
CORRELATION OF FECAL POLLUTION INDICATORS WITH PHYSICAL AND CHEMICAL PARAMETERS OF WATER OF THE SAVA RIVER NEAR ŠABAC (SERBIA)

Milan Glišić

Academy of Applied Studies Šabac, Unit for Agricultural and Business Studies and Tourism, Serbia,
milanglisic88@gmail.com

Abstract: To assess the level of surface water pollution, we traditionally rely on the application of fecal indicators because their concentration largely depends on the degree of wastewater discharge. However, the presence of these microorganisms in water may also depend on the abiotic characteristics of surface water. This study aims to determine the interdependence of the abundance of fecal indicators and the values of physical and chemical parameters of surface water. For this research, water monitoring data from the Sava River near Šabac during the period from 2015 to 2019 (from June 1st to August 31st during a year and from 7:30 a.m. to 1:15 p.m. during a day) were used. The sampling was carried out at a distance of 20 meters from the coast and a depth of 0.5 m. Determination of physical and chemical parameters (temperature, pH value, electrical conductivity, suspended matter, turbidity, dissolved oxygen, oxygen saturation, ammonium ions, and nitrogen compounds) was performed using standardized methods. The groups of fecal bacteria monitored are total coliforms, fecal coliforms, and fecal enterococci. Bacteria detection was performed using a method based on the enzymatic decomposition of different substrates. Enumeration of bacteria is determined based on the number of positive enzymatic reactions, which was translated into the most probable number of bacteria in 100 ml of water sample (MPN/100 ml). Correlation and regression analyzes were performed to determine the mutual dependence between physical and chemical parameters and the number of fecal indicators. The abundance of fecal indicators in the collected samples did not show statistically significant correlations with physical and chemical parameters of water ($r < 0.3$, $p > 0.05$). However, there were certain regularities when it comes to the sign of the correlation coefficient. Although low, there was a negative correlation between all three groups of fecal indicators and temperature, pH value, electrical conductivity, oxygen, and nitrate concentration, while low positive correlations existed between all three groups of fecal indicators and concentration of suspended matter and turbidity. The concentration of ammonium ions had a weak positive correlation with the concentration of fecal coliforms and fecal enterococci, while the correlation coefficient between this factor and the concentration of total coliforms was close to zero. The nitrite concentration was in a very weak negative correlation with the concentration of total coliforms and fecal coliforms, while according to the concentration of fecal enterococci, this factor showed an almost complete absence of correlation ($r \approx 0$). Based on the results, it can be concluded that the decisive role in determining the abundance of fecal indicators in the water of the Sava River near Šabac is not played by the physical and chemical parameters of water, but by some other factors, primarily anthropogenic. Therefore, their abundance in surface water can be considered a good indicator of wastewater pollution.

Keywords: fecal indicators, coliforms, water parameters, Sava River.

KORELACIJA INDIKATORA FEKALNOG ZAGAĐENJA SA FIZIČKO-HEMIJSKIM PARAMETRIMA VODE REKE SAVE KOD ŠAPCA (SRBIJA)

Milan Glišić

Akademija strukovnih studija Šabac, Odsek za poljoprivredno-poslovne studije i turizam, Srbija,
milanglisic88@gmail.com

Rezime: Za procenu nivoa zagađenja površinskih voda, tradicionalno se oslanjamo na primenu fekalnih indikatora, jer njihova koncentracija u velikoj meri zavisi od stepena ispuštanja otpadnih voda. Međutim, zastupljenost ovih mikroorganizama u vodi može zavisiti i od abiotičkih karakteristika površinske vode. Cilj ovog rada je utvrđivanje međuzavisnosti brojnosti fekalnih indikatora i vrednosti fizičko-hemijskih parametara površinske vode. Za potrebe ovog istraživanja, korišćeni su podaci monitoringa reke Save kod Šapca, tokom perioda od 2015. do 2019. godine (od 1. juna do 31. avgusta tokom godine i od 7:30 do 13:15 tokom dana). Uzorkovanje je vršeno na udaljenosti od 20 metara od obale i na dubini od 0,5 m. Određivanje fizičkih i hemijskih parametara (temperatura, pH vrednost, elektroprovodljivost, suspendovane materije, zamućenost, rastvoreni kiseonik, zasićenost kiseonikom, amonijumovi joni i azotna jedinjenja) izvršeno je uz pomoć standardizovanih metoda. Praćene su sledeće grupe fekalnih bakterija:

