

Pregledni rad DOI: 10.5937/DDD26173M

UTICAJ DEZINFEKCIONIH SREDSTAVA NA VODENE EKOSISTEME

THE IMPACT OF DISINFECTANTS ON AQUATIC ECOSYSTEMS

**Radovan Marčetić^{1*}, Darja Fjodorov¹, Vladimir Drašković¹,
Radislava Teodorović¹, Marijana Vučinić¹, Katarina Nenadović¹,
Ljiljana Janković¹, Milutin Đorđević¹**

Kratak sadržaj

Dezinfekciona sredstva imaju ključnu ulogu u obezbeđivanju higijene i biosigurnosti u akvakulturi i proizvodnji namirnica animalnog porekla, ali njihova intenzivna primena može imati značajne negativne posledice po životnu sredinu. Ovaj rad ima za cilj da analizira puteve dospevanja dezinfekcionih sredstava u vodene ekosisteme, kao i njihove direktne i indirektne efekte na vodene organizme. Poseban fokus stavljen je na dezinfekcione nusprodukte (DBP), uključujući trihalometane i halosirćetne kiseline, koji nastaju reakcijama dezinficijasa sa prirodnim organskom materijom i mogu ispoljiti toksična, genotoksična i kancerogena svojstva. Takođe, razmatran je uticaj ovih jedinjenja na razvoj i širenje antimikrobne rezistencije, uključujući mehanizme selekcije rezistentnih bakterija i horizontalnog transfera gena. U radu su analizirani i faktori koji utiču na formiranje DBP, kao što su pH vrednost i temperatura, kao i njihova postojanost i sudbina u životnoj sredini. Poseban deo rada posvećen je merama za smanjenje negativnog uticaja dezinfekcionih sredstava, uključujući optimizaciju procesa dezinfekcije, unapređenje tretmana otpadnih voda i primenu regulatornih okvira. Zaključuje se da je za efikasno upravljanje ovim problemom neophodan integrisan pristup koji omogućava balans između efikasne dezinfekcije i očuvanja vodenih ekosistema.

Ključne reči: dezinfekcija, dezinfekcioni nusprodukti, vodeni ekosistemi

Abstract

Disinfectants play a crucial role in ensuring hygiene and biosafety in aquaculture and the production of foods of animal origin; however, their intensive use may

¹ Dr vet. med. Radovan Marčetić, asistent; dr vet. med. Darja Fjodorov, samostalni stručno tehnički saradnik za rad u laboratorijama; dr sci. vet. med. Vladimir Drašković, docent; dr sci. vet. med. Radislava Teodorović, redovni profesor; dr sci. vet. med. Marijana Vučinić, redovni profesor; dr sci. vet. med. Katarina Nenadović, vanredni profesor; dr sci. vet. med. Ljiljana Janković, vanredni profesor u penziji; dr sci. vet. med. Milutin Đorđević, redovni profesor; Univerzitet u Beogradu, Fakultet veterinarske medicine, Katedra za zoohigijenu, Bulevar oslobođenja 18, 11000 Beograd, R. Srbija

* e-mail kontakt osobe: radovan.marcetic@vet.bg.ac.rs

have significant negative impacts on the environment. This paper aims to analyze the pathways through which disinfectants enter aquatic ecosystems, as well as their direct and indirect effects on aquatic organisms. Particular attention is given to disinfection by-products (DBPs), including trihalomethanes and haloacetic acids, which are formed through reactions between disinfectants and natural organic matter and may exhibit toxic, genotoxic, and carcinogenic properties. The study also examines the role of these compounds in the development and spread of antimicrobial resistance, including mechanisms such as selection of resistant bacteria and horizontal gene transfer. Factors influencing DBP formation, such as pH and temperature, as well as their persistence and fate in the environment, are also discussed. Furthermore, the paper highlights potential mitigation strategies, including optimization of disinfection processes, improvement of wastewater treatment, and implementation of regulatory frameworks. It is concluded that an integrated approach is necessary to achieve a balance between effective disinfection and the protection of aquatic ecosystems.

Keywords: disinfection, disinfection by-products, aquatic ecosystems

UVOD

Dezinfekciona sredstva predstavljaju nezaobilazan deo savremenih higijenskih i biosigurnosnih mera, naročito u lancu proizvodnje namirnica animalnog porekla, od stočarskih farmi, pa sve do klanica i mlekarar. Njihova primena ima ključnu ulogu u kontroli patogenih mikroorganizama i sprečavanju širenja zaraznih bolesti, čime se obezbeđuje zdravstvena bezbednost hrane i zaštita javnog zdravlja (Reuter, 1998; Traverse i Aceto, 2015; Gosling, 2018).

