

Pregledni rad DOI: 10.5937/DDD26243R

UNAPREĐENJE BIOSIGURNOSTI U ŠARANSKOJ I PASTRMSKOJ AKVAKULTURI: INTEGRACIJA DDD MERA, DIGITALNIH TEHNOLOGIJA I PRISTUPA ZASNOVANOG NA PROCENI RIZIKA

ENHANCING BIOSECURITY IN CARP AND TROUT AQUACULTURE: INTEGRATION OF DDD MEASURES, DIGITAL TECHNOLOGIES, AND A RISK-BASED APPROACH

**Vladimir Radosavljević^{1*}, Milica Kuručki¹, Dimitrije Glišić¹,
Oliver Radanović¹, Jelena Maksimović-Zorić¹, Darko Bošnjak²,
Jelena Maletić¹**

Kratka sadržaj

Šaranska (*Cyprinus carpio*) i pastrmska (*Oncorhynchus mykiss*) akvakultura čine osnovu slatkovodne proizvodnje u Srbiji, ali se razlikuju po stepenu intenzifikacije i strukturi biosigurnosnih rizika. Povećana gustina nasada, klimatske promene i rastući promet ribe doprinose većem infektivnom pritisku, čineći biosigurnost ključnim faktorom održivosti proizvodnje. U otvorenim, poluintenzivnim šaranskim sistemima rizici su primarno povezani sa unosom patogena putem vode, divljih riba i ptica, kao i sa sezonskim promenama kvaliteta vode. U pastrmskim protočnim i recirkulacionim sistemima dominantni su rizici vezani za visoku gustinu nasada, stres izazvan manipulacijom i brzu transmisiju bakterijskih i virusnih agenasa. Dezinfekcija opreme, inkubatora, ikre, transportnih sredstava i radnih površina smanjuje infektivni pritisak, dok kontrola insekata i glodara sprečava mehanički prenos patogena i kontaminaciju hrane. Efikasnost DDD mera zavisi od pravilne primene, izbora sredstava i kontinuiranog nadzora. Poseban segment rada odnosi se na digitalnu biosigurnost. Primena senzorskih sistema, IoT platformi i real-time monitoringa kvaliteta vode omogućava ranu detekciju poremećaja i pravovremenu intervenciju. U šaranskim ribnjacima daljinska detekcija i dronovi doprinose kontroli infrastrukture i eutrofikacije, dok u pastrmskim sistemima kontinuirani monitoring kiseonika i azotnih jedinjenja

¹ Dr sci. vet. med. Vladimir Radosavljević, naučni savetnik; dr sci. vet. med. Milica Kuručki, naučni saradnik; dr sci. vet. med. Dimitrije Glišić, viši naučni saradnik; spec. dr vet. Oliver Radanović, stručni saradnik; dr sci. vet. med. Jelena Maksimović-Zorić, naučni saradnik, dr sci. vet. med. Jelena Maletić, naučni saradnik, Naučni institut za veterinarstvo Srbije, 11000 Beograd, R. Srbija;

² Dr sci. vet. med. Darko Bošnjak, Veterinarski specijalistički institut „Zrenjanin“, 23000 Zrenjanin, R. Srbija

* e-mail kontakt osobe: vladimiradosavljevic@yahoo.co.uk

predstavlja ključnu preventivnu meru. Integracija DDD mera i digitalnih alata predstavlja savremeni pristup upravljanju rizicima i osnov za smanjenje mortaliteta i racionalnu upotrebu antibiotika.

