31	89,56

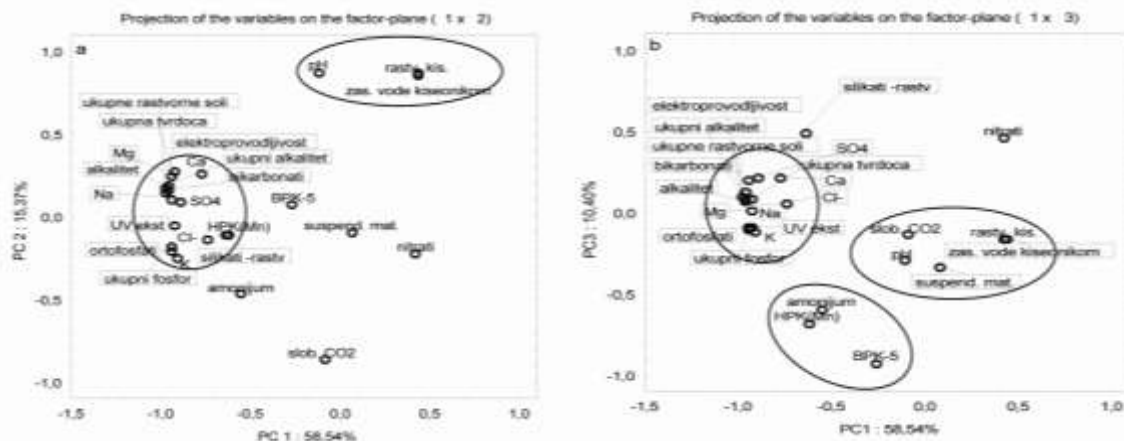
BPK₅ i HPK(Mn) opisuju treću glavnu komponentu (PC3), koja u ukupnom varijabilitetu učestvuje sa oko 10 %. Ovaj faktor se može nazvati „faktor tačkastog zagađenja“. Ovaj faktor se može objasniti činjenicom da velike količine rastvorene organske materije troše veće količine kiseonika. Organske materije iz komunalnih otpanih voda i otpadnih voda prehrambene industrije se sastoje prvenstveno od ugljenih hidrata, proteina i lipida, a kako se sadržaj rastvorenog kiseonika smanjuje podleže anaerobnim fermentacionim procesima pri čemu se formiraju amonijak i organske kiseline. Hidroliza ovih materija dovodi do pada pH vrednosti vode [21].

U četvrtoj glavnoj komponenti dominantna je samo jedna promenljiva, suspendovane materije što može opisivati difuzno zagađenje i upravljanje građevinskim objektima (brane, ustave) koje ima potencijalni efekat na kvalitet vode.

Na slici 3 prikazane su korelacije dobijenih vrednosti prve i druge, odnosno prve i treće glavne komponente. Sa slike 3a uočavamo grupisanje hidrohemijskih faktora kvaliteta površinskih voda (alkalitet, ukupna tvrdoća, bikarbonati, ukupni alkalitet, elektroprovodljivost, ukupne rastvorne soli, ortofosfati, ukupni fosfor, natrijum, kalijum, kalcijum, magnezijum, hloridi, sulfati, HPK(Mn), UV_{254nm} i rastvorni silikati) i faktora koji opisuju ekološko stanje voda (rastvorni kiseonik, zasićenost vode kise-