ukupni koliformi, fekalni koliformi i fekalne enterokoke. Detekcija bakterija izvršena je metodom zasnovanom na enzimskom razlaganju određenih supstrata. Enumeracija bakterija određena je na osnovu broja pozitivnih enzimskih reakcija, što je prevedeno u najverovatniji broj bakterija na 100 ml uzoraka (MPN/100 ml). Za određivanje međusobne uslovljenosti između fizičko-hemijskih parametara i brojnosti fekalnih indikatora urađene su korelacione i regresione analize. Brojnost fekalnih indikatora u prikupljenim uzorcima nije pokazala statistički značajnije korelacije sa fizičko-hemijskim parametrima vode ($r < 0,3$; $p > 0,05$). Ipak, postojale su određene pravilnosti kada je reč o predznaku koeficijenta korelacije. Iako niska, negativna korelacija postojala je između sve tri grupe fekalnih indikatora i temperature, pH vrednosti, elektroprovodljivosti, koncentracije kiseonika i nitrata, dok su niske pozitivne korelacije postojale između sve tri grupe fekalnih indikatora i koncentracije suspendovanih materija i zamućenosti. Koncentracija amonijum jona bila je u slaboj pozitivnoj korelaciji sa koncentracijom fekalnih koliforma i fekalnih enterokoka, dok je između ovog faktora i koncentracije ukupnih koliforma koeficijent korelacije bio približan nuli. Koncentracija nitrata bila je u veoma slaboj negativnoj korelaciji sa koncentracijom ukupnih koliforma i fekalnih koliforma, dok je prema koncentraciji fekalnih enterokoka ovaj faktor pokazao skoro potpuno odsustvo korelacije ($r \approx 0$). Na osnovu rezultata, može se zaključiti da presudnu ulogu u određivanju brojnosti fekalnih indikatora u vodi reke Save kod Šapca nemaju fizičko-hemijski parametri vode, već neki drugi faktori, prvenstveno antropogeni. Prema tome, njihova brojnost u površinskoj vodi se može smatrati dobrim indikatorom zagađenja otpadnim vodama.

Ključne reči: fekalni indikatori, koliformne bakterije, parametri vode, reka Sava.

1. UVOD

Kao fekalni indikatori su predlagane i korišćene različite grupe mikroorganizama (Gerba, 2009). Ukupni koliformi se danas smatraju najmanje pouzdanom grupom fekalnih indikatora u proceni kvaliteta vode i rizika po zdravlje ljudi, jer je za sve njihove predstavnike utvrđeno da mogu rasti na prirodnim površinama, pa i u vodovodnim sistemima (Ferguson & Signoretto, 2011). Primena fekalnih koliforma kao indikatora zagađenja takođe ima određena ograničenja. Tu se pre svega misli na mogućnost njihovog rasta u spoljašnjoj sredini i manju otpornost u tretmanu vode u poređenju sa virusima i protistima. Pored toga, njihovom primenom ne možemo razlikovati fekalno zagađenje ljudskog porekla od životinjskog. Česta pojava fekalnih bakterija u nezagađenim tropskim vodama, kao i njihova sposobnost da u takvoj sredini prežive znatan period vremena van crevnog trakta, ukazuje na to da se ovi organizmi prirodno mogu javljati u vodama tropskih područja, što znači da za ove delove sveta treba razviti nove metode indikacije zagađenosti (Gerba, 2009).

Dok fekalni koliformi kao grupa sadrže bakterijske vrste koje nisu obavezno fekalnog porekla, *E. coli* je vrsta koja je karakterističnija za feces čoveka i toplokrvnih životinja, tako da njeno prisustvo predstavlja pouzdaniji pokazatelj fekalnog zagađenja u poređenju sa celom grupom fekalnih koliforma (Devane et al., 2020). *E. coli* se smatra ustaljenim članom crevne bakterijske zajednice, s obzirom da je u poređenju sa ostalim bakterijskim rodovima njeno prisustvo manje zavisno od načina ishrane (Leclerc et al., 2001). Iako crevni trakt predstavlja primarno stanište *E. coli*, ona se može naći i u kanalizacionoj vodi, prečišćenoj otpadnoj vodi, prirodnim vodama, pesku, sedimentu, zemljištu, na vegetaciji (Ferguson & Signoretto, 2011).