Ključne reči: šaran, pastrmka, biosigurnost, digitalna akvakultura

Abstract

Carp (*Cyprinus carpio*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) aquaculture form the backbone of freshwater fish production in Serbia, yet they differ significantly in production intensity and biosecurity risk profiles. Increased stocking densities, climate change, and growing fish trade contribute to higher infectious pressure, making biosecurity a key determinant of production sustainability. In open, semi-intensive carp systems, risks are primarily associated with pathogen introduction through water sources, wild fish, and birds, as well as seasonal fluctuations in water quality. In contrast, trout production in flow-through and recirculating systems is characterized by risks linked to high stocking densities, handling-induced stress, and the rapid transmission of bacterial and viral pathogens. Disinfection of equipment, incubators, eggs, transport vehicles, and working surfaces reduces infectious pressure, while insect and rodent control prevents mechanical pathogen transmission and feed contamination. The effectiveness of DDD measures depends on proper application, appropriate disinfectant selection, and continuous supervision. A dedicated section addresses digital biosecurity. The use of sensor-based systems, IoT platforms, and real-time water quality monitoring enables early detection of disturbances and timely intervention. In carp ponds, remote sensing and drone technologies support infrastructure surveillance and eutrophication control, whereas say in trout systems continuous monitoring of dissolved oxygen and nitrogen compounds represents a critical preventive strategy. The integration of DDD measures and digital tools represents a modern risk management approach, contributing to reduced mortality and more rational antibiotic use.

Keywords: carp, trout, biosecurity, digital aquaculture

UVOD

Slatkovodna akvakultura predstavlja strateški značajan sektor proizvodnje hrane životinjskog porekla, kako na globalnom, tako i na nacionalnom nivou. Prema podacima FAO (2022), akvakultura je najbrže rastući sektor proizvodnje proteina životinjskog porekla u svetu i već obezbeđuje više od 50% ribe namenjene ljudskoj ishrani. U Evropi, a posebno u zemljama jugoistočne Evrope, slatkovodna proizvodnja ima dugu tradiciju i zasniva se pre svega na uzgoju ciprinidnih i salmonidnih vrsta (FAO, 2022). U Republici Srbiji, akvakultura se dominantno oslanja na proizvodnju šarana (*Cyprinus carpio*) u poluintenzivnim ribnjačkim sistemima i kalifornijske pastrmke (*Oncorhynchus mykiss*) u protočnim (flow-through) i, u manjoj meri, recirkulacionim sistemima (RAS). Šaranska proizvodnja zauzima najveći deo ukupne količine proizvedene slatkovodne ribe,

dok je pastrmska proizvodnja tehnološki intenzivnija i tržišno orijentisana ka proizvodima više dodate vrednosti (Marković Z., 2022; FAO, 2022). Međutim, intenzifikacija proizvodnje, povećanje gustine nasada, međunarodna trgovina mlađi i genetskog materijala, kao i klimatske promene, značajno povećavaju rizik od pojave i širenja infektivnih bolesti (Brugere i sar., 2025). Bolesti riba danas predstavljaju jedan od glavnih ograničavajućih faktora održivog razvoja akvakulture, sa direktnim ekonomskim gubicima, narušavanjem bezbednosti hrane i potencijalnim uticajem na prirodne ekosisteme (Dong i Zhou, 2023). Strukturne i tehnološke razlike između šaranske i pastrmske akvakulture značajno utiču na profil biosigurnosnih rizika. Šaranski ribnjaci predstavljaju otvorene, poluprirodne ekosisteme, u direktnoj vezi sa prirodnim vodotokovima i okolnim biodiverzitetom. Takav sistem omogućava prirodnu produktivnost i niže troškove proizvodnje, ali istovremeno povećava rizik od horizontalnog prenosa patogena putem: ulazne vode, divljih riba kao rezervoara infekcije, ptica močvarica i grabljivica kao mehaničkih prenosilaca, kontaminiranih alata i transportnih sredstava. Pojava koi herpesvirusa (CyHV-3) u evropskim populacijama šarana jasno je pokazala ranjivost otvorenih sistema i značaj preventivnih mera (Haenen i sar., 2014). S druge strane, pastrmski ribnjaci su tehnološki kontrolisani, ali zavise od kontinuiranog dotoka kvalitetne vode iz prirodnih izvora. Protočni sistemi omogućavaju stabilne parametre sredine, ali istovremeno predstavljaju potencijalni put za unošenje virusnih i bakterijskih agenasa iz uzvodnih područja (Scarfe i Palić, 2020). U intenzivnim uslovima uzgoja, visoka gustina nasada, stres izazvan manipulacijom (sortiranje, vakcinacija, transport) i promene temperature vode mogu dovesti do imunosupresije i pojave sekundarnih infekcija. Virusne bolesti kao što su virusna hemoragična septikemija (VHS) i infektivna hematopoezna nekroza (IHN), kao i bakterijske infekcije izazvane vrstama *Aeromonas salmonicida* i *Yersinia ruckeri*, predstavljaju značajne izazove za salmonidnu proizvodnju u Evropi (WOAH, 2023). Savremeni koncept upravljanja zdravljem riba zasniva se na preventivnom modelu, u kojem biosigurnost predstavlja osnovni stub održivosti proizvodnje. Biosigurnost obuhvata skup fizičkih, bioloških i operativnih mera usmerenih na sprečavanje unošenja, širenja i održavanja patogena u proizvodnom sistemu (Scarfe i Palić, 2020). Ovaj pristup podrazumeva sistematsku procenu rizika, identifikaciju kritičnih kontrolnih tačaka i kontinuirani monitoring. Posebnu dimenziju savremenoj biosigurnosti daje koncept „Jedno zdravlje”, koji naglašava povezanost zdravlja životinja, ljudi i životne sredine, posebno u kontekstu antimikrobne rezistencije i bezbednosti hrane (WHO, 2022).