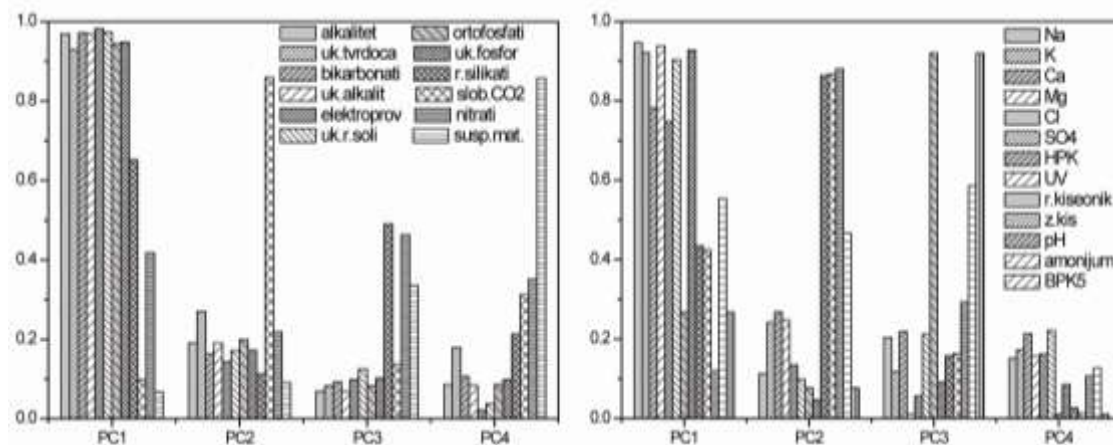
onikom i pH). Ostali faktori nisu grupisani i između njih postoji relativno veliki varijabilitet. Ovo su uglavnom faktori koji karakterišu tačkasta zagađenja i difuziju. Ovo je posledica upravljanja samim kontrolisanim sistemom tj. dirigovanog režima protoka vode. Brane i ustave koje se nalaze na veštačkim vodnim telima kao hidromorfološki pritisci, imaju značajan uticaj na dinamiku sedimenta i posredno na sadržaj suspendovanih materija. Sadržaj nitrata u vodi je, predpostavlja se, posledica difuznih pritiska na vodna tela. Pod ovim pritiscima se podrazumeva spiranje sa poljoprivrednih površina i ne-

adekvatno upravljanje šumama tj. šumskim zemljištem. Nitratni jon u akvatičnim sistemima predstavlja „jak kiseli anjon” pa samim tim njegovo prisustvo u višim koncentracijama može da ima za posledicu povećanje kiselosti vode [22]. Treba napomenuti da nitrati mogu biti generisani mikrobiološkom transformacijom amonijaka. U područjima sa intenzivnim uzgojem stoke i lociranim farmama (slučaj i u pojedinim područjima na teritoriji Vojvodine), uticaj amonijaka na kvalitet površinskih voda može biti značajan [23].



Slika 3 - Korelacija PC1/ PC2 (a) odnosno PC1/ PC3 (b) ispitivanih parametara

Korelacija PC1/ PC3 ispitivanih parametara prikazana je na slici 3b i pokazuje skoro identično grupisanje ispitivanih parametara. Pored hidrohemijskih faktora, grupišu se zajedno faktori koji karakterišu tačkasta zagađenja (BPK₅, HPK(Mn) i amonijum jon) i ona koja opisuju ekološki status voda.



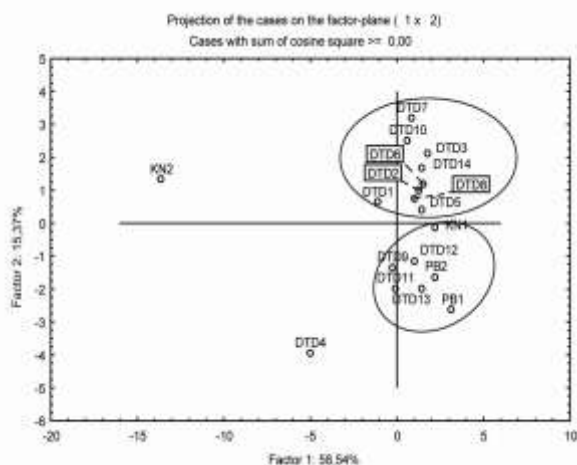
Slika 4 - Raspodela apsolutnih vrednosti individualnih promenljivih u okviru svake glavne komponente

Distribucija, tj. udeo pojedinih originalnih promenljivih u okviru svake glavne komponente predstavljani su na slici 4. Uočavamo da u formiranju PC1 učestvuju sve varijable koje određuju hidrohemijski sastav vode, u PC2 su dominantni oni parametri koji opisuju ekološki status voda, PC3 opisuju parametri koji potiču od difuzije, dok se su u PC4 dominantne samo suspendovane materije.

Na slici 5 prikazana je korelacija prve i druge glavne komponente za analizirane merne stanice.