Enterokoke su gram-pozitivne izdužene koke, koje se javljaju pojedinačno, u parovima ili u lancima. Pod terminom „fekalne streptokoke“ se uglavnom podrazumevaju predstavnici rodova *Enterococcus* i *Streptococcus* i ove bakterije su svrstavane u tzv. grupu D streptokoka (Gerba, 2009). Enterokoke su korisni indikatori fekalnog zagađenja vode jer su pre svega uvek prisute u fecesu (Jokinen et al., 2020). Generalno, za fekalne streptokoke se smatra da imaju određene prednosti kao indikatori u poređenju sa koliformima (Gerba et al., 2009): retko se razmnožavaju u vodi, otpornije su na sredinske uticaje i hlorisanje i u spoljašnjoj sredini opstaju duži vremenski period.

U ovom istraživanju praćeni su različiti parametri vode reke Save kod Šapca, tokom letnje sezone u periodu od 2015. do 2019. godine. Cilj ovog rada je utvrđivanje međuzavisnosti brojnosti fekalnih indikatora i vrednosti fizičko-hemijskih parametara vode.

2. MATERIJALI I METODE

Za potrebe izrade ovog rada, korišćeni su podaci monitoringa površinskih voda, tj. vode reke Save. Monitoring sprovodi Zavod za javno zdravlje Šabac, na zahtev javnog komunalnog preduzeća Stari grad Šabac. Prikupljanje uzoraka za potrebe monitoringa vode reke Save sprovodi se na kupalištu Stari grad, na 20 metara udaljenosti od obale. Dubina sa koje se uzorak uzima iznosi 0,5 m. Uzorci vode se prikupljaju uz pomoć limenog kanistera, a zatim se prebacuju u sterilnu staklenu bocu, zapremine 5 l. Kvalitet vode reke Save kod Šapca se kontroliše u toku kupališne sezone, što znači da se uzorkovanje vrši tokom juna, jula i avgusta meseca. Uzorci se prikupljaju u razmaku od sedam dana, s tim da se uzorkovanje ne vrši onda kada vremenski uslovi nisu odgovarajući za

rekreativne aktivnosti na Savi, tj. u slučaju kišovito i nedovoljno toplog vremena. Za izradu ovog rada, korišćeni su podaci monitoringa tokom perioda od 2015. do 2019. godine.

Određivanje fizičko-hemijskih parametara vode vršeno je standardnim metodama. Akreditovane metode i standardi određivanja fizičko-hemijskih karakteristika vode, kao i jedinice mere, date su u tabeli 1.

Tabela 1: Metode ispitivanja fizičko-hemijskih parametara vode i njihove jedinice

Parametar	Metoda ispitivanja	Jedinica mere
Temperatura	Određivanje termometrom, SRPS.H.Z1.106	°C
pH	SRPS.H.Z1.111:1987	/
Elektroprovodljivost	Standardne metode, metoda P-IV-11	µS/cm na 20 °C
Suspendovane materije	Gravimetrijske standardne metode, P-IV-9	mg/l
Zamućenost	Standardne metode, metoda P-IV-4/B	NTU (eng. Nephelometric Turbidity Units)
Rastvoreni kiseonik	HANNA 9147	mgO ₂ /l
Zasićenost kiseonikom	Računski	%
Amonijum jon	Merck amonijum test, 1.14752	mgN/l
Nitrati	Merck nitrat test, 1.14773	mgN/l
Nitriti	Merck nitrit test, 1.14776	mgN/l

Detekcija fekalnih indikatora vršena je metodom koja se zasniva na enzimskom razlaganju određenih supstrata. Pri ovome, brojnost bakterija se određuje na osnovu broja pozitivnih enzimskih reakcija, koji se uz pomoć tabela i statističke analize prevodi u tzv. najverovatniji broj bakterija (*Most Probable Number*) u 100 ml uzorka vode (MPN/100 ml). Referentni metod ispitivanja brojnosti ukupnih i fekalnih koliforma je ISO 9308-2 2012, a fekalnih enterokoka VM66. Za detekciju ukupnih i fekalnih koliforma korišćen je test pod nazivom Colilert-18[®]. Ova metoda se zasniva na primeni tzv. tehnologije definisanih supstrata. Definisani supstrat je mešavina orto-nitro-fenil-β-D-galaktopiranozida (ONPG) i 4-metilumbeliferil-β-D-glukuronida (MUG). Pošto koliformne bakterije uz pomoć β-D-galaktosidaze mogu vršiti razlaganje ONPG jedinjenja, dolazi do formiranja o-nitrofenola, koje daje žutu obojenost, što se može vizuelno registrovati. S druge strane, *E. coli*, kao fekalni (termotolerantni) koliform, uz pomoć β-D-glukuronidaze, može vršiti razlaganje i MUG jedinjenja. Pri ovome, nastaje fluorescentno jedinjenje, 4-metilumbeliferon, koje se može registrovati uz pomoć UV lampi (Kinzelman et al., 2005). Za detekciju fekalnih enterokoka takođe je korišćena enzimska metoda, koja podrazumeva primenu testa pod nazivom Enterolert-E[®]. Ova metoda se takođe zasniva na primeni tehnologije definisanih supstrata, pri čemu se u ovom slučaju koristi 4-metilumbeliferil-β-D-glukozid (MUD) koji se dodaje selektivnoj podlozi. Uz pomoć enzima β-glukozidaze, enterokoke su u stanju da vrše razlaganje ovog jedinjenja. Pri ovome se takođe formira fluorescentni 4-metilumbeliferon, koji se registruje uz pomoć UV svetla (Budnick et al., 1996).