SPECIFIČNOSTI BIOSIGURNOSNIH RIZIKA

Biosigurnosni rizici u akvakulturi direktno zavise od tipa proizvodnog sistema, intenziteta uzgoja, hidroloških karakteristika i nivoa tehnološke kontrole. Šaranska i pastrmska akvakultura u Srbiji i regionu karakterišu se značajno različitim proizvodnim modelima, što uslovljava i specifične epidemiološke

obrasce širenja bolesti. Razumevanje tih razlika predstavlja osnov za razvoj adekvatnih i ciljanih biosigurnosnih mera (Brugere i sar., 2025). Šaranska proizvodnja u Srbiji se dominantno odvija u poluintenzivnim ribnjačkim sistemima velikih površina, koji su povezani sa prirodnim vodotokovima. Ovakvi sistemi predstavljaju poluotvorene ekosisteme u kojima je kontrola spoljašnjih biotičkih i abiotičkih faktora ograničena. Jedan od glavnih biosigurnosnih rizika jeste horizontalni prenos patogena putem vode, posebno u situacijama kada se voda preuzima iz reka ili kanalskih sistema bez prethodne filtracije ili dezinfekcije (Yanong i sar., 2012). Prisustvo divljih riba u ulaznim i odvodnim kanalima predstavlja dodatni epizootiološki izazov, jer one mogu služiti kao rezervoari i nosioci različitih infektivnih agenasa bez ispoljavanja kliničkih znakova bolesti. Time se stvara stalni infektivni pritisak na gajene populacije (Austin i Austin, 2022). Pored toga, vodene ptice, naročito migratorne vrste, mogu mehanički prenositi patogene između ribnjaka i prirodnih voda, čime se omogućava regionalno širenje bolesti (Haenen i sar., 2014). Pastrmska proizvodnja u Srbiji zasniva se pretežno na protočnim sistemima sa kontinuiranim dotokom visokokvalitetne vode iz izvorišta ili planinskih tokova. Iako ovakav sistem obezbeđuje povoljne fizičko-hemijske uslove, stalni protok vode predstavlja potencijalni put za unošenje patogena iz uzvodnih područja. U nedostatku adekvatne filtracije ili UV dezinfekcije, infektivni agensi mogu brzo zahvatiti čitav ribnjak. Visoka gustina nasada, koja je karakteristična za intenzivne salmonidne sisteme, povećava kontakt između jedinki i olakšava horizontalni prenos patogena. Stres izazvan manipulacijom, vakcinacijom, sortiranjem i transportom dodatno utiče na imunosupresiju i povećava osetljivost na infekcije (Assefa i Abunna, 2018). Pastrmka je posebno osetljiva na promene temperature i koncentracije rastvorenog kiseonika, pa čak i kratkotrajna odstupanja od optimalnih vrednosti mogu dovesti do povećanog mortaliteta.