Raspodela mernih stanica je skoro identična kao što se dobija i primenom klaster analize (slika 1). Uočava se odstupanje dve merne stanice (DTD4 i KN2) i grupisanje ostalih stanica na osnovu geografskog pripadanja. Merna stanica DTD9, koja se geografski gledano nalazi u Bačkoj, u ovoj analizi je pridružena mernim stanicama na teritoriji Banata, dok se u grupi mernih stanica sa Bačke strane nalazi stanica DTD14 koja pripada Banatu. Razlog ovako odstupanja merne stanice DTD9

može biti prvenstveno zbog nešto većeg sadržaja fosfora u odnosu na sve merne stanice u Bačkoj, a približno isto sadržaju fosfora na Banatskim mer-
nim stanicama (slika 2a).



Slika 5 - Korelacija faktor1/ faktor2 ispitivanih vodnih tela

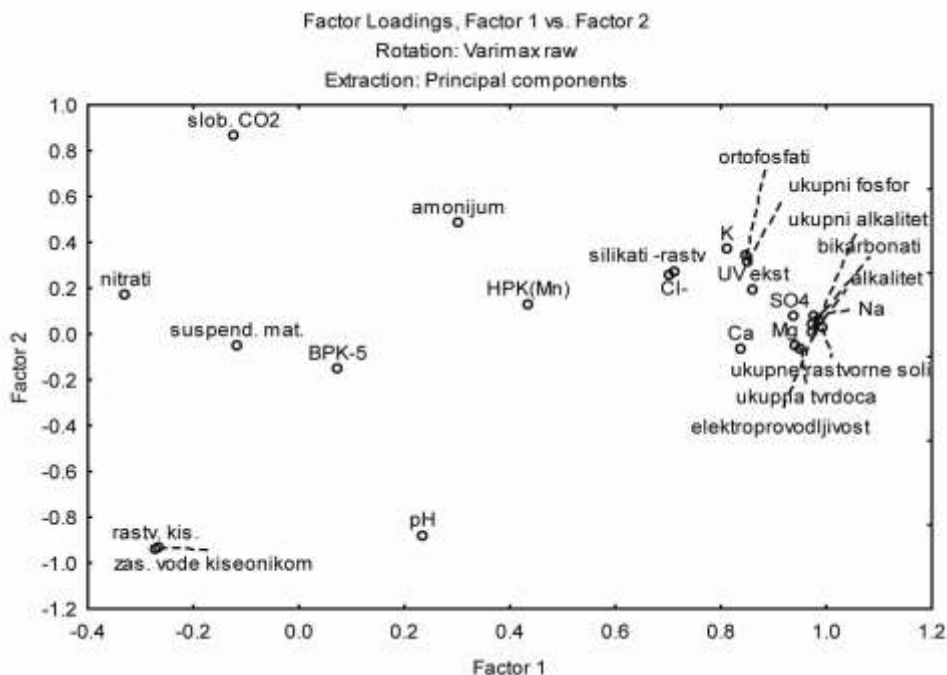
Fosfor je pored azota, i neorganskog ugljenika ključni element fotosinteze, ali i rasta algi i biljaka. Od velike važnosti je razumeti kompleksnost procesa eutrofikacije, ne samo u cilju procene ekološkog statusa vodnog tela, već i u cilju planiranja odgovarajućih mera za ublažavanje. Na ovim mer-
nim stanicama je takođe bitno izvršiti analizu i klasifikaciju sedimenta, upravo iz tog razloga što je interakcija između vode i sedimenta u rekama na prvom mestu važna zbog fosfora, koji se kao čes-

tični može taložiti na rečnom dnu [24]. Ukoliko je koncentracija rastvorljivog reaktivnog fosfora u vodenom stubu veća nego ravnotežna koncentracija fosfora, fosfor će se adsorbovati na sedimentu [25].