Enumeracija, tj. određivanje brojnosti ukupnih i fekalnih koliforma i fekalnih enterokoka, vrši se primenom Quanti-Tray sistema. U 100 ml uzorka vode sobne temperature, koji se sipa u sterilne staklene posude, dodaje se sadržaj jednog pakovanja Colilert 18, odnosno Enterolert-E reagensa, proizvođača *IDEXX Laboratories, Inc.* Colilert 18 reagens predstavlja mešavinu ONPG i MUG jedinjenja i koristi se pri određivanju brojnosti ukupnih i fekalnih koliforma, dok Enterolert-E reagens predstavlja MUD jedinjenje i koristi se pri određivanju brojnosti fekalnih enterokoka. Posuda se zatim zatvori i promućka dok se reagens ne rastvori. Mešavina uzorka i reagens se sipa u specijalnu Quanti-Tray ploču sa komorama, koja se zapečati pomoću *IDEXX* Quanti-Tray zaptivača.

Dobijeni podaci su obrađeni statističkim metodama kako bi se ustanovila njihova značajnost, kao i njihov međusobni odnos, tj. korelacija. Celokupna statistička obrada podataka je urađena uz pomoć programa Microsoft Excel, pod Windows 10 operativnim sistemom. Da bi se odredila povezanost i međusobna uslovljenost između pojedinačnih fizičko-hemijskih faktora i brojnosti fekalnih indikatora i između pojedinačnih grupa fekalnih indikatora, urađene su korelacione i regresione analize. Za određivanje korelacije korišćen je Pearsonov koeficijent korelacije (r), koji meri jačinu i smer linearne povezanosti (korelacije) između dve varijable, prema sledećoj jednačini:

$$r = \sigma_{xy} / \sigma_x \sigma_y,$$

gde je σ_{xy} kovarijansa između varijabli X i Y , a σ_x i σ_y su standardne devijacije varijabli X i Y . Vrednost koeficijenta korelacije uvek je između -1 i 1. Ako je $r > 0$, radi se o pozitivnoj korelaciji, a ako je $r < 0$, korelacija je negativna. Ukoliko je $r = 0$, to znači da korelacija u potpunosti odsustvuje, a ako je $r = 1$ ili $r = -1$, onda se radi o potpunoj korelaciji. Definisanje jačine korelacije na osnovu Pearsonovog koeficijenta izvršeno je na sledeći način: $0 < |r| < 0,3$ – beznačajna korelacija, $0,3 < |r| < 0,5$ – slaba korelacija, $0,5 < |r| < 0,7$ – srednje jaka korelacija, $0,7 < |r| < 0,9$ –

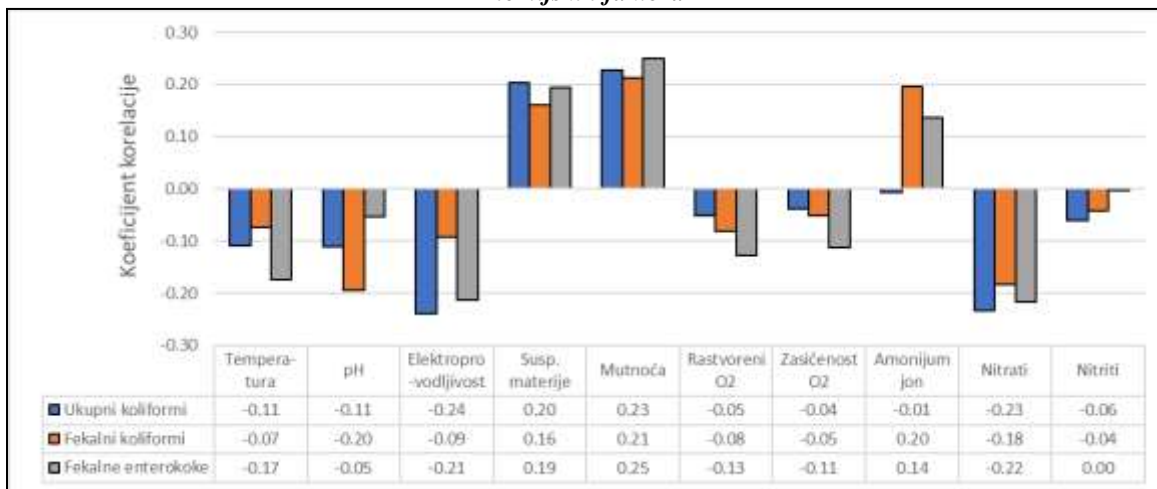
jaka korelacija i $0,9 < |r| < 1$ – veoma jaka korelacija (Hinkle et al., 2003). Korelacione metode su vršene uz pomoć programa Microsoft Excel.