Međutim, intenzivna i često nekontrolisana upotreba dezinfekcionih sredstava dovodi do njihovog dospevanja u životnu sredinu, pre svega putem otpadnih voda. Kako navode Liu i Haynes (2011), čak 80–95% vode korišćene u klanicama završava kao otpadna voda, što predstavlja značajan potencijalni transportni medijum za različite hemijske supstance do prirodnih ekosistema. Ove otpadne vode često sadrže ostatke dezinfekcijske, organske materije, kao i druge zagađivače koji mogu dospeti u površinske i podzemne vode.

Problem dodatno komplikuje činjenica da u mnogim slučajevima dolazi do ispuštanja netretiranih ili nedovoljno tretiranih otpadnih voda. Ovakva praksa može imati značajne negativne posledice po životnu sredinu, uključujući vazduh, zemljište, podzemne i površinske vode (Wu i sar., 2024), čime se direktno ugrožavaju vodeni ekosistemi. Ovi procesi dovode do akumulacije štetnih supstanci, uključujući dezinfekcione nusprodukte, antibiotike i teške metale, što može imati dugoročne posledice po biodiverzitet i funkcionalnost ekosistema (Cruz i sar., 2021).

Pored direktne toksičnosti, dezinfekciona sredstva mogu izazvati i indirektne štetne efekte, kao što su promene u mikrobiološkoj ravnoteži i razvoj antimikrobne rezistencije. Istraživanja ukazuju da dezinfekcija može doprineti povećanju prisustva gena rezistencije u vodenim sredinama, što predstavlja ozbiljan

globalni problem (Hora i sar., 2020; Lu i sar., 2024). Takođe, reakcije dezinficijene sa prirodnim organskom materijom dovode do formiranja dezinfekcionih nusprodukata (engl. *disinfection by-products*, DBPs), koji često poseduju toksična i kancerogena svojstva (Parveen i sar., 2022).

Imajući u vidu široku primenu dezinfekcionih sredstava i njihov potencijalni uticaj na životnu sredinu, neophodno je detaljno sagledati njihove efekte na vodene ekosisteme. Cilj ovog rada je da analizira puteve dospevanja dezinfekcionih sredstava u vodene sisteme, proceni njihov uticaj na vodene organizme i ekosisteme, sa posebnim osvrtom na dezinfekcione nusprodukte i razvoj antimikrobne rezistencije, kao i da ukaže na moguće mere za smanjenje negativnih efekata.

PRIMENA DEZINFEKCIONIH SREDSTAVA U LANCU PROIZVODNJE NAMIRNICA ANIMALNOG POREKLA

Dezinfekciona sredstva koja se koriste u prehrambenoj industriji obuhvataju različite hemijske grupe sa specifičnim mehanizmima delovanja i različitim uticajem na životnu sredinu. Njihova primena je posebno izražena u objektima kao što su klanice, mlekare i stočarske farme, gde je održavanje visokog nivoa higijene od presudnog značaja za bezbednost hrane i kontrolu patogena (Mørtrø i Langsrud, 2017).

Jednu od najčešće korišćenih grupa čine dezinficijensi na bazi hlora, uključujući natrijum-hipohlorit i elementarni hlor. Ova sredstva su široko rasprostranjena zbog svoje efikasnosti, niske cene i brzog delovanja. Međutim, njihova primena je povezana sa formiranjem dezinfekcionih nusprodukata (DBPs), kao što su trihalometani i halosirćetne kiseline, koji mogu imati toksična i kancerogena svojstva (Parveen i sar., 2022). U akvakulturnim sistemima, gde se primenjuju dezinficijensi u cilju dezinfekcije vode, opreme, kao i ikre, koncentracije trihalometana mogu dostići 60–165 µg/l, dok se halosirćetne kiseline javljaju u opsegu od 3–122 µg/l, u zavisnosti od uslova dezinfekcije i hemijskog sastava vode (Zhu i sar., 2025). U klanicama i mlekarama, hlorni preparati se koriste za dezinfekciju radnih površina i opreme, što doprinosi njihovom značajnom prisustvu u otpadnim vodama.