KATEGORIJE BIOSIGURNOSNIH MERA

Biosigurnost u šaranskoj i pastrmskoj akvakulturi zasniva se na integrisanom sistemu mera koje se mogu klasifikovati u tri osnovne kategorije: fizičke, biološke i operativne mere. Ove kategorije nisu međusobno izolovane, već funkcionišu komplementarno, sa ciljem sprečavanja unošenja patogena, ograničavanja njihovog širenja unutar farme i smanjenja infektivnog pritiska u proizvodnom sistemu (FAO, 2020). Efikasnost biosigurnosti zavisi od dosledne primene svih segmenata sistema, prilagođenih specifičnostima proizvodnog modela. Fizičke mere predstavljaju prvu liniju odbrane od unošenja patogena i odnose se na prostornu izolaciju, kontrolu pristupa i upravljanje vodnim resursima. Njihov značaj je posebno izražen u otvorenim sistemima, kakvi su šaranski ribnjaci, ali i u intenzivnim pastrmskim farmama koje zavise od spoljašnjih izvora vode. U pastrmskoj akvakulturi, ključni element fizičke biosigurnosti predstavlja kontrola ulazne vode. Mehanička filtracija i taložnici smanjuju unos organske materije i potencijalnih patogena, dok UV i ozonska dezinfekcija obezbeđuju dodatni nivo

sanitarne sigurnosti (Scarfe i Palić, 2020). Kontrola odvodnih kanala i tretman otpadnih voda imaju dvostruku ulogu: sprečavanje širenja patogena u prirodne ekosisteme i usklađivanje sa ekološkim propisima (WOAH, 2023). U recirkulacionim sistemima (RAS), fizička izolacija predstavlja značajnu prednost u odnosu na otvorene sisteme. Kontrolisani tok vode, biofiltracija i zatvoreni ciklus omogućavaju smanjenje kontakta sa spoljašnjim izvorima infekcije i preciznu kontrolu parametara sredine (Ahmed i Turchini, 2021). Međutim, visoka tehnološka zavisnost zahteva strogu kontrolu opreme i redovno održavanje, jer kvarovi mogu dovesti do brzog pogoršanja zdravstvenog stanja riba. Biološke mere imaju za cilj povećanje otpornosti riba na infektivne agense i smanjenje potrebe za terapijskom primenom antibiotika. Vakcinacija predstavlja jednu od najznačajnijih bioloških mera, posebno u pastrmskoj proizvodnji (Austin i Austin, 2016). Efikasnost vakcinacije zavisi od pravilne aplikacije, zdravstvenog statusa riba i biosigurnosnih uslova na farmi. U šaranskoj proizvodnji vakcinacija je manje zastupljena, ali se razvijaju autogene vakcine prilagođene specifičnim epidemiološkim uslovima pojedinačnih farmi, što predstavlja važan pravac unapređenja preventivne medicine u akvakulturi. Primena probiotika i imunostimulatora doprinosi jačanju nespecifične imunosti, stabilizaciji crevne mikrobiote i povećanju otpornosti na stres (Dong i Zhou, 2023). Ove mere su posebno značajne u periodima povećanog infektivnog pritiska ili nepovoljnih uslova sredine. Genetska selekcija otpornijih linija riba predstavlja dugoročnu strategiju smanjenja biosigurnosnog rizika. Selekcija na otpornost prema specifičnim patogenima, uz očuvanje proizvodnih karakteristika, sve više dobija na značaju u savremenim programima oplemenjivanja (FAO, 2022). Operativne mere obuhvataju svakodnevne procedure i organizacione protokole koji direktno utiču na zdravstveni status riba. One predstavljaju dinamičan segment biosigurnosti i zahtevaju kontinuiranu edukaciju osoblja i doslednu primenu standardnih operativnih procedura (SOP). Kontrola kvaliteta hrane i pravilno skladištenje sprečavaju kontaminaciju patogenima i mikotoksinima. Redovno uklanjanje mortaliteta smanjuje infektivni pritisak i sprečava sekundarne infekcije. Higijenski protokoli za zaposlene, uključujući dezinfekcione barijere, kontrolu ulaska i zaštitnu opremu, značajno smanjuju rizik od mehaničkog prenosa patogena (FAO, 2020). Kontrola transporta mladi i konzumne ribe predstavlja kritičnu tačku biosigurnosti, jer transport može biti jedan od glavnih puteva širenja bolesti između farmi i regiona (Bondad-Reantaso i sar., 2012). U okviru operativnih mera, DDD mere (dezinfekcija, dezinsekcija, deratizacija) imaju centralnu ulogu u smanjenju infektivnog pritiska. Dezinfekcija obuhvata tretman opreme, bazena, inkubatora, mreža i transportnih sredstava odgovarajućim hemijskim ili fizičkim sredstvima. U pastrmskoj proizvodnji, dezinfekcija inkubatora i riblje ikre ima poseban značaj u sprečavanju vertikalnog i horizontalnog prenosa patogena (Austin i Austin, 2016). U šaranskim ribnjacima naglasak je na dezinfekciji alata, mreža, čamaca i transportnih cisterni, kao i na pravilnom isušivanju i pripremi ribnjaka između proizvodnih ciklusa. Dezinsekcija ima za cilj kontrolu insekata koji