U slučaju postojanja odgovarajuće korelacije (kada je $|r| > 0,3$), u programu Microsoft Excel vršena je analiza linearne regresije, pri čemu su određeni: jednačina linearne regresije ($Y = aX + b$), koja prikazuje matematički odnos varijabli; p vrednost, koja ukazuje na statističku značajnost korelacije (kada je $p < 0,05$, korelacija se smatra statistički značajnom); R^2 vrednost, koja nam govori koliko procenata varijabilnosti jednog parametra može biti objašnjeno variranjem drugog parametra.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

U periodu od 2015. do 2019. godine, brojnost fekalnih indikatora u uzorcima prikupljenim tokom juna, jula i avgusta, ne pokazuje statistički značajnije korelacije sa fizičko-hemijskim faktorima vode, kao što su temperatura, pH vrednost, elektroprovodljivost, koncentracija suspendovanih materija, zamućenost, koncentracija kiseonika, amonijum jona, nitrata i nitrita ($r < 0,3$, $p > 0,05$). Ipak, postoje određene pravilnosti kada je reč o predznaku koeficijenta korelacije. Iako niska, negativna korelacija postoji između sve tri grupe fekalnih indikatora i temperature, pH vrednosti, elektroprovodljivosti, koncentracije kiseonika i nitrata, dok niske pozitivne korelacije postoje između sve tri grupe fekalnih indikatora i koncentracije suspendovanih materija i zamućenosti. Koncentracija amonijum jona je u slaboj pozitivnoj korelaciji sa koncentracijom fekalnih koliforma i fekalnih enterokoka, dok je između ovog faktora i koncentracije ukupnih koliforma koeficijent korelacije približan nuli. Koncentracija nitrita je u veoma slaboj negativnoj korelaciji sa koncentracijom ukupnih koliforma i fekalnih koliforma, dok prema koncentraciji fekalnih enterokoka ovaj faktor pokazuje skoro potpuno odsustvo korelacije ($r \approx 0$, sl. 1).

Slika 1: Grafički prikaz koeficijenata korelacije koncentracije fekalnih indikatora u vodi i vrednosti fizičko-hemijskih faktora



Temperatura svakako predstavlja faktor sa najznačajnijim efektom na hemijske, fizičke i biološke karakteristike voda (Mishra et al., 2009). Iako su za mnoge predstavnike fekalnih indikatora poznate optimalne vrednosti temperature za rast u laboratorijskim uslovima, istraživanjima na terenu često se dolazi do oprečnih rezultata. Drugim rečima, u pojedinim slučajevima se došlo do zaključka da je temperatura u pozitivnoj korelaciji sa koncentracijom fekalnih indikatora, dok se u drugim slučajevima ispostavilo suprotno. Brojni su dokazi da povećanje temperature vode do određene granice može dovesti i do porasta brojnosti fekalnih indikatora u uzorku vode. Od svih praćenih varijabli, ispostavilo se da je jedino temperatura vode u značajnoj korelaciji sa nivoom fekalnih indikatora u vodotokovima južne Kalifornije (Tiefenthaler et al., 2009). Prema rezultatima ovog istraživanja, koncentracija ukupnih koliforma bila je u značajnoj pozitivnoj korelaciji sa temperaturom, a zapaženo je da sa rastom temperature iznad 10 °C u uzorcima dolazi do eksponencijalnog povećanja njihove koncentracije. U ovom slučaju, nešto manje izražena, ali i dalje značajna, bila je i pozitivna korelacija temperature vode i koncentracije *E. coli* i enterokoka. Na osnovu istraživanja vršenim na nekoliko vodotokova SAD-a i Južne Koreje, Cho i saradnici (2016) su otkrili da je pozitivan efekat temperature na koncentraciju fekalnih koliforma i *E. coli* mnogo važniji od padavina i površinskog spiranja. Ovo je važno za porast temperature u opsegu od 25 do 30 °C, dok je na višim temperaturama bilo izraženo naglo smanjenje koncentracije ovih bakterija. Prema istraživanjima