Drugu važnu grupu predstavljaju kvaternarna amonijumova jedinjenja (QACs), koji se često koriste zbog svoje stabilnosti i dugotrajnog antimikrobnog dejstva. Ovi spojevi deluju na ćelijske membrane mikroorganizama, ali istovremeno mogu imati negativne efekte na vodene organizme i doprineti razvoju antimikrobne rezistencije (Waseem i sar., 2017; Hora i sar., 2020). Njihova široka primena u dezinfekciji opreme, transportnih sistema i objekata na farmama dovodi do njihovog kontinuiranog prisustva u otpadnim vodama, gde se mogu zadržavati i akumulirati u životnoj sredini (DeLeo i sar., 2020; Barber i Hartmann, 2022).

Pored navedenih, značajnu ulogu imaju i oksidaciona dezinfekciona sredstva, poput vodonik-peroksida i persirćetne kiseline. Ova sredstva se često smatraju ekološki prihvatljivijim, jer se razlažu na manje štetne produkte, ali njihova

nepravilna ili prekomerna upotreba i dalje može izazvati promene u hemijskom sastavu voda i uticati na mikrobiološku ravnotežu. Kao potencijalno održivija alternativa, u novije vreme se ispituje primena ozona, koji pokazuje efikasnost u dezinfekciji uz manji rizik od formiranja štetnih nusprodukata (Botondi i sar., 2023).

U stočarskoj proizvodnji, dezinfekciona sredstva se koriste kao deo biosigurnosnih mera za sprečavanje širenja bolesti među životinjama. Redovna dezinfekcija objekata, opreme i transportnih sredstava neophodna je za kontrolu patogena, ali istovremeno doprinosi akumulaciji hemijskih supstanci u otpadnim vodama (Wu i sar., 2024). Pored toga, farme generišu velike količine organske materije (stajnjak, osoka), koja se često koristi kao đubrivo u ratarskoj i povrtarskoj proizvodnji. Na taj način, rezidue dezinfekcionih sredstava dospevaju u zemljište, odakle dalje putuju do podzemnih i površinskih voda.

U klanicama i mlekarama, gde se takođe koriste velike količine vode, dezinficijensi se lako ispiraju i ulaze u sisteme za odvođenje otpadnih voda, čime postaju značajan izvor zagađenja, ukoliko ne postoji adekvatan tretman otpadnih voda (Liu i Haynes, 2011).

UTICAJ DEZINFEKCIONIH NUSPRODUKATA NA VODENE EKOSISTEME

Dezinfekcioni nusprodukti (DBPs), naročito trihalometani (THMs) i halo-sirćetne kiseline (HAAs), predstavljaju značajan ekotoksikološki problem u vodenim ekosistemima, s obzirom na njihovu rasprostranjenu pojavu i potencijal da izazovu štetne efekte kod različitih grupa organizama. Njihovo prisustvo u vodi rezultat je reakcija dezinfekcionih sredstava sa prirodnom organskom materijom, ali i sa jonima bromida i jodida, što je posebno izraženo u morskim sredinama (Zhu i sar., 2025). Toksičnost ovih jedinjenja zavisi od njihove hemijske strukture, koncentracije i trajanja izloženosti, pri čemu bromisani i jodisani oblici često pokazuju veću biološku aktivnost i toksičnost u odnosu na hlorisane analoge (Heller-Grossman i sar., 1999). Ova povećana toksičnost povezana je sa njihovom većom lipofilnošću, koja omogućava lakši prolazak kroz ćelijske membrane i veću biološku dostupnost, kao i sa izraženijom hemijskom reaktivnošću prema biomolekulima, uključujući DNK i proteine. Pored toga, bromisani i jodisani dezinfekcioni nusprodukti mogu indukovati jači oksidativni stres u ćelijama, što dovodi do oštećenja lipida, proteina i nukleinskih kiselina, čime se dodatno povećava njihov toksični potencijal (Richardson i sar., 2007; Zhu i sar., 2025).