moгу delovati kao mehаnički prenosioсi patogene, dok deratizacija smanjuje rizik od kontaminacije hrane i opreme glodarima. Ove mere moraju biti sprovedene u skladu sa ekološkim standardima kako bi se izbegao negativan uticaj na vodeni ekosistem. Efikasnost DDD mera zavisi od pravilnog izbora sredstava, koncentracije, vremena kontakta i redovne evaluacije uspešnosti postupaka, uz poštovanje važećih propisa (WOAH, 2023).

DIGITALNE TEHNOLOGIJE I BIOSIGURNOST

Digitalna transformacija akvakulture predstavlja jedan od najznačajnijih razvojnih pravaca u savremenom upravljanju proizvodnjom i zdravstvenim rizicima. Tradicionalni modeli upravljanja bolestima bili su dominantno reaktivni i zasnivali su se na kliničkoj dijagnostici nakon pojave simptoma i mortaliteta. Savremeni pristup, zasnovan na digitalnim alatima, omogućava prelazak ka preventivnom i prediktivnom modelu upravljanja, u kojem se rani signali poremećaja detektuju pre nego što dođe do kliničke manifestacije bolesti (Dong i Zhou, 2023). Integracija senzorskih mreža, sistema za daljinski monitoring, algoritama mašinskog učenja i bespilotnih letelica omogućava kontinuirano prikupljanje i analizu velikih količina podataka (big data), što značajno unapređuje biosigurnosne kapacitete kako u šaranskoj, tako i u pastrmskoj akvakulturi. Akvakultura se razvija kroz primenu AIoT tehnologije, koja integriše veštačku inteligenciju (AI) i Internet inteligentnih uređaja (IoT) radi unapređenja akvakulture. Razvoj IoT uređaja, uključujući senzore, kamere i sisteme za monitoring, unapredio je prikupljanje podataka (Rastegari i sar., 2023). Ovi uređaji obezbeđuju kontinuirane podatke o ključnim parametrima kao što su kvalitet vode, ponašanje riba, obrasci ishrane i uslovi životne sredine, dok AI algoritmi analiziraju ove podatke kako bi omogućili donošenje odluka u realnom vremenu i autonomno upravljanje, čime se smanjuje potreba za ljudskom intervencijom (Hu i sar., 2022). Savremeni senzori, povezani putem IoT platformi, omogućavaju real-time praćenje fizičko-hemijskih parametara vode i automatsko generisanje upozorenja kada vrednosti izađu iz optimalnog opsega. Ovakvi sistemi smanjuju zavisnost od manuelnog uzorkovanja i omogućavaju brzu reakciju u slučaju poremećaja (Su i sar., 2020). U pastrmskoj akvakulturi, monitoring rastvorenog kiseonika ima presudan značaj zbog visoke metaboličke aktivnosti salmonidnih vrsta i njihove osetljivosti na hipoksiju. U recirkulacionim sistemima (RAS), monitoring parametara azotnog ciklusa (amonijak, nitriti, nitrati) i efikasnosti biofiltracije predstavlja ključni element biosigurnosti, jer poremećaji u funkciji biofiltera mogu dovesti do akutne toksičnosti i sekundarnih infekcija (Ruiz i sar., 2020). U šaranskim ribnjacima, pored temperature i kiseonika, poseban značaj ima kontrola eutrofikacije, odnosno praćenje koncentracije amonijaka, nitrata i organskih materija. Povećana primarna produkcija i cvetanje algi mogu izazvati nagle oscilacije kiseonika, naročito tokom noći, što povećava stres i podložnost infekcijama (Boyd, 2020). Integracija senzora sa meteorološkim podacima dodatno poboljšava mogućnost pravovremenog reagovanja. Primena veštačke