Amisah i Nuamah (2014), najviše koncentracije fekalnih indikatora u jednoj reci u Gani zabeležene su tokom toplog vremena. Pozitivna korelacija između temperature vode i koncentracije fekalnih indikatora zapažena je i u jednoj reci u Bangladešu (Islam et al., 2017). Ipak, autori ovog rada ističu da ova pozitivna korelacija proističe zapravo iz činjenice da se toplo vreme podudara sa periodima najveće količine padavina.

Između pH vrednosti vode i brojnosti fekalnih indikatora u Savi kod Šapca nije uočena značajna korelacija, iako je ona u slučaju sve tri grupe mikroorganizama negativna. I prema najvećem broju dosadašnjih istraživanja, pH vrednost vode je najčešće u negativnoj korelaciji sa brojnošću fekalnih indikatora. To se pokazalo tačnim u slučaju fekalnih koliforma u estuarima Turske (Aslan-Yılmaz et al., 2004), fekalnih koliforma i fekalnih streptokoka u reci u Finskoj (Niemi et al., 1994), koliforma u reci Moskvi u Rusiji (Dolgonosov et al., 2006) i *E. coli* u reci u Bangladešu (Alam & Zafar, 2013). Prema ovim rezultatima, fekalnim indikatorima odgovaraju kiselije sredine, što je razumljivo, imajući u vidu njihovo primarno stanište (digestivni trakt).

Iako nedovoljno značajna, korelacija između elektroprovodljivosti vode i brojnosti sve tri grupe fekalnih indikatora takođe je bila negativna. Da je elektroprovodljivost vode u negativnoj korelaciji sa koncentracijom fekalnih indikatora ispostavilo se i u rekama u Finskoj (Niemi et al., 1994) i Južnoj Kaliforniji (Tiefenthaler et al., 2009). Smatra se da je visoka elektroprovodljivost vode u korelaciji sa visokom koncentracijom soli, koje oštećuju bakterije i inhibiraju njihov rast (He et al., 2007).

Korelacija između suspendovanih materija i fekalnih indikatorima u Savi kod Šapca je pozitivna, ali nedovoljno značajna. Generalno, smatra se da prisustvo čestica u vodi pozitivno utiče na opstanak bakterija. Brzina opadanja brojnosti *E. coli* i ukupnih koliforma je značajno viša u slučaju slobodnih bakterija, u poređenju sa onima koje su prilepljene za čestice (Nguyen et al., 2016). Pozitivna korelacija između fekalnih indikatora i suspendovanih materija u vodi može biti objašnjena i resuspenzijom sedimenta (Irvine et al., 2002). Primećeno je da brojnost fekalnih indikatora u vodi može porasti i do 2-11 puta odmah nakon prolaska broda koji podiže sedimente u vodeni stub (Pettibone et al., 1996). Dodatni faktor koji doprinosi pozitivnoj korelaciji između fekalnih indikatora i suspendovanih materija jesu obilne padavine, koje u isto vreme prouzrokuju spiranje čestica i fekalnih bakterija sa okolnog zemljišta u površinske vode (Irvine et al., 2002), što doprinosi porastu i koncentracije suspendovanih materija i koncentracije fekalnih indikatora u vodi.

Slično kao i u slučaju suspendovanih materija, i zamućenost savske vode je u pozitivnoj korelaciji sa brojnošću sve tri grupe fekalnih indikatora, ali se ni njena značajnost ne može smatrati statistički značajnom. Sličan obrazac korelacije zamućenosti i suspendovanih materija sa fekalnim indikatorima je očekivan, s obzirom da je poznato da su ova dva parametra blisko povezana i da se čak merenje zamućenosti vode nekada koristi kao pokazatelj koncentracije suspendovanih materija (Irvine et al., 2002). Sa povećanjem zamućenosti vode smanjuje se njena prozirnost, odnosno stepen prodiranja sunčevog zračenja. S obzirom da sunčevo zračenje ima destruktivan efekat na bakterije (Azuma & Hayashi, 2021), ovo se može smatrati još jednim razlogom pozitivne korelacije zamućenosti vode i koncentracije fekalnih indikatora.