Na formiranje dezinfekcionih nusprodukata značajno utiču fizičko-hemijski parametri vode, među kojima se posebno izdvajaju pH vrednost i temperatura. Povećanje temperature dovodi do ubrzanja hemijskih reakcija između dezinfekcionih sredstava i prirodne organske materije, što rezultira većim prinosom DBP-ova, uključujući trihalometane i halo-sirćetne kiseline (Richardson i sar., 2007; Parveen i sar., 2022). Sa druge strane, pH vrednost utiče na efikasnost

dezinfekcionih sredstava i mehanizme reakcija, pri čemu alkalni uslovi (viši pH) favorizuju formiranje trihalometana, dok niže pH vrednosti pogoduju formiranju halosirćetnih kiselina. Ovi odnosi ukazuju na značaj optimizacije hemijskih uslova tokom procesa dezinfekcije u cilju smanjenja nastanka potencijalno toksičnih nusprodukata (Richardson i sar., 2007; Zhu i sar., 2025).

Trihalometani, među kojima je najzastupljeniji hloroform, spadaju u grupu relativno lako isparljivih jedinjenja koja mogu izazvati različite subletalne i letalne efekte kod riba i drugih akvatičnih organizama. Istraživanja su pokazala da izloženost trihalometanima može dovesti do oštećenja jetre i škrge, poremećaja enzimskih aktivnosti i indukcije oksidativnog stresa, što se negativno odražava na fiziološko stanje organizama (Richardson i sar., 2007). Takođe, zabeleženi su poremećaji u rastu i reprodukciji, kao i promene u ponašanju, što ukazuje na potencijalne neurotoksične efekte. Iako su akutne letalne koncentracije relativno visoke (u opsegu od približno 18 do 100 mg/L, u zavisnosti od vrste i uslova), mnogo veći značaj imaju hronične izloženosti nižim koncentracijama, koje mogu dovesti do kumulativnih oštećenja i smanjenja vitalnosti populacija (Wei i sar., 2018).

Za razliku od trihalometana, halosirćetne kiseline su hemijski stabilnije i ne isparavaju lako iz vode, što im omogućava duže zadržavanje u vodenoj sredini i veći potencijal za dugoročne ekološke efekte. Najčešće proučavani predstavnici, kao što su dihlorsirćetna (DCAA) i trihlorsirćetna kiselina (TCAA), pokazuju izraženu citotoksičnost i genotoksičnost. Njihovo delovanje može uključivati oštećenje DNK, poremećaj ćelijskog metabolizma i inhibiciju rasta i razvoja organizama (Bull i sar., 2006). Kod riba i drugih akvatičnih vrsta, izloženost halosirćetnim kiselinama povezana je sa smanjenjem stope rasta, reproduktivnim poremećajima i povećanom osetljivošću na druge stresore iz životne sredine. Posebno su osetljivi embrionalni i larveni stadijumi, kod kojih može doći do razvojnih abnormalnosti.

Pored direktnog uticaja na ribe, DBP-ovi značajno utiču i na niže trofičke nivoe, uključujući alge, fito-, i zooplankton (posebno vrste poput *Daphnia magna*), kao i mikroorganizme. Ova jedinjenja mogu inhibirati fotosintezu, smanjiti primarnu produkciju i izazvati promene u sastavu i strukturi mikrobnih zajednica (Zhu i sar., 2025). Takve promene mogu imati kaskadne efekte na čitav ekosistem, jer narušavaju osnovu lanca ishrane i energetske tokove u vodi.

Važan aspekt ekološkog ponašanja DBP-ova odnosi se na njihovu postojanost i sudbinu u životnoj sredini. Trihalometani su relativno nestabilni u vodenim sistemima i mogu isparavati iz vode u periodu od nekoliko sati do nekoliko dana, što ograničava njihovu dugoročnu akumulaciju (WHO, 2005). Nasuprot tome, halosirćetne kiseline su znatno stabilnije i mogu opstajati u vodi i sedimentu tokom dužeg vremenskog perioda, od nekoliko dana do nedelja, čime povećavaju verovatnoću hronične izloženosti organizama (Richardson i sar., 2007). Iako trihalometani generalno pokazuju nizak potencijal bioakumulacije zbog svoje volatilnosti, stabilniji DBP-ovi, uključujući određene HAAs, mogu

doprineti prisustvu rezidualnih koncentracija u vodenim organizmima i potencijalno ući u lanac ishrane (Zhu i sar., 2025).