inteligencije (AI) i algoritama mašinskog učenja omogućava analizu kompleksnih obrazaca u ponašanju riba i parametrima sredine. Video-analitika i sistemi kompjuterskog vida mogu detektovati promene u obrascima plivanja, smanjenje aktivnosti, nepravilno kretanje ili promene u distribuciji jata, što često prethodi pojavi kliničkih simptoma bolesti (Öz i sar., 2025). Analiza mortaliteta u realnom vremenu, u kombinaciji sa podacima o temperaturi, kiseoniku i gustini nasada, omogućava identifikaciju rizičnih perioda i predikciju mogućih epizootija. Modeli zasnovani na istorijskim podacima i klimatskim parametrima mogu predvideti povećanu verovatnoću pojave određenih bolesti, posebno onih čija je incidenca povezana sa temperaturnim promenama. U šaranskoj akvakulturi, AI sistemi mogu analizirati sezonske obrasce i uticaj klimatskih faktora na pojavu bakterijskih i parazitarne bolesti. U pastrmskoj proizvodnji, algoritmi se mogu koristiti za optimizaciju gustine nasada i dinamike hranjenja, čime se smanjuje stres i rizik od infekcija. Upotreba bespilotnih letelica (dronova) i satelitske tehnologije značajno unapređuje nadzor velikih vodenih površina. U šaranskim ribnjacima, koji često obuhvataju desetine ili stotine hektara, dronovi omogućavaju brzu inspekciju površine, detekciju zona sa smanjenom aktivnošću riba i identifikaciju potencijalnih problema (Ubina i sar., 2022). Daljinska detekcija može se koristiti za: nadzor površine ribnjaka, detekciju oštećenja mreža i barijera, identifikaciju neovlašćenog pristupa, praćenje cvetanja algi i promena boje vode. Multispektralne kamere omogućavaju procenu kvaliteta vode i identifikaciju eutrofikacije pre nego što dođe do masovnog uginuća riba. Ova tehnologija je posebno značajna u uslovima klimatskih promena i povećane učestalosti ekstremnih vremenskih pojava. U pastrmskim sistemima, dronovi imaju manju primenu u odnosu na šaranske ribnjake, ali mogu biti korisni za nadzor infrastrukture, kontrolu vodnih tokova i procenu bezbednosti objekata.

INTEGRACIJA DIGITALNIH SISTEMA

Najveći efekat digitalne transformacije postiže se integracijom svih sistema u jedinstvenu platformu za upravljanje ribnjakom. Kombinacija senzorskih podataka, AI analitike i daljinskog nadzora omogućava potpun pristup biosigurnosti, gde se svaki poremećaj parametara sredine ili ponašanja riba automatski povezuje sa odgovarajućim operativnim protokolima. Takav sistem podržava: ranu detekciju rizika, smanjenje mortaliteta, optimizaciju upotrebe resursa, smanjenje potrebe za terapijskom primenom antibiotika. Promene u ponašanju često predstavljaju rane indikatore pojave bolesti kod vrsta u akvakulturi, što omogućava blagovremenu primenu odgovarajućih mera. EchoBERT model analizira ehograme u cilju detekcije ranih znakova bolesti pankreasa atlantskog lososa (Maloy, 2020). Digitalne tehnologije, međutim, ne mogu zameniti klasične biosigurnosne mere, već predstavljaju njihov komplementarni i unapređeni oblik. Njihova primena zahteva ulaganja, tehničku obuku i institucionalnu podršku, ali dugoročno doprinosi održivosti i konkurentnosti sektora.