Rastvoreni kiseonik i zasićenost vode kiseonikom su u negativnoj, ali nedovoljno značajnoj korelaciji sa fekalnim indikatorima u Savi kod Šapca. Prema ostalim istraživanjima, koncentracija rastvorenog kiseonika je uglavnom u negativnoj korelaciji sa koncentracijom fekalnih indikatora (Aslan-Yılmaz et al., 2004; Kolarević et al., 2012; Ptiček Siročić et al., 2018) ili ove dve varijable ne pokazuje značajnu korelaciju (Tiefenthaler et al., 2009). Smatra se da nizak nivo rastvorenog kiseonika negativno utiče na predatorske protozoe i antagonističke aerobne bakterije, što za posledicu može imati veću stopu preživljavanja fekalnih bakterija pri ovakvim uslovima (John & Rose, 2005).

Nutrijenti poput azota i fosfora su neophodni za preživljavanje i rast bakterija. U ovom slučaju, korelacija azotovih jedinjenja (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-) nije bila statistički značajna ni sa jednom grupom fekalnih indikatora. Ipak, od ove tri grupe azotovih jedinjenja, ispostavilo se da je u najvećoj korelaciji sa fekalnim indikatorima koncentracija NO_3^- . Ova korelacija je negativna i najizraženija u slučaju ukupnih koliforma. Koncentracija NO_2^- je takođe u negativnoj, ali veoma niskoj i statistički beznačajnoj korelaciji sa sve tri grupe fekalnih indikatora. Koncentracija NH_4^+ sa koncentracijom fekalnih koliforma i fekalnih enterokoka pokazuje pozitivnu, ali takođe statistički nedovoljno značajnu korelaciju, dok je u slučaju odnosa ukupnih koliforma i ovog azotovog jedinjenja koeficijent korelacije približan nuli. Rezultati različitih istraživanja korelacije koncentracije azotovih jedinjenja i fekalnih indikatora u vodi nisu uvek u saglasnosti (Kolarević et al., 2012; Gotkowska-Płachta et al., 2015; Sinaga et al., 2016).

4. ZAKLJUČAK

S obzirom da se ispostavilo da istraživani fizičko-hemijski parametri nisu u značajnijoj korelaciji sa koncentracijom fekalnih indikatora u Savi kod Šapca, može se zaključiti da presudnu ulogu u određivanju njihove brojnosti imaju neki drugi faktori. Pored antropogenog uticaja, koji se ogleda u ispuštanju fekalnih materija u vodu, dokazano je da na brojnost fekalnih indikatora u rekama velikog uticaja mogu imati pojedini meteorološki i hidrometeorološki

faktori koji nisu obuhvaćeni ovim istraživanjem. Ovi faktori deluju tako što povećavaju dospevanje fekalnih indikatora u vodu ili tako što utiču na njihovo preživljavanje u vodi.