Pored direktnih toksičnih efekata, dezinfekcioni nusprodukti mogu imati i značajnu ulogu u razvoju antimikrobne rezistencije u vodenim ekosistemima. Njihovo prisustvo u subletalnim koncentracijama stvara selektivni pritisak koji pogoduje opstanku i proliferaciji rezistentnih bakterijskih sojeva. Takođe, izloženost DBP-ovima može indukovati zaštitne mehanizme, kao što su efluks pumpe i enzimi za detoksikaciju, koji istovremeno mogu povećati otpornost bakterija na antibiotike, dovodeći do pojave unakrsne rezistencije. S obzirom na to da mnogi DBP-ovi ispoljavaju genotoksična svojstva, njihovo delovanje može rezultirati oštećenjem DNK i povećanom stopom mutacija, čime se dodatno povećava verovatnoća nastanka rezistentnih varijanti. Pored toga, stres izazvan prisustvom ovih jedinjenja može stimulirati horizontalni transfer gena rezistencije među mikroorganizmima. Na taj način, DBP-ovi mogu doprineti ne samo selekciji, već i širenju antimikrobne rezistencije u vodenim sredinama (Richardson i sar., 2007; Lu i sar., 2024; Zhu i sar., 2025).

Eksperimentalni podaci pokazuju da hlorisanje vode može dovesti do povećanja koncentracije gena antimikrobne rezistencije, pri čemu je zabeleženo povećanje i do 3,8 puta za ekstracelularne gene i čak do 78 puta za intracelularne gene, što dodatno ukazuje na potencijal dezinfekcionih sredstava da doprinesu širenju rezistencije u vodenim sredinama (Yadav i sar., 2020).

Tokom procesa dezinfekcije dolazi do oksidativne razgradnje prirodne organske materije prisutne u vodi, pri čemu se kompleksni organski molekuli razlažu na jednostavnije, lako biorazgradive komponente poznate kao asimilabilni organski ugljenik (AOC). Ovaj proces je često parcijalan, što dovodi do formiranja niskomolekulskih jedinjenja, kao što su organske kiseline, aldehidi i ketoni, koji predstavljaju lako dostupan izvor energije za mikroorganizme. Pored toga, dezinfekcija može izazvati lizu ćelija mikroorganizama i oslobađanje intracelularnog sadržaja, čime se dodatno povećava koncentracija AOC u vodi. Kao posledica, može doći do ponovnog rasta mikroorganizama u sistemu, uprkos prethodnoj dezinfekciji (Huang i sar., 2020).

Sveukupno, uticaj dezinfekcionih nusprodukata na vodene organizme obuhvata širok spektar efekata, od molekularnih i ćelijskih oštećenja do promena na nivou populacija i ekosistema. Poseban problem predstavlja činjenica da su ovi efekti često rezultat dugotrajne izloženosti niskim koncentracijama, koje se u praksi najčešće javljaju u prirodnim i antropogeno izmenjenim vodenim sistemima. Zbog toga je neophodno uključiti DBP-ove u procene rizika i upravljanje kvalitetom vode, posebno u kontekstu intenzivne upotrebe dezinfekcionih sredstava, u akvakulturi i tretmanu voda, tako i u drugim oblastima primene, poput klanica, mlekarica i farmi.

MERE I PREPORUKE ZA SMANJENJE NEGATIVNOG UTICAJA DEZINFLEKIONIH SREDSTAVA

Primena dezinflektionih sredstava u akvakulturi, prehrambenoj industriji i farmskoj proizvodnji predstavlja neophodan element biosigurnosnih mera, s obzirom na njihovu ključnu ulogu u kontroli patogenih mikroorganizama i očuvanju zdravstvene bezbednosti proizvoda. Međutim, imajući u vidu njihov potencijalno štetan uticaj na vodene ekosisteme, neophodno je uspostaviti balans između efikasne dezinflektionije i minimizacije negativnih efekata na životnu sredinu (Zhu i sar., 2025). U tom kontekstu, preporučuje se primena integrisanog pristupa koji obuhvata optimizaciju procesa dezinflektionije, kontrolu formiranja dezinflektionih nusprodukata (DBPs) i unapređenje tehnologija tretmana voda.

Jedna od ključnih mera odnosi se na optimizaciju procesa sprovođenja dezinflektionije, uključujući dozu dezinflektionog sredstva, kontaktno vreme, pH vrednost i temperaturu, čime se može značajno smanjiti formiranje DBP-ova uz očuvanje efikasnosti inaktivacije mikroorganizama (Richardson i sar., 2007; Zhu i sar., 2025). Takođe, prethodno uklanjanje organske materije, koja predstavlja glavni prekursor DBP-ova, putem procesa kao što su koagulacija, filtracija i adsorpcija na aktivnom uglju, pokazalo se kao efikasna strategija za redukciju njihovog nastanka (Parveen i sar., 2022).