Za razliku od analize glavnih komponenta koja uzima u obzir i zajedničke i specifične faktore, *faktorska analiza* pokušava da otkrije i objasni samo specifične faktore koji su zastupljeni kod dve ili više varijabli. Faktor analiza izvršena je uz ortogonalnu (varimax) rotaciju [26, 27]. U ovom radu je korišten kriterijum faktorskog opterećenja: $\geq 0,70$, isto kao i u slučaju PCA. Prilikom rotacije zadržan je kumulativni procenat varijacija izabranih faktora. Za karakteristični koren (eng. *eigenvalues*) selektovane su vrednosti ≥ 1 [20].

Rezultati primene Faktor analize za veštačka vodna tela prikazani su u tabeli 3. Dobijena su četiri faktora koja objašnjavaju oko 90 % ukupnog varijabiliteta.

Raspodela promenljivih u okviru faktora je identična onoj dobijenoj za glavne komponente (tabela 2). Prvi faktor opisuje hidrohemijske pokazatelje kvaliteta voda, drugi ekološki status voda, treći je faktor tačkastog zagađenja, dok su u četvrtom faktoru dominantne samo suspendovane materije koje mogu karakterisati difuziju. Na slici 6. prikazana je korelacija prvog i drugog faktora gde se uočava istovetna raspodela promenljivih kao ona koje je dobijena prilikom analize glavnih komponenti (slika 3a.). Grupišu se hidrohemijski pokazatelji kvaliteta voda, ekološki faktori i zapaža se velika varijacija faktora koji potiču od tačkastih zagađenja i difuzije.



Slika 6 - Korelacija prvog i drugog faktora ispitivanih parametara

Tabela 3 - Rezultati faktor analize za ispitivana vodna tela

	faktor 1	faktor 2	faktor 3	faktor 4
suspendovane materije	-0,11690	-0,05288	0,18432	0,90036
rastvorni kiseonik	-0,27173	-0,93899	-0,02435	-0,05624
zasićenost vode kiseonikom	-0,26413	-0,93802	-0,01099	-0,09488
alkalitet	0,97530	0,00658	0,16246	-0,10517
ukupna tvrdoća	0,95220	-0,06639	0,14734	-0,20896
slobodni CO ₂	-0,12302	0,86202	0,26781	-0,18809
bikarbonati	0,97511	0,03940	0,14585	-0,12546
ukupni alkalitet	0,97552	0,00673	0,16249	-0,10419
pH	0,23515	-0,88201	0,22422	0,04620
elektroprovodljivost	0,98677	0,05299	0,13138	-0,04010
ukupne rastvorne soli	0,99249	0,02245	0,09319	0,00998
amonijum	0,30327	0,48252	0,74744	0,01769
nitрати	-0,32800	0,16798	-0,57859	0,30158
ortofosfati	0,84709	0,34283	0,30746	0,12958
ukupni fosfor	0,85263	0,31372	0,32203	0,14187
rastvorni silikati	0,71422	0,27265	-0,33668	0,15990
natrijum	0,97663	0,07414	-0,00132	0,11713
kalijum	0,81181	0,36642	0,32610	0,22371
kalcijum	0,83845	-0,06862	-0,01256	-0,26290
magnezijum	0,94139	-0,05494	0,21676	-0,17313
hloridi	0,70492	0,25692	0,11070	0,17471
sulfati	0,93723	0,07413	-0,02779	0,18593
BPK-5	0,07394	-0,15520	0,93656	0,13322
HPK(Mn)	0,43459	0,12646	0,80306	0,13465
UV ekstinkcija na 254 nm	0,86086	0,19039	0,29888	0,11122
Karakterističan koren	14,636	3,842	2,599	1,313
ukupni varijabilitet, %	58,54	15,37	10,40	5,25
kumulativni varijabilitet, %	58,54	73,91	84,31	89,56