REFERENCE

- Alam, M.W., & Zafar, M. (2013). Spatial and temporal variation of *Escherichia coli* in water and soil with relation to water parameters at the estuary of Karnafuly River, Bangladesh. *Journal of Bacteriology Research*, 5, 1-8.
- Amisah, S., & Nuamah, P.A. (2014). Spatial and temporal variations in microbiological water quality of the River Wiwi in Kumasi, Ghana. *Water Quality, Exposure and Health*, 6, 217-224.
- Aslan-Yılmaz, A., Okuş, E., & Övez, S. (2004). Bacteriological indicators of anthropogenic impact prior to and during the recovery of water quality in an extremely polluted estuary, Golden Horn, Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 49, 951-958.
- Azuma, T., & Hayashi, T. (2021). Effects of natural sunlight on antimicrobial-resistant bacteria (AMRB) and antimicrobial-susceptible bacteria (AMSB) in wastewater and river water. *Science of the Total Environment*, 766, 142568.
- Budnick, G.E., Howard, R.T., & Mayo, D.R. (1996). Evaluation of Enterolert for enumeration of Enterococci in recreational waters. *Applied and Environmental Microbiology*, 62, 3881-3884.
- Cho, K.H., Pachepsky, Y.A., Kim, M., Pyo, J.C., Park, M-H., Kim, Y.-M., Kim, J.-W., & Kim, J.H. (2016). Modeling seasonal variability of fecal coliform in natural surface waters using the modified SWAT. *Journal of Hydrology*, 535, 377-385.
- Devane, M. L., Moriarty, E., Weaver, L., Cookson, A., & Gilpin, B. (2020). Fecal indicator bacteria from environmental sources; strategies for identification to improve water quality monitoring. *Water Research*, 185, 116204.
- Pettibone, G.W. & Irvine, K.N. (1996). Levels and sources of indicator bacteria associated with the Buffalo River "area of concern", Buffalo, New York. *Journal of Great Lakes Research*, 22, 896-905.
- Dolgonosov, B.M., Korchagin, K.A., & Messineva, E.M. (2006). Model of fluctuations in bacteriological indices of water quality. *Water Resources*, 33, 637-650.
- Ferguson, D., & Signoreto, C. (2011). Environmental Persistence and Naturalization of Fecal Indicator Organisms. In: Hagedorn, C., Blanch, A., Harwood, V. (eds.): *Microbial source tracking: Methods, applications and case studies*. Springer, New York, 379-397.
- Gerba, C.P. (2009). Indicator Microorganisms. In: Maier, R.M., Pepper, I.L., Gerba, C.P. (eds.): *Environmental Microbiology* (2nd edition). Academic Press, Cambridge, 485-499.
- Gotkowska-Plachta, A., Gołaś, I., Korzeniewska, E., Koc, J., Rochwerger, A., & SolarSKI, K. (2015). Evaluation of the distribution of fecal indicator bacteria in a river system depending on different types of land use in the southern watershed of the Baltic Sea. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 4073-4089.
- He, L.-M., Lu, J., & Shi, W. (2007). Variability of fecal indicator bacteria in flowing and ponded waters in southern California: Implications for bacterial TMDL development and implementation. *Water Research*, 41, 3132-3140.
- Irvine, K.N., Somogyi, E.L., & Pettibone, G.W. (2002). Turbidity, suspended solids, and bacteria relationships in the Buffalo River Watershed. *Middle States Geographer*, 35, 42-51.
- Islam, M.M.M., Hofstra, N., & Islam, A. (2017). The impact of environmental variables on faecal indicator bacteria in the Betna River Basin, Bangladesh. *Environmental Processes*, 4, 319-332.
- John, D.E., & Rose, J.B. (2005). Review of factors affecting microbial survival in groundwater. *Environmental Science & Technology*, 39, 7345-7356.
- Jokinen, C.C., Cook, S.R., Reuter, T., & Tymensen, L. (2020). Assessing enterococci as an alternative fecal indicator for irrigation water quality. *Agricultural Water Management*, 233, 106098.
- Kinzelman, J.K., Singh, A., Ng, C., Pond, K.R., Bagley, R.C., & Gradus, S. (2005). Use of IDEXX Colilert-18® and Quanti-Tray/2000 as a rapid and simple enumeration method for the implementation of recreational water monitoring and notification programs. *Lake and Reservoir Management*, 21, 73-77.
- Kolarević, S., Knežević-Vukčević, J., Paunović, M., Vasiljević, B., Kračun, M., Gačić, Z., & Vuković-Gačić, B. (2012). Seasonal variations of microbiological parameters of water quality of the Velika Morava River Serbia. *Archives of Biological Sciences*, 64, 1017-1027.
- Mishra, A., Mukherjee, A., & Tripathi, B.D. (2009). Seasonal and temporal variations in physico-chemical and bacteriological characteristics of River Ganga in Varanasi. *International Journal of Environmental Research*, 3, 395-402.
- Nguyen, H.T.M., Le, Q.T.P., Garnier, J., Janeau J.-L., & Rochelle-Newall, E. (2016). Seasonal variability of faecal indicator bacteria numbers and die-off rates in the Red River basin, North Viet Nam. *Scientific Reports*, 6, 21644.

- Niemi, J.S., Niemi, R.M., & Pajakko, P.M. (1994). Long-term temporal variation of hygienic indicator bacteria in a river. Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte. *Limnologie: Verhandlungen*, 25, 1901-1909.
- Ptiček Siročić, A., Kovač, S., & Hajdinjak, A. (2018). Korelacijska analiza pokazatelja kakvoće vode jezera Motičnjak. *Hrvatske vode*, 26, 203-210.
- Sinaga, D.M., Robson, M.G., Gasong, B.T., Halel, A.G., & Pertiwi, D. (2016). Fecal coliform bacteria and factors related to its growth at the sekotong shallow wells, West Nusa Tenggara, Indonesia. *Public Health of Indonesia*, 2, 47-54.
- Tiefenthaler, L.L., Stein, E.D., & Lyon, G.S. (2009). Fecal indicator bacteria (FIB) levels during dry weather from Southern California reference streams. *Environmental Monitoring and Assessment*, 155, 477-492.