Primena alternativnih ili kombinovanih metoda dezinflektionije, poput UV zračenja, ozonizacije i biofiltracije, može doprineti smanjenju upotrebe hemijskih dezinflektiona i posledično ograničiti formiranje štetnih nusprodukata, iako je neophodna pažljiva kontrola procesa zbog mogućeg nastanka sekundarnih oksidacionih produkata (Zhu i sar., 2025). U savremenim akvakulturnim sistemima, posebno u recirkulacionim sistemima, sve veću pažnju privlače biološki pristupi, uključujući primenu biofiltera i korisnih mikroorganizama, koji omogućavaju održavanje kvaliteta vode uz smanjenu hemijsku intervenciju.

Pored tehnoloških mera, od posebnog značaja je kontinuirani monitoring koncentracija dezinflektionih sredstava i dezinflektionih nusprodukata (DBP) u vodi, kao i primena postojećih regulatornih okvira koji definišu dozvoljene nivoe ovih jedinjenja. U Republici Srbiji propisane su maksimalno dozvoljene koncentracije za određene dezinflektionone nusprodukte („Sl. list SRJ”, br. 42/98 i 44/99 i „Sl. glasnik RS”, br. 28/2019), uključujući trihalometane, halosirćetne kiseline i druge sporedne proizvode dezinflektionije, čime se omogućava kontrola njihovog prisustva u vodi. Međutim, važno je naglasiti da su ovi standardi primarno definisani za pijaću vodu, dok su za akvakulturu i srodne sisteme oni i dalje nedovoljno specifično razvijeni, što može predstavljati izazov u proceni i upravljanju rizikom u tim sredinama (Zhu i sar., 2025).

U cilju dugoročne zaštite životne sredine, preporučuje se razvoj i primena održivih tehnologija i praksi koje omogućavaju smanjenje opterećenja ekosistema, uključujući unapređenje tretmana otpadnih voda, smanjenje emisije zagađujućih materija i racionalno upravljanje upotrebom dezinflektionih sredstava.

Na taj način moguće je obezbediti efikasnu dezinfekciju uz istovremeno očuvanje funkcionalnosti i stabilnosti vodenih ekosistema.

ZAKLJUČAK

Dezinfekciona sredstva imaju ključnu ulogu u održavanju higijene i biosigurnosti u akvakulturi i proizvodnji namirnica animalnog porekla, te njihova primena predstavlja neizostavan deo savremenih sistema kontrole patogena. Međutim, njihova intenzivna i često nekontrolisana upotreba dovodi do njihovog dospevanja u životnu sredinu i formiranja dezinfekcionih nusprodukata koji mogu imati značajne negativne efekte na vodene organizme, kvalitet vode i stabilnost vodenih ekosistema. Poseban problem predstavljaju trihalometani i halosirćetne kiseline, kao i drugi DBP-ovi, koji mogu izazvati akutne i hronične efekte, čak i pri niskim koncentracijama.

Pored direktne toksičnosti, dezinfekciona sredstva i njihovi nusprodukti mogu doprineti razvoju i širenju antimikrobne rezistencije, čime se dodatno povećava rizik po životnu sredinu i javno zdravlje. S obzirom na kompleksnu prirodu ovih procesa, uticaj dezinfekcionih sredstava na vodene ekosisteme ne može se posmatrati izolovano, već zahteva integrisan pristup koji uključuje hemijske, biološke i ekološke aspekte.

U cilju dugoročne zaštite životne sredine, preporučuje se razvoj i primena održivih tehnologija i praksi koje omogućavaju smanjenje opterećenja ekosistema, uključujući unapređenje tretmana otpadnih voda, smanjenje emisije zagađujućih materija i racionalno upravljanje upotrebom dezinfekcionih sredstava. Na taj način moguće je obezbediti efikasnu dezinfekciju uz istovremeno očuvanje funkcionalnosti i stabilnosti vodenih ekosistema.

Zahvalnica

Rad je podržan sredstvima Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije (Ugovor broj 451-03-34/2026-03/200143).