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu su primenom tri multivarijalne statističke metode klaster analize, analize glavnih komponenti i faktor analize obrađeni rezultati analize 18 mernih stanica na veštačkim vodnim telima (HsDTD, Kanal Nadela i Plovni Begej) prikupljenim u toku avgusta meseca 2011. godine na teritoriji AP Vojvodine. Sve tri primenjene metode vrše podelu ispitivanih vodnih tela na sličan način, na osnovu teritorijalnog pripadanja mernih stanica (Banat i Bačka) i na osnovu kvaliteta vode. Takođe, dobijeno je grupisanje ispitivanih pokazatelja kvaliteta vode u sledeće faktore: hidrohemijski faktor, ekološki faktor, faktor tačkastog zagađenja i difuzije. Pojedinačna odstupanja, objašnjena su odgovarajućim razlikama na pojedinim mernim stanicama u odnosu na ostale. Na osnovu dobijenih rezultata potvrđuje se polazna pretpostavka, da se primenom raznih statističkih metoda mogu identifikovati glavni faktori koji imaju uticaj na ekološki status i, u ovom slučaju, ekološki potencijal vodnih tela na osnovu čega se može preispitati i optimizovati postojeća mreža monitoringa. **Pored toga**, analizom su izdvojena površinska vodna tela na kojima je potrebno sprovesti istovremeni monitoring biolo-

ških elemenata kvaliteta kako bi se utvrdilo da li hemijski pokazatelji kvaliteta osiguravaju funkcionisanje ekosistema.

Zahvalnica

Ovi rezultati su deo projekata: OI-172013 i III43005 Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Dalmacija B., Bečelić M., Ivančev-Tumbas I., Teodorović I., (2004), *Voda - tipovi, legislativa i standardi, Poglavlje u monografiji „Analiza vode - kontrola kvaliteta, tumačenje rezultata“*, Prirodno-matematički fakultet – Departman za hemiju, Novi Sad, 1-36 (a).
- [2] Bečelić-Tomin M., Leovac A., Kerkez Đ., Krčmar D., Dalmacija M., (2012), *Monitoring površinskih, podzemnih voda, sedimenta i biote, Parametri kvaliteta vode i sedimenta i tumačenje standarda (imisioni standardi)* (Urednik Dalmacija B.), PMF-Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Novi Sad, 133-208.
- [3] Arslan O., (2013), *Spatially weighted principal component analysis (PCA) method for water quality analysis*, Water Resources, 40, 3, 315-324.
- [4] Fan L.O., Wu Z.C., Zhang Q.Y., Liu Q., Yu B., (2013), *Multivariate statistical methods for recognition of water quality feature in Meiliang Bay*