ZAKLJUČAK

Biosigurnost u šaranskoj i pastrmskoj akvakulturi predstavlja ključni element održivog razvoja sektora i mora biti sistemski prilagođena specifičnostima proizvodnog sistema, hidrološkim uslovima i intenzitetu gajenja. Razlike u tehnološkoj organizaciji proizvodnje uslovljavaju i različite epizootiološke obrasce, što zahteva diferenciran, ali integrisan pristup upravljanju rizicima. U šaranskoj akvakulturi, koja se dominantno zasniva na otvorenim ribnjačkim sistemima, fokus biosigurnosti usmeren je na kontrolu spoljašnjih vektora, upravljanje ulaznom i izlaznom vodom, kontrolu divljih riba i ptica, kao i na upravljanje ekološkim parametrima koji utiču na eutrofikaciju i sezonske oscilacije kvaliteta vode. U ovim sistemima, potpuna izolacija nije moguća, te je preventivni model zasnovan na proceni rizika i kontinuiranom monitoringu od presudnog značaja. U pastrmskoj akvakulturi, gde dominiraju protočni i recirkulacioni sistemi sa većim intenzitetom proizvodnje, ključnu ulogu imaju kontrola kvaliteta i dezinfekcija ulazne vode, upravljanje gustom nasada, smanjenje stresa tokom manipulacije i sistematska vakcinacija. Visoka biosigurnosna disciplina i stroga primena operativnih procedura predstavljaju osnov za sprečavanje širenja virusnih i bakterijskih bolesti koje mogu imati ozbiljne ekonomske posledice. Integracija fizičkih, bioloških i operativnih mera, uz doslednu primenu DDD mera, omogućava smanjenje infektivnog pritiska i ograničavanje potrebe za terapijskom primenom antibiotika. Time se doprinosi kontroli antimikrobne rezistencije i jača bezbednost proizvoda namenjenih ishrani ljudi. Savremene digitalne tehnologije, uključujući senzorske mreže, veštačku inteligenciju i daljinski nadzor, omogućavaju prelazak sa reaktivnog na preventivni i prediktivni model upravljanja biosigurnošću. Kombinacija tradicionalnih mera i digitalnih alata predstavlja budući standard dobre prakse u akvakulturi. Samo integrisani, naučno zasnovan i tehnološki podržan model biosigurnosti može obezbediti stabilnu, bezbednu i ekološki održivu akvakulturu.

Zahvalnica

Rad je podržan sredstvima Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (Ugovor broj 451-03-33/2026-03/200030).

LITERATURA

1. Ahmed, N., & Turchini, G. M. (2021). Recirculating aquaculture systems (RAS): Environmental solution and climate change adaptation. *Journal of Cleaner production*, 297, 126604.
2. Assefa, A., & Abunna, F. (2018). Maintenance of fish health in aquaculture: Review of epidemiological approaches for prevention and control of infectious disease of fish. *Veterinary Medicine International*, 2018, 5432497. <https://doi.org/10.1155/2018/5432497>
3. Austin, B., & Austin, D. A. (2016). *Bacterial fish pathogens: Disease of farmed and wild fish* (6th ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-32674-0>
4. Bondad-Reantaso, M. G., Arthur, J. R., & Subasinghe, R. P. (2012). Improving biosecurity through prudent and responsible use of veterinary medicines in aquatic food production. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, (547), 1.