LITERATURA

1. Barber, O. W., & Hartmann, E. M. (2022). Benzalkonium chloride: A systematic review of its environmental entry through wastewater treatment, potential impact, and mitigation strategies. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 52(15), 2691-2719.
2. Botondi, R., Lembo, M., Carboni, C., & Eramo, V. (2023). The use of ozone technology: an eco-friendly method for the sanitization of the dairy supply chain. *Foods*, 12(5), 987.
3. Cruz, J. V., Magalhães, W. L., Cademartori, P. H., Dorta, D. J., De Oliveira, D. P., & Leme, D. M. (2021). Environmental concerns about the massive use of disinfectants during COVID-19 pandemic: an overview on aquatic toxicity. *Ecotoxicology and Environmental Contamination*, 16(1), 107-117.
4. DeLeo, P. C., Huynh, C., Pattanayek, M., Schmid, K. C., & Pechacek, N. (2020). Assessment of ecological hazards and environmental fate of disinfectant quaternary ammonium compounds. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 206, 111116.
5. Gosling, R. J. (2018). A review of cleaning and disinfection studies in farming environments. *Livestock*, 23(5), 232-237.

6. Heller-Grossman, L., Idin, A., Limoni-Relis, B., & Rebhun, M. (1999). Formation of cyanogen bromide and other volatile DBPs in the disinfection of bromide-rich lake water. *Environmental science & technology*, 33(6), 932-937.
7. Hora, P. I., Pati, S. G., McNamara, P. J., & Arnold, W. A. (2020). Increased use of quaternary ammonium compounds during the SARS-CoV-2 pandemic and beyond: consideration of environmental implications. *Environmental Science & Technology Letters*, 7(9), 622-631.
8. Huang, G., Ng, T. W., Chen, H., Chow, A. T., Liu, S., & Wong, P. K. (2020). Formation of assimilable organic carbon (AOC) during drinking water disinfection: A microbiological prospect of disinfection byproducts. *Environment International*, 135, 105389.
9. Liu, Y. Y., & Haynes, R. J. (2011). Origin, nature, and treatment of effluents from dairy and meat processing factories and the effects of their irrigation on the quality of agricultural soils. *Critical reviews in environmental science and technology*, 41(17), 1531-1599.
10. Lu, Z., Mahony, A. K., Arnold, W. A., Marshall, C. W., & McNamara, P. J. (2024). Quaternary ammonia compounds in disinfectant products: evaluating the potential for promoting antibiotic resistance and disrupting wastewater treatment plant performance. *Environmental Science: Advances*, 3(2), 208-226.
11. Mørretrø, T., & Langsrud, S. (2017). Residential bacteria on surfaces in the food industry and their implications for food safety and quality. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(5), 1022-1041.
12. Parveen, N., Chowdhury, S., & Goel, S. (2022). Environmental impacts of the widespread use of chlorine-based disinfectants during the COVID-19 pandemic. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(57), 85742-85760.
13. Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće. (2019). *Službeni glasnik RS*, br. 28/2019; Službeni list SRJ, br. 42/98 i 44/99.
14. Reuter, G. (1998). Disinfection and hygiene in the field of food of animal origin. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 41(3-4), 209-215.
15. Traverse, M., & Aceto, H. (2015). Environmental cleaning and disinfection. *Veterinary Clinics: small animal practice*, 45(2), 299-330.
16. Waseem, H., Williams, M. R., Stedtfeld, R. D., & Hashsham, S. A. (2017). Antimicrobial resistance in the environment. *Water Environment Research*, 89(10), 921-941.
17. Wei, J., Shen, Q., Ban, Y., Wang, Y., Shen, C., Wang, T., ... & Xie, X. (2018). Characterization of Acute and Chronic Toxicity of DBP to *Daphnia magna*. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 101(2), 214-221.
18. Wu, X., Nawaz, S., Li, Y., & Zhang, H. (2024). Environmental health hazards of untreated livestock wastewater: potential risks and future perspectives. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(17), 24745-24767.
19. Yadav, S., Dhodpakar, R., & Kapley, A. (2020). Disinfection by-products and their effect on aquatic and agriculture ecosystem. In *Disinfection By-products in Drinking Water* (pp. 205-233). Butterworth-Heinemann.
20. Zhu, Z., Gross, A., Brown, P. B., & Luo, G. (2025). Disinfection By-Products in Aquaculture: Sources, Impacts, Removal and Future Research. *Reviews in Aquaculture*, 17(3), e70035.