- of Taihu Lake, Journal of Zhejiang University, Science Edition, 40, 3, 308-313.
- [5] Filik Iscen C., Emiroglu Ö., Ilhan S., Arslan N., Yilmaz V., Ahiska S., (2008), *Application of multivariate statistical techniques in the assessment of surface water quality in Uluabat Lake, Turkey*, Environmental monitoring and assessment, 144, 1-3, 269-276.
- [6] Heikka R.A., (2008), *Multivariate monitoring of water quality: A case study of Lake Simpele, Finland*, Journal of Chemometrics, 22, 11-12, 747-751.
- [7] Magyar N., Hatvani I.G., Székely I.K., Herzig A., Dinka M., Kovács J., (2013), *Application of multivariate statistical methods in determining spatial changes in water quality in the Austrian part of Neusiedler See*, Ecological Engineering, 55, 82-92.
- [8] Mrazovac S., Vojinović-Miloradov M., Matić I., Marić N., (2013), *Multivariate statistical analyzing of chemical parameters of groundwater in Vojvodina*, Chemie der Erde - Geochemistry, 73, 2, 217-225.
- [9] Papazova P., Simeonova P., (2013), *Environmetric data interpretation to assess the water quality of Maritsa River catchment*, Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering, 48, 8, 963-972.
- [10] Sathizamurthi S., Saravanan S., (2013), *Multivariate analysis and quality assessment of irrigation water of coastal areas of Chidambaram taluk*, International Journal of Earth Sciences and Engineering, 6, 1, 178-184.
- [11] Simeonov V., Sarbu C., Massart D.L., Tsakovski S., (2001), *Danube river water data modelling by multivariate data analysis*, Mikrochimica Acta, 137, 3-4, 243-248.
- [12] Singh P.K., Malik A., Sinha S., (2005), *Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques—a case study*, Analytica Chimica Acta, 538, 1-2, 355-374.
- [13] Wu C.N., Liu W.C., (2013), *Watershed water quality assessment in the Taipei water management district using multivariate statistical techniques*, Journal of Taiwan Agricultural Engineering, 59, 2, 29-50.
- [14] Otto M., *Chemometrics Statistics and Computer Application in Analytical Chemistry*, Wiley-VCH, Weinheim, Germany, 1999.
- [15] Vandeginste B., Massart D., Buydens L., Jong S., Lewi P., Smeyers-Verbeke J., (1998), Chapter 31, *Handbook of Chemometrics and Qualimetrics: Part B*, Elsevier, 87-158.
- [16] Vastag G., Apostolov S., Perišić-Janjić N., Matijević B., (2013), *Multivariate analysis of chromatographic retention data and lipophilicity of phenylacetamide derivatives*, Analytica Chimica Acta, 767, 1, 44-49.
- [17] Anon., (2011), *Godišnji izveštaj Ministarstva energetike, razvoja i zaštite životne sredine Republike Srbije*, godina.
- [18] Dalmacija B. et al, (2007), *Strategija za „Rekonstrukciju i rehabilitaciju regionalnog podsistema Nadela“*, broj projekta: 0401-188/1, PMF Novi Sad, (a).
- [19] Dalmacija B. et al, (2007), *Hemijski kvalitet vode i sedimenta Velikog Bačkog kanala*, broj projekta: 0401-1277/1, PMF Novi Sad, (b).
- [20] Pekey H., Karakaş D., Bakoğlu M., (2004), *Source apportionment of trace metals in surface waters of a polluted stream using multivariate statistical analyses*, Marine Pollution Bulletin, 49, 9-10, 809-818.
- [21] Dalmacija B., Agbaba J., (2004), *Metode za određivanje ukupnih organskih materija*, Analiza vode- kontrola kvaliteta, tumačenje rezultata (Editori: Dalmacija, B i Ivančev-Tumbas I.), Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, 152-188 (b).
- [22] Aber J.D., Nadelhoffer K.J., Steudler P., Melillo J.M., (1989), *Nitrogen Saturation in Northern Forest Ecosystems*, BioScience, 39, 6, 378-386.
- [23] Aherne J., Farrell E.P., (2000), *Final Report: Determination and mapping of critical loads for sulphur and nitrogen and critical levels for ozone in Ireland*. Dublin: Environmental Protection Agency, 212.
- [24] House W.A., (2003), *Geochemical cycling of phosphorus in rivers*, Applied Geochemistry, 18, 5, 739-745.
- [25] House W.A., Denison F.H., (1997), *Nutrient dynamics in a lowland stream impacted by sewage effluent: Great Ouse, England*, Science of Total Environment, 205, 1, 25-49.
- [26] Love D., Hallbauer D., Amos A., Hranova R., (2004), *Factor analysis as tool in groundwater quality management: two southern African case studies*, Physics and Chemistry of the Earth, 29, 15-18, 1135-1143.
- [27] Singh K.P., Malik A., Mohan D., Sinha S., (2004), *Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in the water quality of Gomti River (India): a case study*, Water Research, 38, 18, 3980-3992.

ABSTRACT

MULTIVARIATE STATISTICAL ANALYSIS OF PARAMETERS OF SURFACE WATER QUALITY IN VOJVODINA

Monitoring of chemical and physical-chemical parameters of surface water is a very important factor in the quality control and management. Surface water quality is largely determined by atmospheric (natural process) and the discharge of industrial and municipal waste water (anthropogenic process). By applying different statistical methods (multivariate statistical analysis) can significantly reduce the bulkiness of the available data obtained by monitoring, and therefore the correct interpretation of the results of the quality and the ecological status of water. In this paper, using multivariate statistical analysis (cluster analysis, factor analysis and principal components analysis) processed the results of the analysis of surface water in AP Vojvodina during the 2011 year. Based on the results of statistical analysis it could be identified the main factors that have an impact on the ecological status and ecological potential of water flows. In this way it can improve the existing monitoring network.

Keywords: Water quality, Cluster analysis, Principal components analysis, Factor analysis

Scientific paper

Received for Publication: 14. 09. 2013.

Accepted for Publication: 22. 11. 2013.