5. Brugere, C., Kumar, G., & Bondad-Reantaso, M. G. (2025). Bridging aquatic organism health and economics in the analysis of disease impacts and biosecurity strategies in aquaculture: A conceptual framework. *Critical Insights in Aquaculture*, 1(1), 2441506.
6. Cabello, F. C., Godfrey, H. P., Buschmann, A. H., & Dölz, H. J. (2016). Aquaculture as yet another environmental gateway to the development and globalisation of antimicrobial resistance. *The Lancet Infectious Diseases*, 16(7), e127–e133. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(16\)00100-6](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(16)00100-6)
7. Dong, S. L., & Zhou, Y. G. (2023). Health maintenance and welfare of aquatic animals. In S. L. Dong (Ed.), *Aquaculture ecology* (pp. 447–472). Springer.
8. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). *Progressive management pathway for improving aquaculture biosecurity (PMP/AB)*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. FAO.
9. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *The state of world fisheries and aquaculture 2022*. FAO.
10. Haenen, O. L. M., Way, K., Bergmann, S. M., & Ariel, E. (2014). Koi herpesvirus disease: A review. *Veterinary Research*, 45, 1–18.
11. Hu, W.-C., Chen, L.-B., Huang, B.-K., & Lin, H.-M. (2022). A computer vision-based intelligent fish feeding system using deep learning techniques for aquaculture. *IEEE Sensors Journal*, 22, 7185–7194.
12. Maloy, H. (2020). EchoBERT: A transformer-based approach for behavior detection in echograms. *IEEE Access*, 8, 218372–218385.
13. Marković, Z. (2022). Aquaculture in Serbia. *Veterinarski Glasnik*, 76, 168–175. <https://doi.org/10.2298/VETGL201124017M>
14. Mustapha, U. F., Alhassan, A. W., Jiang, D. N., & Li, G. L. (2021). Sustainable aquaculture development: A review on the roles of cloud computing, internet of things and artificial intelligence (CIA). *Reviews in Aquaculture*, 13(4), 2076–2091.
15. Opiyo, M., Mziri, V., Musa, S., Kyule, D., Hinzano, S., Wainaina, M., & Ombwa, V. (2020). Fish disease management and biosecurity systems. In M. Opiyo et al. (Eds.), *State of aquaculture in Kenya* (pp. 97–126).
16. Öz, M., Üstüner, E., Çifci, S., et al. (2025). Artificial intelligence for fish disease diagnosis and management: Innovations, challenges, and One Health implications. *Aquaculture International*, 33, 652.
17. Radosavljevic, V., Zdravković, N., Veljović, L., & Radanović, O. (2022). Important bacterial diseases and their control in rainbow trout in Serbian aquaculture. *Veterinarski Glasnik*, 76(2), 103–112.
18. Rastegari, H., Nadi, F., Lam, S. S., Ikhwanuddin, M., Kasan, N. A., Rahmat, R. F., & Mahari, W. A. W. (2023). Internet of things in aquaculture: A review of the challenges and potential solutions based on current and future trends. *Smart Agricultural Technology*, 4, 100187.
19. Ruiz, P., Vidal, J. M., Sepúlveda, D., Torres, C., Villouta, G., Carrasco, C., Aguilera, F., Ruiz-Tagle, N., & Urrutia, H. (2020). Overview and future perspectives of nitrifying bacteria on biofilters for recirculating aquaculture systems. *Reviews in Aquaculture*, 12, 1478–1494. <https://doi.org/10.1111/raq.12392>
20. Scarfe, A. D., & Palić, D. (2020). Aquaculture biosecurity: Practical approach to prevent, control, and eradicate diseases. In D. Scarfe & D. Palić (Eds.), *Aquaculture health management* (pp. 75–116). Academic Press.
21. Su, X., Sutarlie, L., & Loh, X. J. (2020). Sensors, biosensors, and analytical technologies for aquaculture water quality. *Research*.
22. Ubina, N. A., & Cheng, S.-C. (2022). A review of unmanned system technologies with its application to aquaculture farm monitoring and management. *Drones*, 6(1), 12. <https://doi.org/10.3390/drones6010012>
23. World Health Organization. (2022). *Global antimicrobial resistance and use surveillance system (GLASS) report 2022*. World Health Organization.

24. World Organisation for Animal Health. (2023). *Aquatic animal health code*.
25. Yanong, R. P., & Erlacher-Reid, C. (2012). Biosecurity in aquaculture, part 1: An overview. *University of Florida IFAS Extension*.